

## 저선량 X선 조사 수입 오렌지의 상온 저장 중 품질 특성

노단비 · 김경희 · 육홍선  
충남대학교 식품영양학과

### Quality Characteristics of Low-Dose X-Ray Irradiated-Imported Navel Oranges during Storage at Room Temperature (20°C)

Dan-Bi Noh, Kyoung-Hee Kim, and Hong-Sun Yook

Department of Food and Nutrition, Chungnam National University

**ABSTRACT** This study evaluated the effects of low-dose X-ray irradiation treatment on quality characteristics and sensory evaluation 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, and changes in color value, hardness, Brix/acid ratio, total sugar content, reducing sugar content, vitamin C content, 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 content, reducing sugar content, and vitamin C content. Difference in hardness between non-irradiated and irradiated samples decreased at the end of storage. Reducing sugar content was reduced as storage period increased. The sensory evaluation scores of non-irradiated and irradiated samples were not significantly different according to storage period, except for sweetness and texture. Overall acceptability was not significantly different by irradiation dose or storage period. These results suggest that X-ray irradiation does not affect quality characteristics or sensory evaluation.

**Key words:** X-ray irradiation, orange, quality characteristics

## 서 론

오렌지는 미국에서 생산되는 과일 중 가장 많은 과종으로 플로리다 주와 캘리포니아 주에서 오렌지 대부분을 생산하고 있는데, 생산량에서 차이가 날 뿐 아니라 용도에서도 크게 다르다. 플로리다산 오렌지의 대부분은 주스 등 가공용으로 이용되고 캘리포니아산 오렌지는 주로 생과로 이용되는데, 이는 캘리포니아산 오렌지가 껍질이 두껍고 외관이 좋아 유통에 유리하며 소비자에게 선호되기 때문이다. 캘리포니아 주에서는 Navel 품종과 Valencia 품종이 재배되고 있는데, 주로 생과용으로 소비되는 Navel 오렌지는 스위트오렌지의 한 종류로 과정부에 배꼽이 형성되어 있는 오렌지를 지칭한다. Valencia 오렌지에 비해 단맛이 강하고 향기가 독특하며, 종자가 없기 때문에 소비자들에게 인기 높은 감귤 품종이다(1,2). 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 지

양하는 국제 무역의 검역 관리 추세와 함께 해충 방제 방법의 전환이 요구되는 첫 번째 수입 과실로 판단된다(3,4).

방사선 조사 기술은 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 선진 여러 나라에서 유용하고 안전한 식품 및 공중보건 제품의 살균방법으로 공인되어 이미 여러 분야에서 산업적으로 이용되고 있다. 또한 적절한 선량의 방사선 조사는 식품의 물리적, 화학적 및 관능적 특성에 영향을 미치지 않으면서도 식품에서 유래하는 병원성 미생물을 제거할 수 있으므로 식중독 등의 식인성 질병 발생의 위험을 상당히 줄일 수 있는 식품 위생화 방법으로 활용도가 커지고 있다(5). 일반적으로 식품 조사에 주로 사용되는 조사 에너지의 형태는 크게 감마선과 전자선, X선 등이 있으며(6), 감마선은 식품 방사선 조사에 사용하는 세 가지 선원 중 투과성이 높다는 장점이 있으나 방사성 동위원소를 사용한다는 점에서 소비자 수용성의 한계를 가진다. 반면 X선은 감마선에 비해 투과율은 낮으나 선량률은 높아 처리시간이 짧고 방사성 동위원소를 사용하지 않는 점에서 상대적으로 높은 소비자 수용도를 지니는 장점이 있다(7-9). 1 kGy 미만의 저선량 방사선 조사로는 발아 억제, 숙도 지연, 해충 구제가 가능하며, 5 kGy 이상의 중선량 조사는 식품 중 병원균과 부패균 살균의 효과가 있어 식품의 저장성 개선 및 공중보건상 국제 식량교역에 있어 매우 효과적인 검역관리 기술로 평가되고 있다(6). 해외 각국에서는 상기와 같은 목적으로 신선 과일류에 대해 3 kGy

Received 9 September 2015; Accepted 12 October 2015

Corresponding author: Hong-Sun Yook, Department of Food and Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea  
E-mail: yhsuny@cnu.ac.kr, Phone: +82-42-821-6840

이하의 조사가 허용되고 있으며, 수출입 식품류 및 농산물의 검역 관리를 위해 방사선 기술을 확대하고 이에 따른 규정을 마련하여 이행하고 있다(10).

최근 농산물 시장의 개방에 따라 외국 농산물의 대량 유입이 우려되고 있으며, 이에 따라 국내 식물 환경의 철저한 보호를 위하여 검역 대상 해충에 대한 완전 박멸 방제 기술(quarantine treatment)이 요구되고 있다(11). 현재 식품의 저장성 개선을 위해 주로 이용되고 있는 살균 처리 기술에는 가열 처리나 자외선 조사, 훈증제 처리, 화학약품 처리, microwave 처리 등이 있다. 하지만 이러한 살균 처리 기술은 고온에 의한 식품의 일반 성분 변화 및 손실을 가져오거나 화학 성분의 잔류 및 유해 물질의 생성에 따른 여러 가지 문제점을 야기하며, 특히 methyl bromide(MeBr) 훈증 처리는 오존층 파괴 물질로 밝혀지면서 그 사용이 점차 금지될 전망이다. 이로 인하여 식물 검역을 위한 새로운 검역 처리 기술이 요구되고 있으며, 방사선 조사 기술은 적합한 대체 기술의 하나로 인식되고 있다(12,13).

따라서 본 연구는 X선 조사가 오렌지의 이화학적 품질 변화와 유통 및 저장 시 품질 안정성에 미치는 영향을 조사함으로써 오렌지에 대한 전반적 영향을 살펴보고, 오렌지의 보존성 향상을 통해 X선 조사 수입 오렌지의 검역 관리의 기초자료로 삼고자 한다.

## 재료 및 방법

### 재료

2015년 2월 가락농수산물도매시장에서 미국 캘리포니아에서 수입된 Navel 오렌지(*Citrus sinensis*)를 구입하여 재료로 사용하였다. 오렌지는 X선 조사한 후 위생 지퍼백(Homeplus, Hwaseong, Korea)에 넣어 incubator에서 저장(20±0.1°C)하였다.

### X선 조사

X선 조사는 Seoul Radiology Service Co.(Chungbuk, Korea) 내 X-ray linear accelerator(Mevex Co., Stittsville, Canada)를 이용하여 조사하였다. 시료가 올려진 tray의 속도는 0.35 m/min으로 맞추고 7.5 MeV×4 kW의 가속기에서 100 Gy/회의 선량률로 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 B3 film dosimeter(GEX Co., Denver, CO, USA)를 사용하였다. 비조사구인 0 kGy는 동일한 온도 효과를 얻기 위하여 X선 조사 시설 외부에 보관하였고, 조사 직후 조사구와 함께 보관하였다.

### 시료 준비

X선 조사 시료는 X선을 조사하지 않은 비조사구와 함께

20±0.1°C에서 0일, 3일, 6일, 9일, 12일 간격으로 저장하면서 분석을 실시하였다. 색도는 과피와 과육, 경도와 관능은 과육 부분을 이용하였다. 산도, 가용성 고형분은 오렌지의 과피를 제거하고 착즙기(GFJ-3070G, NUC Electronics Co., Ltd., Daegu, Korea)로 착즙한 시료를 incubator에 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(Spectrophotometer CM-600, 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 나타내었으며 15회 이상 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

### 경도 측정

과실의 물성은 texture analyzer(TA/XT2/25, Stable Micro System Co., Ltd., Godalming, 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 용액 3~4방울을 떨어뜨리고 0.1 N NaOH 표준용액으로 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: 시료 채취량(mL)

가용성 고형분(Brix)은 착즙한 시료를 여과한 뒤 일정량을 취해 당도계(N-1a, ATAGO, 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 희석

하여 희석액 1 mL를 취하고 5% phenol(Junsei Chemical Co., Ltd., Tokyo, Japan) 용액 1 mL, 황산(Samchun Pure Chemical Co., Ltd., Anyang, Korea) 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 이용하는 데 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.) 2 mL를 넣고 섞은 다음 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% methanol에 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 9,120 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 20명을 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 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

X선 조사된 오렌지의 색도 변화는 과피와 과육으로 나누어 측정하였으며 결과를 Hunter 값을 이용하여 Table 1과 2에 나타내었다. 과피 측정 결과 L 값(명도)과 a 값(적색도), b 값(황색도) 모두 저장기간의 경과에 따라 감소하는 경향을 보였다. 저장 12일째 0.4 kGy 이하에서는 값이 증가하였지만, 저장 0일째와 비교하였을 때 저장 9일째부터 모든 조사구의 값은 감소하였다. Kyung 등(14)의 연구에서 감마선 조사된 오렌지의 L, a, b 값이 조사선량에 따라 감소하는 경향과는 다르게 조사선량에 따른 감소나 증가의 경향은 보이지 않았다. 과육의 L, b 값은 조사 여부와 저장기간의 증가와 함께 감소하거나 증가하는 경향을 보이지 않았다. a 값은 저장 6일째 가장 높은 값을 보이고 점차 감소하였다. 이는 Boylston 등(15)의 연구에서 X선 조사된 오렌지의 색도는 조사선량에 따른 유의적인 차이를 가진다고 보고한 결과와 유사하지만 일률적인 경향은 보이지 않았다.

$\Delta E$  값은 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 0.60~15.38의 범위로 나타났으며, 과육의  $\Delta E$  값은 1.10~4.26의 범위로 나타났다. 과피와 과육 모두 저장 0일차의 시료군을 기준으로 과피는 평균 5, 과육은 평균 2의 색차를 보였으나 비조사군과 조사구 간 색차의 경향을 나타내지 않았다. 망고와 블루베리에 전자선을 조사한 Moreno 등(17,18)과 cantaloupe에 전자선을 조사한 Castell-Perez 등(19)의 연구에 의하면 비조사구와 조사구 간 유의적인 색도차를 나타내지 않았다는 결과와 유사하다. 상기의 결과는 1 kGy 미만의 감마선의 조사(14)와 전자선 조사(20)가 오렌지의 색도적 품질에 영향을 미치지 않는다고 보고한 선행연구 결과와 일치하는 바이며, 따라서 X선 조사는 오렌지의 과피 및 과육 색도에 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

### 경도 변화

X선 조사된 오렌지 과육 부분의 경도 변화는 Table 3에 나타내었다. 오렌지의 경도는 저장 3일째 조사구와 비조사구 간 차이가 증가했다가 저장기간이 증가함에 따라 조사구와 비조사구 간 차이가 감소하는 것으로 나타났다. 저장 3일째 조사구 중 1 kGy 조사구가 다른 선량에 비해 현저히 낮은 경도를 나타냈으나, 저장 3일 이후부터는 그 차이가 감소하여 비조사구와 유사한 수준으로 나타났다. Kwon 등(21)은 감마선 조사에 의해 과실이나 견과류의 경도가 감소되나 저장기간이 경과함에 따라 대조구와의 차이가 줄어든다고 보고하였고, Kyung 등(14)은 오렌지에 감마선을 조사하였을 때 대조구와 조사구 간 유의적 차이를 보이지 않았다고 보고하였으며 이는 조사구와 비조사구 간 유의적인 경도차를 보이지 않은 본 연구의 결과와 유사하다. 식품에 방사선을 조

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

Hunter parameter <sup>1)</sup>	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
		0	3	6	9	12
L	0	61.46±1.98 <sup>aA2)3)</sup>	59.89±1.07 <sup>bAB</sup>	58.43±2.15 <sup>bBC</sup>	52.22±2.69 <sup>bD</sup>	57.51±3.55 <sup>aC</sup>
	0.2	61.23±1.61 <sup>aA</sup>	61.95±1.35 <sup>aA</sup>	58.69±1.89 <sup>abB</sup>	50.40±3.24 <sup>bD</sup>	52.91±3.38 <sup>bcC</sup>
	0.4	60.17±1.49 <sup>aA</sup>	59.58±1.69 <sup>bA</sup>	59.04±2.51 <sup>abA</sup>	52.01±4.98 <sup>bC</sup>	55.34±3.38 <sup>abB</sup>
	0.6	58.18±1.57 <sup>bAB</sup>	60.00±1.80 <sup>bAB</sup>	60.43±2.70 <sup>aA</sup>	57.11±3.78 <sup>aB</sup>	51.00±7.68 <sup>cC</sup>
	0.8	60.32±2.33 <sup>aA</sup>	59.78±1.47 <sup>bA</sup>	59.24±1.97 <sup>abA</sup>	52.81±3.46 <sup>bB</sup>	50.62±3.06 <sup>cC</sup>
	1.0	60.25±1.08 <sup>aA</sup>	60.83±1.76 <sup>abA</sup>	59.40±1.80 <sup>abA</sup>	59.11±1.36 <sup>aA</sup>	51.64±4.96 <sup>cB</sup>
a	0	40.24±2.46 <sup>cAB</sup>	41.24±1.08 <sup>abA</sup>	38.15±1.92 <sup>abBC</sup>	29.89±4.08 <sup>bD</sup>	35.98±4.43 <sup>aC</sup>
	0.2	40.78±1.68 <sup>bcA</sup>	38.31±1.42 <sup>cB</sup>	38.85±2.24 <sup>abB</sup>	28.62±5.05 <sup>bcC</sup>	29.88±2.69 <sup>bcC</sup>
	0.4	40.62±1.82 <sup>bcA</sup>	40.82±1.69 <sup>abA</sup>	36.40±3.73 <sup>bB</sup>	29.27±3.22 <sup>bD</sup>	31.91±4.76 <sup>bcC</sup>
	0.6	42.41±1.96 <sup>aA</sup>	40.15±1.67 <sup>bB</sup>	36.58±3.05 <sup>bC</sup>	35.05±3.22 <sup>aC</sup>	29.57±4.39 <sup>bD</sup>
	0.8	40.62±3.09 <sup>bcA</sup>	40.88±1.49 <sup>abA</sup>	38.86±2.89 <sup>aA</sup>	30.77±4.34 <sup>bB</sup>	29.19±2.96 <sup>bB</sup>
	1.0	42.18±1.00 <sup>abA</sup>	41.67±1.57 <sup>aA</sup>	39.67±1.40 <sup>abB</sup>	36.35±1.30 <sup>aC</sup>	29.61±3.03 <sup>bD</sup>
b	0	64.43±3.79 <sup>aA</sup>	57.20±2.44 <sup>bB</sup>	52.44±4.68 <sup>cC</sup>	45.07±5.58 <sup>bD</sup>	52.81±5.31 <sup>aD</sup>
	0.2	64.29±2.27 <sup>aA</sup>	59.36±2.14 <sup>bB</sup>	53.98±3.57 <sup>bcC</sup>	45.44±6.22 <sup>bD</sup>	47.34±3.51 <sup>abcD</sup>
	0.4	63.30±2.14 <sup>abA</sup>	57.40±3.18 <sup>bB</sup>	55.08±4.25 <sup>bcB</sup>	45.39±7.43 <sup>bD</sup>	48.41±6.12 <sup>abC</sup>
	0.6	59.87±2.34 <sup>dA</sup>	56.93±3.70 <sup>bAB</sup>	58.44±4.88 <sup>aAB</sup>	53.62±6.27 <sup>abB</sup>	43.61±11.70 <sup>bcC</sup>
	0.8	62.15±2.90 <sup>bcA</sup>	58.60±3.52 <sup>bAB</sup>	56.08±3.62 <sup>abB</sup>	46.84±7.47 <sup>bcC</sup>	41.88±6.45 <sup>cD</sup>
	1.0	60.27±2.04 <sup>cdAB</sup>	61.99±4.34 <sup>aA</sup>	56.02±2.85 <sup>abC</sup>	57.21±2.93 <sup>abC</sup>	44.70±7.40 <sup>bcD</sup>
ΔE	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.2	0.60	4.18	1.71	2.25	9.39
	0.4	1.76	0.56	3.22	0.72	6.37
	0.6	6.03	1.13	6.51	11.12	12.96
	0.8	2.58	1.46	3.80	2.06	14.59
	1.0	4.75	4.90	4.01	15.38	11.86

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

<sup>2)</sup>Mean±SD (n=15).

<sup>3)</sup>Values with different small letters (a-d) within a column differ significantly ( $P<0.05$ ). Values with different capital letters (A-D) 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 X-ray irradiation

Hunter parameter <sup>1)</sup>	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
		0	3	6	9	12
L	0	53.05±3.22 <sup>aA2)3)</sup>	50.82±1.52 <sup>aB</sup>	51.36±1.71 <sup>aAB</sup>	52.80±2.55 <sup>aA</sup>	52.87±1.71 <sup>abA</sup>
	0.2	53.21±3.34 <sup>aA</sup>	52.22±1.85 <sup>aA</sup>	52.26±1.94 <sup>aA</sup>	53.60±2.29 <sup>aA</sup>	52.81±3.74 <sup>abA</sup>
	0.4	53.84±2.43 <sup>aA</sup>	51.68±2.94 <sup>aAB</sup>	51.76±2.84 <sup>aAB</sup>	54.00±3.20 <sup>aA</sup>	49.96±4.98 <sup>cB</sup>
	0.6	52.38±2.46 <sup>aA</sup>	52.29±2.17 <sup>aA</sup>	52.20±3.23 <sup>aA</sup>	53.99±2.52 <sup>aA</sup>	53.96±2.06 <sup>aA</sup>
	0.8	51.65±2.27 <sup>abB</sup>	52.71±2.84 <sup>aAB</sup>	51.72±1.87 <sup>abB</sup>	52.11±1.72 <sup>aAB</sup>	53.58±2.20 <sup>aA</sup>
	1.0	51.78±2.24 <sup>aA</sup>	52.14±2.59 <sup>aA</sup>	52.21±2.77 <sup>aA</sup>	52.63±3.28 <sup>aA</sup>	50.58±2.93 <sup>bcA</sup>
a	0	6.02±1.47 <sup>abBC</sup>	5.70±1.12 <sup>abC</sup>	8.02±1.44 <sup>aA</sup>	7.33±1.12 <sup>aA</sup>	7.02±1.66 <sup>aAB</sup>
	0.2	6.79±0.78 <sup>abB</sup>	6.04±0.68 <sup>abC</sup>	7.82±1.94 <sup>abA</sup>	6.46±1.31 <sup>abB</sup>	5.30±1.41 <sup>bcC</sup>
	0.4	6.65±1.02 <sup>aA</sup>	4.97±1.97 <sup>abB</sup>	6.53±1.93 <sup>bA</sup>	6.88±1.41 <sup>aA</sup>	7.03±2.36 <sup>aA</sup>
	0.6	5.02±1.08 <sup>cdB</sup>	4.67±2.12 <sup>bB</sup>	6.88±1.54 <sup>abA</sup>	6.68±1.31 <sup>abA</sup>	6.55±1.44 <sup>aA</sup>
	0.8	4.55±1.47 <sup>cdD</sup>	4.76±1.95 <sup>abCD</sup>	7.54±1.49 <sup>abA</sup>	5.83±1.48 <sup>bcB</sup>	6.11±1.14 <sup>abB</sup>
	1.0	5.52±1.12 <sup>bcB</sup>	5.47±1.21 <sup>abB</sup>	7.41±1.99 <sup>abA</sup>	6.91±3.28 <sup>aA</sup>	6.49±0.96 <sup>aAB</sup>
b	0	33.34±5.76 <sup>bcAB</sup>	31.45±2.36 <sup>aB</sup>	34.15±2.34 <sup>aAB</sup>	36.12±3.61 <sup>aA</sup>	35.04±3.11 <sup>abA</sup>
	0.2	36.88±4.28 <sup>aA</sup>	33.53±2.92 <sup>aAB</sup>	34.75±3.87 <sup>aAB</sup>	34.01±4.80 <sup>abAB</sup>	32.20±5.21 <sup>bB</sup>
	0.4	33.81±4.58 <sup>abAB</sup>	32.13±4.96 <sup>abB</sup>	32.31±4.04 <sup>aAB</sup>	36.25±4.43 <sup>aA</sup>	33.20±6.70 <sup>abAB</sup>
	0.6	32.62±3.13 <sup>bcBC</sup>	31.25±4.25 <sup>aC</sup>	34.67±2.44 <sup>abAB</sup>	35.02±3.58 <sup>abAB</sup>	36.67±2.86 <sup>aA</sup>
	0.8	30.06±4.36 <sup>cC</sup>	30.33±6.25 <sup>aC</sup>	34.44±3.93 <sup>aAB</sup>	32.20±2.48 <sup>bcB</sup>	36.23±4.55 <sup>aA</sup>
	1.0	31.87±3.35 <sup>bcA</sup>	32.13±3.96 <sup>aA</sup>	34.72±4.47 <sup>aA</sup>	33.30±4.73 <sup>abA</sup>	31.89±3.61 <sup>bA</sup>
ΔE	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.2	3.63	2.53	1.10	2.42	3.33
	0.4	1.11	1.32	2.41	1.30	3.44
	0.6	1.40	1.81	1.50	1.75	2.02
	0.8	3.86	2.39	0.67	4.26	1.66
	1.0	2.01	1.50	1.19	2.86	3.93

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

<sup>2)</sup>Mean±SD (n=15).

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

**Table 3.** Changes on hardness of orange during storage at 20±0.1°C for 12 days after X-ray irradiation (unit: N)

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
	0	3	6	9	12
0	0.32±0.06 <sup>bB1)2)</sup>	0.39±0.05 <sup>aA</sup>	0.34±0.06 <sup>abcB</sup>	0.29±0.07 <sup>abB</sup>	0.29±0.04 <sup>abB</sup>
0.2	0.29±0.06 <sup>bC</sup>	0.35±0.02 <sup>bAB</sup>	0.38±0.05 <sup>aA</sup>	0.34±0.02 <sup>aAB</sup>	0.31±0.06 <sup>abC</sup>
0.4	0.33±0.05 <sup>abAB</sup>	0.33±0.02 <sup>bAB</sup>	0.36±0.03 <sup>abA</sup>	0.30±0.06 <sup>abBC</sup>	0.27±0.03 <sup>bC</sup>
0.6	0.35±0.07 <sup>abA</sup>	0.29±0.05 <sup>cB</sup>	0.35±0.05 <sup>abA</sup>	0.31±0.05 <sup>abAB</sup>	0.30±0.04 <sup>abB</sup>
0.8	0.32±0.09 <sup>abA</sup>	0.30±0.03 <sup>cA</sup>	0.30±0.03 <sup>cA</sup>	0.27±0.05 <sup>bA</sup>	0.29±0.03 <sup>abA</sup>
1.0	0.38±0.04 <sup>aA</sup>	0.27±0.03 <sup>cC</sup>	0.33±0.03 <sup>bcB</sup>	0.28±0.08 <sup>bBC</sup>	0.29±0.04 <sup>abBC</sup>

1) Mean±SD (n=10).

2) Values with different small letters (a-c) within a column differ significantly ( $P<0.05$ ). Values with different capital letters (A-C) within a row differ significantly ( $P<0.05$ ).

사하는 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(22,23). 방사선 조사에 의해 과실이나 채소류는 경도가 저하될 수 있으며 이와 같은 현상은 식물체의 조직과 수분 함량에 따라 다양하게 나타난다고 보고되어 있다(24). 종합하여 볼 때, 1 kGy 이하의 X선 조사는 경도에 영향을 미쳤으나 조사 여부와 저장기간의 증가와 함께 감소하거나 증가하는 경향은 보이지 않았으며 저장일수가 증가함에 따라 비조사구와의 차이가 줄어들었다.

#### 당산비 변화

X선 조사된 오렌지의 산도 및 총 고형분 변화를 Table 4에 나타내었다. 당산비는 과실의 품질 판정에 중요한 지표가 되는 것으로 감귤류는 당산비가 높을수록 선호도가 증가한다(25). 감귤은 사과나 배처럼 후숙을 위해 성숙 이전에 수확할 수 없는 비후숙과(non-climacteric)이며(26), 일반적으로 비후숙과의 경우 전분의 감소와 함께 당과 가용성 고형물이 증가하고 산도가 감소하여 당산비가 증가한다(27). 본 연구에서는 X선을 조사한 오렌지의 당산비가 저장기간과 조사선량에 따라서 유의적 차이가 있었으나 그 증감이 일률적이지 않았다. 한편 저장 중반에 걸쳐 당산비가 증가했다가 저장 후기에 감소하는 경향을 보였다. 이와 같은 결과는 1 kGy 미만의 전자선 조사(20)한 오렌지가 저장 중 조사선량에 따른 경향이 보이지 않았으나 조사선량과는 관계없이 당산비가 증가하다가 저장 후기에 감소하는 경향을 보였

다고 보고한 선행연구 결과와 일치하는 바이며, 따라서 X선 조사는 오렌지의 당산비에 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

#### 총당 및 환원당 함량 변화

X선을 조사한 오렌지의 총당 및 환원당 함량 변화는 Table 5에 나타내었다. 총당 함량은 조사선량과 저장기간에 따른 일률적인 경향은 보이지 않았고, 환원당 함량은 저장기간에 따라 다소 감소하는 경향을 나타냈으나 조사선량에 따른 변화는 보이지 않았다. 과일의 당 함량은 성숙과정이나 저장기간 동안 가수분해에 의해 증가되기도 하고 호흡기질로 사용되어 감소하기도 하는데 비후숙과인 감귤의 경우 저장기간 중에도 계속되는 호흡작용으로 내용 성분의 변화가 일어나며(28), Lee 등(29)은 한라봉 저장 중 환원당 함량이 저장기간이 경과할수록 감소됨을 보고한 바 있다. 한편 오렌지의 감마선 조사(14) 및 전자선 조사(20) 결과와 비교하였을 때 총당 및 환원당 함량은 조사선량의 증가에 따른 뚜렷한 경향을 나타내지 않았다는 것이 유사하였다. 또한 감마선 조사된 살구의 총당 함량 변화는 조사선량과 저장기간에 따른 차이를 나타내지 않았다는 Lee 등(30), 감마선 조사에 따른 사과의 총당 함량이 유의적인 차이를 보이지 않았다고 보고한 Yun 등(31)의 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 결과적으로 본 실험은 선행연구와 유사한 경향을 나타내었음을 알 수 있었으며, 저선량의 X선 조사는 오렌지의 총당과 환원당 함량에 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

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

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
	0	3	6	9	12
0	16.56±0.18 <sup>ab1)2)</sup>	15.02±0.19 <sup>dC</sup>	16.91±0.16 <sup>ab</sup>	18.00±0.12 <sup>aA</sup>	14.66±0.30 <sup>cdC</sup>
0.2	16.10±0.15 <sup>bA</sup>	15.89±0.34 <sup>cA</sup>	14.90±0.20 <sup>dB</sup>	15.89±0.13 <sup>bA</sup>	13.46±0.30 <sup>dC</sup>
0.4	15.33±0.10 <sup>dC</sup>	16.54±0.10 <sup>bA</sup>	15.89±0.24 <sup>cB</sup>	14.31±0.11 <sup>dD</sup>	13.04±0.12 <sup>eE</sup>
0.6	14.96±0.06 <sup>eC</sup>	17.51±0.34 <sup>aA</sup>	15.81±0.16 <sup>cB</sup>	14.82±0.24 <sup>cC</sup>	14.77±0.25 <sup>cdC</sup>
0.8	15.63±0.00 <sup>cB</sup>	16.76±0.04 <sup>bA</sup>	15.10±0.13 <sup>dC</sup>	15.54±0.23 <sup>cdD</sup>	15.67±0.15 <sup>bB</sup>
1.0	14.55±0.05 <sup>fC</sup>	15.81±0.06 <sup>cB</sup>	16.29±0.14 <sup>bA</sup>	14.66±0.05 <sup>cC</sup>	16.19±0.11 <sup>aA</sup>

1) Mean±SD (n=3).

2) Values with different small letters (a-f) within a column differ significantly ( $P<0.05$ ). Values with different capital letters (A-D) 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 X-ray irradiation (unit: g/fresh weight 100 g)

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)					
	0	3	6	9	12	
Total sugars	0	14.54±1.32 <sup>aA1)2)</sup>	12.92±0.20 <sup>aAB</sup>	13.65±1.21 <sup>aAB</sup>	13.11±1.77 <sup>aAB</sup>	11.72±0.44 <sup>abB</sup>
	0.2	13.04±1.79 <sup>abA</sup>	10.09±1.23 <sup>bbB</sup>	9.43±1.18 <sup>bcB</sup>	10.34±0.74 <sup>bbB</sup>	10.86±0.93 <sup>abAB</sup>
	0.4	11.86±1.85 <sup>abAB</sup>	12.82±1.36 <sup>aA</sup>	10.04±1.46 <sup>bcAB</sup>	10.81±1.69 <sup>bbAB</sup>	9.71±0.95 <sup>bbB</sup>
	0.6	10.79±1.70 <sup>baA</sup>	11.10±1.60 <sup>abA</sup>	11.01±1.40 <sup>baA</sup>	11.21±0.51 <sup>abA</sup>	10.62±0.85 <sup>abA</sup>
	0.8	12.79±1.61 <sup>abA</sup>	11.45±1.53 <sup>abA</sup>	8.39±0.23 <sup>cbB</sup>	10.76±0.74 <sup>bbAB</sup>	10.28±1.77 <sup>abAB</sup>
	1.0	12.50±0.45 <sup>abA</sup>	12.68±1.35 <sup>aA</sup>	11.34±1.49 <sup>baA</sup>	12.47±0.78 <sup>abA</sup>	12.10±1.28 <sup>aA</sup>
	Reducing sugars	0	7.38±1.22 <sup>abcA</sup>	5.97±0.56 <sup>abB</sup>	5.50±0.72 <sup>abB</sup>	6.08±0.24 <sup>abB</sup>
0.2		8.48±0.47 <sup>abcA</sup>	5.01±0.51 <sup>bbB</sup>	5.16±0.26 <sup>abB</sup>	5.39±0.34 <sup>abB</sup>	5.19±0.26 <sup>abB</sup>
0.4		8.61±0.12 <sup>baA</sup>	5.47±0.41 <sup>abB</sup>	5.08±0.13 <sup>abB</sup>	5.19±0.83 <sup>abB</sup>	4.21±0.22 <sup>acC</sup>
0.6		7.13±0.25 <sup>bcA</sup>	5.32±0.30 <sup>abB</sup>	5.13±0.25 <sup>abcB</sup>	4.80±0.46 <sup>bbB</sup>	4.56±0.21 <sup>acC</sup>
0.8		7.59±0.37 <sup>abcA</sup>	5.16±0.27 <sup>abB</sup>	4.96±0.71 <sup>abB</sup>	4.72±0.49 <sup>bbB</sup>	4.19±0.84 <sup>abB</sup>
1.0		6.46±1.04 <sup>caA</sup>	5.17±0.61 <sup>abAB</sup>	5.01±0.32 <sup>abAB</sup>	4.69±0.51 <sup>bbB</sup>	4.21±1.37 <sup>abB</sup>

<sup>1)</sup>Mean±SD (n=3).

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

### 비타민 C 함량 변화

X선이 조사된 오렌지의 비타민 C 함량 변화는 Table 6에 나타내었다. 과일과 채소 등의 음식을 섭취는 비타민 C 및 카로티노이드와 같은 중요한 영양소들을 포함하고 있으며, 이런 물질들은 산화물 및 자유라디칼과 반응하여 체내의 산화적 스트레스를 조절한다고 알려져 있다(32,33). 비타민 C 함량은 저장 9일째에 0.8 kGy 이하의 모든 선량에서 가장 낮은 값을 나타냈으나, 저장기간과 조사선량에 따른 일률적 경향이 나타나지 않았다. 이는 Nagai와 Moy(34)가 1 kGy 미만의 감마선을 발렌시아 오렌지에 조사하여 저온 저장하였을 때 ascorbic acid 함량이 유의적인 차이가 없었던 것과 유사하다. Chung과 Yook(35) 및 Kim과 Yook(36)의 연구에서 감귤, 딸기 및 키위에 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 있다. 따라서 1 kGy 이하 저선량의 X선 조사는 오렌지의 비타민 C 함량 감소에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

### 관능평가

X선이 조사된 오렌지의 관능평가 결과는 Table 7에 나타내었다. 상온 저장 9일째부터 모든 선량에서 물러짐과 거무튀튀한 색깔이 나타나고 곰팡이가 관찰되었으며 그 정도가 갈수록 심해져 변패취가 나타나 관능적으로 적절치 못하다 판단되어 저장 6일까지 관능평가를 수행하였다. 비조사구와 조사구에서는 대부분 저장기간에 따른 유의적 차이는 없었지만 예외적으로 비조사구의 단맛은 저장기간에 따라 감소하는 경향을 보였고, 조사구의 조직감은 0.6 kGy에서 저장기간에 따라 증가하였다. 저장 0일째 향을 제외한 모든 항목에서 0.2 kGy 조사구가 가장 낮은 선호도를 보였다. 저장 6일째는 비조사구에 비해 조사구의 기호도가 높았다. 전체적인 선호도에서는 저장기간과 조사선량에 유의적 차이가 없었다. Moreno 등(17)은 블루베리에 저선량의 전자선을 조사하여 관능평가를 실시한 결과 3.2 kGy 이하의 전자선 조사는 블루베리의 관능적 품질에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다. 또한 Kim 등(37)은 신고배에 전자선을 조사한 결과 비조사구와 조사구 간 배 특유의 향기 성분에 유의적인 차이가 없었고, 1 kGy 이하의 저선량으로 조사된 배의 기호도가 비조사구와 조사구 간 유의적으로 차이가 없는 것으로

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

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)					
	0	3	6	9	12	
0	37.13±0.11 <sup>bb1)2)</sup>	42.04±0.09 <sup>ba</sup>	29.05±0.09 <sup>ed</sup>	19.40±0.15 <sup>fe</sup>	33.69±0.26 <sup>cc</sup>	
0.2	31.74±0.27 <sup>ed</sup>	37.14±0.06 <sup>db</sup>	32.31±0.11 <sup>cc</sup>	31.00±0.08 <sup>ae</sup>	37.65±0.47 <sup>aa</sup>	
0.4	38.36±0.21 <sup>aa</sup>	33.04±0.16 <sup>fc</sup>	32.32±0.08 <sup>ed</sup>	29.18±0.06 <sup>ee</sup>	35.72±0.16 <sup>bb</sup>	
0.6	32.40±0.13 <sup>dc</sup>	36.54±0.28 <sup>ea</sup>	33.71±0.19 <sup>bb</sup>	27.72±0.23 <sup>de</sup>	30.18±0.05 <sup>dd</sup>	
0.8	33.42±0.15 <sup>cc</sup>	39.09±0.09 <sup>ea</sup>	31.48±0.20 <sup>dd</sup>	25.12±0.08 <sup>ee</sup>	35.50±0.22 <sup>bb</sup>	
1.0	31.10±0.11 <sup>fc</sup>	46.45±0.19 <sup>aa</sup>	36.11±0.08 <sup>ab</sup>	30.14±0.11 <sup>bd</sup>	28.11±0.05 <sup>ee</sup>	

<sup>1)</sup>Mean±SD (n=3).

<sup>2)</sup>Values with different small letters (a-f) 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 X-ray irradiation

Sensory parameters	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)		
		0	3	6
Color	0	4.8±1.2 <sup>aA1)2)</sup>	4.9±1.4 <sup>aA</sup>	4.6±1.2 <sup>aA</sup>
	0.2	4.4±1.4 <sup>aA</sup>	5.0±1.5 <sup>aA</sup>	5.1±1.2 <sup>aA</sup>
	0.4	4.8±1.1 <sup>aA</sup>	4.7±1.3 <sup>aA</sup>	5.3±1.2 <sup>aA</sup>
	0.6	4.6±1.3 <sup>aA</sup>	4.8±1.2 <sup>aA</sup>	5.1±1.6 <sup>aA</sup>
	0.8	5.1±1.1 <sup>aA</sup>	5.1±1.9 <sup>aA</sup>	5.0±1.6 <sup>aA</sup>
	1.0	4.9±1.0 <sup>aA</sup>	4.8±1.8 <sup>aA</sup>	4.9±1.4 <sup>aA</sup>
	Sweetness	0	4.8±1.4 <sup>aA</sup>	4.3±1.7 <sup>aAB</sup>
0.2		4.0±1.5 <sup>aA</sup>	4.8±1.3 <sup>aA</sup>	3.7±1.5 <sup>abA</sup>
0.4		4.1±1.3 <sup>aA</sup>	4.7±1.7 <sup>aA</sup>	4.5±1.5 <sup>abA</sup>
0.6		4.9±1.5 <sup>aA</sup>	4.1±1.8 <sup>aA</sup>	4.7±1.7 <sup>aA</sup>
0.8		4.9±1.4 <sup>aA</sup>	4.3±1.5 <sup>aA</sup>	4.4±1.6 <sup>abA</sup>
1.0		4.7±1.2 <sup>aA</sup>	4.2±1.9 <sup>aA</sup>	4.6±1.7 <sup>abA</sup>
Sourness		0	4.1±1.7 <sup>aA</sup>	3.9±1.5 <sup>aA</sup>
	0.2	3.6±1.3 <sup>aA</sup>	4.4±1.7 <sup>aA</sup>	3.9±1.6 <sup>aA</sup>
	0.4	3.9±1.3 <sup>aA</sup>	3.9±1.4 <sup>aA</sup>	4.8±1.8 <sup>aA</sup>
	0.6	4.5±1.3 <sup>aA</sup>	4.1±1.9 <sup>aA</sup>	4.8±1.7 <sup>aA</sup>
	0.8	4.3±1.7 <sup>aA</sup>	4.0±1.4 <sup>aA</sup>	4.6±1.5 <sup>aA</sup>
	1.0	3.8±1.1 <sup>aA</sup>	4.4±1.6 <sup>aA</sup>	4.3±1.1 <sup>aA</sup>
	Flavor	0	4.8±1.4 <sup>aA</sup>	4.8±1.9 <sup>aA</sup>
0.2		4.1±1.3 <sup>abA</sup>	4.7±1.6 <sup>aA</sup>	4.6±1.4 <sup>aA</sup>
0.4		3.7±1.4 <sup>ba</sup>	4.4±1.6 <sup>aA</sup>	4.5±1.4 <sup>aA</sup>
0.6		4.8±1.2 <sup>aA</sup>	4.1±1.9 <sup>aA</sup>	3.9±1.5 <sup>aA</sup>
0.8		4.7±1.0 <sup>aA</sup>	4.0±1.9 <sup>aA</sup>	3.9±1.5 <sup>aA</sup>
1.0		4.8±1.1 <sup>aA</sup>	3.8±1.8 <sup>aA</sup>	4.1±1.6 <sup>aA</sup>
Texture		0	4.3±1.4 <sup>aA</sup>	4.1±1.3 <sup>aA</sup>
	0.2	4.1±0.9 <sup>aA</sup>	4.9±1.3 <sup>aA</sup>	4.1±1.4 <sup>aA</sup>
	0.4	4.2±1.2 <sup>aA</sup>	4.1±1.4 <sup>aA</sup>	4.9±1.3 <sup>aA</sup>
	0.6	4.1±0.9 <sup>ab</sup>	4.5±1.6 <sup>abA</sup>	5.2±1.6 <sup>aA</sup>
	0.8	4.3±1.2 <sup>aA</sup>	4.6±1.5 <sup>aA</sup>	4.7±1.5 <sup>aA</sup>
	1.0	4.2±0.9 <sup>aA</sup>	4.2±1.5 <sup>aA</sup>	4.3±1.3 <sup>aA</sup>
	Overall acceptability	0	4.3±1.7 <sup>aA</sup>	4.5±1.2 <sup>aA</sup>
0.2		4.0±1.4 <sup>aA</sup>	4.4±1.5 <sup>aA</sup>	4.1±1.7 <sup>aA</sup>
0.4		4.2±1.5 <sup>aA</sup>	4.3±1.7 <sup>aA</sup>	4.8±1.4 <sup>aA</sup>
0.6		4.6±1.4 <sup>aA</sup>	4.6±1.3 <sup>aA</sup>	4.8±1.6 <sup>aA</sup>
0.8		5.0±1.3 <sup>aA</sup>	4.1±1.0 <sup>aA</sup>	4.6±1.3 <sup>aA</sup>
1.0		4.8±0.9 <sup>aA</sup>	4.3±1.7 <sup>aA</sup>	4.4±1.5 <sup>aA</sup>

<sup>1)</sup>Mean±SD (n=20).

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

나타났음을 보고하였다. 따라서 1 kGy 이하 저선량의 X선 조사는 오렌지의 관능적 특성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

## 요 약

X선 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 X선을 조사하여 상온(20±0.1°C)에서 12일간 저장하면서 색도, 경도, 당산비, 총당, 환원당, 비타민 C 함량을 조사하였다. 색

도, 당산비, 총당 및 환원당 함량, 비타민 C 함량은 조사선량에는 유의적 차이가 없었다. 경도는 저장 후기에 비조사구와 조사구의 차이가 점차 감소하며 비조사구와 다른 조사구가 유사한 값을 나타냈다. 환원당 함량은 저장기간에 따라 감소하는 경향을 보였다. 관능평가에서 비조사구와 조사구는 단맛과 질감을 제외하고는 저장기간에 따른 유의적 차이가 없었다. 전체적인 선호도에서는 저장기간과 조사선량에 유의적 차이가 없었다. 상기의 결과를 종합하여 볼 때 X선 조사는 오렌지의 관능적 특성과 품질 특성에 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 농림수산식품기술기획평가원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## REFERENCES

- Lee YS. 2004. The status and prospects of orange/grape industries in the United States. Research Report of Korea Rural Economic Institute, Seoul, Korea. p 191-254.
- Park JH, Yun SH, Kim HY, An HJ, Kim KS, Moon YE, Lee DH. 2007. New navel orange cultivar 'Poong Kwang'. *Kor J Hort Sci Technol* 25: 52.
- 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.
- 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.
- 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.
- Kim KH, Kim KS, Park SY, Lee YK, Yook HS. 2009. Trends of international standard procedures on dosimetry systems and irradiated foods applied in the multi-purpose radiation processing facilities. *Journal of Radiation Industry* 3: 135-144.
- Lee JW, Yoon Y. 2010. Use of irradiation in food processing as green technology. *Food Science and Industry* 43(1): 53-63.
- Kwon JH. 2010. *Safety and understanding of irradiated food*. Korea Food Safety Research Institute, Seoul, Korea. p 9-29.
- International Consultative Group of Food Irradiation. 1999. Facts about food irradiation. <http://www.piwet.pulawy.pl/irradiacja/factsaboutfoodirradiation.pdf> (accessed Aug 2014). p 16.
- Kwon YJ, Huh EY, Kwon JH, Byun MW. 1999. Quarantine status of agricultural products for export and application prospects of irradiation technology. *Food Science and Industry* 32(2): 80-90.
- Van Calenberg S, Vanhaelewyn G, Van Cleemput O, Callens F, Mondelaers W, Huyghebaert A. 1998. Comparison of the effect of X-ray and electron beam irradiation on some se-

- lected spices. *LWT—Food Sci Technol* 31: 252-258.
13. UNEP. 1995. Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Report of the Methyl Bromide Technical Options Committee, United Nations Environment Programme. Nairobi, Kenya. p 294.
  14. Kyung EJ, Kim KH, Yook HS. 2014. Quality characteristics of gamma irradiated-imported orange during storage. *Korean J Food & Nutr* 27: 31-42.
  15. Boylston TD, Reitmeier CA, Moy JH, Mosher GA, Taladriz L. 2002. Sensory quality and nutrient composition of three Hawaiian fruits treated by X-irradiation. *Journal of Food Quality* 25: 419-433.
  16. 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.
  17. Moreira 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.
  18. 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.
  19. 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. Cho YJ, Kim KH, Yook HS. 2015. Quality characteristics of low-dose electron beam irradiated-imported navel orange during storage at room temperature (20°C). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44: 455-463.
  21. Kwon JG, Kim SJ, Chung HW, Kwon YJ, Byun MW. 1998. Comparative effects of gamma irradiation and methyl bromide fumigation on disinfestation and physicochemical quality of acron. *Korean J Postharvest Sci Technol* 5: 199-206.
  22. Thayer DW. 1994. Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol* 48(5): 132-135.
  23. 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.
  24. Yun HJ, Lim SY, Hur JM, Lee BY, Choi YJ, Kwon JH, Kim DH. 2008. Changes of nutritional compounds and texture characteristics of peaches (*Prunus persica* L. Batsch) during post-irradiation storage at different temperature. *Korean J Food Preserv* 15: 377-384.
  25. 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.
  26. Koh SW. 2002. *Agricultural science technology vol. 12 “fruit tree (3)”*. Rural Development Administration, Jeonju, Korea. p 296.
  27. Westwood MN. 2002. *Temperate-zone pomology physiology and culture*. 1st ed. Joongang Life Publishing Co., Seoul, Korea. p 313.
  28. Ackermann J, Ficher M, Amado R. 1992. Changes in sugars, amino acids during ripening and storage of apples (cv. Glockenapfel). *J Agric Food Chem* 40: 1131-1134.
  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. 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.
  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. Shon MY, Park SK. 2006. Synergistic effect of Yuza (*Citrus junos*) extracts and ascorbic acid on antiproliferation of human cancer cells and antioxidant activity. *Korean J Food Preserv* 13: 649-654.
  33. Sies H, Stahl W. 1995. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids as antioxidants. *Am J Clin Nutr* 62: 1315S-1321S.
  34. Nagai NY, Moy JH. 1985. Quality of gamma irradiated California Valencia oranges. *J Food Sci* 50: 215-219.
  35. 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.
  36. Kim KH, Yook HS. 2009. Effect of gamma irradiation on quality of kiwifruit (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa* cv. Hayward). *Radiat Phys Chem* 78: 414-421.
  37. 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.