

## 저선량 전자선 조사 수입 오렌지의 상온저장 중 품질 특성

조윤정 · 김경희 · 육홍선  
충남대학교 식품영양학과

### Quality Characteristics of Low-Dose Electron Beam Irradiated-Imported Navel Orange during Storage at Room Temperature (20°C)

Yun-Jeong Cho, Kyung-Hee Kim, and Hong-Sun Yook  
Department of Food and Nutrition, Chungnam National University

**ABSTRACT** This study investigated the effects of low-dose electron beam irradiation treatment on the physicochemical and sensorial properties of imported navel oranges during storage at 20°C for 12 days. The samples were irradiated at doses of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0 kGy, after which changes in color value, hardness, Brix/acid ratio, total sugar contents, reducing sugar contents, vitamin C contents, and sensory evaluation were investigated. There were no significant differences between non-irradiated and irradiated samples in terms of color value, Brix/acid ratio, total sugar contents, total reducing sugar contents, and vitamin C contents. Hardness of irradiated samples significantly decreased in the early storage period in an irradiation dose-independent manner, and the difference between non-irradiated and irradiated samples decreased again at the end of storage. For the sensory evaluation, there was no significant difference between non-irradiated and irradiated samples up to 0.6 kGy, and all sensory item scores decreased at the end of the storage period regardless of irradiation. These results suggest that electron beam irradiation below 0.6 kGy does not affect physicochemical and sensory properties during storage at 20°C. Thus, electron beam irradiation up to 0.6 kGy applied to imported navel oranges is the optimum dose for minimizing quality changes and disinfestation treatment.

**Key words:** electron beam irradiation, orange, quality characteristics, quarantine

## 서 론

2012년 FTA 발효 이후 미국산 수입 오렌지의 평균 수입량은 미국과 우리나라의 농축수산물 관세 장벽을 깨고 발효 이전 대비 약 32%로 큰 폭이 증가하여 국내 과일 시장에서 상당량을 차지하고 있다(FTA 2014). 오렌지는 비타민 C, 칼륨, 펙틴, flavonone 및 carotenoid 등의 생리활성 물질이 풍부해 높은 영양적 가치를 지녔으나(1), 녹색 곰팡이(*Penicillium digitatum*)와 청색 곰팡이(*Penicillium italicum*) 같은 미생물이나 꽃무지, 불룩총채벌레, 하와이총채벌레, 매미충 등 해충 감염에 의한 병해충 발생에 민감하여 수출입 과정에서의 병해충 방제 처리가 필수적으로 이뤄져야 하는 과실이다(2-4).

식물 검역과정에서는 병해충을 방제하기 위하여 포스핀(phosphine, PH<sub>3</sub>), 시안화수소(hydrogen cyanide, HCN) 및 메틸브로마이드(methyl bromide, MB)와 같은 화학 훈증제가 이용되어 왔으나(5), 피조사물에 대한 잔류성과 환경적인 문제로 인해 사용이 금지되거나 사용량 감축에 대한

조약이 체결되면서 대체 기술 개발에 대한 연구가 적극적으로 추진 중이다(6,7).

최근 국제연합식량농업기구(FAO), 국제원자력기구(IAEA), 세계보건기구(WHO) 등의 국제기구에서 식품 방사선 조사 기술을 유용하고 안전한 식품 및 공중보건 제품의 살균방법으로 공인하면서, 방사선 조사가 화학 훈증제를 대체할 검역 기술로서의 역할이 대두되고 있다(8,9). 현재 미국과 중남미, 동남아 등지에서는 망고, 파파야, 람부탄 등과 같은 열대 과일에 방사선을 조사하여 수출하고 있고, 방사선의 범위를 감마선에서 전자선과 X-선으로 확대하여 이용하고 있다(10). 이와 같이 세계적으로 무역의 자유화가 실현되면서 각 나라에서는 검역관리 기술의 이용이 보다 활발하게 이루어지고 있으나 우리나라는 특정 작물에 대한 기초적 수준의 일부 연구만 수행되고 있으며, 더욱이 국내 식물 검역 분야에서 방사선 기술의 이용은 전무한 실정이다(11). 이와 더불어 최근 미국산 navel 오렌지 생과실에서 navel orange-worm(*Amyelois transitella*)이 처음으로 검출되면서 수입 과실에 대한 해충 구제의 필요성이 제기되고 있으며, 오렌지는 목재류 다음으로 메틸브로마이드 사용량이 높은 품목으로 메틸브로마이드 사용을 지양하는 국제 무역의 검역 관리 추세와 함께 해충 방제 방법의 전환이 요구되는 첫 번째 수입과실로 판단된다(12,13).

Received 16 October 2014; Accepted 17 December 2014

Corresponding author: Hong-Sun Yook, Department of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea  
E-mail: yhsuny@cnu.ac.kr, Phone: +82-42-821-6840

과수의 심식해충으로 가장 많이 연구된 codling moth는 200 Gy의 선량으로도 우화의 역제가 가능하다는 Toba와 Burditt(14) 및 Mansour와 Mohamad(15)의 보고가 있으며, Moon 등(16)에 의하면 주요 농업해충(담배가루이, 복숭아혹진딧물, 배추좀나방, 점박이응애)에 전자빔을 조사하였을 때 100 Gy 이하에서 부화가 완전히 억제되거나 우화 억제에 영향을 미쳤음이 보고되어 있다. 이처럼 일반적으로 저선량의 방사선 조사로도 해충의 부화 및 우화의 역제가 가능한 것과 더불어, 방사선 조사 과실에 대한 선행연구에서 1 kGy 이하의 저선량 방사선 조사가 과실과 채소류의 이화학적 및 관능적 품질특성에 큰 영향을 미치지 않았음을 보고한 것은 식물 방역에 있어 방사선 조사의 활용 가치를 입증하는 실례이다(17-20).

전자선은 노출시간이 적고 조사선량의 조절이 용이하다는 장점과 함께 국내에서는 식품에 감마선 조사뿐만 아니라 전자선의 조사를 추가적으로 허용하고 있다(21). 따라서 본 연구에서는 전기를 이용하여 조사 후 방사능(radioactivity)이 없어 소비자 수용도가 감마선에 비해 비교적 높은 이점을 지닌 전자선을 오렌지에 조사한 후 상온저장 중 이화학적 품질 및 관능 특성에 대한 변화를 살펴보고자 한다(22). 나아가 해충 방제를 통한 유통 상 보존성 향상의 목적으로 전자선을 조사한 수입 오렌지 검역 관리의 기초자료로 삼고자 한다.

## 재료 및 방법

### 재료

2014년 2월 대전중앙청과에서 미국 캘리포니아에서 수입된 navel 오렌지(*Citrus sinensis*)를 구입하여 재료로 사용하였다. 오렌지는 전자선 조사한 후 위생 지퍼백(Homeplus, polyethylene, Hwaseong, Korea)에 6개씩 넣어 incubator에서 저장(20±0.1°C)하였으며, 각 저장일마다 각 선량당 18개의 오렌지를 실험에 사용하였다.

### 전자선 조사

전자선 조사는 한국원자력연구원 방사선 과학연구소(Jeongeup, Korea) 내 electron beam accelerator(EB-Tech. Co., Daejeon, Korea)를 이용하여 조사하였다. 시료가 올려진 tray의 속도는 24 m/min으로 맞추고 10 MeV×0.5 mA의 가속기에서 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 kGy의 흡수선량에 도달할 때까지 조사를 반복하였다. 선량은 Codex 등(23)에서 수입 과실에 식물위생의 목적으로 허용되는 조사량을 기준으로 하였고, 흡수선량의 확인은 alanine dosimeter(5 mm, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였다. 비조사구인 0 kGy는 동일한 온도 효과를 얻기 위하여 전자선 조사시설 외부에 보관하였고, 조사 직후 조사구와 함께 저장하였다.

### 시료 준비

전자선 조사 시료는 전자선을 조사하지 않은 비조사구와 함께 20±0.1°C에서 0일, 3일, 6일, 9일 12일 간격으로 저장하면서 분석을 실시하였다. 색도는 과피와 과육, 물성과 관능은 과육 부분을 이용하였다. 산도, 가용성 고형분은 오렌지의 과피를 제거하고 착즙기(GFJ-3070G, NUC Electronics Co. Ltd., Daegu, Korea)로 착즙한 시료를 냉장고에 보관(20±0.1°C)하면서 사용하였으며, 총당 및 환원당, 비타민 C는 착즙한 시료를 여과하여 -70°C에서 보존한 후 동결건조(FD 8518, Ilshin Lab Co. Ltd., Dongducheon, Korea)하여 분말로 만들어 냉동 보관하면서 시료로 사용하였다.

### 색도 측정

과실의 색도 측정은 Hunter 색도계(Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing, Inc., Tokyo, Japan)로 과피, 과육 부분을 시료로 하여 3×3×1 cm 크기로 자른 뒤 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness) 및 전체적인 색차를 나타내는 ΔE 값을 나타냈으며 15회 이상 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다. ΔE 값은 전자선을 조사하지 않은 비조사구를 기준으로 하여  $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$  을 산출하였다.

### 경도 측정

과실의 물성은 texture analyzer(TA/XT2/25, Stable Micro System Co. Ltd., Surrey, England)를 사용하였다. 지름 3 mm의 plunger를 이용하였고 측정조건은 pre test speed 2.0 mm/s, test speed 1.0 mm/s, post test speed 2.0 mm/s, strain 70%로 하며 과실의 과피를 벗겨 과육 부분을 3×3×1 cm 두께로 잘라서 10회 이상 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

### 산도 및 고형분

산도는 착즙한 시료 10 mL를 증류수에 녹여 100 mL로 정용한 뒤 이를 삼각플라스크에 20 mL 취한 후 1% phenolphthalein(Wako Pure Chemical Industries, Ltd., Osaka, Japan) 용액 3~4방울을 떨어뜨리고 0.1 N NaOH 표준용액(Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Anyang, Korea)으로 분홍색이 나타날 때까지 적정하였다.

$$\text{Titrateable acidity (\%)} = \frac{V \times F \times A \times D}{S} \times 100$$

V: 0.1 N NaOH 용액의 적정 소비량

F: 0.1 N NaOH 용액의 역가

A: 0.1 N NaOH 용액 1 mL에 상당하는 유기산의 양(g)

D: 희석배수

S: 시료채취량(mL)

가용성 고형분(Brix)은 착즙한 시료를 착즙, 여과한 착즙액을 일정량 취해 당도계(ATAGO, N-1a, Tokyo, Japan)로

측정하였으며, 당산비는 가용성 고형분과 산도의 비율(Brix/acid ratio)로 나타내었다.

### 총당 및 환원당 함량 측정

시료의 총당 함량은 동결건조 시료 1 g을 증류수에 희석하여 희석액 1 mL를 취하고 5% phenol(Junsei Chemical Co., Ltd., Tokyo, Japan) 용액 1 mL, 황산(Samchun Pure Chemical Co., Ltd.) 5 mL를 넣고 vortexing 한 뒤, 실온에서 20분 정도 방치하고 spectrophotometer(UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 490 nm에서 흡광도를 측정하였다. 환원당은 DNS법(24)을 이용하는데 시료 1 g을 증류수에 희석한 후 이를 1 mL 취해 DNS 시약(dinitrosalicylic acid 0.5 g, NaOH 8 g, Rochelle salt 150 g을 증류수에 녹여 500 mL 정용; Samchun Pure Chemical Co., Ltd.)을 2 mL 넣고 섞은 후 10분간 가열 및 냉각하여 spectrophotometer로 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총당 및 환원당 함량은 glucose(Samchun Pure Chemical Co., Ltd.)를 이용한 표준검량곡선( $R^2=0.996$ ,  $R^2=0.994$ )에 흡광도를 적용하여 계산하였다.

### 비타민 C 함량 측정

동결건조 시료 5 mg을 60% methanol(Samchun Pure Chemical Co., Ltd.)에 용해하여 0.2  $\mu$ m filter(PALL Gelman Laboratory, AnnArbor, MI, USA)로 여과한 후 이를 시험 용액으로 하였다. 분석에 사용된 HPLC는 YL 9100 (Young Lin Instrument Co., Ltd., Anyang, Korea), column은 YMC-Pack ODS-AQ(250 $\times$ 4.6 mm I.D., 5  $\mu$ m), detector는 YL 9120 UV/vis detector, mobile phase는 acetonitrile : water=10:90(v/v), flow rate는 0.7 mL/min으로 하고, 20  $\mu$ L 주입하여 254 nm에서 분석하였다. 비타민 C 정량을 위한 표준물질은 환원형 비타민 C인 L(+)-ascorbic acid(Samchun Pure Chemical Co., Ltd.)를 사용하였고, 이렇게 얻어진 피크의 높이와 면적은 표준검량곡선( $R^2=0.998$ )에 대입하여 검체 중의 함량(mg%)을 산출하였다.

### 관능평가

관능평가에는 훈련된 관능검사 요원 30명을 선발하여 난수를 써놓은 시료를 무작위로 배열하고, 오렌지 과피를 벗긴 과육 부분을 1 cm 두께로 잘라 시료로 제공하였다. 각 시료 간의 차이를 더욱 명확하게 구분하기 위해 대단히 좋다(7점), 아주 좋다(6점), 약간 좋다(5점), 보통이다(4점), 약간 좋지 않다(3점), 아주 좋지 않다(2점), 대단히 좋지 않다(1점)로 구성된 7점 척도방법을 사용하여 시료의 색깔, 단맛, 신맛, 향, 질감, 전체적인 선호도를 평가하였다.

### 통계 처리

모든 실험은 3회 이상 반복 측정하였으며, 그 결과는 SPSS

Statistics 21.0 software(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 통계처리를 하였다. 유의적 차이가 있는 항목에 대해서는 분산분석(ANOVA)을 실시하여 Duncan's multiple range test로  $P<0.05$  수준에서 유의차 검정을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 색도 변화

저선량의 전자선을 조사한 오렌지의 상온저장 중 색도 변화는 과피와 과육으로 나누어 측정하였으며, 그 결과는 Hunter 값을 이용하여 Table 1과 2에 나타내었다. 과피와 과육 모두 조사선량에 따른 일률적인 증감의 경향은 나타나지 않았으며 저장기간에 따라 각각 다른 양상을 나타내었다. 과피의 L(명도), a(적색도), b(황색도) 값은 저장기간이 경과함에 따라 감소하는 경향을 보였고, 과육의 경우 L값은 증가하고 a값은 감소하였으며, b값은 저장기간 전반에 걸쳐 증가나 감소의 경향을 보이지 않았다.

전자선을 조사하지 않은 오렌지 시료를 기준으로 하여 조사구의 명도, 적색도 및 황색도 변화에 따른 전체적인 색차를  $\Delta E$  값으로 표현하였을 때,  $\Delta E$  값의 범위는 과피의 경우 1.05~22.09, 과육의 경우 0.63~5.82의 범위로 나타났다. 과피의 색차 범위는 근소한 차이(slight)에서 매우 큰 차이(very much)로 그 범위가 매우 넓게 나타났으나 각 저장기간별 대조군과의 차이가 일률적이지 않아 조사선량에 따른 증감의 경향은 보이지 않는 것으로 판단된다. 한편 과육의 색차 범위는 근소한 차이에서 눈에 띈 만큼(appreciable)의 범위로 나타났고, 이 역시 각 저장기간별 대조군과의 차이는 일률적이지 않아 전자선 조사가 오렌지 과육의 색도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 보인다. 이는 파프리카에 전자선을 조사했을 때 겉보기 색도(apparent color)에 차이가 없었다고 보고한 Nieto-Sandoval 등(25)의 연구 결과와 일치하는 바이다. 또한 망고와 블루베리에 전자선을 조사한 Moreno 등(26,27)과 cantaloupe에 전자선을 조사한 Castell-Perez 등(28)의 연구에서 비조사구와 조사구 간 유의적인 색도 차를 나타내지 않았던 것과도 일치한다. 더욱이 상기의 결과가 1 kGy 미만의 감마선 조사는 오렌지의 색도적 품질에 영향을 미치지 않는다고 보고한 Kyung 등(17)의 선행연구와 맥락이 같은 것으로 보아 저선량의 전자선 조사는 오렌지의 과피 및 과육의 색도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

### 경도 변화

저선량의 전자선을 조사한 오렌지의 상온저장 중 과육의 경도 변화는 Table 3에 나타내었다. 경도는 감귤류의 유통이나 저장 중 신선도를 측정하는 지표가 되며, 과육의 경도에 따라 저장성을 예측하기도 한다(29). 전자선을 조사한 오렌지의 경도는 저장 초기 비조사구의 경도보다 낮았으나

**Table 1.** Changes on Hunter's color values of orange peels during storage at 20±0.1°C for 12 days after electron beam irradiation

Hunter parameter <sup>1)</sup>	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
		0	3	6	9	12
L	0	65.59±0.74 <sup>bcA2)3)</sup>	64.09±1.28 <sup>cb</sup>	65.67±0.90 <sup>bA</sup>	53.64±2.10 <sup>dc</sup>	53.70±1.76 <sup>cc</sup>
	0.2	65.83±0.62 <sup>bcA</sup>	66.25±0.83 <sup>bA</sup>	61.46±1.82 <sup>db</sup>	55.22±1.28 <sup>bcC</sup>	55.36±1.45 <sup>aC</sup>
	0.4	68.98±0.62 <sup>aA</sup>	66.99±0.53 <sup>bb</sup>	64.06±1.63 <sup>cc</sup>	62.59±1.25 <sup>ad</sup>	53.24±1.67 <sup>ce</sup>
	0.6	65.28±0.34 <sup>cc</sup>	68.52±1.40 <sup>aA</sup>	66.87±1.34 <sup>ab</sup>	54.52±1.44 <sup>cdD</sup>	55.03±0.73 <sup>ad</sup>
	0.8	67.33±0.74 <sup>bb</sup>	69.11±0.72 <sup>aA</sup>	65.37±1.63 <sup>bc</sup>	55.36±0.74 <sup>bd</sup>	53.85±1.10 <sup>bcE</sup>
	1.0	66.48±0.22 <sup>bcA</sup>	64.61±1.06 <sup>cb</sup>	56.67±0.80 <sup>ec</sup>	56.34±1.59 <sup>bc</sup>	54.87±0.90 <sup>abd</sup>
	a	0	29.95±0.66 <sup>aA</sup>	30.16±1.91 <sup>bA</sup>	30.81±0.92 <sup>aA</sup>	25.42±1.03 <sup>abB</sup>
0.2		30.79±1.04 <sup>aA</sup>	28.76±1.64 <sup>cb</sup>	30.21±1.29 <sup>abAB</sup>	26.30±0.52 <sup>aC</sup>	23.73±1.48 <sup>ad</sup>
0.4		27.19±0.97 <sup>bb</sup>	27.83±1.06 <sup>cb</sup>	29.78±1.05 <sup>abA</sup>	24.33±1.46 <sup>bcC</sup>	20.17±1.55 <sup>dd</sup>
0.6		31.74±0.23 <sup>aA</sup>	26.13±2.50 <sup>dbC</sup>	27.01±2.99 <sup>cb</sup>	24.68±1.34 <sup>bcC</sup>	21.03±1.60 <sup>cdD</sup>
0.8		29.55±0.69 <sup>aA</sup>	25.90±1.24 <sup>db</sup>	28.97±0.78 <sup>bA</sup>	24.31±1.97 <sup>bcC</sup>	21.14±0.98 <sup>cdD</sup>
1.0		30.16±0.51 <sup>ab</sup>	33.23±1.38 <sup>aA</sup>	23.79±0.44 <sup>dc</sup>	23.57±1.32 <sup>cc</sup>	21.81±1.51 <sup>bcD</sup>
b		0	71.59±0.94 <sup>aA</sup>	66.74±3.23 <sup>db</sup>	70.86±2.22 <sup>aA</sup>	50.73±2.22 <sup>cc</sup>
	0.2	72.18±0.96 <sup>bcA</sup>	70.28±2.94 <sup>bA</sup>	62.21±3.05 <sup>db</sup>	52.81±2.04 <sup>bcC</sup>	53.72±1.89 <sup>aC</sup>
	0.4	75.95±1.09 <sup>aA</sup>	68.25±2.04 <sup>cdB</sup>	65.03±3.29 <sup>bc</sup>	65.35±1.80 <sup>ac</sup>	46.24±3.46 <sup>dd</sup>
	0.6	71.28±0.53 <sup>ca</sup>	69.20±2.32 <sup>bcB</sup>	72.19±1.35 <sup>aA</sup>	51.40±2.24 <sup>bcC</sup>	49.05±2.88 <sup>bcD</sup>
	0.8	74.29±0.90 <sup>abA</sup>	74.91±0.95 <sup>aA</sup>	67.45±2.93 <sup>bb</sup>	52.12±1.45 <sup>bcC</sup>	47.45±1.10 <sup>cdD</sup>
	1.0	73.72±0.33 <sup>abcA</sup>	67.15±1.07 <sup>db</sup>	51.95±2.56 <sup>ec</sup>	53.38±2.17 <sup>bc</sup>	50.13±1.62 <sup>bd</sup>
	ΔE	0	0	0	0	0
0.2		1.05	4.37	9.64	2.75	4.13
0.4		6.17	4.02	6.13	17.18	4.64
0.6		1.84	6.47	4.19	1.32	2.40
0.8		3.24	10.49	3.88	2.47	3.08
1.0		2.31	3.14	22.09	4.21	1.50

<sup>1)</sup>L: degree of lightness, a: degree of redness, b: degree of yellowness, ΔE: overall color difference ( $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$ ).

<sup>2)</sup>Means±SD (n=15).

<sup>3)</sup>Values with different small letters (a-e) within a column differ significantly ( $P<0.05$ ). Values with different capital letters (A-E) within a row differ significantly ( $P<0.05$ ).

**Table 2.** Changes on Hunter's color values of orange pulp during storage at 20±0.1°C for 12 days after electron beam irradiation

Hunter parameter <sup>1)</sup>	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
		0	3	6	9	12
L	0	49.19±2.02 <sup>abA2)3)</sup>	49.83±1.51 <sup>aA</sup>	49.01±2.54 <sup>aA</sup>	49.28±1.25 <sup>bA</sup>	48.29±1.25 <sup>bA</sup>
	0.2	48.04±1.52 <sup>bb</sup>	48.19±1.61 <sup>bb</sup>	49.34±2.03 <sup>aAB</sup>	48.01±2.76 <sup>bcB</sup>	50.65±1.37 <sup>aA</sup>
	0.4	45.69±1.19 <sup>cc</sup>	48.13±1.70 <sup>bAB</sup>	48.95±1.79 <sup>aA</sup>	46.97±1.47 <sup>cb</sup>	48.07±1.46 <sup>bAB</sup>
	0.6	48.15±1.21 <sup>abc</sup>	48.19±1.58 <sup>bc</sup>	49.39±1.16 <sup>abc</sup>	50.90±2.12 <sup>aA</sup>	50.40±0.81 <sup>aAB</sup>
	0.8	48.11±1.32 <sup>abB</sup>	50.31±2.45 <sup>aA</sup>	49.63±1.22 <sup>aA</sup>	49.56±1.84 <sup>abA</sup>	51.07±1.55 <sup>aA</sup>
	1.0	49.71±2.98 <sup>aAB</sup>	48.31±1.74 <sup>bb</sup>	48.11±1.07 <sup>ab</sup>	48.32±0.84 <sup>bcB</sup>	50.56±1.80 <sup>aA</sup>
	a	0	-0.11±1.29 <sup>aA</sup>	-0.27±0.97 <sup>abA</sup>	-0.77±0.85 <sup>bcA</sup>	-0.44±1.02 <sup>aA</sup>
0.2		-0.24±0.73 <sup>aA</sup>	-1.52±0.73 <sup>cd</sup>	-1.38±0.51 <sup>cdD</sup>	-0.59±0.41 <sup>aAB</sup>	-0.93±0.60 <sup>abBC</sup>
0.4		0.47±0.67 <sup>aA</sup>	-0.44±0.55 <sup>abB</sup>	-0.74±0.40 <sup>bcB</sup>	-1.38±1.02 <sup>bc</sup>	-0.62±0.82 <sup>ab</sup>
0.6		-0.27±0.63 <sup>ab</sup>	0.03±0.45 <sup>ab</sup>	1.21±1.56 <sup>aA</sup>	-2.10±0.80 <sup>cc</sup>	-0.33±0.71 <sup>ab</sup>
0.8		-0.24±0.26 <sup>aA</sup>	-0.78±1.33 <sup>bAB</sup>	-1.20±0.43 <sup>bcB</sup>	-1.42±0.60 <sup>bb</sup>	-1.35±0.80 <sup>bb</sup>
1.0		0.07±1.41 <sup>aA</sup>	-0.86±0.59 <sup>bcBC</sup>	-0.63±0.57 <sup>bb</sup>	-1.43±0.52 <sup>bc</sup>	-1.04±0.71 <sup>abBC</sup>
b		0	33.21±3.80 <sup>abA</sup>	34.71±2.54 <sup>aA</sup>	33.14±2.98 <sup>aA</sup>	34.70±4.30 <sup>aA</sup>
	0.2	32.10±2.67 <sup>abA</sup>	31.89±2.78 <sup>bcA</sup>	32.35±2.93 <sup>aA</sup>	34.90±3.43 <sup>aA</sup>	32.49±1.74 <sup>bA</sup>
	0.4	30.68±4.03 <sup>bA</sup>	31.32±1.85 <sup>ca</sup>	31.76±1.96 <sup>aA</sup>	29.45±3.25 <sup>ca</sup>	31.38±1.41 <sup>bA</sup>
	0.6	32.50±1.17 <sup>abBC</sup>	31.24±3.07 <sup>cc</sup>	34.28±2.96 <sup>abC</sup>	33.62±4.06 <sup>abBC</sup>	36.32±2.19 <sup>aA</sup>
	0.8	30.80±2.98 <sup>bA</sup>	34.12±4.33 <sup>abA</sup>	32.29±2.67 <sup>aA</sup>	30.82±3.05 <sup>bcA</sup>	32.00±4.65 <sup>bA</sup>
	1.0	34.58±4.16 <sup>aAB</sup>	32.30±3.19 <sup>abcBC</sup>	31.80±1.39 <sup>ac</sup>	32.74±3.24 <sup>abcABC</sup>	35.19±2.82 <sup>aA</sup>
	ΔE	0	0	0	0	0
0.2		1.60	3.49	1.05	1.29	2.45
0.4		4.36	3.79	1.38	5.82	0.63
0.6		1.27	3.85	2.32	2.56	4.84
0.8		2.64	0.91	1.14	4.02	2.90
1.0		1.48	2.90	1.61	2.40	3.98

<sup>1)-6)</sup>Subscripts of this table are same as Table 1.

**Table 3.** Changes on hardness of orange during storage at 20±0.1°C for 12 days after electron beam irradiation (unit: kg)

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
	0	3	6	9	12
0	1.17±0.23 <sup>aNS1)2)</sup>	0.99±0.23 <sup>a</sup>	1.08±0.34 <sup>a</sup>	1.08±0.26 <sup>a</sup>	0.91±0.28 <sup>a</sup>
0.2	0.76±0.38 <sup>bNS</sup>	0.78±0.23 <sup>bc</sup>	0.98±0.21 <sup>ab</sup>	0.98±0.25 <sup>a</sup>	0.85±0.15 <sup>a</sup>
0.4	0.92±0.17 <sup>abNS</sup>	0.73±0.24 <sup>c</sup>	0.76±0.15 <sup>b</sup>	0.76±0.29 <sup>a</sup>	0.81±0.31 <sup>a</sup>
0.6	0.78±0.32 <sup>bNS</sup>	0.96±0.12 <sup>ab</sup>	0.86±0.24 <sup>ab</sup>	0.86±0.24 <sup>a</sup>	0.80±0.26 <sup>a</sup>
0.8	0.74±0.27 <sup>bNS</sup>	0.76±0.13 <sup>bc</sup>	0.86±0.28 <sup>ab</sup>	0.86±0.21 <sup>a</sup>	0.80±0.27 <sup>a</sup>
1.0	0.90±0.32 <sup>abNS</sup>	0.87±0.23 <sup>abc</sup>	0.77±0.18 <sup>b</sup>	0.77±0.20 <sup>a</sup>	0.92±0.19 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Means±SD (n=10).

<sup>2)</sup>Values with different letters (a-c) within a column differ significantly ( $P<0.05$ ). NS: not significant.

저장 후기에 이르러서는 조사선량에 따른 유의적인 감소 경향은 나타나지 않았다. 또한 비조사구의 경도는 저장기간 전반에 걸쳐 감소하는 것으로 나타났으나, 조사구의 경우 저장 후기인 12일째에도 0일째와 유사한 수준을 유지하였고, 저장 후기에는 비조사구와 조사구의 경도차가 감소하였다. Zhao(30)에 따르면 전자선 조사에 의한 경도 감소는 과일 cellulose와 hemicellulose와 같은 세포벽 성분이 붕괴됨에서 기인하며, 본 연구에서 저장 초기 조사구의 경도 감소는 같은 현상의 결과로 사료된다. 이와 더불어 감마선 조사 오렌지의 저장 중 저장일의 경과에 따라 비조사구와 조사구 간 경도의 차이가 감소한 Kyung 등(17)의 결과와 본 연구가 일치하여 저선량의 전자선 조사는 오렌지의 저장 초기 정도에는 영향을 미치지 않으나, 그 차이는 저장일이 지남에 따라 감소하는 것으로 보인다.

#### 당산비 변화

전자선 조사된 오렌지의 상온저장 중 당산비 변화를 Table 4에 나타내었다. 감귤류는 수확 이후 숙성을 거치지 않는 비후숙과(non-climatic fruit)로 전분의 감소와 함께 당과 가용성 고형물이 증가하고 산도가 감소하여 당산비가 증가한다(31,32). 감귤류는 당산비가 높을수록 선호도가 증가하는 경향이 있으며, 이는 감귤의 품질과 용도를 결정하는 중요한 지표가 된다(33). 본 연구에서 전자선을 조사한 오렌지의 상온저장 중 당산비의 변화 측정된 결과, 저장 9일에 걸쳐 증가하다가 저장 12일째 다시 감소하였으나 저장초기의 것보다는 다소 높은 수준을 나타냈다. 한편 조사선량 증가에 따른 일률적인 증가나 감소의 경향은 보이지 않았다. 전자선

조사 오렌지의 저장 중 당산비의 증가는 제주산 감귤류가 성숙단계에 이르기까지 당산비가 증가했던 Song 등(34)의 연구 결과와 유사하며, 오렌지에 감마선을 조사하여 상온저장 하였을 때 조사선량과는 관계없이 당산비가 증가하다가 저장 후기에 감소하는 경향을 나타낸 Kyung 등(35)의 결과와 일치하여 1 kGy 이하의 전자선 조사는 오렌지의 상온저장 중 당산비에 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

#### 총당 및 환원당 함량 변화

전자선을 조사한 오렌지의 상온저장 중 총당 및 환원당 함량 변화는 Table 5에 나타내었다. 총당 함량은 저장기간과 조사선량의 증가에 따른 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다. 이는 설토카 감귤을 30일 동안 상온에서 저장하는 동안 총 유리당의 함량이 저장 30일까지 감소하거나 증가하지 않았다는 보고와 일치하며(36), 한라봉의 상온저장 중 총당 함량이 90일까지 변화하지 않았던 것과도 일치한다(37). 또한 사과에 1 kGy의 감마선을 조사하였을 때 총당 함량에서 유의적인 차이를 나타내지 않았다고 보고한 Yun 등(38)의 연구 결과와도 일치한다.

환원당 함량의 변화 역시 총당 함량 변화와 유사하게도 저장기간과 조사선량의 증가에 따른 일률적 경향을 나타내지 않았으며, 이는 감마선 조사된 살구의 환원당 함량이 저장기간과 조사선량에 따른 차이를 나타내지 않았던 Lee 등(39)의 결과와 일치한다. 또한 Lee 등(37)에 의하면 감귤 저장 중 과육으로부터 과피로 수분이 이동하여 중량 감소가 유발되며, 이로써 내용성분의 농축 효과가 일어나 환원당 함량의 변화폭이 크지 않았다고 보고한 바 있어 본 연구의 환

**Table 4.** Changes on Brix/acid ratio of orange during storage at 20±0.1°C for 12 days after electron beam irradiation

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
	0	3	6	9	12
0	14.19±0.56 <sup>cb1)2)</sup>	14.34±0.06 <sup>bb</sup>	13.14±0.20 <sup>ec</sup>	15.39±0.23 <sup>ca</sup>	14.97±0.01 <sup>ba</sup>
0.2	11.95±0.01 <sup>ed</sup>	15.10±0.13 <sup>ab</sup>	16.74±0.01 <sup>ba</sup>	15.02±0.01 <sup>cb</sup>	14.32±0.15 <sup>cc</sup>
0.4	14.73±0.01 <sup>ba</sup>	13.32±0.38 <sup>cc</sup>	14.20±0.01 <sup>db</sup>	12.60±0.01 <sup>ed</sup>	14.82±0.26 <sup>bcA</sup>
0.6	15.63±0.01 <sup>aAB</sup>	12.99±0.43 <sup>cd</sup>	14.86±0.33 <sup>cbC</sup>	16.26±0.43 <sup>ba</sup>	14.33±0.70 <sup>cc</sup>
0.8	13.54±0.01 <sup>dC</sup>	13.31±0.52 <sup>cC</sup>	17.22±0.29 <sup>ab</sup>	17.12±0.18 <sup>ab</sup>	17.80±0.20 <sup>aA</sup>
1.0	13.75±0.01 <sup>dd</sup>	11.91±0.01 <sup>de</sup>	17.12±0.17 <sup>aA</sup>	14.57±0.13 <sup>db</sup>	14.24±0.13 <sup>cc</sup>

<sup>1)</sup>Means±SD (n=3).

<sup>2)</sup>Values with different small letters (a-e) within a column differ significantly ( $P<0.05$ ). Values with different capital letters (A-E) within a row differ significantly ( $P<0.05$ ).

**Table 5.** Changes on total sugar contents and reducing sugar contents of orange during storage at 20±0.1°C for 12 days after electron beam irradiation (unit: g/fresh weight 100 g)

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
		0	3	6	9	12
Total sugars	0	12.76±0.53 <sup>bBC1)2)</sup>	16.27±0.90 <sup>abA</sup>	13.72±0.02 <sup>cB</sup>	15.54±0.90 <sup>bA</sup>	12.28±0.16 <sup>cC</sup>
	0.2	13.81±0.74 <sup>abAB</sup>	12.43±1.15 <sup>dB</sup>	14.05±0.23 <sup>bcAB</sup>	15.21±0.20 <sup>bA</sup>	13.58±1.84 <sup>bcAB</sup>
	0.4	16.99±3.81 <sup>aA</sup>	15.26±1.12 <sup>bcA</sup>	14.59±0.48 <sup>bcA</sup>	15.40±0.74 <sup>bA</sup>	15.00±0.08 <sup>abA</sup>
	0.6	14.07±0.51 <sup>abBC</sup>	13.57±0.53 <sup>cdC</sup>	14.85±0.93 <sup>bcAB</sup>	14.67±0.60 <sup>bABC</sup>	15.59±0.04 <sup>aA</sup>
	0.8	12.68±0.63 <sup>bB</sup>	11.88±1.64 <sup>dB</sup>	15.20±1.27 <sup>bA</sup>	14.69±0.46 <sup>bA</sup>	16.50±0.65 <sup>aA</sup>
	1.0	16.17±1.49 <sup>aBC</sup>	17.80±0.10 <sup>aA</sup>	17.07±0.81 <sup>aAB</sup>	16.63±0.08 <sup>aAB</sup>	15.04±0.40 <sup>abC</sup>
Reducing sugars	0	6.66±0.04 <sup>dD</sup>	8.12±0.08 <sup>cC</sup>	9.07±0.16 <sup>aA</sup>	8.06±0.06 <sup>aC</sup>	8.61±0.13 <sup>cB</sup>
	0.2	7.12±0.02 <sup>bB</sup>	8.32±0.04 <sup>cA</sup>	8.15±0.30 <sup>dA</sup>	7.37±0.52 <sup>bB</sup>	8.24±0.20 <sup>dA</sup>
	0.4	6.89±0.11 <sup>cD</sup>	8.86±0.19 <sup>aA</sup>	8.54±0.25 <sup>cB</sup>	8.09±0.08 <sup>aC</sup>	8.73±0.06 <sup>cAB</sup>
	0.6	6.74±0.07 <sup>cdE</sup>	8.17±0.01 <sup>cC</sup>	8.93±0.05 <sup>abB</sup>	7.07±0.04 <sup>bdD</sup>	9.18±0.02 <sup>bA</sup>
	0.8	7.19±0.22 <sup>bC</sup>	8.57±0.18 <sup>bB</sup>	8.70±0.17 <sup>bcB</sup>	7.04±0.13 <sup>bcC</sup>	9.67±0.10 <sup>aA</sup>
	1.0	7.85±0.03 <sup>aC</sup>	8.73±0.06 <sup>abB</sup>	9.10±0.14 <sup>aA</sup>	6.74±0.17 <sup>cdD</sup>	9.28±0.12 <sup>bA</sup>

<sup>1)</sup>Means±SD (n=3).

<sup>2)</sup>Values with different small letters (a-d) within a column differ significantly ( $P<0.05$ ). Values with different capital letters (A-E) within a row differ significantly ( $P<0.05$ ).

원당 함량의 변화폭의 추이 또한 상기와 같은 현상의 결과로 판단된다.

결과적으로 전자선 조사 오렌지의 상온저장 중 총당과 환원당은 저장기간에 따라 비조사구와 조사구가 유사한 패턴의 증감을 보이는 것으로 보아, 저선량의 전자선 조사는 오렌지의 상온저장 중 총당과 환원당 함량에 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

### 비타민 C 함량 변화

저선량 전자선을 조사한 오렌지의 상온저장 중 비타민 C 함량 변화는 Table 6에 나타내었다. 비타민 C 함량은 비조사구와 조사구 모두 저장기간 전반에 걸쳐 저장일이 경과함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. 저장 초기 조사구의 비타민 C 함량은 비조사구의 것보다 낮았으나 저장일이 경과함에 따라 감소폭이 줄어들면서 비조사구와 유사한 수준을 나타냈으며, 조사선량 증가에 따른 일률적인 감소의 경향이 나타나지 않았다. 비타민 C 함량의 변화를 저장기간의 경과와 조사 여부에 따른 감소율로 산출한 결과, 저장기간에 따른 감소율은 13.42~39.31%, 조사 여부에 따른 감소율은 0.3~28.37%의 범위로 각 평균 22.67%와 11.78%를 나타

내며 저장기간에 따른 감소율이 비교적 높은 것으로 나타났다. 이는 Mitchell 등(40)이 과일과 채소에 저선량의 방사선을 조사하고 저장기간별 비타민 C 함량의 변화를 측정된 결과, 방사선 조사보다는 저장기간이 함량 감소에 더 큰 영향을 준다고 보고한 것과 일치하는 바이다. Chung과 Yook (41)의 연구에서 감귤과 딸기에 감마선을 조사하여 비타민 C의 함량을 측정된 결과 3 kGy까지는 조사에 의한 손실이 나타나지 않았고, 저선량의 방사선 조사가 비타민 함량의 변화에 미치는 영향보다 온도나 식품의 조성 등이 더 큰 영향을 미친다고 보고한 바 있어 저선량을 조사한 오렌지의 비타민 C의 함량 감소는 전자선에 의한 영향보다는 저장기간의 증가가 더 큰 영향을 미친 것으로 보인다.

### 관능평가

저선량의 전자선이 조사된 오렌지의 상온저장 중 관능평가 결과는 Table 7에 나타내었다. 상온저장 9일 이후부터 색의 변화와 물러짐이 관찰되었고 관능적으로 적절치 못한 냄새가 발생되어 저장 6일까지 관능평가를 수행하였다. 저장 0일째에는 조사선량에 관계없이 모든 선량에 걸쳐 비교적 높은 선호도를 나타냈으며 조사선량에 따른 일률적인 변

**Table 6.** Changes on vitamin C contents of orange during storage at 20±0.1°C for 12 days after electron beam irradiation (mg%)

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
	0	3	6	9	12
0	20.83±0.17 <sup>aA1)2)</sup>	19.21±0.13 <sup>aB</sup>	16.48±0.48 <sup>bC</sup>	15.92±0.13 <sup>aC</sup>	13.96±0.48 <sup>aD</sup>
0.2	17.40±0.35 <sup>bA</sup>	16.72±0.07 <sup>bcB</sup>	14.26±0.35 <sup>dD</sup>	14.93±0.07 <sup>abC</sup>	12.72±0.11 <sup>bE</sup>
0.4	20.58±0.06 <sup>aA</sup>	17.02±0.18 <sup>bb</sup>	15.13±0.07 <sup>cC</sup>	13.41±0.36 <sup>cdD</sup>	12.49±0.58 <sup>bE</sup>
0.6	14.98±0.70 <sup>cB</sup>	15.70±0.13 <sup>deB</sup>	17.83±0.14 <sup>aA</sup>	12.98±0.05 <sup>dC</sup>	12.97±0.64 <sup>bc</sup>
0.8	14.92±0.16 <sup>cB</sup>	15.34±0.06 <sup>eB</sup>	16.43±0.49 <sup>bA</sup>	15.08±0.27 <sup>abB</sup>	12.91±0.24 <sup>bc</sup>
1.0	17.05±0.29 <sup>bA</sup>	16.23±0.77 <sup>cdA</sup>	16.22±0.05 <sup>bA</sup>	14.42±1.50 <sup>bcB</sup>	11.26±0.40 <sup>cC</sup>

<sup>1)</sup>Means±SD (n=3).

<sup>2)</sup>Values with different small letters (a-e) within a column differ significantly ( $P<0.05$ ). Values with different capital letters (A-E) within a row differ significantly ( $P<0.05$ ).

**Table 7.** Changes on sensory scores of orange during storage at 20±0.1°C for 12 days after electron beam irradiation

Sensory parameters	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)		
		0	3	6
Color	0	4.75±1.13 <sup>ba1)2)</sup>	4.50±1.03 <sup>abA</sup>	4.25±1.53 <sup>aA</sup>
	0.2	4.88±0.81 <sup>abA</sup>	4.50±1.03 <sup>abA</sup>	4.50±0.89 <sup>aA</sup>
	0.4	5.56±0.63 <sup>aA</sup>	4.56±1.03 <sup>abB</sup>	4.13±0.89 <sup>abB</sup>
	0.6	4.94±1.06 <sup>abA</sup>	4.38±1.02 <sup>ba</sup>	4.13±1.26 <sup>abA</sup>
	0.8	4.81±0.75 <sup>ba</sup>	5.19±0.66 <sup>aA</sup>	4.69±1.14 <sup>aA</sup>
	1.0	5.06±1.06 <sup>abA</sup>	4.50±0.97 <sup>abA</sup>	3.31±0.95 <sup>bb</sup>
Sweetness	0	4.56±0.89 <sup>abA</sup>	4.94±0.68 <sup>aA</sup>	3.06±1.29 <sup>bb</sup>
	0.2	5.38±1.31 <sup>aA</sup>	4.06±1.12 <sup>abB</sup>	4.31±1.30 <sup>abB</sup>
	0.4	4.94±1.65 <sup>abA</sup>	4.75±1.06 <sup>aA</sup>	4.38±0.96 <sup>aA</sup>
	0.6	4.94±0.93 <sup>abA</sup>	4.50±1.51 <sup>aA</sup>	4.50±0.97 <sup>aA</sup>
	0.8	4.13±1.02 <sup>ba</sup>	4.44±1.09 <sup>aA</sup>	3.94±1.29 <sup>abA</sup>
	1.0	5.06±1.12 <sup>abA</sup>	4.56±1.21 <sup>aAB</sup>	3.94±1.34 <sup>abB</sup>
Sourness	0	4.13±0.96 <sup>abB</sup>	4.94±0.85 <sup>aA</sup>	3.13±1.50 <sup>bc</sup>
	0.2	4.88±1.09 <sup>aA</sup>	4.38±1.26 <sup>abA</sup>	3.38±1.02 <sup>abB</sup>
	0.4	4.44±0.89 <sup>aA</sup>	4.56±1.15 <sup>abA</sup>	4.25±1.06 <sup>aA</sup>
	0.6	5.00±1.21 <sup>aA</sup>	4.06±1.06 <sup>bb</sup>	3.88±1.31 <sup>abB</sup>
	0.8	4.13±1.41 <sup>aA</sup>	4.50±0.97 <sup>abA</sup>	3.56±1.55 <sup>abA</sup>
	1.0	4.75±1.34 <sup>aA</sup>	4.38±1.02 <sup>abA</sup>	4.06±1.12 <sup>abA</sup>
Flavor	0	4.13±0.96 <sup>abB</sup>	4.94±0.57 <sup>aA</sup>	4.19±1.22 <sup>abB</sup>
	0.2	4.50±1.03 <sup>aA</sup>	3.88±1.15 <sup>baB</sup>	3.25±1.29 <sup>abB</sup>
	0.4	4.50±1.15 <sup>aA</sup>	4.38±1.02 <sup>abAB</sup>	3.69±0.87 <sup>abB</sup>
	0.6	4.94±1.39 <sup>aA</sup>	4.13±1.09 <sup>abA</sup>	4.19±1.22 <sup>aA</sup>
	0.8	4.69±1.40 <sup>aA</sup>	4.31±1.25 <sup>abAB</sup>	3.38±1.31 <sup>abB</sup>
	1.0	4.69±1.35 <sup>aA</sup>	4.63±1.02 <sup>abA</sup>	3.63±1.41 <sup>abB</sup>
Texture	0	4.31±1.14 <sup>aAB</sup>	4.69±0.70 <sup>aA</sup>	3.88±1.20 <sup>abB</sup>
	0.2	4.56±1.26 <sup>aA</sup>	3.75±1.00 <sup>caB</sup>	3.38±1.31 <sup>abB</sup>
	0.4	4.56±1.46 <sup>aA</sup>	4.50±0.89 <sup>abA</sup>	4.25±0.68 <sup>aA</sup>
	0.6	4.50±1.26 <sup>aA</sup>	4.31±0.95 <sup>abcA</sup>	3.88±1.20 <sup>aA</sup>
	0.8	4.00±1.03 <sup>aA</sup>	4.19±1.17 <sup>abcA</sup>	3.88±0.96 <sup>aA</sup>
	1.0	3.81±0.83 <sup>aA</sup>	3.94±0.68 <sup>bcA</sup>	3.88±1.26 <sup>aA</sup>
Overall acceptability	0	4.25±0.77 <sup>aA</sup>	4.94±0.68 <sup>aA</sup>	4.38±1.31 <sup>aA</sup>
	0.2	4.88±1.20 <sup>aA</sup>	3.94±1.57 <sup>aAB</sup>	3.56±1.26 <sup>aAB</sup>
	0.4	4.81±1.17 <sup>aA</sup>	4.56±1.26 <sup>aA</sup>	4.06±0.77 <sup>aA</sup>
	0.6	5.13±1.09 <sup>aA</sup>	4.25±1.13 <sup>aA</sup>	4.38±1.31 <sup>aA</sup>
	0.8	4.38±1.31 <sup>aA</sup>	4.75±1.57 <sup>aA</sup>	3.69±1.40 <sup>aA</sup>
	1.0	4.75±1.29 <sup>aA</sup>	4.00±1.21 <sup>aAB</sup>	3.50±1.21 <sup>abB</sup>

<sup>1)</sup>Means±SD (n=3). Seven-point scale: 1, extremely dislike; 4, neither like nor dislike; 7, extremely like.

<sup>2)</sup>Values with different small letters (a,b) within a column differ significantly ( $P<0.05$ ). Values with different capital letters (A-C) within a row differ significantly ( $P<0.05$ ).

화는 없었다. 저장 6일째에는 향과 전체적인 선호도에서 조사구가 비교적 낮은 선호도를 나타냈으나 0.6 kGy 이하의 조사구에서 단맛과 신맛을 제외한 관능평가 점수에서 비조사구와 차이가 없었고, 선량 증가에 따른 일률적인 감소나 증가 경향 역시 나타나지 않았다. Moreno 등(26)은 블루베리에 저선량의 전자선을 조사하여 관능평가를 실시한 결과, 3.2 kGy 이하의 전자선 조사는 블루베리의 관능적 품질에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. 또한 Kim 등(42)은 신고배에 전자선을 조사한 결과, 비조사구와 조사구 간 배 특유의 향기성분의 유의적인 차이가 없었고, 1 kGy 이하의 저선량으로 조사된 배의 기호도가 비조사구와 조사구 간 유의적으로 차이가 없는 것으로 나타났음을 보고하였다. 종합

하여 보면, 전자선 조사 후 오렌지를 상온에서 저장하였을 때 나타나는 관능적 품질 저하는 조사선량의 영향보다는 저장기간이 증가함에 따른 것으로 판단된다.

## 요 약

저선량 전자선 조사에 의한 수입 오렌지의 품질 특성을 조사하여 방사선 식품 검역 관리의 기초자료로 삼고자 미국산 수입 navel orange에 선량 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 kGy의 전자선을 조사하여 상온(20±0.1°C)에서 12일간 저장하면서 이화학적 품질 특성 및 관능적 특성을 조사하였다. 전자선을 조사한 오렌지의 색도, 당산비, 총당 및 환원당 함량, 비타민

C 함량은 조사선량에 의한 영향을 받지 않았으며, 저장기간이 경과함에 따라 비조사구와 유사한 경향을 나타냈다. 경도는 저장 초기 모든 조사구에서 유의적으로 감소하였으나 저장 후기에는 그 차이가 감소하여 비조사구와 유사한 수준을 나타냈으며, 조사선량에 따른 일률적 감소의 경향은 없었다. 관능평가 결과 0.6 kGy 이하의 조사구에서는 단맛과 신맛을 제외한 모든 항목에서 비조사구와 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 저장일 전반에 걸쳐 조사선량과는 무관하게 비조사구와 조사구 모두 선호도가 감소하였다. 결론적으로 0.6 kGy 이하의 전자선 조사는 상온저장 중 오렌지의 이화학적 품질 특성과 관능적 품질 특성에 영향을 미치지 않았으며, 전자선 조사를 통한 병해충 방제 효과를 얻기 위한 최적 선량은 0.6 kGy 이하인 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 농림수산식품기술기획평가원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

### REFERENCES

- Ramful D, Bahorun T, Bourdon E, Tarnus E, Aruoma OI. 2010. Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavo- extracts of Mauritian citrus fruits: potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology* 278: 75-87.
- Eckert JW, Eaks IL. 1989. *The citrus industry*. 2nd ed. University of California Press, Berkeley, CA, USA. p 179-260.
- McDonald H, Arpaia ML, Caporaso F, Obenland D, Were L, Rakovski C, Prakash A. 2013. Effect of gamma irradiation treatment at phytosanitary dose levels on the quality of 'Lane Late' navel oranges. *Postharvest Biol Technol* 86: 91-99.
- RDA (Rural Development Administration) National Institute of Horticultural and Herbal Science. 2002. List of tangerine disease and insect pest according to injury symptom. [http://www.nihhs.go.kr/extract/orange\\_bug\\_CD/sub\\_5\\_2.htm](http://www.nihhs.go.kr/extract/orange_bug_CD/sub_5_2.htm) (accessed Sep 2014).
- Park MG, Sung BK, Cho JY. 2011. Residual characteristics of methyl bromide and hydrogen cyanide in banana, orange, and pineapple. *J Appl Biol Chem* 54: 214-217.
- Burditt AK, Hungate FP. 1989. Gamma irradiation as a quarantine treatment for apples infested by codling moth (Lepidoptera: Tortricidae). *J Econ Entomol* 82: 1386-1390.
- Ozyardimci B, Cetinkaya N, Denli E, Ic E, Alabay M. 2006. Inhibition of egg and larval development of the Indian meal moth *Plodia interpunctella* (Hubner) and almond moth *Ephestia cautella* (Walker) by gamma radiation in decorticated hazelnuts. *J Stored Prod Res* 42: 183-196.
- 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 Methods Phys Res, Sect B* 79: 865-870.
- 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.
- Hallman GJ. 2011. Phytosanitary applications of irradiation. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 10: 143-151.
- Animal and Plant Quarantine Agency. Import conditions of fresh fruits and fruits vegetables. [http://www.qia.go.kr/plant/disinspect/plant\\_sterilize\\_study.jsp](http://www.qia.go.kr/plant/disinspect/plant_sterilize_study.jsp) (accessed Sep 2014).
- Hong KJ, Hong S, Ryu C, Lee Y. 2012. Navel orangeworm (Lepidoptera: Pyralidae) intercepted on fresh oranges from the USA at the Korean port of entry. *Kor J Appl Entomol* 51: 295-297.
- Park MG. 2009. Phytosanitary treatment using methyl bromide alternatives. *MS Thesis*. Korea University, Seoul, Korea. p 13.
- Toba HH, Burditt AK. 1992. Gamma irradiation of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) eggs as a quarantine treatment. *J Econ Entomol* 85: 464-467.
- Mansour M, Mohamad F. 2004. Effects of gamma radiation on codling moth, *Cydia pomonella* (L.), eggs. *Radiat Phys Chem* 71: 1125-1128.
- Moon SR, Son BK, Yang JO, Woo JS, Yoon C, Kim GH. 2010. Effect of electron-beam irradiation on development and reproduction of *Bemisia tabaci*, *Myzus persicae*, *Plutella xylostella* and *Tetranychus urticae*. *Kor J Appl Entomol* 49: 129-137.
- Kyung EJ, Kim KH, Yook HS. 2014. Quality characteristics of gamma irradiated-imported orange during storage. *Korean J Food & Nutr* 27: 31-42.
- Kim KH, Kwon JS, Lee JO, Park SH, Yook HS, Lee BC. 2007. Physicochemical changes of electron beam-irradiated Korean kiwifruits at low dose levels. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 603-608.
- Wen HW, Chung HP, Chou FI, Lin I, Hsieh PC. 2006. Effect of gamma irradiation on microbial decontamination, and chemical and sensory characteristic of lycium fruit. *Radiat Phys Chem* 75: 596-603.
- Kwon JH, Byun MW, Kim KS, Kang IJ. 2000. Comparative effects of gamma irradiation and phosphine fumigation on the quality of white ginseng. *Radiat Phys Chem* 57: 309-313.
- Kim KH, Kwak JY, Yoon JH, Park YE, Lee JH, Park YC, Jo TY, Lee HJ, Lee SJ, Han SB. 2013. Comparison of irradiated food with electron beam and gamma-ray by PSL and TL methods. *J Fd Hyg Safety* 28: 258-266.
- Cleland MR. 1983. Radiation processing: basic concepts and practical aspects. *J Ind Irradiat Technol* 1:191-218.
- Animal and Plant Quarantine Agency. Relative Standards of Irradiation [http://qia.go.kr/plant/disinspect/plant\\_sterilize\\_phy\\_lad.jsp](http://qia.go.kr/plant/disinspect/plant_sterilize_phy_lad.jsp) (accessed Feb 2015).
- 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.
- Nieto-Sandoval JM, Almela L, Fernández-López JA, Muñoz JA. 2000. Effect of electron beam irradiation on color and microbial bioburden of red paprika. *J Food Prot* 63: 633-637.
- Moreno MA, Castell-Perez ME, 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-Food Sci Technol* 40: 1123-1132.
- Moreno M, Castell-Perez ME, 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.
- Castell-Perez E, Moreno M, Rodriguez O, Moreira RG.



2004. Electron beam irradiation treatment of cantaloupes: effect on product quality. *Food Sci Technol Int* 10: 383-390.
29. Lee SH, Kim J, Jeong HC, Koh JS. 2007. Changes in the quality of *Hallabong* tangor (*Citrus kiyomi* × *ponkan*) with growth stage and temperature pretreatment conditions. *Korean J Food Preserv* 14: 565-570.
30. Zhao M, Moy J, Paull RE. 1996. Effect of gamma-irradiation on ripening papaya pectin. *Postharvest Biol Technol* 8: 209-222.
31. Koh SW. 2002. *Agricultural science technology vol. 12 "fruit tree (3)"*. Rural Development Administration, Jeonju, Korea. p 296.
32. Westwood MN. 2002. *Temperate-zone pomology: physiology and culture*. 3rd ed. Timber Press, Portland, OR, USA. p 313.
33. Koh JS, Ko JE, Yang SH, Ahn SW. 1994. Physicochemical properties and sensory evaluation of *Citrus unshiu* produced in Cheju. *Agric Chem Biotechnol* 37: 161-167.
34. Song EY, Choi YH, Kang KH, Koh JS. 1997. Quality characteristics of citrus fruits according to the harvest date and variety. *Agric Chem Biotechnol* 40: 416-421.
35. Kyung EJ, Kim KH, Yook HS. 2014. Quality characteristics of gamma irradiated-imported orange during storage at room temperature. *Korean J Food & Nutr* 27: 183-193.
36. Lee JH, An HJ, Lee SY, Choi YH, Lim BS, Kang YJ. 2009. Changes in quality characteristics of 'Setoka' (*Citrus spp.*) using different storage methods. *Korean J Food Preserv* 16: 644-649.
37. Lee SH, Kim JH, Jeong HC, Koh JS. 2008. Changes in fruit quality of *Hallabong* tangor (*Citrus kiyomi* × *ponkan*) by film packaging during storage. *Korean J Food Preserv* 15: 185-190.
38. 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.
39. Lee SA, Lee JO, Kim KH, Kwon JS, Kim HG, Byun MW, Lee JW, Yook HS. 2008. Influence gamma irradiated on microbial and physicochemical changes of apricot. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 767-774.
40. Mitchell GE, McLauchlan RL, Isaacs AR, Williams DJ, Nottingham SM. 1992. Effect of low dose irradiation on composition of tropical fruits and vegetables. *J Food Compos Ana* 5: 291-311.
41. Chung YJ, Yook HS. 2003. Effects of gamma irradiation and cooking methods on the content of thiamin in chicken breast and vitamin C in strawberry and mandarine orange. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 864-869.
42. Kim W, Shim SL, Ryu KY, Jun SN, Jung CH, Seo HY, Song HP, Kim KS. 2008. Effect of electron-beam irradiation on flavor components in pear (*Pyrus pyrifolia* cv. Niitaka). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 195-202.