J Korean Soc Food Sci Nutr
38(3), 364~371(2009)

한국식품영양과학회지
DOI: 10.3746/jkfn.2009.38.3.364

감마선 조사에 의한 복숭아의 미생물학적, 이화학적 품질 및 관능적 품질 변화

김미선 · 김경희 · 육홍선†
충남대학교 식품영양학과

The Effects of Gamma Irradiation on the Microbiological, Physicochemical and Sensory Quality of Peach (*Prunus persica* L. Batsch cv Dangeumdo)

Mi-Seon Kim, Kyoung-Hee Kim, and Hong-Sun Yook†
Dept. of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract

The effect of gamma irradiation (0.5~2 kGy) on the microbiological, physicochemical and sensory properties of peaches was investigated during 6 day storage at 20±3°C. Total aerobic bacteria, yeasts and molds significantly decreased with increasing dose level. In Hunter's color values, L-values decreased and a- and b-values increased with increment of irradiation dose level. Hardness significantly decreased with increment of irradiation dose level whereas pH, soluble solid, and total polyphenol contents increased with increment of irradiation dose level. DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl) radical-scavenging activity of irradiated peach was higher than that of control and its activity increased with increment of irradiation dose level. Vitamin C content was not affected by irradiation. In sensory test, overall acceptabilities of irradiated samples were higher than those of control. These results suggest that gamma irradiation on peach was effective for microbiological safety while improving the antioxidant activity, but not good on color and texture of peach.

Key words: peach, gamma irradiation, microbiology, physicochemical properties, sensory evaluation

서 론

복숭아(*Prunus persica* L. Batsch)는 장미과, 자두속, Amygdalus 아속에 속하는 낙엽, 교목성 식물로 중국이 원산지이고, 우리나라의 재배 주산지는 경북, 충남·충북, 경남 순으로 성숙기 강우량이 적은 지역을 중심으로 재배되어 왔다(1). 복숭아는 당, 유기산 및 다양한 비타민류와 독특한 향기 및 과즙을 많이 함유하고 있을 뿐만 아니라, 갈증해소, 피로회복, 숙취해소, 심장병, 고혈압, 골다공증과 같은 퇴행성 만성질환에 효과가 있다는 사실이 알려지면서 여름철 생과용으로서, 또는 주스, 넥타, 통조림 등의 제조와 여러 가지 디저트 식품의 원료로 이용성이 더욱 높아지고 있다(2,3). 그러나 복숭아는 다른 과일에 비해 호흡량이 많으므로 온도가 높을수록 호흡작용에 의한 과실 내 양분의 소모가 많아져서 신선도가 급격히 떨어지거나 쉽게 과육이 물러지므로 저장성이 아주 낮다(1). 동시에 변질과 부패현상이 쉽게 발생과 유통기간이 비교적 짧은 문제점으로 인하여 유통 중에 10~30%는 폐기되는 실정이다(4,5). 현재 국내에서 복숭아의 이용 실태를 보면, 대부분의 백도 품종은 당도가 높아서 주로 생과로 이용되는 반면, 당도는 낮으나 산도가 높고 향기 성분이 많은 황도는 가공용으로 이용되고 있다(5,6). 그러나 가공용의 경우는 외국과의 경쟁력이 낮아 생과용을 권장해왔으나, 생과용 품종의 대부분이 저장성이 낮아 일시출하가 불가피하여 가격경쟁력이 떨어지고 있다(5). 따라서 신선도 유지가 매우 짧은 복숭아의 저장기간을 연장시키고 유통 중의 품질저하가 일어나는 단점을 보완해야한다.

과실류의 유통과 국제교역 등에서 과실류의 미생물 제어 및 보존성 향상 방법으로 가장 일반적으로 사용되어온 방법의 하나는 ethylene oxide(EO)와 methyl bromide(MeBr)를 비롯한 훈증살균 기술이 있다(7). 그러나 EO는 발암성과 잔류성 등의 문제점이 보고되어 식품에 대한 사용이 국제적으로 전면중지 되었으며, MeBr도 오존층을 파괴하는 환경 공해물질로 규명되어 몬트리올 협약에 의하여 사용이 규제되어 있다(8). 기존에는 가장 보편적으로 사용되었던 훈증처리 방법을 대체하기 위한 기술로 다양한 저장조건의 설정(9), phosphine 훈증처리(10), CA 저장(11) 등이 연구되어 왔다. 특히 사과와 배, 복숭아 등과 같이 에틸렌 생성이 높은 climacteric 과실은 장기간 저장 시 에틸렌 생성을 억제하기 위하여 1-methylcyclopropene(12), tropolone(13) 등을 처리하는 방법도 연구되고 있다. 그러나 이러한 처리방법은 식품

†Corresponding author. E-mail: yhsuny@cnu.ac.kr
Phone: 82-42-821-6840, Fax: 82-42-821-8887

의 종류에 따라 제한성이 크고 효과가 불완전하며, 처리 시간이 길거나 과실에 생리적 장해를 유발시키는 문제점을 가지고 있어 산업적 실용화에 비교적 제약이 크다. 방사선조사 기술은 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 선진 여러 나라에서 유용하고 안전한 식품 및 공중보건 제품의 살균방법으로 공인되어 이미 여러 분야에서 산업적으로 이용되고 있다(14). 특히, 감마선 조사기술은 투과력이 높아 제품을 완전 포장한 후 살균이 가능하여 살균 후 포장과정에서의 2차 오염을 방지할 수 있고, 대량으로 처리가 가능하며, 잔류성 및 품온 상승이 거의 없고, 제품 고유의 품질을 유지하면서도 미생물에 대하여 강력한 선택적 살균효과를 나타내는 장점이 있다(15). 또한 식품의 저장 기간 연장, 해충 및 병원성 미생물, 곰팡이 등의 사멸과 과채류의 숙도 지연 등의 효과를 가지고 있어 식품을 대상으로 한 감마선 조사는 안전성면에서 인정되었고 처리 후 잔류성분이 남지 않으며, 열의 발생, 식품 성분 변화와 같은 부가 작용을 최소화할 수 있는 장점을 가지고 있다(15,16).

따라서 본 연구에서는 황도 복숭아에 저선량 감마선 조사를 이용하여 감마선 조사에 의한 복숭아 과실의 미생물학적 품질, 이화학적 품질 그리고 관능적 품질의 변화에 미치는 영향을 조사하고, 감마선 조사가 복숭아의 미생물의 안정성과 저장 및 유통 중 품질에 어떠한 영향을 미치지는 알아보고자 한다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 복숭아(*Prunus persica* L. Batsch)는 단금도로서 2008년 8월 하순에 충청북도 영동군 영동읍에서 수확된 제품을 구입하여 재료로 사용하였다.

감마선 조사

감마선 조사는 (주)그린피아 선원 878,000 Ci, Co^{60} 감마선 조사시설(IR-149 gamma irradiator, MDS Nordion, Canada)을 이용하여 실온에서 시간당 0.5, 1, 2 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였고, 흡수선량의 확인은 Dosimeter(PMMA dosimeter, Harwell, England)를 사용하였으며, 흡수선량의 오차는 ±0.2 kGy였다.

시료준비

감마선 조사 시료는 비조사구와 함께 20±3°C에서 6일간 저장하면서 0, 3 및 6일에 분석을 실시하였다. 미생물, 색도, 물성, 관능, 당도, pH는 생시료를 이용하였고 총 폴리페놀 함량, 수소공여능, 비타민 C는 복숭아의 껍질을 벗기고 분쇄하여 -70°C에서 동결시킨 뒤 5일 동안 동결건조(SFDSM12-60Hz, Samwon Freezing Engineering Co., Seoul, Korea)한 후 분말로 만들어 밀봉하고 냉동 보관하면서 시료로 사용하였다.

미생물 분석

과실의 껍질부분을 3 g 칭량한 뒤 0.1% 펩톤수 27 mL를 가한 다음 균질화한 후 시험에 사용하였다. 일반 호기성 세균은 plate count agar(Difco Labs., Detroit, MI, USA)를 사용하여 30°C에서 48시간 배양하였고, 효모 및 곰팡이균은 potato dextrose agar(Difco)를 사용하여 25°C에서 3~5일 배양하여 생성된 colony의 수를 육안으로 계수하여 시료 1 g당 log colony forming unit(log CFU/g)로 나타내었다.

물성 측정

과실의 물성은 texture analyzer(TA-XT2/25, Stable Micro System Co. Ltd., Surrey, England)를 사용하여 측정하였다. 지름 5 mm의 plunger를 이용하여 hardness를 측정하였으며, 분석조건은 pre test speed: 2.0 mm/sec, test speed: 1.0 mm/sec, post test speed: 2.0 mm/sec, strain: 70%로 복숭아 적도부분의 과피 2 mm을 제거한 후 3곳을 측정하였다.

색도 측정

과실의 색도는 Hunter 색도계(ND-300A, Nippon Denshoku, Tokyo, Japan)로 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 반복 측정하여 평균값으로 나타내었으며, 측정부위는 과실의 핵과 과피의 약 1/2이 되는 지점을 절단하여 절단된 면을 측정하였다.

pH 측정

pH는 시료 5 g을 증류수로 10배 희석하여 충분히 교반한 후 pH meter(Radiometer PHM210, France)로 측정하였다.

가용성 고형물의 측정

당도는 과실의 과육을 분쇄기로 분쇄하여 착즙한 후 착즙액을 일정량 취해 당도계(ATAGO N-2E, Tokyo, Japan)로 측정하였다.

총 폴리페놀 함량 측정

시료를 증류수에 희석하여 희석액 0.1 mL에 Folin-Ciocalteu's phenol reagent(2 N Folin-Ciocalteu's phenol : DW=1:2)를 0.2 mL 넣어 23°C에서 1분간 반응시키고, 5% $NaCO_3$ 용액을 3 mL 가하여 23°C에서 2시간 방치한 다음 spectrophotometer(Ultrospec 4300 pro, Biochrome Sweden)로 765 nm에서 흡광도를 측정하였다. 흡광도는 garlic acid를 이용한 표준 검량식에 적용하여 총 페놀 화합물 함량을 구하였다.

DPPH법에 의한 수소공여능 측정

시료 1 g에 methanol을 9 mL 가하여 실온에서 24시간 추출한 뒤 2400 rpm에서 20분간 원심분리 하여 얻은 상등액을 시료용액으로 사용하였다. 0.6 μM DPPH용액 3.9 mL과 시료용액 0.1 mL을 가하여 혼합한 뒤 30분 뒤에 methanol 용액을 blank로 하여 517 nm에서 spectrophotometer

(Ultrospec 4300 pro uv/visible spectrophotometer, Buckinghamshire, UK)로 흡광도를 측정하였다. 수소공여능은 다음 계산식에 의해 환산하였다.

$$\text{수소공여능}(\%) = \left(1 - \frac{\text{시료첨가구의 흡광도}}{\text{무첨가구의 흡광도}}\right) \times 100$$

비타민 C 함량 측정

비타민 C 분석은 시료 5 g을 식품공전의 미량 영양성분시험법(17)에 따라 처리하였다. 시료 4 mL를 Sep-Pak C18 cartridges(Waters Co., Miliford, MA, USA)로 통과한 처음 3 mL는 버리고 1 mL를 취하여 HPLC(Waters 515 pump, Waters 717 plus autosampler, Waters 2996 photodiode array detector, Milford, MA, USA) 주입용 시료로 하였다. HPLC 분석조건은 carbohydrate analysis column(3.9×300 mm, Waters Associaties, Milford, MA, USA)을 사용하였고, mobile phase는 0.05 M KH_2PO_4/CH_3CN(60:40), flow rate은 1.0 mL/min, 254 nm UV detector로 검출하였다.

관능검사

식품영양학과 대학생 및 대학원생 중 20명을 관능 검사요원으로 선발하여 난수를 써놓은 시료를 무작위로 배열하고 나눠준 뒤, 시료의 color(색상), flavor(향), overall acceptability(전체적인 기호도)를 '5점: 매우 좋다'~'1점: 매우 좋지 않다'로서 5점 척도 방법으로 기호도를 평가하도록 하였고 sourness(신맛), sweetness(단맛), texture(조직감)은 '5점: 매우 강하다'~'1점: 매우 약하다'로서 5점 척도 방법으로 강도를 평가하도록 하였다. 시료는 복숭아의 껍질을 벗기고 과육을 2×2 cm의 크기(3~5 g)로 잘라서 제공하였다.

통계 분석

모든 실험은 3회 이상 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들은 SPSS 14.0(Statistical Package for Social Sciences, SPSS Inc., Chicago, IL, USA) software를 이용하여 유의적 차이가 있는 항목에 대해서는 Duncan의 다중검정법으로 $p<0.05$ 수준에서 유의차 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

미생물의 변화

감마선 조사된 복숭아의 미생물 변화는 껍질부분을 대상으로 6일 동안 실시하였으며 Table 1에 나타내었다. 총 호기성 세균수는 비조사구의 경우 저장 초기에 4.07 log CFU/g를 나타내었으나 조사구의 경우 3.46(0.5 kGy), 3.32(1 kGy) log CFU/g으로 조사선량이 증가할수록 감소하였고, 저장 3일, 6일에도 조사선량이 증가함에 따라 총 호기성 세균수가 감소하였으나, 저장기간 동안 1.5, 2 kGy 조사구에서는 완전히 사멸되었다. 저장기간이 증가함에 따라 비조사구에서는 4.07(저장 0일), 4.35(저장 3일), 4.68(저장 6일) log CFU/g으로 총 호기성 미생물이 유의적으로 증가하였으나, 0.5, 1 kGy 조사구에서는 저장 3일과 9일에는 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 비조사구에 비해 조사구가 조사선량에 비례하여 검출되는 균의 수가 적은 것으로 나타났다. 효모 및 곰팡이 수 역시 감마선 조사 직후 조사구에서 조사선량이 증가할수록 미생물 수가 유의적으로 감소하였다. 저장기간이 증가할수록 비조사구와 0.5 kGy 조사구에서는 유의적으로 증가하였고, 1 kGy 조사구에서는 저장초기에 비해 미생물의 농도가 증가하였으나, 유의적인 차이는 나타내지 않았다. 또한 총 호기성 세균과 같이 1.5, 2 kGy 조사구에서 효모 및 곰팡이는 검출되지 않았다. 즉, 1.5 kGy 이상의 감마선 조사는 복숭아의 미생물의 생육을 억제하여 저장품질을 유지시키는 것을 확인할 수 있었다. Youssef 등(18)은 0.5~2.0 kGy의 감마선을 망고에 조사하였을 때 감마선 조사가 총 호기성 세균의 수를 유의적으로 감소시키는 것으로 나타났고, 비조사구 및 조사구 모두 저장기간 동안 총 호기성 세균의 수가 증가한다고 보고하였으며, Prakash 등(19)은 0.5~3.7 kGy의 감마선을 토마토에 조사하였을 때 비조사구에 비해 조사구에서 총 호기성 세균의 수가 적게 나타났으며, 효모 및 곰팡이의 경우 조사선량이 증가할수록 유의적으로 감소하였다고 보고하였다. 또한 구기자에 0~14 kGy의 감마선을 조사한 결과 조사선량이 증가함에 따라 microbial profiles는 유의적으로 변화하였으며 비조사구에서 효모 및 곰팡이는 증가하였다고 Wen 등(20)은 보고하여 본 연구의 결과와 일치하였다.

Table 1. Changes in microbial growth of peach stored for 6 days at 20°C after gamma irradiation (log CFU/g)

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)			
		0	3	6	SEM[4)]
Total aerobic bacteria	0	4.07$^{aC1)}$	4.35^{aB}	4.68^{aA}	0.05
	0.5	3.46^{bB}	3.71^{bA}	3.85^{bA}	0.10
	1.0	3.32^{bB}	3.70^{bA}	3.90^{bA}	0.09
	1.5	N/D[2)]	N/D	N/D	
	2.0	N/D	N/D	N/D	
	SEM[3)]	0.10	0.06	0.09	
Yeasts and molds	0	4.01^{aC}	4.36^{aB}	4.67^{aA}	0.05
	0.5	3.64^{bC}	3.78^{bAB}	3.87^{bA}	0.07
	1.0	3.22^{cC}	3.80^{cB}	3.66^{cA}	0.07
	1.5	N/D	N/D	N/D	
	2.0	N/D	N/D	N/D	
	SEM	0.08	0.05	0.05	

[1)]Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-C) differ significantly ($p<0.05$).
[2)]Not detected within the detection limit $<10^2$ log CFU/g.
[3)]Standard error of the means (n=20).
[4)]Standard error of the means (n=12).

경도 변화

복숭아는 90% 이상의 높은 수분을 함유하고 있는 과실로서 수확 후 저장, 유통과정 중에 표피를 통하여 수분증발이 일어나고 이로 인해 중량 감소, 위조현상 등에 의해서 복숭

Table 2. Changes in hardness of peach stored for 6 days at 20°C after gamma irradiation (unit: g)

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day) 0	3	6	SEM[3)]
Hardness	0	293.78$^{aA1)}$	239.50^{aB}	182.19^{aC}	15.59
	0.5	285.75^{aA}	199.84^{bB}	168.10^{bC}	8.56
	1.0	277.08^{aA}	189.55^{bB}	155.25^{cC}	9.91
	1.5	241.10^{bA}	173.68^{cB}	152.64^{cC}	8.15
	2.0	229.30^{bA}	157.68^{dB}	147.72^{cC}	5.51
	SEM[2)]	15.75	5.90	4.88	

[1)]Values with different letters within a column (a-d) and a row (A-C) differ significantly ($p<0.05$).
[2)]Standard error of the means (n=135).
[3)]Standard error of the means (n=81).

아의 품질이 저하하게 된다. 복숭아에 감마선을 조사하여 저장기간 동안의 물성변화를 측정하여 Table 2에 나타내었다. 저장초기의 물성변화는 비조사구에서 293.78 g, 조사구에서는 285.75 g(0.5 kGy), 277.08 g(1 kGy), 241.10 g(1.5 kGy), 229.30 g(2 kGy)로 선량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었으나 조사구 1.5, 2 kGy에서만 유의적으로 감소하는 반면 저장 3일에는 조사선량이 증가함에 따라 경도가 감소하는 경향을 나타내었고, 저장 6일에도 선량에 따라 경도가 감소하였으나 1, 1.5, 2 kGy 조사구에서는 통계적인 유의차가 나타나지 않았다. 또한 비조사구 및 조사구 모두 저장기간이 지남에 따라 경도가 유의적으로 감소하여 감마선 조사에 복숭아의 물리적 변화가 일어나면서 과육의 연화가 가속된 것으로 여겨진다. Yun 등(21)은 1 kGy 감마선이 조사된 사과의 hardness는 조사구가 비조사구에 비하여 다소 낮은 경향을 보여주었고 저장기간이 경과함에 따라 지속적인 감소를 나타내었다고 보고하였고, EL-Samahy 등(22)은 망고에 0.5~1.5 kGy로 감마선 조사하였을 때 firmness는 조사선량에 비례하여 감소를 나타내었으며, 방사선 처리는 저장기간 동안 망고의 firmness가 유의적인 감소의 원인이라고 보고하였다. 감마선 조사 기술이 과실의 hardness를 감소시키는 것으로 알려져 있어(21) 과실 품질에 영향을 미치지 않는 적절한 조사선량에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

색도 변화

복숭아를 감마선 조사한 후 과육의 기계적 색도 변화를 측정하여 Table 3에 나타내었다. 과육의 명도(L) 변화는 저장기간 동안 조사선량이 증가할수록 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었고, 비조사구와 조사구(0.5, 1, 2 kGy)는 저장기간이 증가함에 따라 명도(L)가 감소하는 경향을 나타내었으나 1.5 kGy 조사구에서는 유의차를 나타내지 않았다. 적색도(a) 변화와 황색도(b) 변화는 모든 저장기간 동안 조사선량이 증가함에 따라 유의적인 증가를 나타내었고, 저장기간이 지남에 따라 조사구 및 비조사구 모두 증가하는 경향을 나타내었다. 따라서 감마선 조사된 복숭아는 저장기간 동안 감마선 조사선량 증가에 따라 명도(L)는 감소, 황색도

Table 3. Changes in Hunter's color values of peach stored for 6 days at 20°C after gamma irradiation

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day) 0	3	6	SEM[3)]
L (lightness)	0	66.90$^{aA1)}$	66.17^{aAB}	65.36^{aB}	0.40
	0.5	65.93^{bA}	65.06^{bAB}	64.22^{bB}	0.42
	1.0	64.74^{cA}	64.26^{bcAB}	63.74^{bcB}	0.44
	1.5	63.98^{cdA}	63.33^{cdA}	63.07^{cdA}	0.54
	2.0	63.51^{dA}	62.92^{dAB}	62.20^{dB}	0.58
	SEM[2)]	0.47	0.53	0.44	
a (redness)	0	3.73^{dC}	7.82^{dB}	11.23^{eA}	0.57
	0.5	4.57^{cC}	10.07^{cB}	14.09^{dA}	0.63
	1.0	4.80^{bcC}	11.65^{bcB}	16.14^{cA}	0.71
	1.5	5.44^{abC}	12.82^{abB}	17.54^{cA}	0.80
	2.0	6.09^{aC}	14.19^{aB}	19.00^{aA}	0.47
	SEM	0.41	0.79	0.68	
b (yellowness)	0	30.51^{eC}	31.10^{eB}	32.21^{eA}	0.21
	0.5	31.39^{dC}	32.19^{dB}	33.51^{dA}	0.24
	1.0	32.66^{cB}	33.19^{cB}	34.21^{cA}	0.32
	1.5	33.39^{bB}	34.04^{bB}	34.95^{bA}	0.32
	2.0	34.40^{aB}	34.85^{aB}	35.74^{aA}	0.30
	SEM	0.32	0.26	0.27	

[1)]Values with different letters within a column (a-e) and a row (A-C) differ significantly ($p<0.05$).
[2)]Standard error of the means (n=50).
[3)]Standard error of the means (n=30).

(a)는 증가하는 경향을 나타내어 살균처리로서 주로 이용되고 있는 고선량의 감마선 조사는 whiteness를 저하시키거나 yellowness를 증가시키는 것으로 알려진 보고(23-26)와 배에 2 kGy 이상의 감마선 조사 시 배의 L값을 감소시켰다고 보고한 Kwon 등(27)의 결과와 비슷한 양상을 보였고, 또한 고선량의 감마선 조사는 부분적으로 과육의 내부 갈변을 유도하는 경우가 보고(28)되고 있으며 본 연구에서도 감마선 조사가 복숭아 과육의 갈변에 영향을 미치는 것으로 사료되어 감마선 조사에 의한 복숭아의 색도 변화를 억제하기 위한 다른 방법과의 병용처리가 필요할 것으로 여겨진다.

pH 변화

감마선 조사된 복숭아의 저장기간 중 pH 변화는 Table 4와 같다. pH 변화는 저장초기에 비조사구에서 3.78로 나타내었으며, 조사구에서는 4.00(0.5 kGy), 4.08(1 kGy), 4.47(1.5

Table 4. Changes in pH of peach stored for 6 days at 20°C after gamma irradiation

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day) 0	3	6	SEM[3)]
pH	0	3.78$^{eC1)}$	3.98^{eB}	4.22^{eA}	0.03
	0.5	4.00^{dC}	4.23^{dB}	4.44^{dA}	0.02
	1.0	4.08^{cC}	4.29^{cB}	4.54^{cA}	0.01
	1.5	4.47^{bC}	4.70^{bB}	4.84^{bA}	0.03
	2.0	4.54^{aC}	4.77^{aB}	4.91^{aA}	0.02
	SEM[2)]	0.03	0.01	0.03	

[1)]Values with different letters within a column (a-e) and a row (A-C) differ significantly ($p<0.05$).
[2)]Standard error of the means (n=20).
[3)]Standard error of the means (n=12).

Table 5. Changes in soluble solids of peach stored for 6 days at 20°C after gamma irradiation (unit: %)

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day) 0	3	6	SEM[3)]
Soluble solids	0	9.10$^{bA1)}$	9.37^{bA}	9.82^{aA}	0.46
	0.5	9.29^{bA}	9.46^{abA}	10.17^{aA}	0.45
	1.0	9.40^{abB}	9.58^{abAB}	10.82^{aA}	0.60
	1.5	9.50^{abB}	9.63^{abB}	10.93^{aA}	0.36
	2.0	9.87^{aB}	10.26^{aAB}	11.03^{aA}	0.40
	SEM[2)]	0.23	0.38	0.66	

[1)]Values with different letters within a column (a, b) and a row (A, B) differ significantly ($p<0.05$).
[2)]Standard error of the means (n=50).
[3)]Standard error of the means (n=30).

Table 6. Changes in total phenolic compounds of peach stored for 6 days at 20°C after gamma irradiation (unit: mg/100 g)

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day) 0	3	6	SEM[3)]
Total phenolic compounds	0	9.87$^{eB1)}$	10.31^{dA}	10.40^{dA}	0.17
	0.5	11.01^{dB}	11.34^{cAB}	11.79^{cA}	0.27
	1.0	11.94^{cB}	12.58^{bAB}	12.23^{cA}	0.18
	1.5	13.50^{bAB}	13.04^{bB}	13.85^{bA}	0.31
	2.0	15.24^{aA}	15.15^{aA}	15.32^{aA}	0.28
	SEM[2)]	0.24	0.23	0.27	

[1)]Values with different letters within a column (a-e) and a row (A, B) differ significantly ($p<0.05$).
[2)]Standard error of the means (n=15).
[3)]Standard error of the means (n=9).

kGy), 4.54(2 kGy)로 조사선량이 증가할수록 유의적으로 증가하였으며, 저장 3일, 6일째에도 같은 경향을 나타내었다. 저장기간 동안 비조사구 및 조사구 모두 pH가 유의적인 증가를 나타냈으며 비조사구에 비해 조사구에서 pH가 더 높게 나타났다. Kang 등(29)은 사과에 0.5~3 kGy의 감마선을 조사한 결과 pH 변화는 조사량에 따른 뚜렷한 차이 없이 전반적으로 증가하는 경향을 나타내었다는 결과를 보고하여 본 연구 결과와 상이한 결과를 나타내었다.

가용성 고형물 변화

복숭아는 대표적인 climacteric형 과실로서, 후숙이 진행됨에 따라 호흡과 에틸렌의 발생이 일시적으로 급증함에 따라 과피색이 변화되면서 과육의 연화, 전분의 분해 및 가용성 고형성분의 증가 그리고 과실 특유의 감미 및 향기성분의 증대, 유기산의 감소 등 여러 가지 생리적 변화가 진행된다(30). 특히, 가용성 고형물의 함량은 후숙 정도와 직접적으로 비례한다. 복숭아 저장기간 중의 가용성 고형물 함량은 Table 5에 나타냈다. 가용성 고형물 함량은 저장초기 비조사구와 0.5 kGy 조사구에서는 유의차를 보이지 않았으나, 1 kGy 이상의 조사구에서는 조사선량 증가에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며, 저장 6일째에는 조사선량에 따른 유의차를 나타내지 않았다. 저장기간 동안 조사구 및 비조사구 모두 저장기간 증가에 따라 가용성 고형물 함량이 증가하는 경향을 나타내었다. Hussain 등(31)은 복숭아에 1.0~2.0 kGy의 감마선을 조사하여 상온 저장하는 동안에 가용성 고형물 함량이 증가하는 경향을 나타낸다고 보고하여 본 실험 결과와 유사한 결과를 나타내었다.

총 폴리페놀 함량 변화

감마선 조사에 따른 복숭아의 총 폴리페놀 함량 변화를 Table 6에 나타내었다. 저장초기에 비조사구에서 9.87 mg/100 g이었고, 조사구에서는 11.01(0.5 kGy), 11.94(1 kGy), 13.50 (1.5 kGy), 15.24(2 kGy)로 나타나 비조사구에 비해 조사구에서 높은 총 폴리페놀 함량을 보였으며 조사선량이 증가할수록 유의적으로 증가하여 2 kGy 조사구에서 가장 높은 함량을 나타내었다. 또한 저장 3일, 6일에도 조사선량이 증가함에 따라 총 폴리페놀 함량이 증가하는 경향을 나타내었으며, 2 kGy 조사구에서 가장 높은 함량을 나타내었다. 비조사구와 조사구(0.5, 1, 1.5 kGy)에서는 저장기간이 지날수록 증가하는 차이를 보였으나, 다른 조사구에 비해 높은 폴리페놀 함량을 나타낸 2 kGy 조사구는 저장기간 동안에 유의차를 나타내지 않았다. 페놀화합물은 free radical 등과 쉽게 수소교환반응을 일으킬 수 있는 활성을 가진 수소 원자가 존재하여 공명으로 안정화될 수 있는 구조를 가지고 있어 많은 페놀 화합물들이 항산화 활성을 나타내는 것으로 알려져 있다(32). EL-Samahy 등(22)은 망고에 0.5~1.5 kGy로 감마선 조사를 한 결과 폴리페놀 함량은 조사선량에 따라 유의적으로 증가하였고, 저장기간 동안 비조사구에 비해 조사구에서 높은 함량을 나타내었다고 보고하였으며, 낮은 선량에서 총 폴리페놀 함량의 유의적인 증가는 phenylalanine ammonia lyase의 활성이 강화된 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구 결과 감마선 조사된 복숭아의 총 폴리페놀 함량은 phenylalanine ammonia lyase의 영향을 받아 증가된 것으로 여겨지며, 감마선에 의한 총 폴리페놀 함량 증가는 항산화능을 증대시킬 수 있을 것으로 사료된다.

항산화 활성 변화

저장기간 동안 감마선 조사된 복숭아의 항산화 활성 변화를 DPPH 라디칼 소거능(수소공여능) 측정을 통해 Table 7에 나타내었다. 수소공여능은 저장 0일에 비조사구 76.89%, 0.5 kGy 조사구 79.68%, 1 kGy 조사구 83.40%, 1.5 kGy 조사구 87.65%, 2 kGy 조사구 94.44%로 비조사구와 조사구간에 유의차를 나타내었고, 조사선량에 따라 증가하였으며 저장 3일, 6일에도 동향을 보였다. 한편 저장기간 동안 수소공여능은 전체적으로 증가하는 추세를 나타내었다. 이는 복숭아에 대한 감마선 조사선량이 증가함에 따라 총 폴리페놀 함량이 증가한 결과와 유사하였다. 또한 총 폴리페놀 함량(페놀성 화합물인 플라보노이드나 페놀산 그리고 안토시아닌 등의 총량)은 DPPH 라디칼 소거능으로 나타내는 항산화 활성과 밀접한 관계가 있으며, 일반적으로 항산화 활성이 증가하면 총 폴리페놀 함량도 증가한다. 이상의 결과를 통해 복숭

Table 7. Changes in hydrogen donating activity of peach stored for 6 days at 20°C after gamma irradiation

(unit: %)

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)			
		0	3	6	SEM[3)]
Hydrogen donating activity	0	76.98$^{eA1)}$	77.96^{dA}	77.73^{dA}	0.66
	0.5	79.68^{dB}	79.95^{cB}	82.42^{cA}	0.54
	1.0	83.40^{cB}	85.51^{bA}	83.15^{cB}	0.51
	1.5	87.65^{bA}	86.70^{bA}	87.00^{bA}	0.52
	2.0	94.44^{aA}	92.98^{aA}	93.46^{aA}	0.71
	SEM[2)]	0.70	0.55	0.51	

[1)]Values with different letters within a column (a-e) and a row (A, B) differ significantly ($p<0.05$).
[2)]Standard error of the means (n=15).
[3)]Standard error of the means (n=9).

아의 수소공여능이 페놀화합물과 상관관계가 있는 것으로 사료된다. 한편, Kim 등(33)이 10, 20 kGy의 감마선 조사한 감귤 정유의 전자공여능이 감마선 조사에 의한 유의적인 차이가 없었다는 보고와 Yun 등(21)이 1 kGy의 감마선 조사된 사과의 DPPH radical 소거능에 감마선 조사가 영향을 미치지 않았다는 보고는 본 연구결과와 다소 다른 경향을 나타내었다. 이와 같이 현재까지 감마선 조사에 의한 항산화능 변화의 일반적인 경향은 밝혀지지 않았으나, 물질의 종류, 감마선 조사선량 등에 따라 다른 경향을 보이고 있다고 하였다(34). 따라서 본 연구 결과를 종합해보면 감마선 조사로 인해 총 폴리페놀 함량이 증가하는 경향을 보였고, 수소공여능 변화 또한 선량이 증가함에 따라 증가하여 감마선 조사에 의해 항산화능이 증가한 것을 확인할 수 있었다.

비타민 C(아스코르브산) 함량 변화

감마선 조사된 복숭아의 비타민 C 함량 변화를 Table 8에 나타내었다. 저장기간에 따라 비조사구 및 조사구의 비타민 C 함량은 평균적으로 0.26(저장 0일), 0.28(저장 3일), 0.29(저장 6일) mg/100 g으로 증가하는 추세를 나타내었고, 조사선량이 증가할수록 비타민 C 함량이 증가하는 경향을 나타내었으나 조사유무에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다. 일반적으로 이온화 에너지 조사는 비타민 C의 함량을 감소시키는 것으로 알려져 있으며, 250~1500 Gy의 감마선을 포도에 조사한 결과 비타민 C의 함량이 감소하는 것으로 나타났다는 Yanez 등(35)의 보고와 망고에 0.5~2.0 kGy의 감마선을 조사하였을 때 조사선량과 저장기간에 따라 ascorbic acid 값이 유의적으로 감소하였다는 Youssef 등(18)의 결과는 본 연구 결과와 상이한 결과를 나타내었으나, Patil 등(36)은 포도에 70~700 Gy의 감마선을 조사한 결과 비타민 C의 함량이 조사선량에 따른 뚜렷한 차이를 보이지 않았다고 보고하였다. 이상의 결과를 종합해 보면 방사선 조사에 의한 비타민 C의 함량 변화는 각기 다른 결과를 나타내었다. 조사선량과 저장기간에 따라 비타민 C 함량이 증가하는 경향을 나타내었으나 통계적인 유의성은 보이지 않아 복숭아에 감마선 조사 시 0.5~2 kGy의 조사선량까지는 비타민 C 함량에 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

Table 8. Changes in vitamin C contents of peach stored for 6 days at 20°C after gamma irradiation (unit: mg/100 g)

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (day)			
		0	3	6	SEM[3)]
Vitamin C	0	0.24$^{aB1)}$	0.27^{aAB}	0.29^{aA}	0.01
	0.5	0.25^{aA}	0.27^{aA}	0.29^{aA}	0.03
	1.0	0.26^{aA}	0.28^{aA}	0.29^{aA}	0.02
	1.5	0.27^{aA}	0.28^{aA}	0.29^{aA}	0.02
	2.0	0.27^{aA}	0.29^{aA}	0.29^{aA}	0.02
	SEM[2)]	0.03	0.02	0.01	

[1)]Values with different letters within a column (a) and a row (A, B) differ significantly ($p<0.05$).
[2)]Standard error of the means (n=15).
[3)]Standard error of the means (n=9).

관능검사

감마선 조사된 복숭아의 관능검사 결과는 Table 9와 같다. 신맛, 단맛, 경도 항목의 측정은 강도측정으로, 색상, 향, 전체적인 기호도 항목은 선호도 측정으로 나타내었다. 신맛에 대한 강도특성 평가 결과는 저장기간이 지남에 따라 조사구에서의 신맛은 유의적으로 감소하였으나 비조사구에서는 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 또한 저장초기에 비조사구와 조사구간의 차이를 나타냈으며 조사구에서 신맛이 강하게 나타났다. 단맛에 대한 강도특성 평가 결과는 저장초기에 비조사구와 조사구간의 차이를 나타냈으나 저장 3일과 6일째에는 비조사구와 조사구 및 조사선량에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 모든 시료구는 저장기간 동안 단맛이 증가하였다. 조직감에 대한 강도특성 평가결과는 저장기간 동안에 감마선 조사구에서 경도가 낮게 평가되었으며 저장 6일째에 1.5, 2 kGy 조사구에서 경도가 2.0점으로 가장 낮게 평가되었으며, 저장기간 동안 비조사구 및 조사구에서 경도가 감소하였으나 처리구간별 뚜렷한 차이를 나타내지 않았다. 이를 기계적 경도 측정 결과와 비교해 보면 모든 시료구는 저장기간이 지남에 따라 유의적으로 기계적 경도가 감소함에 따라 관능적 조직감에도 영향을 미치는 것으로 여겨진다. 색에 대한 기호도는 저장초기에 비조사구에 비해 조사구에서 기호도가 높게 나타났으나, 저장 3일째에는 비조사구와 조사구 간에 유의적인 차이가 나타나지 않았고, 저장 6일째에는 비조사구와 조사구간의 유의차가 보였으며 조사구간에서 낮은 기호도를 나타냈다. 향에 대한 기호도는 저장 0일과 3일째에는 조사유무에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았으며 저장 6일째에는 처리구간별 뚜렷한 차이를 보이지 않았으며, 또한 저장기간 동안 모든 시료구는 유의적인 차이는 나타내지 않았다. 전체적인 기호도는 저장 초기와 저장 6일째에는 비조사구 및 조사구간의 유의차가 나타내지 않았으나, 저장 3일째에는 비조사구가 2.7점으로 가장 낮게 나타났으며 1.5 kGy 조사구에서 3.4점으로 가장 높게 나타났다. 관능적 품질 결과를 종합해보면 비조사구에 비해 조사구에서 기호도가 높게 나타났으며 저장기간이 지남에 따라 비

Table 9. Changes in sensory test of peach stored for 6 days at 20°C after gamma irradiation

Sensory evaluation		Irradiation dose (kGy)	Storage period (day) 0	3	6	SEM[5]
Intensity[1]	Sourness	0	$2.3^{bA3)}$	2.0^{bA}	1.8^{abA}	0.29
		0.5	3.2^{aA}	2.3^{abB}	1.7^{abB}	0.29
		1.0	3.1^{aA}	2.6^{aAB}	2.2^{aB}	0.39
		1.5	3.2^{aA}	1.4^{cB}	1.3^{bB}	0.29
		2.0	2.9^{abA}	2.6^{aAB}	2.1^{aB}	0.35
		SEM[4]	0.38	0.26	0.32	
	Sweetness	0	1.8^{bC}	2.5^{bB}	3.3^{aA}	0.31
		0.5	2.4^{aB}	2.6^{bB}	3.3^{aA}	0.31
		1.0	2.3^{aB}	2.9^{abAB}	3.0^{aA}	0.29
		1.5	2.7^{aB}	3.5^{aA}	3.7^{aA}	0.30
		2.0	2.8^{aA}	2.9^{abA}	3.1^{aA}	0.24
		SEM	0.24	0.30	0.33	
	Texture	0	3.8^{aA}	3.6^{aAB}	3.0^{aB}	0.35
		0.5	3.4^{abA}	3.0^{abA}	2.8^{aA}	0.33
		1.0	2.8^{abA}	2.7^{abA}	2.4^{abA}	0.33
		1.5	3.1^{abA}	2.7^{abAB}	2.3^{bB}	0.40
		2.0	2.7^{bA}	2.4^{bA}	2.3^{bA}	0.32
		SEM	0.34	0.37	0.32	
Acceptability[2]	Color	0	2.9^{cB}	3.1^{aB}	4.2^{aA}	0.34
		0.5	3.9^{abA}	3.3^{aA}	3.3^{bA}	0.33
		1.0	3.3^{bcA}	3.2^{aA}	3.1^{bA}	0.41
		1.5	3.9^{abA}	3.4^{aB}	3.0^{bB}	0.25
		2.0	4.1^{aA}	3.1^{aB}	3.3^{bB}	0.26
		SEM[2]	0.35	0.32	0.30	
	Flavor	0	3.3^{aA}	3.1^{aA}	3.0^{abA}	0.42
		0.5	3.4^{aA}	3.2^{aA}	2.8^{bA}	0.37
		1.0	3.3^{aA}	3.0^{aA}	3.5^{aA}	0.28
		1.5	3.4^{aA}	3.1^{aA}	3.6^{aA}	0.31
		2.0	3.0^{aA}	2.9^{aA}	2.7^{bA}	0.24
		SEM	0.33	0.36	0.31	
	Overall acceptability	0	3.1^{aA}	2.7^{bA}	3.0^{aA}	0.38
		0.5	3.3^{aA}	2.9^{abA}	3.0^{aA}	0.38
		1.0	3.1^{aA}	3.0^{abA}	3.2^{aA}	0.35
		1.5	3.3^{aA}	3.4^{aA}	3.2^{aA}	0.31
		2.0	3.4^{aA}	3.0^{abAB}	2.7^{aB}	0.33
		SEM	0.40	0.31	0.34	

[1]On the hedonic scale a score of 1=none, 3=moderate, 5=strong.
[2]On the hedonic scale a score of 1=dislike extremely, 3=neither like nor dislike, 5=like extremely.
[3]Different letters, within a same column (a-c) and a same row (A-C) differ significantly ($p<0.05$).
[4]Standard error of the means (n=100).
[5]Standard error of the means (n=60).

조사구와 조사구(0.5, 1, 1.5 kGy)의 기호도는 유의적인 차이를 나타내지 않았으나, 2 kGy 조사구의 기호도는 유의적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 0.5~1.5 kGy의 감마선 조사는 황도복숭아의 관능적 품질에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이는 사과에 1 kGy의 감마선 조사 시험구의 관능적 선호도가 비조사구에 비해 다소 낮았다는 Yun 등(21)의 보고와, 1 kGy 이상의 감마선 조사가 배의 관능적 품질을 저하시키는 것을 확인되었다는 Kwon 등(27)의 결과와 상이한 결과를 나타내었다.

요 약

복숭아의 저장안정성 증가를 위한 연구의 일환으로 복숭아에 0.5~2 kGy의 저선량 감마선을 조사하여 20°C에서 9일 동안 저장하면서 복숭아의 미생물학적 및 이화학적 품질 특성을 살펴보았다. 복숭아의 총 호기성 세균과 효모 및 곰팡이의 변화는 조사선량에 따라 감소하여 감마선 조사가 미생물 저감효과를 가져오는 것으로 나타났다. 기계적 경도 측정 결과 조사선량이 증가할수록 감소하였으며, 색도 변화는 감마선 조사에 의해 명도(L)가 감소하고, 적색도(a)와 황색도(b)는 증가하는 것으로 나타났다. pH, 가용성 고형물, 총 폴리페놀 함량, 항산화 활성 변화는 감마선 조사된 시료구가 비조사구에 비해 함량이 높게 나타났으며, 선량에 비례하여 증가하였다. 비타민 C(아스코르브산) 함량 변화는 조사선량과 저장기간에 비례하여 증가하는 경향을 나타내었으나 감마선 조사에 의한 영향을 나타나지 않았다. 관능검사 결과 비조사구에 비해 조사구에서 높은 기호도를 보였으며, 저장기간이 지남에 따라 비조사구와 조사구(0.5, 1, 1.5 kGy)의 기호도는 유의차를 나타내지 않았다. 따라서 복숭아에 대한 저선량 감마선 조사는 복숭아의 색도, 물리적 특성에 좋지 않은 영향을 나타내지만, 미생물학적 안정성에 효과적이며 항산화능을 증진시키는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단 신진교수연구지원사업(KRF-2006-331-C00319)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

1. Park JD, Hong SI, Park HW, Kim DM. 1999. Modified atmosphere packaging of peaches (*Prunus persica* L. Batsch) for distribution at ambient temperature. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1227-1234.
2. Youn KS, Kim SD. 1999. The status of production and processing of fruits and new processing technology. *Koran J Postharvest Sci Technol* 6: 521-529.
3. Block G, Patterson B, Subar A. 1992. Fruit, vegetables, and cancer prevention: a review of the epidemiological evidence. *Nutr Cancer* 18: 1-29.
4. Chung HS, Kim JK, Kang WW, Youn KS, Lee JB, Choi JU. 2002. Effect of nitric oxide pretreatment on quality of MA packaged peaches. *Korean J Food Sci Technol* 34: 1018-1022.
5. Kim SD, Cho JW. 1999. Processing of peach and it's future prospect. *Res Bulletin, Catholic Univ of Taegu Hyosung* 7: 39-48.
6. Robertson JA, Horvat RJ, Lyon BG, Meredithm FI, Wenter SD, Okie WR. 1990. Comparison of quality characteristics of selected yellow- and white-fleshed peach cultivars. *J Food Sci* 55: 1308-1311.
7. Kang HJ, Chung, HS, Jo DJ, Byun MW, Choi SJ, Choi JU,

Kwon JK. 2003. Effects of gamma radiation and methyl bromide fumigation on physiological and chemical quality of apples. *Korean J Food Preserv* 10: 381-387.
8. UNEP. 1994. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Report of the methyl bromide technical options committee. p 294-304.
9. Wszelaki AL, Mitcham EJ. 2000. Effects of superatmospheric oxygen on strawberry fruit quality and decay. *Postharvest Boil Technol* 20: 125-133.
10. Hatton TT, Cubbedge RH, Windeguth DL, Spalding DH. 1982. Phosphine as a fumigant for grapefruit infested by caribbean fruit fly larvae. *Proc Fla State Hortic Soc* 95: 221-224.
11. Somok RM. 2001. *Controlled atmosphere storage of fruits*. Horticultural Reviews 1. AVI Publishing Co., Westport, CT, USA. p 272-278.
12. Pre-Aymard C, Weksle A, Lurie S. 2003. Responses of *'Anna'*, a rapidly ripening summer apple, to 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biol Technol* 27: 163-170.
13. Mizutani F, Golam Rabbany ABM, Akiyoshi H. 1998. Inhibition of ethylene production and 1-aminocyclopropane-q-carboxylate oxidase activity by tropolones. *Phytochem* 48: 31-34.
14. Byun MW, Yook HS. 2003. Internal and external situation of irradiation technology utilization in the food and public health industry. *Korean J Food Preserv* 10: 106-123.
15. Byun MW. 1997. Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci Ind* 30: 89-100.
16. Choi JH, Im JS, Oh DH. 2006. Effect of gamma irradiation on the microbiological and physicochemical quality changes of steamed waxy corns during storage. *Korean J Food Preserv* 13: 292-298.
17. Food Code. 2003. Conduct laboratory testing according to specifications and test methods of the Food Code. Korea Food & Drug Administration, Moon Yong Press, Seoul. p 894-918.
18. Youssef BM, Asker AA, El-Samahy SK, Swailam HM. 2002. Combined effect of steaming and gamma irradiation on the quality of mango pulp stored at refrigerated temperature. *Food Res Intern* 35: 1-13.
19. Prakash A, Manley J, DeCosta S, Caporaso F, Foley D. 2002. The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomatoes. *Radiat Phys Chem* 63: 387-390.
20. Wen HW, Chung HP, Chou FI, Lin IH, Hsieh PC. 2006. Effect of gamma irradiation on microbial decontamination, and chemical and sensory characteristic of lycium fruit. *Radiat Phys Chem* 75: 596-603.
21. Yun HJ, Lim SY, Hur JM, Jeong JW, Yang SH, Kim DH. 2007. Changes of functional compounds in, and texture characteristics of, apples, during post-irradiation storage at different temperatures. *Korean J Food Preserv* 14: 239-246.
22. EL-Samahy SK, Youssef BM, Askar AA, Swailam HMM. 2000. Microbiological and chemical properties of irradiated mango. *J Food Safety* 20: 39-156.
23. 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.
24. Wetzel K, Huebner G, Baer M. 1985. International symposium on food irradiation processing. IAEA/FAO. Washington, DC, USA. p 13.
25. Lee JE. 1997. Effect of electron-beam irradiation on quality attributes of powdered red pepper and ginger. *MS thesis*. Kyungpook National University, Taegu, Korea.
26. Cho Ho, Kwon JH, Byun MW, Kim YJ, Yang JS. 1986. 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.
27. Kwon JH, Kang HJ, Jo DJ, Chung HS, Kwon YJ, Byun MW, Choi SJ, Choi JU. 2002. Effects of gamma radiation and methyl bromide fumigation on quarantine pest and quality of Asian pears. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 57-63.
28. Joeshoson ES, Peterson MS. 1983. *Preservation of food by ion-izing radiation*. CRC Press Inc., Boca Raton, FL. p 231-251.
29. Kang HJ, Chung HS, Jo DJ, Byun MW, Choi SJ, Choi JU, Kwon JH. 2003. Effects of gamma radiation and methyl bromide fumigation on physiological and chemical quality of apples. *Korean J Food Preserv* 10: 381-387.
30. Cha JH, Hwang BH, Lee EJ, Lee GP, Kim JK. 2006. Effect of 1-methylcyclopropene treatment on quality and ethylene production of muskmelon (*Cucumis melo* L. cv. Reticulatus). *Kor J Hort Sci Technol* 2: 452-458.
31. Hussain PR, Meena RS, Dar MA, Wani AM. 2008. Studies on enhancing the keeping quality of peach (*Prunus persica* Bausch) Cv. Elberta by gamma-irradiation. *Radiat Phys Chem* 77: 473-481.
32. Choi SY, Kim SY, Hur JM, Choi HG, Sung NJ. 2006. Antioxidant activity of solvent extracts from *Sargassum thunbergii*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 139-144.
33. Kim HJ, Jo CH, Lee NY, Son JH, An BJ, Yook HS, Byun MW. 2005. Effect of gamma irradiation on physiological activity of citrus essential oil. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 797-804.
34. Byun MW, Yook HS, Kim KS, Chung CK. 1999. Effects of gamma irradiation on physiological effectiveness of Korean medicinal herbs. *Radiat Phys Chem* 54: 291-300.
35. Yanez GM, Artega GA, Miranda JF, Pardo A, Sampere E, Castillo E, Serrano G. 1990. Stability of vitamin C content in grapefruit treated with gamma irradiation. *Agroquim Technol Aliment* 30: 409-415.
36. Patil BS, Vanamala J, Hallman G. 2004. Irradiation and storage influence on bioactive components and quality of early and late season 'Rio Red' grapefruit (*Citrus paradisi* Macf.). *Postharvest Biol Technol* 34: 53-64.

(2009년 1월 5일 접수; 2009년 1월 16일 채택)