

저선량 전자선 조사가 살구의 저장 중 품질특성에 미치는 영향

이정옥¹ · 이성아¹ · 김미선¹ · 황혜림¹ · 김경희¹ · 천종필² · 육홍선^{1*}

¹충남대학교 식품영양학과

²충남대학교 원예학전공

The Effects of Low-dose Electron Beam Irradiation on Quality Characteristics of Stored Apricots

Jeong-Ok Lee¹, Seong-A Lee¹, Mi-Seon Kim¹, Hye-Rim Hwang¹,
Kyoung-Hee Kim¹, Jong-Pil Chun², and Hong-Sun Yook^{1*}

¹Dept. of Food and Nutrition, and ²Dept. of Horticulture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

Abstract

Effect of electron beam irradiation (1 and 2 kGy) on apricot was determined in order to develop preservation techniques to enhance shelf-life during 2 weeks at room temperature. Aerobic bacteria and molds/yeasts in apricot were reduced significantly with the increase of irradiation dose. Hardness of apricots decreased during storage by irradiation. Hunter's color value results showed that lightness and redness of irradiated samples were low compared with control samples. Also, sensory test resulting overall acceptability was not significantly different by 1 kGy irradiation during the storage days. Reducing sugar contents was increased gradually, and value of irradiated samples was high compared with non-irradiated sample. Organic acid contents of 2 kGy irradiated samples was not significantly changed during storage. In pH, total sugar, hydrogen donating activity and vitamin C contents, there were no significant differences between treatments. The electron beam treatment on apricots at 1 and 2 kGy did not affect pH, total sugar, hydrogen donating activity and vitamin C contents but improved microbial safety.

Key words: electron beam, irradiation, apricot, quality, climacteric

서 론

살구는 장미목 장미과 *Prunus* 속에 속하는 과실로 다른 과실류와 비교했을 때 내한성이 강하며 독특한 향기를 지니고 있어 신선한 상태로 소비될 뿐 아니라(1) 건조살구, 냉동살구, 잼, 젤리, 마말레이드, pulp, 주스, 넥타 같은 제품으로 이용된다(2). 살구의 생리활성 성분으로는 sugar(glucose, fructose, sucrose), organic acid(malic acid, citric acid), carotenoid(β -carotene), vitamin A, vitamin C, steroid (estrone, estradiol-17- β -ol), prunasin, olein, amanidin 및 benzaldehyde 등이 알려져 있으며, 다양한 생리활성 성분으로 폐를 보습하는 성질이 있어 기관지염, 기관지천식, 기관지 확장증, 변비 개선 작용이 있다(3). 살구는 단경기에 수확되기 때문에 거의 생식용으로 소비되는 추세로 수요보다 공급이 많아서 가격이 하락되고, 고품질 상태로 소비자에게 판매되기 어려운 실정일 뿐 아니라(4,5) climacteric 과실로 수확 직후 품질이 급격히 저하되어 맛과 영양이 감소되며

단기간에 에틸렌 생성량 증가로 판매와 유통에 제약이 따른다(6).

최근 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있는데 대표적인 대체 방법 중의 하나가 방사선 에너지를 이용하는 것으로 식품에 사용이 가능한 방사선 에너지의 형태에는 감마선, 전자선 및 X선이 대표적이다(7). 국제원자력기구(IAEA)와 국제식품조조사자문그룹(ICGFI)에 의하면 과일류는 살충·살균, 검역처리, 숙성지연 등을 목적으로 신선과일류는 세계 11개국에서 1~4 kGy, 건조 과일류는 16개국에서 1~10 kGy 범위의 방사선 처리가 각각 허가되어 있다(8,9). 특히 전자선은 방사선과 달리 처리 후에도 식품에 방사능을 유발하지 않으며 처리 시간이 몇 초 정도로 매우 짧고 처리 후 식품의 온도 변화가 거의 없어 처리 효과가 높은 매우 환경 친화적인 수단으로 알려져 있다(10).

최근 우리나라에서는 전자선의 이용 증대를 위한 연구가 활발히 진행되고 있는데, Ko 등(11,12)은 건조오징어, 통후추 분말, 시판 선식에 전자선을 조사한 결과 식품성분의 변

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

화 없이 미생물학적 안전성 확보와 품질 개선이 가능하며, Koh와 Whang(10)은 1.5, 3.0 kGy 전자선 조사에 의한 돈육의 살균효과를 확인하였고, Min 등(13)은 1 kGy 이하의 전자선 조사가 돈육의 저장기간 연장효과를 가져오며, Lee 등(14)은 2.5~15 kGy 전자선 조사가 고추분말의 이화학적인 영향을 미치지 않는다고 하였다. 또한 국내에서 신선과일에 대한 전자선 조사기술 이용 연구로는 저선량 전자선이 조사된 국내산 참다래의 이화학적 품질변화에 대한 연구(15)가 유일하게 보고되어 있으며 국내산 살구에 대한 전자선 조사 기술의 적용 연구는 보고된바 없다. 이미 국외에서는 과일의 유통 및 저장 중의 품질 유지 수단으로서 전자선 조사를 적용한 연구가 많은데 Moreno 등(16,17)은 전자선 1 kGy 조사는 mango의 품질 유지에 기여하고, 1.6 kGy 조사로 blueberry의 전체적인 과실 품질을 유지시킨다고 보고하였으며, Boynton 등(18)은 1 kGy 전자선 조사로 fresh-cut cantaloupe의 저장기간을 연장시킬 수 있다고 보고하였다. 또한 Yu 등(19)은 1~2 kGy 전자선 조사로 strawberry의 저장기간을 2~4일 확장시킬 수 있다고 보고한바 있다.

이에 본 연구는 살구의 저장 및 유통과정 중의 품질 유지를 위해 살구에 전자선을 조사하여 미생물학적, 물리적 특성 및 이화학적 성분 변화 확인을 통해 살구의 품질에 미치는 영향을 알아보고, 국내산 climacteric 과실의 전자선 조사 기술 이용 가능성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

실험재료

실험에 사용된 살구는 2007년 5월에 경북 영천시에서 재배된 산형 3호 품종으로 구입한 후 포장기(Leepack, Hanguk Electronic, Incheon, Korea)를 이용하여 PE/nylon film(2 mL O₂/m²/24 h, 0°C, 20×30 cm, Sunkyung Co., Seoul, Korea)을 이용하여 20개씩 합기 포장하여 전자선 조사 시료로 사용하였다.

전자선 조사 및 시료의 준비

전자선 조사는 한국원자력연구원 방사선과학연구소(Jeongeup, Korea)의 UELV-electron accelerator(Energy 10 MeV, beam power 10 kW, Russia)를 이용하여 조사에너지 2 MeV, 가속 전류 0.5 mA로 총 흡수선량이 1, 2 kGy가 되도록 양면 조사하고, 흡수선량은 cellulose triacetate (CTA) dosimeter로 확인하였으며 조사한 시료는 비조사된 시료와 함께 20°C에서 2주일 동안 저장하면서 0, 1, 2주에 걸쳐 실험을 실시하였다.

미생물, 색도, 기계적 경도, pH 분석은 살구 생 시료를 이용하였고, 총당, 환원당, 수소공여능, 유기산, vitamin C는 살구의 껍질을 벗기고 마쇄하여 -70°C에서 동결시킨 후 동결건조(SFDSM12-60 Hz, Samwon, Seoul, Korea)한 시료

를 냉동보관하면서 사용하였다.

미생물 생육 변화

살구의 껍질 부위를 4 g 칭량한 뒤 멸균수(0.85% NaCl 용액) 36 mL를 가하고 bag mixer(model 400, Interscience, France)로 균질화한 다음 균질액을 10배씩 단계별로 희석하여 배지에 도말하였다. 일반 호기성 세균은 plate count agar(Difco Labs., Detroit, MI, USA)를 사용하여 접종한 후 30°C에서 24~48시간 배양하여 집락을 계수하였고, 효모 및 곰팡이는 potato dextrose agar(Difco Labs., Detroit, MI, USA)를 사용하여 접종 후 25°C에서 72시간 배양하여 육안으로 계수한 다음 log colony forming unit(log CFU/g)로 나타내었다(20).

기계적 경도 측정

살구의 경도 측정은 texture analyzer(TA-XT2, SMS, Surrey, England)를 이용하였으며, ϕ 5 mm cylinder probe를 사용하여 pre test speed 2.0 mm/sec, test speed 1.0 mm/sec, post test speed 2.0 mm/sec의 조건으로 경도를 반복 측정하였다.

색도 측정

살구의 과육 부위를 헌터색도계(ND-300A, Nippon Denshoku, Tokyo, Japan)를 이용하여 백색도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 반복 측정하였다.

pH 측정

pH 측정은 분쇄한 시료 5 g에 증류수를 45 mL 가하여 pH meter(PHM 210, Radiometer, Lyon, France)를 이용하여 측정하였다.

총당 및 환원당 함량 측정

총당 함량은 동결건조된 시료를 증류수에 희석하여 희석액 1 mL를 취해 5% 페놀용액 1 mL, 황산 5 mL를 넣고 혼합한 뒤 실온에서 20분 방치하여 spectrophotometer(Ultrospec 4300 pro UV/visible spectrophotometer, Buckinghamshire, UK)로 490 nm에서 흡광도를 측정하였다(21).

환원당 함량은 희석액 1 mL를 취해 DNS시약(dinitrosalicylic acid 0.5 g, NaOH 8 g, rochell salt 150 g을 증류수에 녹여 500 mL로 정용)을 2 mL 넣고 혼합한 후 10분간 끓는 물에 넣었다가 꺼내서 얼음물에 식히고 spectrophotometer(Ultrospec 4300 pro UV/visible spectrophotometer, Buckinghamshire, UK)로 550 nm에서 흡광도를 측정하였다(22). 총당과 환원당 함량은 glucose를 이용한 표준검량식에 흡광도를 적용하여 함량을 구하였다.

수소공여능 측정

동결건조된 시료 1 g에 methanol을 9 mL 가하여 실온에서 24시간 추출한 뒤 2400 rpm에서 20분간 원심분리 하여 얻은 상등액을 시료용액으로 사용하였고, 0.2 mM DPPH

(2,2-diphenyl-1-picryl-hydrazyl)용액 1 mL과 시료용액 1 mL를 가하여 혼합한 뒤 30분 뒤에 methanol을 blank로 하여 517 nm에서 spectrophotometer(Ultrospec 4300 pro UV/visible spectrophotometer, Buckinghamshire, UK)로 흡광도를 측정하였다. 수소공여능은 다음과 같은 계산식에 의해 환산하였다(23).

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

유기산 함량 측정

동결건조된 시료 1 g을 증류수로 100 mL 정용하고 이를 10 mL 취하여 페놀프탈레인 용액을 1~2방울 떨어뜨린 뒤 0.1 N NaOH 용액으로 분홍색이 나타날 때까지 적정하였고 blank는 증류수를 사용하였다(24).

Vitamin C 함량 측정

동결건조된 시료 1 g을 메타인산·초산용액(초산 80 mL, 메타인산 30 g을 증류수에 녹여 1 L로 정용)에 녹여 100 mL로 정용한 후 이를 10 mL 취해 인도페놀용액(Na₂CO₃ 125 mg, 인도페놀 125 mg을 증류수에 녹여 500 mL로 정용)으로 적정하였고 blank는 vitamin C 표준용액(0.1 mg/mL)으로 하였다(25).

관능평가

식품영양학과 대학 및 대학원생 중 20명을 관능 검사요원으로 선발하여 본 실험의 취지 및 방법 설명을 하고, 난수를 써놓은 시료를 무작위로 배열하여 나눠준 뒤 시료의 color, flavor, overall acceptability를 5: 매우 좋다, 4: 좋다, 3: 보통이다, 2: 좋지 않다, 1: 매우 좋지 않다 로 5점 척도 방법으로 평가하도록 하였으며, sourness, sweetness, texture 항목에 대해서는 5: 매우 강하다, 4: 조금 강하다, 3: 보통이다, 2: 조금 약하다, 1: 매우 약하다 로 평가하도록 하였다.

통계분석

모든 분석은 3회 이상 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들은 SPSS software에서 Duncan의 다중검정법으로 p<0.05 수준에서 유의차 검정을 실시하였다.

결과 및 고찰

미생물 생육 변화

전자선 조사된 살구의 각 선량에 따른 미생물 감소 효과는 Table 1에 나타내었다. 저장 초기 살구의 호기성 미생물 오염도는 비조사구에서 3.78 log CFU/g, 1 kGy 조사구에서 1.23 log CFU/g, 2 kGy 조사구에서 0.62 log CFU/g으로 조사선량이 증가함에 따라 살구의 호기성 미생물 수가 감소하는 것으로 나타났다. 효모 및 곰팡이 수 역시 비조사구에서 4.43 log CFU/g, 1 kGy 조사구에서 3.08 log CFU/g, 2 kGy

Table 1. Changes in microbial growth of electron beam irradiated apricots stored for 2 weeks at 20°C
(unit: log CFU/g)

	Irradiation dose (kGy)	Weeks in storage			
		0	1	2	SEM ²⁾
Total bacteria	0	3.78 ^{aC1)}	4.67 ^{aB}	6.25 ^{aA}	0.10
	1	1.23 ^{bC}	2.74 ^{bB}	4.41 ^{bA}	0.64
	2	0.62 ^{bB}	2.97 ^{bA}	3.36 ^{cA}	0.51
	SEM ²⁾	0.78	0.21	0.19	
Yeasts and molds	0	4.43 ^{aC}	4.77 ^{aB}	6.49 ^{aA}	0.08
	1	3.08 ^{aB}	3.42 ^{bAB}	3.67 ^{bA}	0.22
	2	1.21 ^{bB}	2.78 ^{cA}	3.20 ^{cA}	0.60
	SEM	0.60	0.18	0.13	

¹⁾Different letters within a same column (a-c) and a same row (A-C) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=12).

조사구에서 1.21 log CFU/g으로 전자선 조사 직후 모든 조사구에서 조사선량이 증가할수록 미생물 수가 감소하는 경향을 보여 2 kGy으로 조사된 살구에서는 미생물 검출이 매우 적은 것으로 나타났다. 또한 저장기간이 지남에 따라 전 시료에서 미생물의 농도가 증가하는 것으로 나타났으며, 전자선 조사선량이 증가할수록 미생물 증식률은 낮은 것으로 나타났다. 따라서 2 kGy까지의 전자선 조사는 살구의 미생물의 생육을 억제하여 저장품질을 유지시키는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 Ko 등(11,12)의 연구에서 시판 선식, 통후추 분말, 건조 오징어에 존재하는 미생물이 전자선 조사에 의해 감소했다는 결과와 일치하는 것이며, sliced cantaloupe에 대한 0.7~1.4 kGy의 전자선 조사는 미생물의 생육을 감소시키고, 미생물의 수가 저장 21일 동안 계속적으로 증가했다는 Palekar 등(26)의 연구결과와 같았다.

기계적 경도 변화

살구의 경도는 살구의 품질을 결정하는 주요 요인으로 저장 중 전자선 조사선량에 따른 살구의 경도 변화는 Table 2에 나타내었다. 전자선 조사 직후에는 전자선 조사선량 증가에 의한 물성의 차이가 보이지 않았으나 저장 1주부터 조사구에서 경도가 급격히 감소하기 시작하였다. 저장 1주에 1 kGy 조사구(843.53 g)에서 대조구(1233.27 g)에 비해 약 32% 감소율을 보인 반면 2 kGy 조사구(690.70 g)는 약 56%의 감소율을 보여 전자선 조사선량의 증가에 따라 경도가

Table 2. Changes in hardness of electron beam irradiated apricots stored for 2 weeks at 20°C
(unit: g)

	Irradiation dose (kGy)	Weeks in storage			
		0	1	2	
Hardness	0	1251.20 ^{aA1)}	1233.27 ^{aA}	1053.53 ^{aA}	163.67
	1	1202.30 ^{aA}	843.53 ^{abB}	352.30 ^{bC}	91.88
	2	1257.00 ^{aA}	690.70 ^{bB}	188.70 ^{cC}	128.84
	SEM ²⁾	143.16	172.08	41.54	

¹⁾Different letters within a same column (a-c) and a same row (A-C) differ significantly (p<0.05).

²⁾Standard error of the means (n=9).

급격히 감소하는 것으로 나타났다. 저장 2주째 역시 1주와 같은 경향의 결과를 보였는데 비조사구가 1053.53 g, 1 kGy 조사구와 2 kGy 조사구가 각각 352.30 g, 188.70 g으로 전자선 조사에 의해 살구의 물리적 변화가 일어나면서 연화가 가속된 것으로 보인다. 이는 1.0~3.2 kGy 전자선을 조사한 블루베리의 경도가 저장 14일 동안 점차 감소하였다는 Moreno 등(17)의 연구 결과와 비슷한 경향을 보였으며, Egea 등(6)이 0.5, 1.0 kGy 전자선을 조사한 살구를 14일 동안 저장하면서 연구한 결과 저장기간 동안 조사구가 비조사구에 비해 경도 감소율이 높았으며, 계속적으로 경도가 감소하였다고 보고하여 본 연구 결과와 같았다. 또한 이러한 결과에 대해 Zhao 등(27)은 전자선 조사에 의해 과일의 cellulose와 hemicellulose 같은 세포벽 성분이 붕괴되었기 때문이라고 보고하였다. 감마선 조사 기술 역시 과실의 hardness를 감소시키는 것으로 알려져 있어(28) 과실 품질에 영향을 미치지 않는 적절한 조사선량에 대한 연구가 필요할 것이라 사료된다.

색도 변화

저장 2주 동안 전자선이 조사된 살구의 색도는 유의적인 차이를 나타냈으며, 그 측정 결과는 Table 3에 나타내었다. 저장 0주에 비조사구는 42.59, 1 kGy 조사구는 41.42, 2 kGy 조사구는 40.56으로 전자선 조사에 의해 lightness가 감소되었고, 저장 1주, 2주에도 조사구의 lightness가 비조사구보다 낮은 추이를 보였다. 또한 2 kGy 조사구의 경우 0주 40.56, 1주 42.35, 2주 35.84로 1 kGy 조사된 살구(41.42, 40.86, 37.22)의 lightness보다 감소율이 큰 것으로 나타났다. Redness는 저장 초기 비조사구(14.16)가 조사구(16.45, 16.13)보다 낮은 것으로 나타났지만 저장 1주와 2주에는 조사구가 비조사구보다 낮은 수치를 보였다. 시료의 yellowness는 조사 직후 및 저장 중 처리구간에 비교적 안정한 값을 유지하

였다. 이상의 결과에서 살구의 lightness, redness가 저선량의 전자선 조사에 의해 영향을 받는 것을 알 수 있었다. Egea 등(6)은 0.5, 1 kGy 전자선 조사된 살구의 색도 측정결과 저장 14일 동안 비조사구와 조사구간에 약간의 차이는 있지만 유의적인 차이는 나타나지 않았다고 하였으며, 1 kGy이하 전자선 조사에 의한 약간의 색도 차이는 전자선 조사를 제한할 만한 요소는 아니라고 보고한 바 있다. 따라서 본 연구에서 나타난 1 kGy 조사구의 색도변화는 살구의 품질을 저해할 만한 수준은 아니라고 사료된다.

pH의 변화

전자선 조사된 살구의 저장기간 중 pH변화는 Fig. 1과 같다. 저장 0주 비조사구의 pH는 3.44, 1 kGy 조사구 pH는 3.41, 2 kGy 조사구 pH는 3.41로 조사구와 비조사구 간에 유의적인 차이를 보였다. 또한 저장 1주에는 비조사구 pH 3.44, 1 kGy 조사구 pH 3.47, 2 kGy 조사구 pH 3.44로 모든 시료의 pH가 3.49로 나타난 저장 2주의 결과와 다르게 나타났는데 0주와 마찬가지로 그 차이가 pH 0.03으로 미미한 수준이므로 전자선 조사에 의해 영향을 받지 않은 것이라 사료된다. 이는 1~3.2 kGy 전자선 조사에 의해 blueberry의 pH가 영향을 받지 않았고, mango에 대한 1~1.5 kGy 전자선 조사 역시 위와 같은 결과로 나타났다는 Moreno 등(16,17)의 연구 결과와 일치하는 것으로 과실에 대한 2 kGy까지의 저선량 전자선 조사는 pH에 영향을 미치지 않을 것이라 사료된다.

총당 및 환원당 함량 변화

전자선 조사된 살구의 저장기간 중 총당과 환원당 함량변화를 측정된 결과는 Fig. 2, Fig. 3과 같다. 총당 함량은 저장 0주 약 50~59%, 저장 1주 48~53%, 저장 2주 42~52%로 비조사구보다 조사구의 총당 함량이 증가하였으나 조사선량에 따른 유의적 차이는 없었고, 저장 2주 동안 감소하는 경향을 보였다. 이는 가공된 감자 조각에 1.5 kGy까지 감마

Table 3. Changes in Hunter's color values of electron beam irradiated apricots stored for 2 weeks at 20°C

	Irradiation dose (kGy)	Weeks in storage			SEM ²⁾
		0	1	2	
L (lightness)	0	42.59 ^{aB1)}	44.61 ^{aA}	42.24 ^{aB}	0.76
	1	41.42 ^{abA}	40.86 ^{bA}	37.22 ^{bB}	0.69
	2	40.56 ^{ba}	42.35 ^{ba}	35.84 ^{bB}	0.95
	SEM ²⁾	0.68	0.93	0.79	
a (redness)	0	14.16 ^{ba}	16.46 ^{aA}	16.41 ^{aA}	1.31
	1	16.45 ^{aA}	12.10 ^{bb}	13.18 ^{obB}	0.64
	2	16.13 ^{aA}	16.83 ^{aA}	12.48 ^{obB}	0.82
	SEM	0.79	0.78	1.24	
b (yellowness)	0	21.25 ^{bb}	24.25 ^{aA}	23.92 ^{aA}	0.37
	1	22.66 ^{aA}	21.33 ^{bb}	20.15 ^{bc}	0.45
	2	21.52 ^{bb}	23.63 ^{aA}	20.58 ^{bc}	0.44
	SEM	0.52	0.39	0.33	

¹⁾Different letters within a same column (a,b) and a same row (A-C) differ significantly ($p < 0.05$).

²⁾Standard error of the means ($n=27$).

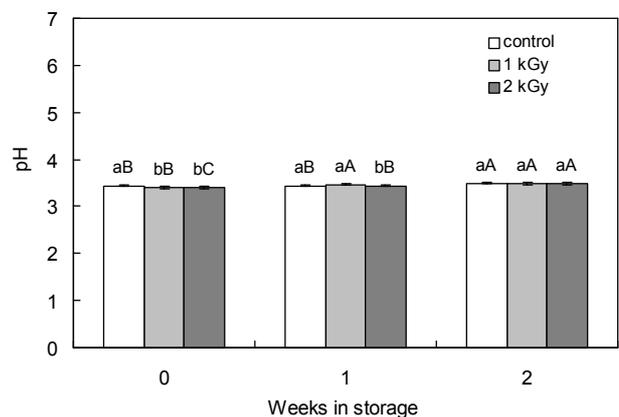


Fig. 1. Changes in pH of electron beam irradiated apricots stored for 2 weeks at 20°C.

^{a,b}Means with different superscripts in the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{A-C}Means with different superscripts in the same irradiation dose are significantly different ($p < 0.05$).

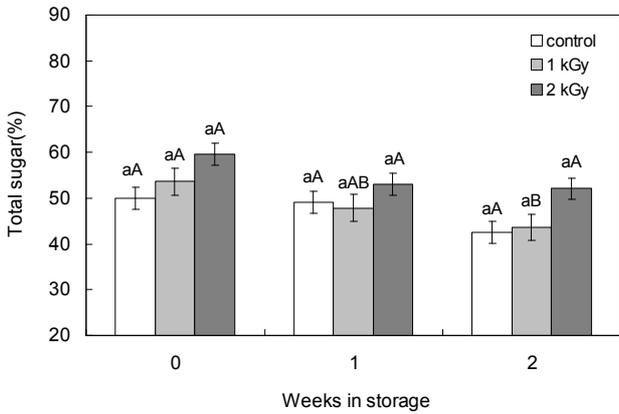


Fig. 2. Changes in total sugar contents of electron beam irradiated apricots stored for 2 weeks at 20°C.
^aMeans with different superscripts in the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{A,B}Means with different superscripts in the same irradiation dose are significantly different ($p < 0.05$).

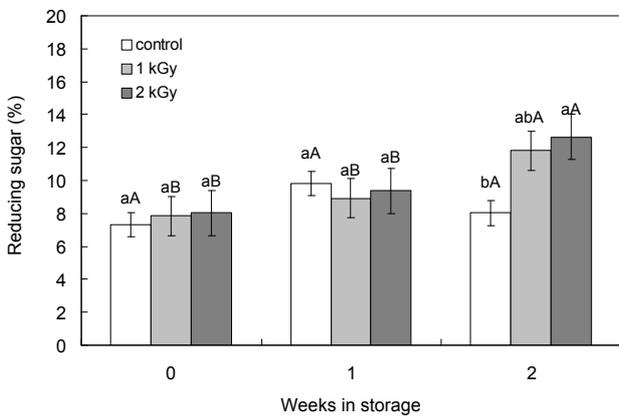


Fig. 3. Changes in reducing sugar contents of electron beam irradiated apricots stored for 2 weeks at 20°C.
^{a,b}Means with different superscripts in the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{A,B}Means with different superscripts in the same irradiation dose are significantly different ($p < 0.05$).

선을 조사한 결과 유의적으로 총당 함량이 감소했다는 Baskaran 등(29)의 보고와 상이한 결과이며, 감귤피의 총당은 0.5 kGy 전자선 조사에 의해 변하지 않았다는 Mei(30)의 보고와 유사한 결과이다.

또한 총당 함량 결과와 다르게 환원당 함량은 저장 0주에 7.33%(비조사구), 7.84%(1 kGy 조사구), 8.03%(2 kGy 조사구)로 유의적 차이는 없으나 전자선 조사에 의해 증가하는 것으로 나타났으며, 저장 1주에도 비조사구와 조사구간에 유의적 차이는 없었다. 저장 2주에는 비조사구가 8.03%, 1 kGy 조사구 11.81%, 2 kGy 조사구가 12.64%로 전자선 조사구가 높은 함량은 보였으며, 조사구의 경우 저장 2주 동안 환원당 함량이 증가하는 추이를 나타냈다. Nanyga-Mercado와 Alabastro(31)가 0.5~1 kGy 전자선 조사된 straw mushroom의 환원당 함량은 변화가 없었다고 보고한 반면 Pur-

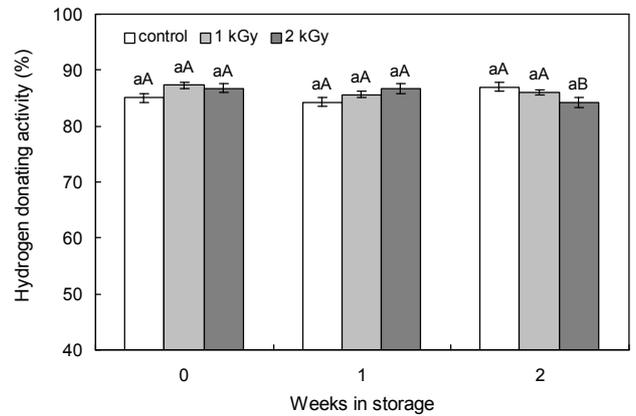


Fig. 4. Changes in hydrogen donating activity of electron beam irradiated apricots stored for 2 weeks at 20°C.
^aMeans with different superscripts in the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{A,B}Means with different superscripts in the same irradiation dose are significantly different ($p < 0.05$).

wanto와 Maha(32)는 0.5 kGy 감마선 조사에 의해 papaya의 환원당 함량이 증가한다고 보고하여 본 연구 결과와 일치하였다.

수소공여능 변화

전자선 조사된 살구의 저장 2주 동안 조사선량별 수소공여능 변화는 Fig. 4와 같다. 저장 0주의 수소공여능은 비조사구 85.10%, 1 kGy 조사구 87.28%, 2 kGy 조사구 86.74%로 비조사구와 조사구간에 유의적 차이가 없었으며, 저장 1, 2주에도 동향을 보였다. 저장 2주간 전자선 조사된 살구의 수소공여능은 비조사구와 1 kGy 조사구에서 약 84~87%를 보여 유의적 차이가 없는 것으로 나타났으며, 2 kGy 조사구는 저장기간 동안에 86.74, 86.73, 84.24%로 유의적 차이는 있었으나 그 차이가 2.2%로 전자선 조사에 의해 영향을 받은 것은 아니라 보인다. Kim 등(33)은 착즙하고 남은 껍질 찌꺼기에 3.6~37.9 kGy 전자선을 조사하여 수소공여능을 측정된 결과 메탄올 추출된 시료에서 가장 높은 수소공여능을 보였으며, 전자선 조사선량 간에 유의적 차이가 나타나지 않았다고 하여 본 실험 결과와 일치하였다. 또한 0.3~0.6 kGy 전자선 조사는 참다래의 수소공여능에 영향을 미치지 않는다는 Kim 등(15)의 결과와도 일치하는 결과이며, 3~20 kGy 감마선 조사에 의해 파배기 모자반 물 추출물의 항산화능이 비조사구와 조사구간에 3~7% 차이가 있었다는 Kim 등(34)의 연구 결과와 비교했을 때 방사선(감마선, 전자선) 조사에 의해 항산화 활성이 증가하지만 증가폭은 크지 않은 것으로 확인되었다.

유기산 함량 변화

저장 2주 동안 전자선을 조사한 살구의 유기산 함량 변화는 Fig. 5에 나타내었다. 일반적으로 살구를 비롯한 대부분의 후숙 과실은 유기산이 호흡작용에 의해 소비되므로 저장

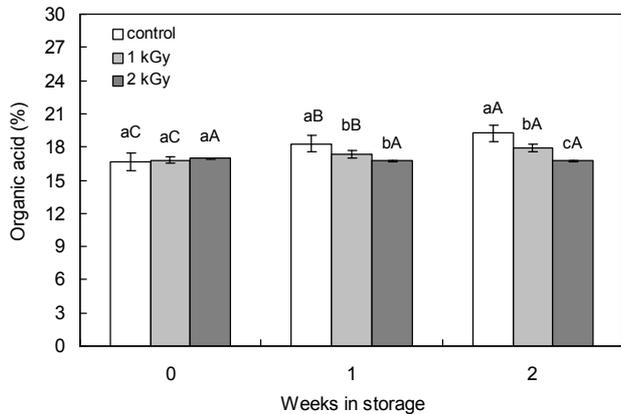


Fig. 5. Changes in organic acid contents of electron beam irradiated apricots stored for 2 weeks at 20°C.

^{a-c}Means with different superscripts in the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{A-C}Means with different superscripts in the same irradiation dose are significantly different ($p < 0.05$).

시간이 길수록 신맛이 감소하게 된다. 저장 0주에 비조사구와 조사구는 모두 약 16~17%의 유기산 함량을 보여 유의적 차이는 나타나지 않았고, 저장 1주부터 조사선량이 커짐에 따라 18.29%(비조사구), 17.30%(1 kGy 조사구), 16.72%(2 kGy 조사구)로 함량이 감소하였다. 저장 2주에는 비조사구 19.25%, 1 kGy 조사구가 17.94%, 2kGy 조사구가 16.72% 함량을 보여 조사선량이 증가할수록 유기산 함량이 감소하는 경향을 보였다. 저장 2주 동안 비조사구와 1 kGy 조사구의 유기산 함량은 유의적 차이가 나타났으나 그 차이가 적어 우려할 만한 수준은 아니라 사료되며, 2 kGy 조사구는 저장 2주 동안 유기산 함량의 변화가 나타나지 않아 저장기간에 따른 유의적 차이가 없었다. 앞서 나타낸 pH 결과와 비교했을 때 저장 2주간 비조사구와 조사구의 pH 변화는 0.05~0.08로 전자선 조사에 의한 영향이 미미한 것으로 나타났으며, 유기산 결과 역시 저장 2주간 모든 시료에서 1~2% 차이를 나타내 전자선 조사에 의해 영향을 받지 않은 것이라 보인다. 살구 유기산 함량의 대부분은 말산(malic acid)으로서 Egea 등(6)은 저장기간 중 1.0 kGy의 전자선 조사에 의해 산도변화를 보였으며, 2%정도의 산도 변화는 후숙 정도(maturity index)로 봤을 때 비조사구와 큰 차이가 없다고 보고했다.

Vitamin C 함량 변화

살구의 vitamin C의 함량은 전자선 조사선량에 따른 유의적인 변화를 나타내지 않았으며, Fig. 6과 같다. 저장 0주에 2 kGy 조사구에서 0.22 mg/100 mL를 보인 것에 반해 비조사구가 0.25 mg/100 mL, 1 kGy 조사구에서 0.26 mg/100 mL를 보여 다른 시료구에 비해 적게 나타났다. 저장 1주에는 조사선량에 의한 유의적 차이를 보이지 않았고, 저장 2주에서도 유의적인 차이가 나타나지 않았다. 또한 비조사구와 1 kGy 조사구의 경우 저장 2주간 유의적 차이가 없었으며,

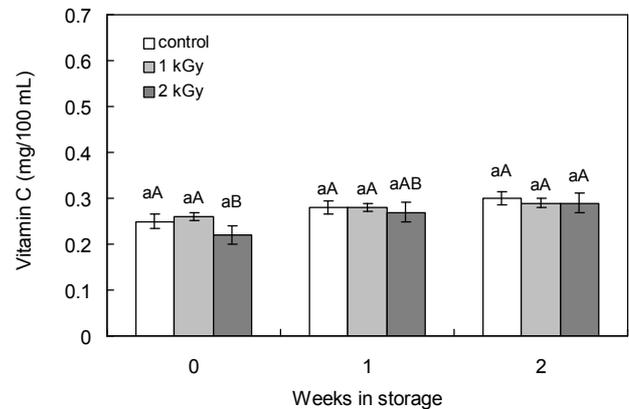


Fig. 6. Changes in vitamin C contents of electron beam irradiated apricots stored for 2 weeks at 20°C.

^aMeans with different superscripts in the same storage period are significantly different ($p < 0.05$). ^{A,B}Means with different superscripts in the same irradiation dose are significantly different ($p < 0.05$).

2 kGy 조사구의 경우 저장 2주간 약 0.7 mg/100 mL이 증가된 것으로 나타났다. 이는 포도에 70~700 Gy의 감마선을 조사한 결과 vitamin C 함량이 조사선량에 따른 뚜렷한 차이를 보이지 않았다는 Patil 등(35)의 결과와 같았다.

관능적 품질

1, 2 kGy 전자선을 조사한 살구의 저장 2주간 관능검사 결과는 Table 4에 나타내었다. 신맛, 단맛, 경도 항목의 측정은 강도측정으로, 색상, 향, 전체적인 기호도 항목에 대해서는 선호도 측정을 한 결과 저장 2주 동안 조사구와 비조사구간에 약간의 관능적 품질 변화가 나타났다. 저장 0주에 신맛 강도 측정결과 비조사구가 4.2점, 1 kGy 조사구 3.5점, 2 kGy 조사구 2.4점으로 전자선 조사에 의해 신맛이 감소되는 것으로 나타났으며, 비조사구와 1 kGy 조사구간에 유의적 차이는 없는 것으로 나타났다. 이 같은 비조사구의 신맛 강도는 저장 1주까지 지속되었으며, 저장 2주에는 각 시료간에 유의적 차이가 나타나지 않았다. 단맛의 강도는 저장 0주와 1주에 비조사구가 1.7점, 1.4점으로 조사구보다 강도가 낮아 유의적 차이를 보였으나 저장 2주에는 2.1점(control), 2.1점(1 kGy 조사구), 2.4점(2 kGy 조사구)으로 유의적 차이를 나타내지 않았으며, 모든 시료에서 저장 2주 동안 단맛의 강도는 유의적 차이를 나타내지 않았다. 조사구의 당 함량이 비조사구의 당 함량보다 높은 것은 총 당 및 환원당 함량이 전자선 조사에 의해 증가되었기 때문인 것으로 보인다. 경도의 강도 측정 결과에서는 저장 0주에 비조사구가 4.1점, 1 kGy 조사구가 2.9점, 2 kGy 조사구가 2.0점으로 전자선 조사에 의해 경도가 감소되는 것으로 나타났고, 비조사구가 저장 2주간 비교적 일정한 강도를 유지한 것에 반해 조사구의 경우 경도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 앞서 설명한 기계적 강도 측정 결과와 일치하는 것으로 비조사구의 기계적 강도가 저장 2주간 유의적 차이 없이 비교적 일정한 강도를

Table 4. Changes in sensory test of electron beam irradiated apricots stored for 2 weeks at 20°C

	Irradiation dose (kGy)	Weeks in storage			
		0	1	2	SEM ⁴⁾
Sourness	0	4.2 ^{aA3)}	4.4 ^{aA}	3.7 ^{aA}	0.44
	1	3.5 ^{aA}	3.4 ^{bA}	3.0 ^{aA}	0.43
	2	2.4 ^{bA}	3.4 ^{bA}	2.7 ^{aA}	0.48
	SEM ⁴⁾	0.43	0.381	0.53	
Intensity ¹⁾ Sweetness	0	1.7 ^{bA}	1.4 ^{bA}	2.1 ^{aA}	0.34
	1	2.5 ^{abA}	2.4 ^{aA}	2.1 ^{aA}	0.40
	2	2.8 ^{aA}	2.4 ^{aA}	2.4 ^{aA}	0.47
	SEM	0.42	0.40	0.41	
Texture	0	4.1 ^{aA}	4.4 ^{aA}	4.0 ^{aA}	0.34
	1	2.9 ^{bAB}	3.6 ^{bA}	2.4 ^{bB}	0.42
	2	2.0 ^{cB}	2.8 ^{cA}	1.1 ^{cC}	0.35
	SEM	0.40	0.35	0.36	
Color	0	2.6 ^{bB}	3.8 ^{aA}	4.0 ^{aA}	0.44
	1	4.1 ^{aA}	3.1 ^{ab}	2.1 ^{bC}	0.41
	2	3.7 ^{aA}	4.0 ^{aA}	2.2 ^{bB}	0.47
	SEM	0.42	0.44	0.46	
Acceptability ²⁾ Flavor	0	3.0 ^{aA}	3.3 ^{aA}	3.0 ^{aA}	0.44
	1	3.1 ^{aA}	2.9 ^{aA}	2.9 ^{aA}	0.49
	2	3.1 ^{aA}	2.7 ^{aA}	1.8 ^{bB}	0.41
	SEM	0.40	0.45	0.49	
Overall acceptability	0	2.5 ^{aA}	2.4 ^{aA}	3.1 ^{aA}	0.54
	1	3.3 ^{aA}	3.0 ^{aA}	2.6 ^{abA}	0.37
	2	3.2 ^{aA}	3.3 ^{aA}	1.9 ^{bB}	0.51
	SEM	0.39	0.51	0.53	

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=60).

유지한 것에 반해 조사구의 기계적 경도가 급격히 감소한 것은 조사선량의 증가에 의한 것이라 사료된다.

색상에 대한 선호도 조사에서 저장 0주에 조사구가 비조사구에 비해 높은 선호도를 나타낸 것은 전자선 조사에 의해 살구의 후숙이 촉진되어 redness가 감소하였기 때문인 것으로 보이며, 저장 2주에 비조사구가 4.0점, 1 kGy 조사구가 2.1점, 2 kGy 조사구가 2.2점으로 비조사구의 선호도가 높은 것으로 나타난 것은 과도한 후숙으로 인해 lightness와 yellowness가 급격히 감소하여 영향을 받은 것이라 사료된다. 향미에 대한 선호도는 저장 1주까지 시료 간에 유의적 차이가 없었고 저장 2주에서만 2 kGy 조사구가 1.8점을 받아 비조사구, 1 kGy 조사구와 유의적인 차이를 보였다. 전체적인 기호도는 저장 0주와 1주에 시료 간에 유의적인 차이가 없었으며, 저장 2주에 2 kGy 조사구가 1.9점으로 가장 낮은 기호도를 보였다. 관능적 품질 결과를 종합해보면 저장 초기 전자선 조사에 의해 살구의 신맛과 단맛은 영향을 받았으나 저장기간이 길어질수록 차이가 없었고, 향미, 전체적인 기호도는 1 kGy까지의 전자선 조사에 의해 뚜렷한 변화를 보이지 않았다. 또한 기계적 경도가 감소한 것과 같이 살구는

전자선 조사에 의해 연화되어 관능적 경도가 감소하였으므로, 살구에 대한 1 kGy까지의 전자선 조사는 연화를 동반하지만 전체적인 기호도는 저해하지 않는 것으로 나타났다. Moreno 등(16,17)은 망고에 대한 1~3.1 kGy 전자선 조사와 blueberry에 대한 1~3.2 kGy 전자선 조사는 과실을 연화시킨다고 보고하여 본 연구 결과와 동일하였다.

요 약

살구에 1, 2 kGy 전자선을 조사한 후 2주간 미생물학적, 물리적, 이화학적 특성의 변화를 통해 품질에 미치는 영향을 알아보았다. 미생물학적 변화에서는 호기성 미생물 및 효모, 곰팡이균의 수가 전자선 조사에 의해 감소하는 것으로 나타났다. 저장기간 동안에 그 수가 증가하였다. 기계적 경도 측정 결과에서는 전자선 조사 직후부터 조사구가 비조사구보다 경도가 낮은 것으로 나타났으며, 조사선량에 비례하여 감소하였다. 또한 관능검사에서도 조사구의 경도가 감소하는 것으로 나타났으며, 1 kGy 조사구의 전체적인 기호도는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 색도 측정에서는 전자선 조사에 의해 lightness, redness가 감소하는 것으로 나타났고, 환원당 함량은 전자선 조사된 시료가 비조사구에 비해 함량이 높은 것으로 나타났다. 또한 유기산 함량에서는 전자선 2 kGy 조사구가 저장기간 중 변화를 나타내지 않았으며, 전자선 조사에 의해 살구의 pH, 총당, 수소공여능 그리고 vitamin C 함량은 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 따라서 살구에 대한 저선량의 전자선 조사는 살구를 연화시켜 저장기간 연장 및 품질 개선에 대한 효과는 관찰되지 않았지만 미생물학적 안전성을 가져오며, 이화학적 품질을 유지시키는 것으로 나타났다.

감사의 글

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

문 헌

1. Yoo SJ, Kim SH, Jun MS, Oh HT, Choi HJ, Ham SS. 2007. Antioxidative, antimutagenic and cytotoxic effects of *Prunus armeniaca* extracts. *Korean J Food Preserv* 14: 220-225.
2. Yildiz F. 1994. New technologies in apricot processing. *J Standard Apricot Special Issue*. Ankara. 67-69.
3. Hu G, Xu S, Li S, Xiao C, Liu S. 2006. Steam gasification of apricot stones with olivine and dolomite as downstream catalysts. *Fuel Processing Technology* 87: 375-382.
4. Cetinkaya N, Ozyardimci B, Denli E, Ic E. 2006. Radiation processing as a post-harvest quarantine control for raisins, dried figs and dried apricots. *Radiat Phys Chem* 75: 424-431.

5. Jung GT, Ju IO, Ryu J, Choi JS, Choi YG. 2003. Studies on manufacture of wine using apricot. *Korean J Food Preserv* 10: 493-497.
6. Egea MI, Martínez-Madrid MC, Sánchez-Bel P, Murcia MA, Romojaro F. 2007. The influence of electron-beam ionization on ethylene metabolism and quality parameters in apricot (*Prunus armeniaca* L., cv Búlida). *LWT* 40: 1027-1035.
7. Jongen Y, Abs M, Genin F, Nguyen A, Capdevila JM, Defrise D. 1993. The rhodotron, a new 10 MeV, 100 Kw, cw metric wave electron accelerator. *Nucl Instrum Meth* 79: 865-870.
8. IAEA. 2001. International atomic energy agency homepage. www.iaea.org/icgfi.
9. KATI. 2001. Korea agricultural trade information homepage. www.kati.co.kr.
10. Koh KH, Whang K. 2002. Effect of electron beam irradiation on the oxidative and microbiological stability of ground pork during storage. *Korean J Food Sci Ani Resour* 22: 316-321.
11. Ko JK, Ma YH, Song KB. 2005. Effect of electron beam irradiation on the microbial safety and qualities of sliced dried squid. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 433-437.
12. 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 Technol* 37: 308-312.
13. Min SJ, Kim IS, Lee MH. 1999. Effects of electron beam radiation on the microflora and sensory characteristics of pork loin. *Korean J Food Sci Technol* 31: 746-750.
14. Lee JE, Lee MH, Kwon JH. 2000. Effects of electron beam irradiation on physicochemical qualities of red pepper powder. *Korean J Food Sci Technol* 32: 271-276.
15. Kim KH, Kwon JS, Lee JO, Lee BC, Park SH, Yook HS. 2007. Physicochemical changes of electron beam-irradiated Korean kiwifruits at low dose levels. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 603-608.
16. Moreno M, Castell-Perez E, Gomes C, Da Silva PF, Moreira RG. 2006. Effects of electron beam irradiation on physical, textural, and microstructural properties of "tommy Atkins" mangoes (*Mangifera indica* L.). *J Food Sci* 71: E80-E86.
17. Moreno MA, Castell-Perez M, Gomes C, Da Silva PF, Moreira RG. 2007. Quality of electron beam irradiation of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) at medium dose levels (1.0-3.2 kGy). *LWT* 40: 1123-1132.
18. Boynton BB, Welt BA, Sims CA, Balaban MO, Brecht JK, Marshall MR. 2006. Effects of low-dose electron beam irradiation on respiration, microbiology, texture, color, and sensory characteristics of fresh-cut cantaloupe stored in modified-atmosphere packages. *J Food Sci* 71: 149-155.
19. Yu L, Reitmeier CA, Gleason ML, Nonnecke GR, Olson DG, Gladon RJ. 1995. Quality of electron beam irradiated strawberries. *J Food Sci* 60: 1084-1087.
20. Kim KH, Lee HJ, Lee S, Kim HJ, Lee EY, Kim NY, Yook HS. 2006. Microbiological · sensorial characteristics of gamma irradiated-commercial powdery soup during accelerated storage. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 1064-1069.
21. Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem* 28: 350-356.
22. Lee JW, Kim IW, Lee KW, Rhee C. 2003. Effects of pasteurization and storage temperatures on the physicochemical characteristics of kiwi juice. *Korean J Food Sci Technol* 35: 628-634.
23. Blois MS. 1958. Antioxidant determination by the use of a stable free radical. *Nature* 181: 1199-1200.
24. Mitcham B, Cantwell M, Kader A. 1996. Methods for determining quality of fresh commodities. *Perishables Handling Newsletter Issue* 85: 1-5.
25. Jun JY, Kwak BM, Ahn JH, Kong UY. 2005. Quantifying uncertainty of vitamin C determination in infant formula by indophenol titration method. *Korean J Food Sci Technol* 37: 352-359.
26. Palekar MP, Cabrera-Diaz C, Kalbasi-Ashtari A, Maxim JE, Miller RK, Cismeros-Zevallos L, Castillo A. 2004. Effect of electron beam irradiation on the bacterial load and sensorial quality of sliced cantaloupe. *Food Microbiol Safety* 69: 267-273.
27. Zhao M, Moy J, Paull RE. 1996. Effect of gamma-ionization on ripening papaya pectin. *Postharvest Biol Technol* 8: 209-222.
28. 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.
29. Baskaran R, Devi AU, Nayak CA, Kudachikar VB, Prakash MNK, Prakash M, Ramana KVR, Rastogi NK. 2007. Effect of low-dose γ -irradiation on the shelf life and quality characteristics of minimally processed potato cubes under modified atmosphere packaging. *Radiat Phys Chem* 76: 1042-1049.
30. Mei HF. 2002. Studies on the storage effects and the peel structure of citrus irradiated by electron beam. *Radiat Phys Chem* 42: 337-338.
31. Nanyga-Mercado L, Alabastro EF. 2004. Effects of irradiation on the storage quality of fresh straw mushrooms (*Volvariella volvacea*). *Food Qual Prefer* 1: 113-119.
32. Purwanto ZI, Maha M. 1998. Effects of heat, irradiation and their combination on the keeping quality of papaya (*Carica papaya* Linn.). *Atom Indonesia* 24: 33-40.
33. Kim JW, Lee BC, Lee JH, Nam KC, Lee SC. 2008. Effect of electron-beam irradiation on the antioxidant activity of extracts from *Citrus unshiu* pomaces. *Radiat Phys Chem* 77: 87-91.
34. Kim AR, Song EJ, Kim MJ, Lee SY, Kim KBWR, Kim JH, Kim SJ, Hong YK, Park JG, Kim JH, Lee JW, Byum MW, Ahn DH. 2008. Effects of gamma irradiation on antioxidant properties and physical characteristics of *Sargassum siliquastrum* water extract. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 357-361.
35. 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.

(2008년 5월 26일 접수; 2008년 7월 9일 채택)