

## 저선량 전자선 조사 수입 오렌지의 저온 저장 중 품질 특성

조윤정 · 김경희 · 육홍선  
충남대학교 식품영양학과

### Quality Characteristics of Low-Dose Electron Beam Irradiated-Imported Navel Orange during Storage at Low Temperature (3°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 physicochemical and sensorial properties of imported navel oranges during storage at 3°C for 45 days. The samples were irradiated at doses of 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, and 1.0 kGy, and changes in their color values, 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 values, Brix/acid ratio, total sugar contents, total reducing sugar contents, and vitamin C contents. Hardness of irradiated sample at 1 kGy decreased significantly in the early storage period, but the difference between non-irradiated and irradiated samples decreased again at the end of storage. For the sensory evaluation, scores of color, sweetness, flavor, and overall acceptability decreased as irradiation dose and storage period increased. Samples irradiated at over 0.8 kGy showed low preference in all scores except color. These results suggest that electron beam irradiation below 0.6 kGy does not affect physicochemical and sensory properties; thus, electron beam irradiation up to 0.6 kGy in imported navel oranges is optimum for minimizing quality changes and disinfestation treatment simultaneously.

**Key words:** electron beam irradiation, antioxidant activity, orange, quality characteristics

## 서 론

식품 방사선 조사는 1990년대 들어 국제 연합 식량 농업 기구(FAO), 국제원자력기구(IAEA), 세계보건기구(WHO) 등의 국제기구에서 유효하고 안전한 식품 및 공중보건 제품의 살균방법으로 공인되면서 대두되기 시작하였고 일반적으로 식품 조사에 주로 사용되는 조사 에너지의 형태는 크게 감마선과 전자선, X선 등이 있다(1,2). 1 kGy 미만의 저선량 방사선 조사로는 발아 억제, 숙도 지연, 해충 구제가 가능하고 5 kGy 이상의 중선량 조사는 식품 중 병원균과 부패균 살균의 효과가 있어 식품의 저장성 개선 및 공중보건 상 국제 식량교역에 있어 매우 효과적인 검역관리 기술로써 평가되고 있다(3). 해외 각국에서는 상기와 같은 목적으로 신선 과일류에 대해 3 kGy 이하의 조사가 허용되고 있으며 수출입 식품류 및 농산물의 검역 관리를 위해 방사선 기술을 확대하고 이에 따른 규정을 마련하여 이행하고 있다(4).

그러나 우리나라는 주요 농산물 수입국에도 불구하고 신선 식품 방사선 조사에 관한 규정이 마련되어 있지 않으며

현재는 환경적인 문제로 인해 전 세계적으로 사용이 금지되거나 그 사용량이 줄어든 메틸브로마이드(methyl bromide, CH<sub>3</sub>Br)가 여전히 식물검역 현장에서 병해충 소독의 목적으로 이용되고 있는 실정이다. UNEP(United Nations Environment Programme, 2008)와 IPPC(International Plant Protection Convention, 2008)에서는 식물 검역 용도의 예외조항으로 인해 메틸브로마이드의 사용량이 획기적으로 감축되지 않자 식물 검역용 메틸브로마이드의 사용 감축 또는 대체를 권고하는 방안을 채택하게 되었다(5).

미국산 수입 오렌지는 2012년 FTA 발효 이후 양국 간 농축수산물의 관세 장벽을 깨고 2011년 평균 수입량 110톤에서 2012년에는 167톤, 2013년에는 146톤으로 FTA 발효 이전 대비 각 51%, 32%로 큰 폭이 증가하였다(FTA 2014). 이처럼 국내 과일 시장에서 상당량을 차지하고 있는 농산물인 오렌지는 비타민 C, 칼륨, 펙틴 flavonone 및 carotenoid 등의 생리활성 물질이 높은 영양적 가치를 지녔으나 미생물과 해충 감염에 민감한 특성을 가지고 있다(6,7). 최근 미국산 Navel 오렌지 생과실에서 Navel Orangeworm (*Amyelois transitella*)이 처음으로 검출되면서 수입 과실에 대한 해충 구제의 필요성이 제기되고 있으며 오렌지는 메틸브로마이드 사용 비율이 가장 높은 목재류 다음으로 사용량이 높은 품목으로 메틸브로마이드 사용을 지양하는 국

Received 5 September 2014; Accepted 21 October 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

제 무역의 검역 관리 추세와 함께 해충 방제 방법의 전환이 요구되는 첫 번째 수입 과실로 판단된다(8,9).

WTO에서 화학 훈증제의 대체 농산물 방역 기술로 방사선 조사를 적극적으로 권장하면서 국내외에서는 감마선 조사에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 그러나 감마선은 방사성 동위원소를 사용한다는 점에서 소비자들의 민감한 반응을 얻고 있고, 이에 반해 전자선은 전기를 이용하여 조사 후 방사능(radioactivity)이 없고 품온의 상승 없이 단시간에 처리 효과가 높다는 점에서 감마선보다 소비자 수용도가 높다는 이점을 가지고 있다(10). 또한 전자선은 노출시간이 적고 조사선량의 조절이 용이하다는 장점과 함께 국내에서는 감마선뿐만 아니라 전자선을 추가적으로 허용하고 있는 실정이다(11).

세계 무역의 자유화가 이루어짐에 따라 수출입 농산물의 검역 클레임에 대한 근본적인 대책 마련이 시급한 시점에서 (12), Kyung 등(13)은 감마선 조사 오렌지의 품질변화 연구에서 해충 방제의 목표선량인 1 kGy 이하의 감마선 조사가 오렌지의 품질 및 관능 특성에 큰 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. 이는 과실 방사선 조사의 실용성을 입증하는 실례이며 이와 더불어 감마선과 비교하여 소비자 수용도가 높은 전자선 조사 수입 오렌지의 품질변화 연구가 필요함을 나타내는 지표이기도 하다. 따라서 본 연구는 전자선 조사가 오렌지의 이화학적 품질변화와 유통 및 저장 시 품질 안정성에 미치는 영향을 조사함으로써 오렌지에 대한 전반적 영향을 살펴보고 오렌지의 보존성 향상을 통해 전자선 조사 수입 오렌지의 검역 관리의 기초자료로 삼고자 한다.

## 재료 및 방법

### 재료

2014년 2월 대전 중앙청과에서 미국 캘리포니아에서 수입된 Navel 오렌지(*Citrus sinensis*)를 구입하여 재료로 사용하였다. 오렌지는 전자선 조사한 후 위생 지퍼백(polyethylene, Homeplus, Hwaseong, Korea)에 넣어 incubator에서 보관(3±2°C)하였다.

### 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 등에서 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 조사

구와 함께 보관하였다.

### 시료 준비

전자선 조사 시료는 전자선을 조사하지 않은 비조사구와 함께 3±2°C에서 0일, 15일, 30일, 37일, 45일 간격으로 저장하면서 분석을 실시하였다. 미생물은 시료의 과피, 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(3±2°C)하면서 사용하였고, 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  $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$  으로 산출하였다.

### 경도 측정

과실의 물성은 texture analyzer(TA/XT2/25, Stable Micro System Co. Ltd., Surrey, UK)를 사용하였다. 지름 3 mm의 plunger를 이용하였고 측정 조건은 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(N-1a, ATAGO, Tokyo, Japan)로 측정하였고 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(14)을 이용하였으며 시료 1 g을 증류수에 희석한 후 이를 1 mL 취해 DNS 시약(dinitrosalicylic acid 0.5 g, NaOH 8 g, Rochell 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, Ann Arbor, 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. Vitamin 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 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 척도 방법을 사용하여 시료의 색깔, 단맛, 신맛, 향, 질감, 전체적인 선호도를 평가하였다.

### 통계처리

모든 실험은 3회 이상 반복 측정하였고 그 결과는 SPSS Statistics 21.0 software(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 통계처리 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

전자선 조사된 오렌지의 색도 변화는 과피와 과육으로 나누어 측정하였고 결과를 Hunter 값을 이용하여 Table 1과 2에 나타내었다. 과피 측정 결과 L값(명도)과 a값(적색도), b값(황색도) 모두 저장기간의 경과에 따라 소폭 증가하다가 저장 37일째 감소하는 경향을 나타내었고, L값과 a값의 경우 비조사구와 조사구 간 뚜렷한 차이는 보이지 않았다. 그러나 b값의 경우 저장 초기에는 비조사구와 조사구 간 차이를 나타내지 않았으나 저장 45일째 조사구가 낮은 값을 나타냈다. Kyung 등(13)의 연구에서 감마선 조사된 오렌지의 황색도가 조사선량에 따라 갈변의 차이를 유의적으로 나타낸 것과 비교하였을 때 저장일이 증가할수록 조사구 과피의 황색도가 감소하기는 하였으나 조사선량에 따른 감소나 증가의 경향은 보이지 않았다.

과육의 L값은 조사 여부와 저장기간의 증가와 함께 감소하거나 증가하는 경향은 보이지 않았다. a값은 저장기간에 따라 점차 감소하였고 Kim 등(15)에 의하면 감귤류 과육의 a값이 음의 값을 나타내는 것은 chlorophyll이 존재하기 때문이며 본 연구에서 음의 값을 나타낸 것 또한 이와 같은 맥락으로 사료된다. b값은 조사선량에 따른 유의적인 차이를 나타내지 않았고 저장기간에 따라서는 증가하다가 저장 45일째 소폭 감소하였다.

전자선의  $\Delta E$  값은 비조사구를 기준으로 한 전체적인 색차를 표현하는 값으로 1.5~3.0의 값은 색차가 감지되고(noticeable), 6.0 이상은 육안으로 구별 가능한 상당한 차이(much)를 나타낸다(16). 과피의  $\Delta E$  값은 1.80~14.98의 범위로 나타났으며, 과육의  $\Delta E$  값은 0.95~6.70의 범위로 나타났다. 과피의 경우 저장 0일째에는 조사구와 비조사구 간 색차가 1.5~3.0 사이의 값으로 색이 감지되는 정도를 보였고 저장 15일 이후 6.0 이상의 색차를 나타내기도 하였으나 저장일 전반에 걸쳐 조사선량이 증가함에 따른 색차의 일률적인 증가나 감소의 경향은 보이지 않았다. 과육의 경우 저장일 전반에 걸쳐  $\Delta E$  값의 총 평균이 3.0 이하로 색의 차이가 감지되는 정도를 나타냈으나 조사선량에 따른  $\Delta E$  값의 증감은 일률적이지 않았다.

종합하여 볼 때 과피와 과육 모두 비조사구와 조사구 간 색차의 경향을 나타내지 않았고 이는 망고와 블루베리에 전자선을 조사한 Moreno 등(17,18)과 cantaloupe에 전자선을 조사한 Castell-Perez 등(19)의 연구 결과에서 비조사구

**Table 1.** Changes on Hunter's color values of orange peels during storage at 3±2°C for 45 days after electron beam irradiation

Hunter parameter	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
		0	15	30	37	45
L <sup>1)</sup>	0	62.28±0.98 <sup>bc5)6)7)</sup>	64.95±1.77 <sup>bb</sup>	67.30±0.94 <sup>ba</sup>	57.50±0.86 <sup>cd</sup>	61.28±3.99 <sup>ab</sup>
	0.2	63.96±1.77 <sup>ad</sup>	67.83±0.74 <sup>ab</sup>	69.80±2.66 <sup>aa</sup>	64.22±1.04 <sup>ac</sup>	54.83±1.99 <sup>ce</sup>
	0.4	63.61±1.28 <sup>ab</sup>	68.94±0.96 <sup>aa</sup>	62.90±3.40 <sup>db</sup>	60.06±2.17 <sup>bc</sup>	59.52±2.49 <sup>ac</sup>
	0.6	63.74±0.95 <sup>ab</sup>	68.37±0.73 <sup>aa</sup>	67.76±0.99 <sup>ba</sup>	59.14±0.62 <sup>bc</sup>	59.49±1.58 <sup>ac</sup>
	0.8	63.42±0.61 <sup>ab</sup>	68.95±1.64 <sup>aa</sup>	59.52±1.23 <sup>ec</sup>	58.75±2.83 <sup>bcc</sup>	56.80±1.00 <sup>bd</sup>
	1.0	63.14±1.37 <sup>abc</sup>	67.95±1.36 <sup>aa</sup>	64.72±2.02 <sup>cb</sup>	58.94±1.65 <sup>bcd</sup>	60.01±2.20 <sup>ad</sup>
a <sup>2)</sup>	0	22.71±1.01 <sup>bb</sup>	26.53±0.72 <sup>abA</sup>	25.17±4.43 <sup>bca</sup>	21.32±1.87 <sup>abc</sup>	19.33±3.21 <sup>ac</sup>
	0.2	21.79±1.93 <sup>bcc</sup>	28.43±0.72 <sup>aa</sup>	23.38±1.95 <sup>cdB</sup>	22.52±0.99 <sup>abc</sup>	20.21±0.83 <sup>ad</sup>
	0.4	21.50±1.89 <sup>bcc</sup>	26.74±1.66 <sup>abB</sup>	29.53±2.62 <sup>aa</sup>	21.87±2.38 <sup>ac</sup>	19.46±1.31 <sup>ad</sup>
	0.6	22.50±1.43 <sup>bb</sup>	26.48±4.39 <sup>abA</sup>	26.96±3.22 <sup>ba</sup>	19.89±2.23 <sup>bc</sup>	19.41±0.66 <sup>ac</sup>
	0.8	24.11±0.80 <sup>ab</sup>	25.96±3.08 <sup>ba</sup>	21.96±2.75 <sup>dc</sup>	19.78±1.69 <sup>bd</sup>	19.71±0.66 <sup>ad</sup>
	1.0	20.64±1.08 <sup>cc</sup>	27.41±1.00 <sup>abA</sup>	16.55±0.67 <sup>ed</sup>	21.65±0.62 <sup>ab</sup>	16.83±1.13 <sup>bd</sup>
b <sup>3)</sup>	0	67.97±0.82 <sup>bc</sup>	71.35±2.88 <sup>cb</sup>	76.06±1.81 <sup>aa</sup>	58.02±1.39 <sup>cd</sup>	63.28±2.65 <sup>ac</sup>
	0.2	69.24±1.45 <sup>ac</sup>	73.45±2.60 <sup>bb</sup>	75.56±3.15 <sup>aa</sup>	70.79±1.66 <sup>ac</sup>	52.68±2.89 <sup>cd</sup>
	0.4	68.04±1.33 <sup>bb</sup>	77.61±2.03 <sup>aa</sup>	70.03±4.95 <sup>bb</sup>	61.84±3.86 <sup>bc</sup>	57.90±3.88 <sup>bd</sup>
	0.6	69.63±0.95 <sup>ab</sup>	77.82±1.69 <sup>aa</sup>	76.89±2.56 <sup>aa</sup>	59.13±3.15 <sup>bcc</sup>	59.05±3.62 <sup>bc</sup>
	0.8	67.81±0.54 <sup>bb</sup>	79.49±2.86 <sup>aa</sup>	63.67±2.78 <sup>cc</sup>	58.62±5.36 <sup>cd</sup>	53.57±2.03 <sup>ce</sup>
	1.0	68.74±1.11 <sup>abb</sup>	77.71±1.90 <sup>aa</sup>	71.15±2.45 <sup>bb</sup>	60.07±1.74 <sup>bcc</sup>	56.11±1.50 <sup>bcd</sup>
ΔE <sup>4)</sup>	0	0	0	0	0	0
	0.2	2.30	4.04	3.11	14.48	12.45
	0.4	1.80	7.42	8.65	4.64	5.67
	0.6	2.23	7.32	2.02	2.44	4.60
	0.8	1.82	9.09	14.98	2.08	10.70
	1.0	2.38	7.08	10.25	2.53	7.70

<sup>1)</sup>L: Degree of lightness. <sup>2)</sup>a: Degree of redness. <sup>3)</sup>b: Degree of yellowness.

<sup>4)</sup>ΔE: Overall color difference ( $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$ ).

<sup>5)</sup>Means±SD (n=15).

<sup>6)</sup>Values with different small letters (a-c) within a column differ significantly ( $P<0.05$ ).

<sup>7)</sup>Values with different capital letters (A-E) within a row differ significantly ( $P<0.05$ ).

와 조사구 간 유의적인 색도차를 나타내지 않았던 것과 일치하는 바이다. 따라서 전자선 조사는 오렌지의 과피 및 과육 색도에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

### 경도 변화

전자선 조사된 오렌지 과육 부분의 경도 변화는 Table 3에 나타내었다. 오렌지의 경도는 저장기간이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며 저장 0일째 조사구와 비조사구 간 차이를 보이지 않았다. 그러나 저장 15일째 조사구 중 1 kGy 조사구가 다른 선량에 비해 현저히 낮은 경도를 나타냈으나 저장 37일 이후부터는 그 차이가 감소하여 비조사구와 유사한 수준으로 나타났다. 저장 45일째에는 모든 조사구의 경도가 소폭 증가하였으며 이는 수분 함량의 감소로 인한 경도의 증가로 판단된다. Kwon 등(20)은 감마선 조사에 의해 과실이나 견과류의 경도가 감소되나 저장기간이 경과함에 따라 대조구와의 차이가 줄어들었다고 보고하였고, Kyung 등(13)은 오렌지에 감마선을 조사하였을 때 대조구와 조사구 간 유의적 차이를 보이지 않았다 보고하였으며 이는 조사구와 비조사구 간 유의적인 경도차를 보이지 않은 본 연구의 결과와 유사하다. 식품에 방사선을 조사하는 것은 식품 중 수분의 이온화를 일으켜 활성 유리 라디칼이 식품

성분과 화학적 반응이 일어나게 하며, 그 반응에서 생성된 화합물들에 의한 2차 화학적 반응은 이화학적 및 물리학적 특성에 영향을 미친다(21,22). 방사선 조사에 의해 과실이나 채소류는 경도가 저하될 수 있으며 이와 같은 현상은 식물체의 조직과 수분 함량에 따라 다양하게 나타난다고 보고되어 있다(23). 종합하여 볼 때 1 kGy의 전자선 조사는 경도에 영향을 미쳤으나 저장일수가 증가함에 따라 비조사구와의 차이가 줄어들었고 0.8 kGy 이하의 조사구에는 영향을 미치지 않은 것으로 보아 0.8 kGy 이하의 전자선은 오렌지 경도에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 사료된다.

### 당산비 변화

전자선 조사된 오렌지의 산도 및 총 고형분 변화를 Table 4에 나타내었다. 당산비는 과실의 품질 관정에 중요한 지표가 되는 것으로 감귤류는 당산비가 높을수록 선호도가 증가한다(24). 감귤은 사과나 배처럼 과실의 후숙을 위해 성숙 이전에 수확할 수 없는 비후숙과(non-climatic)이며(25), 일반적으로 비후숙과의 경우 전분의 감소와 함께 당과 가용성 고형물이 증가하고 산도가 감소하여 당산비가 증가한다(26). 본 연구에서 전자선을 조사한 오렌지의 당산비는 저장 37일에 걸쳐 증가하다가 저장 45일째 다시 감소하였으나

**Table 2.** Changes on Hunter's color values of orange pulp during storage at 3±2°C for 45 days after electron beam irradiation

Hunter parameter	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
		0	15	30	37	45
L <sup>1)</sup>	0	50.31±1.47 <sup>cb5)6)7)</sup>	50.30±0.95 <sup>abB</sup>	50.39±1.39 <sup>abB</sup>	52.21±1.90 <sup>aA</sup>	51.59±0.61 <sup>aA</sup>
	0.2	52.21±1.65 <sup>ba</sup>	49.90±0.86 <sup>bb</sup>	50.64±2.21 <sup>ab</sup>	50.08±2.12 <sup>bb</sup>	50.27±1.40 <sup>bb</sup>
	0.4	53.25±1.45 <sup>abA</sup>	50.73±2.13 <sup>abB</sup>	51.92±3.05 <sup>aAB</sup>	51.69±2.71 <sup>aAB</sup>	51.48±0.84 <sup>aAB</sup>
	0.6	54.06±1.40 <sup>aA</sup>	49.74±1.12 <sup>bd</sup>	52.12±2.71 <sup>ab</sup>	51.29±0.80 <sup>abBC</sup>	50.25±1.35 <sup>bcD</sup>
	0.8	52.22±2.17 <sup>ba</sup>	49.81±0.98 <sup>bc</sup>	52.09±0.91 <sup>aA</sup>	51.84±1.54 <sup>aAB</sup>	50.78±1.09 <sup>abBC</sup>
	1.0	52.67±1.72 <sup>abA</sup>	51.40±2.74 <sup>aAB</sup>	51.79±2.13 <sup>aAB</sup>	52.59±1.20 <sup>aA</sup>	49.89±1.48 <sup>bb</sup>
a <sup>2)</sup>	0	-2.64±0.52 <sup>bb</sup>	-0.74±0.89 <sup>aA</sup>	-2.36±0.72 <sup>abB</sup>	-3.33±0.54 <sup>aC</sup>	-3.27±0.65 <sup>aC</sup>
	0.2	-1.98±0.50 <sup>ba</sup>	-2.58±0.47 <sup>bcB</sup>	-2.16±0.91 <sup>abAB</sup>	-3.51±0.95 <sup>abD</sup>	-2.95±0.42 <sup>aCD</sup>
	0.4	-2.54±0.41 <sup>ba</sup>	-3.48±1.06 <sup>cb</sup>	-1.97±1.50 <sup>aA</sup>	-3.70±0.47 <sup>abcB</sup>	-3.38±0.73 <sup>aB</sup>
	0.6	-2.66±0.39 <sup>ba</sup>	-3.38±0.56 <sup>cb</sup>	-2.96±1.16 <sup>baB</sup>	-3.09±0.58 <sup>aAB</sup>	-3.29±0.51 <sup>aB</sup>
	0.8	-2.67±0.87 <sup>ba</sup>	-3.99±0.45 <sup>cb</sup>	-4.28±0.63 <sup>cb</sup>	-4.17±0.60 <sup>cb</sup>	-3.84±0.31 <sup>bb</sup>
	1.0	-2.64±0.31 <sup>ba</sup>	-3.43±0.52 <sup>cb</sup>	-4.75±0.89 <sup>cd</sup>	-4.00±1.08 <sup>bcBC</sup>	-4.07±0.47 <sup>bc</sup>
b <sup>3)</sup>	0	27.12±0.71 <sup>bcC</sup>	34.86±3.17 <sup>aA</sup>	32.41±2.27 <sup>bb</sup>	34.96±4.26 <sup>aA</sup>	33.28±1.87 <sup>abA</sup>
	0.2	28.11±1.17 <sup>abC</sup>	32.13±1.34 <sup>bcA</sup>	30.95±3.10 <sup>baB</sup>	30.50±2.91 <sup>baB</sup>	29.02±2.04 <sup>bcB</sup>
	0.4	27.31±0.93 <sup>bcB</sup>	33.58±4.46 <sup>abA</sup>	32.10±1.80 <sup>ba</sup>	33.68±6.08 <sup>aA</sup>	34.37±3.31 <sup>aA</sup>
	0.6	28.60±1.63 <sup>ac</sup>	28.73±0.85 <sup>dc</sup>	30.79±4.66 <sup>bBC</sup>	34.91±2.63 <sup>aA</sup>	31.03±1.57 <sup>bcB</sup>
	0.8	27.54±1.69 <sup>abcC</sup>	30.16±1.67 <sup>cdB</sup>	35.06±1.59 <sup>aA</sup>	34.26±2.43 <sup>aA</sup>	31.84±3.63 <sup>bb</sup>
	1.0	26.73±1.57 <sup>cd</sup>	30.42±2.90 <sup>cdC</sup>	31.93±2.46 <sup>bbC</sup>	36.75±2.41 <sup>aA</sup>	33.23±2.40 <sup>abB</sup>
ΔE <sup>4)</sup>	0	0	0	0	0	0
	0.2	2.24	3.32	1.49	4.95	4.47
	0.4	2.95	3.06	1.61	1.44	1.10
	0.6	4.04	6.70	2.45	0.95	2.62
	0.8	1.96	5.74	3.70	1.16	1.75
	1.0	2.39	5.31	2.81	1.94	1.88

<sup>1)-7)</sup>Superscripts of this table are same as Table 1.

**Table 3.** Changes on hardness of orange during storage at 3±2°C for 45 days after electron beam irradiation

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
	0	15	30	37	45
0	1.253±0.28 <sup>aA1)2)3)</sup>	0.887±0.16 <sup>aB</sup>	0.997±0.19 <sup>aB</sup>	0.952±0.11 <sup>aB</sup>	0.957±0.29 <sup>aB</sup>
0.2	1.171±0.11 <sup>abA</sup>	0.869±0.15 <sup>abC</sup>	0.975±0.20 <sup>ab</sup>	0.797±0.20 <sup>aC</sup>	0.785±0.24 <sup>aC</sup>
0.4	1.031±0.15 <sup>ba</sup>	0.882±0.19 <sup>aAB</sup>	1.023±0.11 <sup>aA</sup>	0.807±0.31 <sup>aB</sup>	0.953±0.21 <sup>aAB</sup>
0.6	1.113±0.22 <sup>abA</sup>	1.001±0.28 <sup>aAB</sup>	0.886±0.10 <sup>bb</sup>	0.881±0.19 <sup>aB</sup>	0.923±0.14 <sup>aB</sup>
0.8	0.998±0.15 <sup>ba</sup>	0.887±0.30 <sup>aA</sup>	1.037±0.19 <sup>aA</sup>	0.994±0.25 <sup>aA</sup>	0.949±0.17 <sup>aA</sup>
1.0	1.138±0.15 <sup>abA</sup>	0.651±0.21 <sup>bd</sup>	0.761±0.22 <sup>bCD</sup>	0.830±0.13 <sup>abC</sup>	0.939±0.19 <sup>aB</sup>

<sup>1)</sup>Means±SD (n=10).

<sup>2)</sup>Values with different small letters (a,b) within a column differ significantly (P<0.05).

<sup>3)</sup>Values with different capital letters (A-D) within a row differ significantly (P<0.05).

**Table 4.** Changes on Brix/acid ratio of orange during storage at 3±2°C for 45 days after electron beam irradiation

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
	0	15	30	37	45
0	13.40±0.23 <sup>dD1)2)3)</sup>	18.44±0.81 <sup>aA</sup>	14.95±0.47 <sup>aC</sup>	16.81±0.08 <sup>dB</sup>	14.48±0.18 <sup>dC</sup>
0.2	16.54±0.30 <sup>abB</sup>	16.77±0.11 <sup>bcB</sup>	14.46±0.01 <sup>abD</sup>	17.44±0.09 <sup>aA</sup>	15.58±0.01 <sup>cC</sup>
0.4	15.14±0.49 <sup>cCD</sup>	15.75±0.35 <sup>dB</sup>	14.98±0.38 <sup>ad</sup>	17.71±0.41 <sup>bcA</sup>	16.37±0.26 <sup>bb</sup>
0.6	16.19±0.30 <sup>bc</sup>	15.88±0.03 <sup>dC</sup>	14.21±0.13 <sup>bd</sup>	18.79±0.29 <sup>aA</sup>	16.98±0.27 <sup>ab</sup>
0.8	16.97±0.36 <sup>aB</sup>	16.42±0.34 <sup>cdC</sup>	13.36±0.04 <sup>cE</sup>	17.96±0.08 <sup>ba</sup>	15.32±0.30 <sup>cd</sup>
1.0	13.66±0.24 <sup>dE</sup>	17.31±0.01 <sup>ba</sup>	14.74±0.34 <sup>abD</sup>	15.96±0.93 <sup>cC</sup>	16.39±0.01 <sup>bb</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).

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

저장 초기의 것보다는 약간 높은 수준을 나타냈다. 조사선량에 따라서는 유의적 차가 있었으나 그 증감이 일률적이지

않았다. 이와 같은 결과는 오렌지에 감마선을 조사하였을 때 저장기간에 따라 당산비가 증가하다가 감소하였고 조사

선량에는 영향을 받지 않은 결과와 일치하며, 감귤이 성숙됨에 따라 당산비가 증가한다는 보고와 유사한 것으로 보아 전자선 조사는 오렌지 저장 중 당산비에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다(13,27).

### 총당 및 환원당 함량 변화

전자선을 조사한 오렌지의 총당 및 환원당 함량 변화는 Table 5에 나타내었다. 총당 함량은 저장기간과 조사선량에 따른 일률적인 변화를 보이지 않았고, 환원당 함량은 조사선량과 저장기간에 따른 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 과일의 당 함량은 성숙과정이나 저장기간 동안 가수분해에 의해 증가되기도 하고 호흡기질로 사용되어 감소하기도 하는데 비후숙과인 감귤의 경우 저장기간 중에도 계속되는 호흡작용으로 내용성분의 변화가 일어나며(28), Lee 등(29)은 한라봉 저장 중 환원당 함량은 저장기간이 경과할수록 감소됨을 보고한 바 있다. 또한 Kim 등(30)의 연구에 의하면 감귤 저장 중 과육으로부터 껍질로 수분이동에 의한 중량감소를 유발하여 내용성분의 농축효과로 인하여 환원당과 총당의 변화의 폭이 크지 않았으며 본 연구의 전반적인 결과 또한 이와 일치하였다. 한편 감마선 조사의 결과와 비교하였을 때

비조사구의 경우 환원당의 함량이 저장기간에 따라 증가하거나 감소하는 경향을 보이지 않았고 조사선량에 따른 증감의 경향 또한 보이지 않았으며, 감마선 조사한 사과의 환원당 함량은 감마선 조사 여부 및 보존 온도에 크게 상관없이 점차 증가한다는 경향을 보였다(31). 결과적으로 전자선 조사 오렌지의 총당과 환원당은 저장기간에 따라 비조사구와 조사구가 유사한 패턴의 증감을 보이는 것으로 보아 저선량의 전자선 조사는 오렌지의 총당과 환원당 함량에 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

### 비타민 C 함량 변화

전자선이 조사된 오렌지의 비타민 C 함량 변화는 Table 6에 나타내었다. 비타민 C 함량은 저장기간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였고 조사선량에 따른 일률적 경향은 나타나지 않았으나 조사구는 비조사구에 비해 감소하는 추세를 보였다. 저장 45일째의 비타민 C 함량은 저장 초기인 0일째의 것보다 46.21~63.75%의 범위로 감소하였다. 조사에 따른 차이를 보았을 때 조사구는 비조사구 대비 1.20~29.58%의 범위로 감소함을 확인할 수 있었으나 그 감소폭이 일률적이지 않았다. 이는 Byun 등(32)이 귤에 감마선을

**Table 5.** Changes on total sugar contents and reducing sugar contents of orange during storage at 3±2°C for 45 days after electron beam irradiation

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
		0	15	30	37	45
Total sugars	0	24.14±0.17 <sup>eB1)2)3)</sup>	25.01±0.49 <sup>aA</sup>	23.63±0.22 <sup>cB</sup>	21.70±0.05 <sup>bcC</sup>	23.99±0.34 <sup>bB</sup>
	0.2	27.93±0.34 <sup>aA</sup>	23.61±0.50 <sup>bB</sup>	27.88±1.32 <sup>aA</sup>	24.26±1.60 <sup>aB</sup>	20.68±0.57 <sup>cC</sup>
	0.4	23.87±0.15 <sup>cA</sup>	22.39±0.56 <sup>eBC</sup>	21.87±0.03 <sup>dC</sup>	22.56±0.24 <sup>abcB</sup>	20.51±0.16 <sup>cD</sup>
	0.6	26.27±0.11 <sup>bA</sup>	24.72±0.59 <sup>bB</sup>	22.89±0.25 <sup>cC</sup>	23.07±0.06 <sup>abC</sup>	24.79±1.06 <sup>abB</sup>
	0.8	23.92±0.62 <sup>cB</sup>	21.96±0.41 <sup>cC</sup>	25.35±0.05 <sup>bA</sup>	21.09±0.90 <sup>cC</sup>	23.45±0.96 <sup>bB</sup>
	1.0	22.54±0.01 <sup>dB</sup>	23.63±0.20 <sup>bB</sup>	27.30±0.14 <sup>aA</sup>	23.27±1.41 <sup>abB</sup>	25.80±1.24 <sup>aA</sup>
Reducing sugars	0	6.58±0.08 <sup>eE</sup>	7.53±0.10 <sup>bA</sup>	7.33±0.04 <sup>cB</sup>	6.72±0.05 <sup>dB</sup>	7.06±0.04 <sup>dC</sup>
	0.2	7.09±0.04 <sup>dD</sup>	7.78±0.01 <sup>aB</sup>	7.21±0.04 <sup>dC</sup>	8.10±0.06 <sup>aA</sup>	6.42±0.04 <sup>eE</sup>
	0.4	7.23±0.04 <sup>cC</sup>	7.61±0.04 <sup>bA</sup>	7.14±0.02 <sup>eD</sup>	7.49±0.02 <sup>dB</sup>	7.30±0.06 <sup>cC</sup>
	0.6	8.47±0.02 <sup>aA</sup>	7.30±0.03 <sup>dD</sup>	7.71±0.02 <sup>bC</sup>	7.82±0.02 <sup>bb</sup>	7.73±0.01 <sup>aC</sup>
	0.8	7.84±0.01 <sup>bb</sup>	6.95±0.05 <sup>eD</sup>	7.99±0.06 <sup>aA</sup>	7.05±0.05 <sup>cC</sup>	7.09±0.02 <sup>dC</sup>
	1.0	7.28±0.09 <sup>cC</sup>	7.42±0.06 <sup>cB</sup>	7.27±0.05 <sup>cdC</sup>	7.63±0.08 <sup>eA</sup>	7.54±0.05 <sup>bAB</sup>

<sup>1)</sup>Means±SD (n=3).

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

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

**Table 6.** Changes on vitamin C contents of orange during storage at 3±2°C for 45 days after electron beam irradiation

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
	0	15	30	37	45
0	11.91±0.06 <sup>aA1)2)3)</sup>	11.22±0.29 <sup>aB</sup>	10.02±0.23 <sup>bC</sup>	6.49±0.06 <sup>bD</sup>	5.27±0.29 <sup>aE</sup>
0.2	11.52±0.08 <sup>aA</sup>	10.06±0.11 <sup>cB</sup>	10.06±0.12 <sup>abB</sup>	8.19±0.07 <sup>aC</sup>	5.06±0.11 <sup>abD</sup>
0.4	9.42±0.06 <sup>cdC</sup>	10.44±0.13 <sup>bA</sup>	9.87±0.20 <sup>bb</sup>	6.22±0.09 <sup>bD</sup>	5.07±0.11 <sup>abE</sup>
0.6	9.06±0.14 <sup>dB</sup>	8.94±0.26 <sup>dB</sup>	10.31±0.08 <sup>aA</sup>	5.87±0.35 <sup>cC</sup>	4.76±0.05 <sup>bD</sup>
0.8	9.87±0.37 <sup>bcB</sup>	10.34±0.12 <sup>bcA</sup>	9.84±0.12 <sup>bb</sup>	4.74±0.15 <sup>dC</sup>	4.25±0.12 <sup>cD</sup>
1.0	10.24±0.18 <sup>bA</sup>	10.38±0.06 <sup>bcA</sup>	9.90±0.06 <sup>bA</sup>	4.44±0.04 <sup>eB</sup>	3.71±0.19 <sup>dC</sup>

<sup>1)</sup>Means±SD (n=3).

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

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

조사하였을 때 1 kGy 미만의 감마선 조사는 6.9%의 낮은 파괴율을 나타낸 것과 Nagai와 Moy(33)가 1 kGy 미만의 감마선을 발렌시아 오렌지에 조사하여 저온 저장하였을 때 ascorbic acid 함량이 유의적인 차이가 없었던 것과 유사하다. 조사 여부에 따른 감소폭은 저장기간 증가에 따른 감소폭보다는 확연히 낮은 감소율을 보였으며, Mitchell 등(34)이 과일과 채소에 저선량의 방사선을 조사하고 4주 동안의 비타민 C 함량 변화를 연구한 결과 저선량의 방사선 조사는 큰 영향을 주지 않으며 방사선 조사에 의한 영향보다는 저장기간이 영향을 준다는 보고와 일치하는 결과이기도 하다. 따라서 1 kGy 이하 저선량의 전자선 조사는 오렌지의 비타

민 C 함량 감소에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

### 관능평가

전자선이 조사된 오렌지의 관능평가 결과는 Table 7에 나타내었다. 저온 저장 37일 이후부터 물러짐과 과실의 색, 냄새(변패취)가 관능적으로 적절치 못하다 판단되어 30일까지 관능평가를 수행하였다. 저장 0일째는 조사선량에 관계없이 모든 항목에 걸쳐 비교적 높은 선호도를 나타냈으며 유의적 차이는 없었다. 저장 15일부터 비조사구에서는 저장기간의 증가에 따른 큰 차이는 보이지 않았으나 조사구의 각 항목들은 저장기간과 선량이 증가할수록 낮은 선호도를

**Table 7.** Changes on sensory scores of orange during storage at  $3\pm 2^\circ\text{C}$  for 45 days after electron beam irradiation

Sensory parameters	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)		
		0	15	30
Color	0	5.19±1.54 <sup>aA1)2)3)</sup>	4.56±1.31 <sup>aA</sup>	4.38±0.96 <sup>aA</sup>
	0.2	5.00±1.18 <sup>aA</sup>	5.00±0.73 <sup>aA</sup>	4.81±1.05 <sup>aA</sup>
	0.4	5.00±1.34 <sup>aA</sup>	4.50±1.10 <sup>aA</sup>	4.19±1.17 <sup>aA</sup>
	0.6	5.19±1.33 <sup>aA</sup>	4.56±1.03 <sup>aA</sup>	4.69±1.08 <sup>aA</sup>
	0.8	5.24±0.94 <sup>aA</sup>	4.38±0.96 <sup>aB</sup>	4.38±1.36 <sup>aB</sup>
	1.0	4.86±1.35 <sup>aA</sup>	4.38±1.15 <sup>aAB</sup>	3.94±1.06 <sup>aB</sup>
Sweetness	0	4.76±1.18 <sup>aA</sup>	3.38±1.54 <sup>bB</sup>	4.88±1.31 <sup>aA</sup>
	0.2	4.38±1.17 <sup>aA</sup>	4.44±1.03 <sup>aA</sup>	4.38±1.31 <sup>abA</sup>
	0.4	4.52±1.12 <sup>aA</sup>	3.69±1.07 <sup>abA</sup>	4.50±1.26 <sup>abA</sup>
	0.6	5.29±1.01 <sup>aA</sup>	3.94±1.24 <sup>abB</sup>	3.63±1.11 <sup>bcB</sup>
	0.8	4.48±1.00 <sup>aA</sup>	3.94±1.06 <sup>abA</sup>	2.94±1.00 <sup>cB</sup>
	1.0	4.38±1.36 <sup>aA</sup>	4.38±1.15 <sup>aA</sup>	2.81±1.33 <sup>cB</sup>
Sourness	0	4.81±1.33 <sup>aA</sup>	3.44±1.26 <sup>aB</sup>	4.13±1.09 <sup>aAB</sup>
	0.2	4.67±1.43 <sup>aA</sup>	3.88±1.09 <sup>aA</sup>	3.88±1.15 <sup>abA</sup>
	0.4	4.62±1.07 <sup>aA</sup>	3.50±1.51 <sup>aB</sup>	4.19±1.17 <sup>aAB</sup>
	0.6	4.33±1.43 <sup>aA</sup>	3.44±1.31 <sup>aA</sup>	3.50±1.21 <sup>abcA</sup>
	0.8	3.95±1.66 <sup>aA</sup>	3.69±1.20 <sup>aAB</sup>	2.88±0.72 <sup>cB</sup>
	1.0	3.95±1.47 <sup>aA</sup>	3.81±1.17 <sup>aA</sup>	3.13±1.41 <sup>bcA</sup>
Flavor	0	4.67±1.24 <sup>aA</sup>	3.63±1.31 <sup>aB</sup>	4.31±1.40 <sup>aAB</sup>
	0.2	4.52±1.08 <sup>aA</sup>	3.94±1.18 <sup>aA</sup>	4.06±1.18 <sup>aA</sup>
	0.4	4.62±1.36 <sup>aA</sup>	3.56±1.50 <sup>aB</sup>	3.81±1.28 <sup>abB</sup>
	0.6	4.67±1.24 <sup>aA</sup>	3.69±1.35 <sup>aB</sup>	3.81±1.11 <sup>abAB</sup>
	0.8	4.05±1.66 <sup>aA</sup>	3.31±1.30 <sup>aA</sup>	2.94±1.39 <sup>bA</sup>
	1.0	4.19±1.36 <sup>aA</sup>	3.63±1.09 <sup>aAB</sup>	2.88±1.26 <sup>bB</sup>
Texture	0	5.14±1.20 <sup>aA</sup>	3.81±1.42 <sup>bB</sup>	4.50±1.10 <sup>aB</sup>
	0.2	4.86±1.20 <sup>aA</sup>	4.75±0.93 <sup>aAB</sup>	4.06±1.00 <sup>abB</sup>
	0.4	4.86±1.15 <sup>aA</sup>	4.31±1.20 <sup>abA</sup>	4.50±0.89 <sup>aA</sup>
	0.6	5.05±1.16 <sup>aA</sup>	4.25±0.86 <sup>abB</sup>	4.19±1.11 <sup>abB</sup>
	0.8	4.48±1.36 <sup>aA</sup>	4.19±0.98 <sup>abAB</sup>	3.44±1.21 <sup>bB</sup>
	1.0	4.52±1.36 <sup>aA</sup>	4.00±1.32 <sup>abA</sup>	3.56±1.46 <sup>bA</sup>
Overall acceptability	0	4.90±1.51 <sup>aA</sup>	3.44±1.36 <sup>bB</sup>	4.69±1.54 <sup>aA</sup>
	0.2	4.71±1.38 <sup>aA</sup>	4.44±1.15 <sup>aA</sup>	4.25±1.61 <sup>abA</sup>
	0.4	4.95±1.28 <sup>aA</sup>	3.31±1.49 <sup>bB</sup>	4.19±1.17 <sup>abB</sup>
	0.6	5.19±1.25 <sup>aA</sup>	3.75±1.24 <sup>abB</sup>	3.38±1.41 <sup>bcB</sup>
	0.8	4.76±1.45 <sup>aA</sup>	3.56±1.15 <sup>abB</sup>	2.69±1.14 <sup>cB</sup>
	1.0	4.31±1.28 <sup>aA</sup>	3.94±1.00 <sup>abA</sup>	2.88±1.59 <sup>cB</sup>

On the hedonic scale for sourness, sweetness, texture, color, flavor, and overall acceptance a score of 1 (dislike extremely)~7 (like extremely).

<sup>1)</sup>Means±SD (n=3).

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

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

나타냈다. 신맛과 조식감을 제외한 모든 항목의 선호도가 비조사구에 비해 조사구에서 더 낮은 것으로 나타났으며 저장 30일째에는 조사선량이 증가함에 따라 선호도 또한 감소하였다. 색, 단맛, 향은 각각 0.8 kGy 이상의 조사구에서 낮은 선호도를 나타냈으며 상기의 모든 항목의 조화에 대한 선호도를 나타내는 전체적인 선호도 역시 0.8 kGy 이상의 조사구에서 비교적 낮은 선호도를 나타냈다. 식품에 방사선을 조사하는 것은 이취와 이미를 생성하여 식품의 관능적 특성을 저하시킬 수 있으며(35), 0.8 kGy 이상의 전자선 조사는 식품 방사선 조사에 의한 식품 성분의 변화로 관능적 특성에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 보인다. Toba와 Burditt Jr(36)는 200 Gy의 선량으로도 codling moth의 우화 억제가 가능하다고 보고한 바 있어 0.6 kGy 이하의 전자선은 품질 변화를 최소화하는 동시에 해충 방제 효과를 얻기 위한 최적의 선량으로 사료된다.

## 요 약

전자선 조사에 의한 수입 오렌지의 품질 특성을 조사하여 방사선 식품 검역 관리의 기초자료로 활용하기 위하여 미국산 Navel orange에 선량 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 kGy의 전자선을 조사하여 저온(3±2°C)에서 45일간 저장하면서 이화학적 품질 특성을 조사하였다. 색도, 당산비, 총당 및 환원당 함량, 비타민 C 함량은 조사선량과는 관계없이 저장기간에 따른 변화를 보였다. 경도는 저장 초기에 1 kGy의 조사구에서 유의적으로 감소하였다가 저장 후기에는 그 차이가 점차 감소하며 비조사구와 다른 조사구가 유사한 경향을 나타냈다. 관능평가에서는 신맛과 조식감을 제외한 모든 항목에서 조사선량과 저장기간이 증가할수록 감소하였고, 0.8 kGy 이상의 조사구는 색을 제외한 모든 항목에서 낮은 선호도를 보였다. 1 kGy 이하의 전자선 조사는 오렌지의 이화학적 품질 특성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으나 0.8 kGy 이상의 전자선 조사가 관능적 품질 특성에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 보아 품질변화를 최소화하는 동시에 해충 방제 효과를 얻기 위한 최적의 선량은 0.6 kGy 이하로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 농림수산식품기술기획평가원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

- 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.
- 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.
- International Consultative Group of Food Irradiation. 1999. Facts about food irradiation. <http://www.piwet.pulawy.pl/irradiacja/factsaboutfoodirradiation.pdf> (accessed Aug 2014). p 16.
- 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.
- Ramful D, Bahorun T, Bourdon E, Tarnus E, Aruoma OI. 2010. Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavo-vedo extracts of Mauritian citrus fruits: potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology* 278: 75-87.
- 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.
- Hong KJ, Hong SW, Ryu CS, Lee YH. 2012. Navel orange-worm (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.
- Cleland MR. 1983. Radiation processing: basic concepts and practical aspects. *J Ind Irradiat Technol* 1: 191-218.
- Kim KH, Kwak JY, Yoon JH, Park YE, Lee JH, Park YC, Jo TY, Lee HJ, Lee SJ, Han SB. 2013. Comparison of irradiation food with electron beam and gamma-ray by PSL and TL methods. *J Fd Hyg Safety* 28: 258-266.
- Lee JW. 2009. International cooperation for establishing SOP on quarantine management of irradiated food in international trade. Report of Korea Atomic Research Institute, Jeongeup, Korea. p 1-3.
- Kyung EJ, Kim KH, Yook HS. 2014. Quality characteristics of gamma irradiated-imported orange during storage. *Korean J Food & Nutr* 27: 31-42.
- 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.
- Kim BJ, Kim Hs, Koh JS, Kang YJ. 1996. Carotenoid, color value, UV spectrum, organic acid and free sugar contents of citrus varieties produced in Cheju. *Korean J Post-Harvest Sci Technol Agric Products* 3: 23-32.
- Bae KI. 2008. An experimental study for the properties of cornus officinal used in dyeing textile. *PhD Dissertation*. Sungshin Women's University, Seoul, Korea. p 39.
- 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.
- Moreno MA, Elena 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.
- 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.



20. Kwon JG, Kim SJ, Chung HW, Kwon YJ, Byun MW. 1998. Comparative effect of gamma irradiation and methyl bromide fumigation on disinfestation and physicochemical quality of acron. *Korean J Postharvest Sci Technol* 5: 199-206.
21. Thayer DW. 1994. Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol* 48: 132-135.
22. Song HP, Kim BD, Shin EH, Song DS, Lee HJ, Kim DH. 2010. Effects of gamma irradiation on the microbiological and general quality characteristics of fresh yam juice. *Korean J Food Preserv* 17: 494-499.
23. Yun HJ, Lim SY, Hur JM, Lee BY, Choi YJ, Kwon JH, Kim DH. 2008. Changes of nutritional compounds and texture characteristics of peches (*Prunus persica* L. Batsch) during post-irradiation storage at different temperature. *Korean J Food Preserv* 15: 377-384.
24. 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.
25. Koh SW. 2002. *Agricultural science technology vol. 12 "fruit tree (3)"*. Rural Development Administration, Jeonju, Korea. p 296.
26. Westwood MN. 2002. *Temperate-zone pomology physiology and culture*. 1st ed. Joongang Life Publishing Co., Seoul, Korea. p 313.
27. Miyamoto G. 2006. *Non-destructive determinable selecting and internal quality evaluation of satsuma mandarin*. Jeju National University Press, Jeju, Korea. p 30-31.
28. Ackeman J, Ficher M, Amado R. 1992. Changes in sugars, amino acids during ripening and storage of apples (Cv. Glockenapfel). *J Agric Food Chem* 40: 1131-1132.
29. 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.
30. Kim SH, Ko IH, Koh JS. 2002. Quality changes of over-wintering satsuma mandarin during storage by chitosan and calcium treatment and storage warehouse. *Korean J Food Preserv* 9: 85-91.
31. 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.
32. Byun MW, Lee IS, Lee KH, Yook HS, Kang KO. 1999. Changes of ascorbic acid contents induced from gamma irradiation, heating and microwave treatments. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 954-957.
33. Nagai NY, Moy JH. 1985. Quality of gamma irradiated California Valencia oranges. *J Food Sci* 50: 215-219.
34. 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 Anal* 5: 291-311.
35. Baek KH, Jo DJ, Yoon SR, Kim GR, Park JG, Lee GD, Kim JS, Kim YR, Han MS, Kwon JH. 2013. Optimization of cultivation and storage conditions on red cabbage seed sprouts. *Korean J Food Sci Technol* 45: 13-19.
36. Toba HH, Burditt Jr AK. 1992. Gamma irradiation of codling moth (Lepidoptera: Tortricidae) eggs as a quarantine treatment. *J Econ Entomol* 85: 464-467.