

저선량 X선 조사 수입 오렌지의 저온저장 중 품질 특성

노단비 · 김경희 · 육홍선
충남대학교 식품영양학과

Quality Characteristics of Low-Dose X-Ray-Irradiated Imported Navel Oranges during Storage under Low Temperature (3°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 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 value, hardness, Brix/acid ratio, total sugar content, reducing sugar content, vitamin C contents, and sensory evaluation were investigated. There was no significant increase or decrease in Brix/acid ratio, total sugar content, reducing sugar content, or vitamin C content between the non-irradiated and irradiated samples. Color value of orange peels decreased with increasing levels of irradiation treatment. Color b value of orange pulp increased with an increase in irradiation dose. Difference in hardness between the non-irradiated and irradiated samples decreased at the end of storage. For the sensory evaluation after 30 days, sweetness and overall acceptability of irradiated samples at more than 0.6 kGy were low. These results suggest that X-ray irradiation under 0.6 kGy does not affect quality characteristics and sensory evaluation.

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

서 론

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(1). 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). 오렌지는 비타민 C, 칼륨, 펙틴, flavonone 및 carotenoid 등의 생리활성 물질이 풍부해 높은 영양적 가치를 지녔으나(2), 녹색 곰팡이(*Penicillium digitatum*)와 청색 곰팡이(*Penicillium italicum*) 같은 미생물이나 꽃무지, 볼록충채벌레, 하와이충채벌레, 매미충 등 해충 감염에 의한 병해충 발생에 민감하여 수출입 과정에서의 병해충 방제 처리가 필수적으로 이뤄져야 하는 과실이다(3-5). 식물검역 과정에서는 병해충을 방제하기 위하여 포스핀(phosphine, PH₃), 시안화수소(hydrogen cyanide, HCN) 및 메틸브로마이드(methyl bromide,

MB)와 같은 화학 훈증제가 이용되어 왔으나(6), 최근 국제연합식량농업기구(FAO), 국제원자력기구(IAEA), 세계보건기구(WHO) 등의 국제기구에서 식품 방사선 조사기술을 유용하고 안전한 식품 및 공중보건 제품의 살균방법으로 공인하면서 방사선 조사가 화학 훈증제를 대체하는 검역기술로 활용(7,8)되고 있다.

식품 방사선에 이용되는 조사선원으로는 감마선, X-선 및 전자선 등이 있다. 감마선은 Co-60 및 Cs-137 등과 같은 방사성동위원소에서 자연적으로 방출되는 빛에너지를 이용하는 방법이며, X선 및 전자선은 전자를 빠른 속도로 가속해 방출되는 에너지를 이용하는 방법이다. X선 및 전자선은 감마선보다 투과력이 약하므로 대용량의 식품조사 처리가 어려운 단점이 있으나 기계적인 장치를 이용하므로 on/off가 가능하여 에너지를 효율적으로 이용할 수 있다. 전자선은 고선량을 신속하게 처리할 수 있는 장점이 있지만 입자 방사선이라는 특징으로 인하여 투과력이 작다는 단점이 있으므로 X-선이 전자선에 비해 보다 두꺼운 시료의 처리가 가능하다(9,10). FDA에서는 식물 위생의 목적으로 과일의 방사선 조사를 1 kGy 이하로 허용하고 있으며(11), WHO/FAO/IAEA 및 Codex의 식품 방사선 조사 국제적 합의 기준에서 생과일 및 신선야채류의 방사선 조사 목적과 기술적 선량 범위는 속도지연으로써 0.3~1.0 kGy, 해충구제로써 0.3~1.0 kGy, 저장성 연장으로써 1.0~2.5 kGy, 검

역관리로써 0.15~1.0 kGy로 정하였다(12). 오렌지는 메틸브로마이드 사용비율이 가장 높은 목재류 다음으로 사용량이 높은 품목으로 메틸브로마이드 사용을 지양하는 국제 무역의 검역 관리 추세와 함께 해충 방제 방법의 전환이 요구되는 첫 번째 수입 과실로 판단된다. 그러나 우리나라는 주요 농산물 수입국에도 불구하고 신선 식품 방사선 조사에 관한 규정이 마련되어 있지 않고, 현재는 환경적인 문제로 인해 전 세계적으로 사용이 금지되거나 그 사용량이 줄어든 메틸브로마이드가 여전히 식물검역 현장에서 병해충 소독의 목적으로 이용되고 있는 실정이다(13,14).

따라서 본 연구는 X선 조사가 오렌지의 이화학적 품질 변화와 유통 및 저장 시 품질 안정성에 미치는 영향을 조사함으로써 영양 건전성이 확보되는 조사선량 설정의 기초자료로써 이용하고, 나아가 소비자 신뢰성 향상 및 방사선 조사 식품의 국제 교역 가능성 증대에 이바지하고자 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(3±2°C)하였다.

X선 조사

X선 조사는 Seoul Radiology Service Co.(Chungbuk, Korea) 내 X-ray linear accelerator(MEVEX, Ontario, 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 흡수 선량에 도달할 때까지 조사를 반복하였다. 선량은 Codex 등에서 수입 과실에 식물 위생의 목적으로 허용되는 조사량을 기준으로 하였고, 흡수선량의 확인은 B3 film dosimeter(GEX, Denver, CO, USA)를 사용하였다. 비조사구인 0 kGy는 동일한 온도 효과를 얻기 위하여 X선 조사시설 외부에 보관하였고, 조사 직후 조사구와 함께 보관하였다.

시료 준비

X선 조사 시료는 X선을 조사하지 않은 비조사구와 함께 3±2°C에서 0일, 15일, 30일, 37일, 45일 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 동결 건조(FD 8518, Ilshin Lab Co., Ltd., Dongducheon, Korea)하

여 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 나타냈으며 15회 이상 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

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 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(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., Anyang, Korea) 5 mL를 넣어 vortexing 한 뒤, 실온에서 20분 정도 방치하고 spectrophotometer(UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 490 nm에서 흡광도를 측정하였다. 환원당은 DNS법(15)을 이용하는데 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% methanol에 용해하여 0.2 μ 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 μ m), detector는 YL 9120 UV/vis detector, mobile phase는 acetonitrile : water=10:90(v/v), flow rate는 0.7 mL/min으로 하고, 20 μ 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.

통계 처리

모든 실험은 3회 이상 반복 측정하였으며, 그 결과는 SPSS Statistics 21.0 software(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 통계 처리를 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 L값(명도)과 a값(적색도), b값(황색도) 모두 저장기간과 조사선량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 이는 Kyung 등(15)의 연구에서 감마선

조사된 오렌지의 L, a, b 값이 저장기간과 조사선량 증가에 따라 감소하는 경향과 유사하였다. 과육의 L, a 값은 조사 여부와 저장기간의 증가와 함께 감소하거나 증가하는 일률적인 경향은 보이지 않았다. L값은 저장 30일까지 저장기간에 따라 유의적으로 감소하다가 저장 37일째에 가장 높은 값을 나타내고 저장기간에 따라 다시 감소하였다. a값은 저장 15일째 가장 높은 값을 보이고 점차 감소하였다. b값은 저장기간이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다.

ΔE 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 ΔE 값은 0.60~11.76의 범위로 나타났으며 과육의 ΔE 값은 0.18~11.99의 범위로 나타났다. 과피와 과육 모두 저장 0일차의 시료구를 기준으로 과피는 평균 5, 과육은 평균 2의 색차를 보였으나 비조사구와 조사구 간 색차의 경향을 나타내지 않았다. 상기의 결과는 1 kGy 이하의 감마선 조사(15)와 전자선 조사(17)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. 오렌지는 생과 100 g당 85~90%의 수분을 함유하는 과실로 수확 후 저장, 유통되는 과정에서 수분이 증발되며, 이런 상태가 지속될수록 중량과 조직감 감소가 나타나 품질이 저하된다(18). 따라서 과실의 물성 중 경도는 감귤류의 유통이나 저장 중 신선도를 측정하는 지표가 되며, 과육의 경도에 따라 저장성을 예측하기도 한다(19). 오렌지의 경도는 저장기간이 증가할수록 낮아지는 경향을 보였다. 저장 0일째 비조사구와 조사구 간 경도차가 있었으나 경향이 보이지 않았으며, 저장 30일째까지는 저장기간이 경과함에 따라 조사구와 비조사구 간 차이가 감소하는 것으로 나타났다. 0.8 kGy 조사구를 제외하고 모두 저장 0일째에 비해 경도가 낮아졌다. 종합하여 볼 때 1 kGy 이하의 X선 조사는 조사 여부와 저장기간의 증가와 함께 감소하거나 증가하는 경향이 나타나지 않아 오렌지의 경도에 영향을 미치지 않는 것으로 보인다. 반면 감마선 조사(15)는 0.6 kGy 이하, 전자선 조사(17)는 0.8 kGy 이하가 오렌지의 경도에 영향을 미치지 않는다고 보고한 것으로 보아, 감마선과 전자선보다는 X선이 오렌지의 경도에 미치는 영향이 적은 것으로 생각된다.

당산비 변화

X선 조사된 오렌지의 산도 및 총고형분 변화를 Table 4에 나타내었다. 당산비는 과실의 품질판정에 중요한 지표가 되는 것으로, 일반적으로 감귤이 성숙됨에 따라 당 함량이 증가하는 것으로 알려졌다(20-22). Ko 등(23)은 감귤류가 일

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

Hunter parameter ¹⁾	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
		0	15	30	37	45
L	0	61.46±1.98 ^{aA2)3)}	60.01±1.87 ^{abABC}	60.77±1.33 ^{aAB}	59.58±2.21 ^{aBC}	58.63±3.80 ^{aC}
	0.2	61.23±1.61 ^{aA}	60.66±1.79 ^{aA}	59.52±2.09 ^{abA}	59.09±3.03 ^{aA}	54.60±6.05 ^{cB}
	0.4	60.17±1.49 ^{aA}	59.09±2.13 ^{abA}	59.22±1.64 ^{abA}	59.69±2.63 ^{aA}	56.63±2.92 ^{abcB}
	0.6	58.18±1.57 ^{bA}	55.74±2.44 ^{cA}	58.27±4.46 ^{bcA}	56.33±4.58 ^{bA}	57.92±1.95 ^{abA}
	0.8	60.32±2.33 ^{aA}	58.64±2.82 ^{bAB}	56.37±4.35 ^{cdBC}	55.81±3.88 ^{bC}	54.87±3.29 ^{bcC}
	1.0	60.25±1.08 ^{aA}	56.56±3.76 ^{cB}	54.58±2.91 ^{dB}	56.23±3.77 ^{bB}	54.95±4.52 ^{bcB}
a	0	40.24±2.46 ^{cA}	40.45±2.79 ^{aA}	36.45±2.43 ^{aB}	38.16±2.57 ^{aB}	37.40±3.26 ^{aB}
	0.2	40.78±1.68 ^{bcA}	39.28±2.19 ^{abA}	39.42±2.01 ^{aA}	38.91±2.37 ^{aA}	29.67±6.50 ^{cB}
	0.4	40.62±1.82 ^{bcA}	39.08±1.78 ^{abAB}	37.88±2.14 ^{abC}	36.81±4.69 ^{abC}	35.30±4.89 ^{abC}
	0.6	42.41±1.96 ^{aA}	35.35±2.67 ^{dB}	31.76±5.26 ^{bD}	32.90±7.11 ^{bCD}	37.47±2.18 ^{aB}
	0.8	40.62±3.09 ^{bcA}	36.37±2.30 ^{cdB}	31.16±5.97 ^{bC}	32.82±5.79 ^{bBC}	32.23±5.92 ^{bcC}
	1.0	42.18±1.00 ^{abA}	38.20±3.93 ^{bcB}	32.67±4.93 ^{bC}	36.87±4.99 ^{aB}	33.05±5.62 ^{bcC}
b	0	64.43±3.79 ^{aA}	56.04±3.96 ^{abB}	58.01±3.71 ^{aB}	58.23±4.24 ^{aB}	54.99±7.06 ^{aB}
	0.2	64.29±2.27 ^{aA}	57.66±3.33 ^{abB}	58.64±3.85 ^{aB}	55.89±4.21 ^{aB}	47.10±9.34 ^{cC}
	0.4	63.30±2.14 ^{abA}	56.12±3.47 ^{abB}	56.20±2.66 ^{aB}	56.59±4.20 ^{aB}	53.17±4.86 ^{abC}
	0.6	59.87±2.34 ^{dA}	53.39±4.16 ^{bB}	55.16±7.83 ^{abB}	50.83±8.31 ^{bB}	54.81±2.66 ^{aB}
	0.8	62.15±2.90 ^{bcA}	54.56±3.58 ^{abB}	50.48±8.78 ^{bBC}	49.97±6.29 ^{bC}	48.24±5.63 ^{bcC}
	1.0	60.27±2.04 ^{cdA}	54.96±4.60 ^{abB}	49.12±4.93 ^{bC}	51.33±6.90 ^{bBC}	49.58±7.82 ^{bcC}
ΔE	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.2	0.60	2.10	3.29	2.51	11.76
	0.4	1.76	1.65	2.78	2.13	3.43
	0.6	6.03	7.16	6.03	3.05	0.74
	0.8	2.58	4.55	10.20	10.53	9.30
	1.0	4.75	4.26	11.47	7.77	7.87

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

²⁾Mean±SD (n=15).

³⁾Values with different letters within a column (a-d) and a row (A-D) differ significantly ($P<0.05$).

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

Hunter parameter ¹⁾	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
		0	15	30	37	45
L	0	53.05±3.22 ^{aA2)3)}	52.05±2.38 ^{abA}	49.12±4.05 ^{aB}	54.25±2.59 ^{aA}	52.98±1.57 ^{aA}
	0.2	53.21±3.34 ^{aA}	51.39±3.13 ^{abAB}	49.20±4.87 ^{abB}	52.54±1.29 ^{bA}	52.20±1.99 ^{aA}
	0.4	53.84±2.43 ^{aAB}	53.31±3.47 ^{aAB}	50.65±3.35 ^{aC}	54.83±2.21 ^{aA}	52.32±2.29 ^{abC}
	0.6	52.38±2.46 ^{aA}	49.75±5.40 ^{bB}	49.72±2.95 ^{abB}	53.80±2.09 ^{abA}	53.50±3.39 ^{aA}
	0.8	51.65±2.27 ^{aAB}	44.84±4.77 ^{cC}	50.37±2.87 ^{abB}	53.68±2.44 ^{abA}	53.48±2.05 ^{aA}
	1.0	51.78±2.24 ^{aBC}	49.75±4.43 ^{bCD}	49.52±3.22 ^{aD}	54.38±1.50 ^{aA}	52.62±1.57 ^{abB}
a	0	6.02±1.47 ^{abB}	7.20±1.09 ^{bcA}	6.37±1.51 ^{aA}	7.34±1.41 ^{aA}	5.95±1.54 ^{bB}
	0.2	6.79±0.78 ^{aAB}	7.91±0.97 ^{abA}	6.26±1.99 ^{abB}	7.79±1.41 ^{aA}	5.92±2.10 ^{bB}
	0.4	6.65±1.02 ^{aB}	8.00±1.26 ^{abA}	5.98±1.13 ^{abB}	5.92±1.46 ^{bB}	6.99±1.94 ^{abAB}
	0.6	5.02±1.08 ^{cdB}	8.38±1.39 ^{aA}	6.31±1.68 ^{abB}	5.40±1.36 ^{bB}	7.57±2.66 ^{aA}
	0.8	4.55±1.47 ^{dC}	6.74±1.02 ^{cA}	5.13±1.06 ^{bBC}	5.97±2.02 ^{abAB}	6.66±1.49 ^{abA}
	1.0	5.52±1.12 ^{bcB}	6.61±1.42 ^{ca}	5.38±1.02 ^{abB}	4.97±1.44 ^{bB}	6.69±1.38 ^{abA}
b	0	33.34±5.76 ^{bcA}	35.30±3.15 ^{aA}	32.32±5.18 ^{aA}	35.44±3.39 ^{abA}	35.20±2.51 ^{abA}
	0.2	36.88±4.28 ^{aA}	33.82±3.45 ^{abAB}	32.44±6.71 ^{abB}	35.07±3.54 ^{abAB}	33.36±2.96 ^{bB}
	0.4	33.81±4.58 ^{abA}	36.23±3.14 ^{aA}	33.43±4.79 ^{aA}	36.37±2.36 ^{aA}	35.48±4.62 ^{abA}
	0.6	32.62±3.13 ^{bcB}	33.77±5.64 ^{abAB}	33.05±3.74 ^{abAB}	35.47±3.92 ^{abAB}	36.41±6.05 ^{abA}
	0.8	30.06±4.36 ^{cC}	30.11±3.87 ^{cC}	31.80±4.55 ^{abC}	33.44±3.59 ^{bB}	36.70±2.86 ^{aA}
	1.0	31.87±3.35 ^{bcB}	31.87±4.76 ^{bcB}	31.68±4.33 ^{abB}	33.26±4.52 ^{bB}	36.80±4.14 ^{aA}
ΔE	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	0.2	3.63	1.77	0.18	1.99	1.81
	0.4	1.11	1.76	1.93	1.26	1.79
	0.6	1.40	3.00	0.95	2.09	11.99
	0.8	3.86	8.90	1.84	1.73	2.49
	1.0	2.01	4.17	1.24	1.79	3.22

¹⁾⁻³⁾Legends are the same as Table 1.

Table 3. Changes on hardness of orange during storage at 3±2°C for 45 days after X-ray irradiation (unit: N)

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
	0	15	30	37	45
0	0.32±0.06 ^{bA1)2)}	0.30±0.03 ^{aA}	0.30±0.03 ^{abA}	0.29±0.03 ^{bA}	0.29±0.03 ^{bA}
0.2	0.29±0.06 ^{bA}	0.26±0.04 ^{bA}	0.28±0.03 ^{bA}	0.29±0.04 ^{bA}	0.29±0.04 ^{bA}
0.4	0.33±0.05 ^{abA}	0.24±0.04 ^{bC}	0.28±0.02 ^{abB}	0.31±0.04 ^{abAB}	0.30±0.03 ^{abAB}
0.6	0.35±0.07 ^{abA}	0.27±0.02 ^{bB}	0.31±0.02 ^{abB}	0.29±0.04 ^{bB}	0.30±0.04 ^{abB}
0.8	0.32±0.09 ^{abAB}	0.27±0.03 ^{bC}	0.28±0.02 ^{bBC}	0.29±0.04 ^{bBC}	0.34±0.03 ^{aA}
1.0	0.38±0.04 ^{aA}	0.25±0.03 ^{bC}	0.29±0.02 ^{abB}	0.34±0.05 ^{abB}	0.29±0.06 ^{bB}

1) Mean±SD (n=10).

2) Values with different letters within a column (a,b) and a row (A-C) differ significantly ($P<0.05$).**Table 4.** Changes on Brix/acid ratio of orange during storage at 3±2°C for 45 days after X-ray irradiation

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
	0	15	30	37	45
0	16.56±0.18 ^{aB1)2)}	14.14±0.13 ^{cD}	16.40±0.10 ^{bcdB}	15.89±0.10 ^{cC}	17.15±0.09 ^{bA}
0.2	16.10±0.15 ^{bB}	15.13±0.14 ^{bB}	17.31±0.71 ^{aA}	17.97±0.94 ^{aA}	17.67±0.10 ^{aA}
0.4	15.33±0.10 ^{dC}	13.89±0.17 ^{cD}	16.66±0.30 ^{abcB}	16.85±0.38 ^{bcAB}	17.25±0.16 ^{bA}
0.6	14.96±0.06 ^{dD}	15.11±0.15 ^{bD}	17.07±0.19 ^{abB}	16.33±0.00 ^{bcC}	17.79±0.20 ^{aA}
0.8	15.63±0.00 ^{eB}	13.87±0.34 ^{cC}	15.90±0.38 ^{dB}	16.44±0.18 ^{bcA}	16.86±0.09 ^{cA}
1.0	14.55±0.05 ^{fC}	15.84±0.17 ^{abB}	16.02±0.24 ^{cdB}	17.37±0.93 ^{abA}	17.90±0.08 ^{aA}

1) Mean±SD (n=3).

2) Values with different letters within a column (a-f) and a row (A-D) differ significantly ($P<0.05$).

정기간 후숙을 시킴으로써 품질이 좋아지고 저장기간이 경과함에 따라 감귤 성분 중 산 함량이 감소하여 당산비가 높아진다고 하였다. 본 연구에서는 X선을 조사한 오렌지의 당산비가 저장기간과 조사선량에 따라서는 유의적 차이가 있었으나 그 증감이 일률적이지 않았다. 저장 45일째 모든 선량에서 가장 높은 값을 나타냈다. 이와 같은 결과는 Kyung (24)과 Cho 등(17)의 1 kGy 이하의 감마선과 전자선을 조사한 오렌지가 저장기간과 조사선량에 따른 경향이 보이지 않았으나 저장 후기에 당산비가 증가하는 경향을 보였다고 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. 비후숙과일인 오렌지는 수확 후 호흡률이 감소하여 품질이 계속 떨어지게 되고, 품질 변화는 과일 자체의 특성과 다양한 환경 요인을 포함한 매우 복잡한 요소들에 의해 결정된다(25). 총당 함량은 저장기간과 조사선량에 따른 일률적인 변화는 나타나지 않았다. 비조사구에서 저장 15일째 감소하였다가 저장 30일째에 다시 증가하였고 이후 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 0.2 kGy, 0.4 kGy 및 0.8 kGy 조사구에서는 저장기간에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았다. 또한 저장 15일째와 저장 37일째 조사선량에 따른 통계적 유의차는 없었다. 이는 감귤 저장

Table 5. Changes on total sugar contents and reducing sugar contents of orange during storage at 3±2°C for 45 days after X-ray irradiation (unit: g/fresh weight 100 g)

	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
		0	15	30	37	45
Total sugars	0	14.54±1.32 ^{aA1)2)}	11.33±2.14 ^{ab}	15.05±1.50 ^{aA}	14.44±1.07 ^{aA}	13.91±0.94 ^{aA}
	0.2	13.04±1.79 ^{abA}	12.10±2.77 ^{aA}	14.49±2.10 ^{aA}	12.27±1.70 ^{aA}	12.55±0.66 ^{abA}
	0.4	11.86±1.85 ^{abA}	11.07±2.62 ^{aA}	10.80±0.41 ^{cA}	11.40±2.63 ^{aA}	11.76±1.02 ^{bA}
	0.6	10.79±1.70 ^{bB}	10.51±1.37 ^{abB}	11.72±0.54 ^{bcAB}	13.09±0.55 ^{aA}	13.42±0.18 ^{aA}
	0.8	12.79±1.61 ^{abA}	11.40±1.29 ^{aA}	13.24±1.01 ^{abA}	11.70±2.51 ^{aA}	11.16±1.31 ^{bA}
	1.0	12.50±0.45 ^{abAB}	13.17±1.50 ^{aA}	14.17±1.71 ^{aA}	12.54±0.58 ^{abAB}	10.99±0.60 ^{bB}
Reducing sugars	0	7.38±1.22 ^{abcA}	5.61±0.64 ^{ab}	4.54±0.80 ^{ab}	5.85±0.17 ^{ab}	5.50±0.07 ^{ab}
	0.2	8.48±0.47 ^{abA}	5.70±0.14 ^{ab}	5.93±1.49 ^{ab}	5.18±0.05 ^{bB}	5.27±0.19 ^{abB}
	0.4	8.61±0.12 ^{aA}	5.98±0.55 ^{ab}	4.49±1.11 ^{aC}	5.33±0.02 ^{bBC}	4.89±0.12 ^{bC}
	0.6	7.13±0.25 ^{bcA}	5.60±0.37 ^{ab}	4.20±0.77 ^{aC}	6.01±0.01 ^{ab}	4.84±0.11 ^{bC}
	0.8	7.59±0.37 ^{abcA}	4.39±0.27 ^{bC}	4.30±0.38 ^{aC}	5.26±0.27 ^{bB}	4.96±0.14 ^{bB}
	1.0	6.46±1.04 ^{cA}	3.90±0.77 ^{bC}	4.61±0.15 ^{abC}	5.43±0.17 ^{abB}	5.14±0.49 ^{abB}

1) Means±SD (n=3).

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

중 과육으로부터 껍질로 수분 이동에 의한 중량 감소를 유발하여 내용 성분의 농축 효과로 인해 총당의 변화 폭이 크지 않았다고 보고한 Kim 등(26)의 연구와 일치하였다. 한편 환원당 함량은 조사선량에 따른 일률적인 변화는 나타나지 않았으나 저장기간에 따라 감소하는 경향을 보였다. 저장 0일째 모든 조사선량에서 가장 높은 값을 나타내었고 이후 감소하였다. 이는 한라봉 저장 중 환원당 함량이 저장기간에 따라 감소됨을 보고한 Lee 등(27)과 유사한 결과를 나타내었다. Kyung 등(15)의 연구에서 감마선 조사한 오렌지는 조사 여부에 의한 영향보다는 저장기간이 증가함에 따라 총당 및 환원당 함량이 증가한다고 보고하였고 Cho 등(17)의 연구에서 전자선 조사한 오렌지는 총당 및 환원당 함량이 저장기간과 조사선량에 따른 경향이 보이지 않았다고 보고하여 결과적으로 1 kGy 이하의 저선량 감마선, 전자선, X선 조사는 오렌지의 총당과 환원당 함량에 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

비타민 C 함량 변화

X선이 조사된 오렌지의 비타민 C 함량 변화는 Table 6에 나타내었다. 비타민 C 함량은 저장기간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였고 조사선량에 따른 일률적 경향은 나타나지 않았다. 저장 37일 이후 비타민 C 함량은 모든 선량에서 저장 초기인 0일째의 것보다 감소하였다. 비조사구 대비 조사구의 비타민 C 함량의 감소율은 저장 0일째 16.24%, 저장 15일 이후 4.83~31.98%의 범위로 감소하였다. 저장 0일 대비 저장 45일째 비타민 C 함량의 감소율은 비조사구가 42.39%, 조사구가 34.23~59.31%의 범위로 감소하였다. 따라서 X선이 조사된 오렌지의 비타민 C 함량 변화는 조사 여부에 따른 감소폭보다 저장기간에 따른 감소폭이 더 높은 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 저장기간에 따라 비타민 C가 산화를 억제하고 갈변을 방지하는 데 쓰인 것으로 보인다. 이는 Mitchell 등(28)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. 또한 navel orange에 고선량의 방사선을 조사하여 0°C에서 90일간 비타민 C 함량을 측정된 결과 유의적인 변화를 보이지 않았다(29)는 결과

와 유사하였다. 따라서 저선량의 X선 조사는 오렌지의 비타민 C 함량 감소에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. 한편 감마선 조사한 오렌지는 0.8 kGy 이상에서 확인한 감소율을 보였으며(15), 전자선 조사한 오렌지는 X선 조사와 유사한 결과(17)를 나타냈다.

관능평가

X선이 조사된 오렌지의 관능평가 결과는 Table 7에 나타내었다. 저온 저장 37일째부터 모든 선량에서 물러짐과 거무튀튀한 색깔이 나타나고 1.0 kGy에서는 곰팡이가 관찰되었으며 그 정도가 갈수록 심해져 변패취가 나타나 관능적으로 적절치 못하다 판단되어 저장 30일까지 관능평가를 수행하였다. 저장 0일째는 조사선량에 관계없이 모든 항목에서 비교적 높은 선호도를 나타냈다. 색, 신맛, 조직감에 비해 단맛, 향, 전체적인 기호도는 저장기간이 증가할수록 선호도가 감소하며 유의적인 차이를 보였다. 특히 저장 30일 이후 0.6 kGy 이상에서 단맛과 전체적인 기호도는 낮은 선호도를 나타냈다. 이는 방사선 조사에 의해 생성된 이취 때문인 것으로 생각되며, 이러한 관능적 품질 저하는 조사 시의 환경 조건과 식품의 종류 및 구성성분 등 그 특성에 따라 차이가 있으며, 방사선 조사 시 발생하는 이취 현상은 천연 향산화제의 첨가 또는 진공포장 등의 방법을 이용하여 감소시키는 것이 가능한 것으로 보고되었다(30). 따라서 0.6 kGy 미만의 저선량의 X선 조사는 오렌지의 관능적 특성에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다. 한편 감마선 조사한 오렌지는 0.8 kGy 이하의 조사구에서 전반적으로 높은 선호도를 보였으며, 전자선 조사한 오렌지는 0.6 kGy 이하의 조사구에서 품질 변화를 최소화시킨다고 보고하였다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때 감마선과 전자선보다는 X선이 관능적 품질 변화에 더 많은 영향을 미치는 것으로 생각된다.

요 약

X선 조사에 의한 수입 오렌지의 품질 특성을 조사하여 방사선 식품 검역 관리의 기초자료로 활용하기 위해 미국산 navel orange에 선량 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 kGy의 X선을 조사하여 저온(3±2°C)에서 45일간 저장하면서 색도, 경도, 당산비, 총당, 환원당, 비타민 C 함량을 조사하였다. 당산비,

Table 6. Changes on vitamin C contents of orange during storage at 3±2°C for 45 days after X-ray irradiation (mg%)

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				
	0	15	30	37	45
0	37.13±0.11 ^{bB1)2)}	41.74±0.20 ^{aA}	27.31±0.26 ^{cD}	29.01±0.16 ^{bC}	21.39±0.35 ^{aE}
0.2	31.74±0.27 ^{cC}	39.56±0.12 ^{bA}	32.30±0.14 ^{aB}	30.16±0.15 ^{aD}	13.81±0.22 ^{dE}
0.4	38.36±0.21 ^{aA}	32.22±0.20 ^{eB}	28.06±0.11 ^{bC}	23.31±0.19 ^{eD}	18.77±0.14 ^{bE}
0.6	32.40±0.13 ^{dA}	28.36±0.18 ^{fB}	25.76±0.30 ^{dC}	21.44±0.11 ^{fD}	21.31±0.15 ^{aD}
0.8	33.42±0.15 ^{cB}	36.37±0.21 ^{cA}	23.21±0.22 ^{eD}	24.66±0.13 ^{dC}	13.60±0.05 ^{dE}
1.0	31.10±0.11 ^{fB}	35.53±0.41 ^{dA}	25.99±0.13 ^{dC}	25.66±0.28 ^{cC}	14.55±0.24 ^{cD}

¹⁾ Means±SD (n=3).

²⁾ Values with different letters within a column (a-f) and a row (A-E) differ significantly ($P<0.05$).

Table 7. Changes on sensory scores of orange during storage at 3±2°C for 45 days after X-ray irradiation

Sensory parameters	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)		
		0	15	30
Color	0	4.8±1.2 ^{aA1)2)}	4.7±1.7 ^{aA}	5.1±1.2 ^{aA}
	0.2	4.4±1.4 ^{aA}	5.1±1.5 ^{aA}	4.8±1.2 ^{aA}
	0.4	4.8±1.1 ^{aA}	4.7±1.3 ^{aA}	4.4±0.9 ^{aA}
	0.6	4.6±1.3 ^{aA}	4.4±1.6 ^{aA}	4.5±1.4 ^{aA}
	0.8	5.1±1.1 ^{aA}	4.8±1.2 ^{aA}	4.2±1.4 ^{aA}
	1.0	4.9±0.9 ^{aA}	4.8±1.4 ^{aA}	4.3±1.2 ^{aA}
Sweetness	0	4.8±1.4 ^{aA}	3.9±1.8 ^{abA}	4.7±1.7 ^{aA}
	0.2	4.0±1.5 ^{aB}	5.1±1.1 ^{aA}	4.4±1.4 ^{abcAB}
	0.4	4.1±1.3 ^{aA}	3.5±1.6 ^{ba}	3.5±1.6 ^{abA}
	0.6	4.9±1.5 ^{aA}	3.6±1.8 ^{bb}	3.3±1.5 ^{cb}
	0.8	4.9±1.4 ^{aA}	4.1±1.7 ^{abAB}	3.4±1.7 ^{bcB}
	1.0	4.7±1.2 ^{aA}	4.3±1.4 ^{abAB}	3.4±1.4 ^{bcB}
Sourness	0	4.1±1.7 ^{aA}	4.4±1.7 ^{aA}	4.5±1.3 ^{aA}
	0.2	3.6±1.3 ^{aB}	4.9±1.6 ^{aA}	3.9±1.8 ^{abA}
	0.4	3.9±1.3 ^{aA}	4.4±1.9 ^{aA}	3.8±1.2 ^{abA}
	0.6	4.5±1.3 ^{aA}	3.6±1.6 ^{aA}	3.4±1.8 ^{abA}
	0.8	4.3±1.7 ^{aA}	4.1±2.2 ^{aA}	3.4±1.6 ^{abA}
	1.0	3.8±1.1 ^{aA}	4.3±1.5 ^{aA}	3.2±1.7 ^{ba}
Flavor	0	4.8±1.4 ^{aA}	4.0±1.7 ^{abA}	4.1±1.5 ^{abA}
	0.2	4.1±1.3 ^{aAB}	4.9±1.2 ^{aA}	3.6±1.5 ^{abB}
	0.4	3.7±1.4 ^{ba}	4.3±1.4 ^{abA}	4.2±1.2 ^{aA}
	0.6	4.8±1.2 ^{aA}	3.5±1.4 ^{bb}	4.3±1.4 ^{aAB}
	0.8	4.7±1.0 ^{aA}	4.5±1.5 ^{abA}	3.0±1.7 ^{bb}
	1.0	4.8±1.1 ^{aA}	4.9±1.2 ^{aA}	3.6±1.5 ^{abB}
Texture	0	4.3±1.4 ^{aA}	3.9±1.3 ^{abA}	4.6±1.2 ^{abA}
	0.2	4.1±0.9 ^{aA}	4.4±1.4 ^{aA}	4.7±1.4 ^{aA}
	0.4	4.2±1.2 ^{aA}	3.9±1.4 ^{aA}	4.5±1.4 ^{abA}
	0.6	4.1±0.9 ^{aA}	3.8±1.3 ^{aA}	4.1±1.3 ^{abA}
	0.8	4.3±1.2 ^{aA}	4.3±1.1 ^{aA}	3.9±1.3 ^{abA}
	1.0	4.2±0.9 ^{aA}	4.4±1.3 ^{aA}	3.6±1.4 ^{ba}
Overall acceptability	0	4.3±1.7 ^{aA}	4.2±1.9 ^{ba}	4.9±1.3 ^{aA}
	0.2	4.0±1.4 ^{aB}	5.5±1.1 ^{aA}	4.4±1.5 ^{abB}
	0.4	4.2±1.5 ^{aA}	4.2±1.6 ^{ba}	4.5±1.4 ^{abA}
	0.6	4.6±1.4 ^{aA}	4.1±1.4 ^{baB}	3.3±1.6 ^{cb}
	0.8	5.0±1.3 ^{aA}	4.1±1.6 ^{baB}	3.5±1.3 ^{bcB}
	1.0	4.8±0.9 ^{aA}	4.6±1.3 ^{abA}	3.4±1.5 ^{bcB}

¹⁾Means±SD (n=20).

²⁾Values with different letters within a column (a-c) and a row (A,B) differ significantly ($P<0.05$).

총당 및 환원당 함량, 비타민 C 함량은 조사선량에 따라 유의적 차이가 없었다. 색도는果皮 측정 결과, L값(명도)과 a값(적색도), b값(황색도) 모두 저장기간과 조사선량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 과육의 L, a 값은 조사여부와 저장기간의 증가와 함께 감소하거나 증가하는 일률적인 경향은 보이지 않았고, b값은 저장기간이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 경도는 저장기간이 증가할수록 낮아지는 경향을 보였고, 저장 후기에 비조사구와 조사구의 차이가 점차 감소하며 비조사구와 다른 조사구가 유사한 값을 나타냈다. 관능평가는 저장 30일 이후, 0.6 kGy 이상에서 단맛과 전체적인 기호도는 낮은 선호도를 나타냈다. 상기의 결과를 종합하여 볼 때 0.6 kGy 미만의 저선량 X선 조사는 오렌지의 관능적 특성과 품질 특성에 영향을 미치지 않는

것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 농림수산식품기술기획평가원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Kwon YJ, Huh EY, Kwon JH, Byun MW. 1999. Quarantine status of agricultural products of irradiation technology. *Food Science and Industry* 32(2): 80-90.
2. 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 phy-

- lactic ingredients for functional foods application. *Toxicology* 278: 75-87.
3. Eckert JW, Eaks IL. 1989. *The citrus industry*. 2nd ed. University of California Press, Berkeley, CA, USA. p 179-260.
 4. 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.
 5. National Institute of Horticultural and Herbal Science, RDA (Rural Development Administration). 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 (accessed Sep 2014).
 6. Park M, Sung B, Cho J. 2011. Residual characteristics of methyl bromide and hydrogen cyanide in banana, orange, and pineapple. *J Appl Biol Chem* 54: 214-217.
 7. Park ER, Kang HS, Ahn HJ, An KA, Cho SY, Kim HY, Kim DS, Kim DH, Kang CS. 2010. Analysis of the detection characteristics of irradiated dried spices and herbs by photo-stimulated luminescence (PSL). *Korean J Food Sci Technol* 42: 136-141.
 8. Ko J, Ma Y, 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.
 9. Kwon JH. 2010. *Safety and understanding of irradiated food*. Korea Safety Research Institute, Seoul, Korea. p 9-29.
 10. Miller RB. 2003. Food irradiation using bremsstrahlung X-rays. *Radiat Phys Chem* 68: 963-974.
 11. FDA. 2008. Foods permitted to be irradiated under FDA regulations (21 CFR 179.26).
 12. Lee JW. 2009. International cooperation for establishing SOP on quarantine management of irradiated food in international trade. Korea Atomic Research Institute, Daejeon, Korea. p 1-3.
 13. Hong KJ, Hong S, Ryu C, Lee Y. 2012. Navel orangeworm (Lepidoptera: Pyralidae) intercepted on fresh oranges from the US at the Korean port of entry. *Kor J Appl Entomol* 51: 295-297.
 14. Park MG. 2009. Phytosanitary treatment using methyl bromide alternatives. *MS Thesis*. Korea University, Seoul, Korea. p 13.
 15. Kyung EJ, Kim KH, Yook HS. 2014. Quality characteristics of gamma irradiated-imported orange during storage. *Korean J Food & Nutr* 27: 31-42.
 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. Cho YJ, Kim KH, Yook HS. 2015. Quality characteristics of low-dose electron beam irradiated-imported navel orange during storage at low temperature (3°C). *J Korean Soc Food Sci Nutr* 44: 128-136.
 18. 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.
 19. Lee SH, Kim JH, 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 Preserve* 14: 565-570.
 20. 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.
 21. Koh SW. 2002. *Agricultural science technology - "fruit tree (3)"*. Rural Development Administration, Jeonju, Korea. Vol 12, p 296.
 22. Westwood MN. 2002. *Temperate-zone pomology: physiology and culture*. 1st ed. Joongang Life Publishing Co., Seoul, Korea. p 313.
 23. Ko WJ, Yang MH, Kang YJ. 2006. Studies on deacidification of citrus fruit and juice for juice products by heating treatment and electro dialysis. *Korean J Food Preserv* 13: 144-153.
 24. Kyung EJ. 2014. Effects of gamma irradiation on the physicochemical, microbiological, functional characteristics of orange. *MS Thesis*. Chungnam National University, Daejeon, Korea.
 25. Yun HJ, Lim SY, Hur JM, 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.
 26. Kim SH, Ko IH, Koh JS. 2002. Quality changes of overwintering satsuma mandarin during storage by chitosan and calcium treatment and storage warehouse. *Korean J Food Preserv* 9: 85-91.
 27. 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.
 28. 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.
 29. Maxie EC, Sommer NF, Eaks I. 1969. Radiation technology in conjunction with postharvest procedures as a means of extending the shelf-life of fruits and vegetables. No. CONF-681006--. California University, Davis, CA, USA.
 30. Park KS, Kim JG, Lee JW, Oh SH, Lee YS, Kim JH, Kim JH, Kim WG, Byun MW. 2004. Effects of combined treatment of gamma irradiation and addition of rosemary extract powder on ready-to-eat hamburger steaks: II. Improvement in quality. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 694-699.