

## 감마선 조사 수입 오렌지의 상온저장(20°C) 중 품질 특성

경은지 · 김경희 · \*육홍선  
충남대학교 식품영양학과

### Quality Characteristics of Gamma Irradiated-Imported Orange during Storage at Room Temperature (20°C)

Eun-Ji Kyung, Kyoung-Hee Kim and \*Hong-Sun Yook

Dept. of Food & Nutrition, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

#### Abstract

This study is conducted to evaluate the effects of gamma irradiation (0.4, 0.6, 0.8, 1 and 1.5 kGy) on the microbiological, physicochemical and sensory qualities of imported oranges during storage at 20°C for 15 days. Total aerobic bacteria and yeast/mold counts in non-irradiated oranges increase significantly with increasing storage time. Irradiation has effects on the reduction of microorganism of dose-dependent oranges. The vitamin C contents decrease significantly according to dose-dependent manners and storage times after the gamma irradiation. Sensory evaluation decreases according to dose-dependent manners and storage times, excluding the color. The results suggest that gamma irradiation is effective for ensuring the microbiological safety, but the irradiated oranges more than 1 kGy are not good for physicochemical and sensory qualities. Therefore, irradiated samples of 0.4~0.6 kGy are considered as the optimum-dose for maintaining quality.

Key words: orange, gamma irradiation, quarantine, quality

#### 서 론

감귤류의 과일은 연간 100만 톤 이상 생산하는 세계 농업의 중요한 원에 작물의 하나로 vitamin C, 엽산, 칼륨, 그리고 펙틴을 충분히 공급하고, 잠재적으로 건강을 보호할 수 있는 항산화물질인 phytochemical을 포함한다(Moulehi 2012). 우리나라에서 소비되는 대부분의 오렌지는 미국산으로 약 98%를 차지하고, 나머지는 칠레와 유럽연합에서 수입된다. 2002년부터 2011년까지 미국에서 수입된 오렌지는 평균 110톤이었으나, 2012년에 한미 FTA가 발효되어 양국 간 농축수산물의 관세 장벽이 사라져 167톤이 수입되면서 약 34%의 큰 증가 폭을 보이며, 국내 과일 시장에서 큰 부분을 차지하고 있다(FTA 2013).

오렌지(*Citrus cinensis*)는 vitamin C, flavonone 및 carotenoid

등의 생리 활성 물질에 높은 영양적인 가치를 가지고 있지만(Pala & Toklucu 2013), 녹색 곰팡이(*Penicillium digitatum*), 청색 곰팡이(*Penicillium italicum*), 꼭지썩음병(*Phomopsis citri*), 역병(*Phytophthora citrophthora*), 무름병(*Geotrichum candidum*)과 같은 미생물과 해충 감염에 민감하다(McDonald 등 2013). 따라서 감염을 최소화하고 식품의 저장성 개선을 위해 가열 처리나 자외선 조사, 훈증제 처리, 화학 약품 처리, microwave 처리 등으로 살균처리를 하고 있지만, 이러한 살균처리 기술은 고온에 의한 식품의 일반성분 변화 및 손실을 가져오거나, 화학 성분의 잔류 및 유해 물질의 생성에 따른 여러 가지 문제점을 야기하고, 또한 미생물 살균 효과도 떨어져 효과적인 대체 기술 개발이 필요하다. 따라서 최근에는 여러 대체 기술 중 하나로 방사선 에너지의 이용이 효과적인 것으로 인식되고 있다(Calenberg 등 1998; Ko 등 2005). 식품의 방사선 조사

\* Corresponding author: Hong-Sun Yook, Dept. of Food & Nutrition, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea.  
Tel: +82-42-821-6840, Fax: +82-42-821-8887, E-mail: yhsuny@cnu.ac.kr

는 FAO, IAEA, WHO 등의 국제기구에서 유용하고 안전한 식품 및 공중보건 제품의 살균방법으로 공인되어 현재 세계 60여 국가에서 산업적으로 이용되고 있고(Byun & Yook 2003), FDA에서는 식물 위생의 목적으로 과채류의 방사선 조사를 1 kGy 이하로 허용하고 있다(FDA 2008). 감마선은 제품을 완전 포장한 후 살균이 가능하며, 살균 후 포장과정에서의 2차 오염을 방지할 수 있고, 대량으로 처리가 가능하며, 잔류성 및 품은 상승이 거의 없다. 또한, 식품의 저장 중 영양 및 관능적인 품질의 저하 없이 병원성 및 부패성 미생물을 없애는 가장 효율적인 방법으로 알려져 있다(WHO 1999; Bramlage & Couey 1965). *Penicillium digitatum*이 1 kGy의 선량에서 성장이 지연되었고, 1.5 kGy에서 부패 성장을 막았다고 보고하여 과채류의 위생화와 보존성 증진에 감마선 조사의 유효한 효과가 기대된다(Yun 등 2008a).

국제식품검역위원회(IPPC) 등에서 화학 훈증제(methyl bromide) 사용을 금지함에 따라 해외 각국에서는 수출입 식품류 및 농수축산물의 검역 관리를 위해 방사선 기술을 확대하고 있으며, 이에 따른 규정을 마련하여 이행하고 있다. 하지만 우리나라는 국제적인 교역의 증대로 인해 오렌지 수입량이 크게 증가함에도 불구하고, 방사선 조사 식품류의 유통에 대한 규정이 마련되어 있지 않아, 세계 무역의 자유화 경향에서 심각한 통상의 문제가 야기될 수 있어, 수출입 농산물의 검역 클레임 문제에 대한 근본적인 대책 마련이 시급하다(Lee 2009).

따라서 본 연구는 수입국의 검역 기준을 정립하고, 방사선 조사선량의 정확성을 보증함으로써 방사선 기술을 국내 검역체계에 활용하기 위한 목적의 일환으로 수행되었으며, 감마선 조사가 오렌지의 미생물 및 이화학적인 품질 변화와 유통·저장시 품질 안정성에 미치는 영향을 조사함으로써 오렌지에 대한 전반적인 영향을 살펴보고, 오렌지의 위생성 및 보존성 향상을 통해 감마선 조사된 수입 오렌지의 검역 관리에 대한 기초자료로 삼고자 한다.

## 재료 및 방법

### 1. 재료

2013년 3월 대전중앙청과에서 미국 캘리포니아에서 수입된 Navel 오렌지(*Citrus sinensis*)를 구입하여 재료로 사용하였다. 오렌지는 감마선 조사한 후 위생 지퍼백(Homeplus, polyethylene, Hwaseong, Korea)에 넣어 incubator에서 보관(20±0.1°C)하였다(Nagai & Moy 1985; McDonald 등 2013).

### 2. 감마선 조사

감마선 조사는 한국원자력연구원 방사선 과학연구소(Jeong-eup, Republic of Korea) 내 Co<sup>60</sup> 감마선 조사시설(150 TBq

capacity; ACEL, MDS Nordion, Canada)을 이용하여 시간당 600 Gy의 선량률로 0.4, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 선량은 Codex 등에서 과실류의 국제적 검역에서의 권장 선량으로 정하였고, 흡수선량의 확인은 alanine dosimeter(5 mm, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였다. 비조사구인 0 kGy는 동일한 온도 효과를 얻기 위하여 감마선 조사시설 외부에 보관하였고, 조사 직후 조사구와 함께 보관하였다.

### 3. 시료 준비

감마선 조사 시료는 감마선을 조사하지 않은 비조사구와 함께 20±0.1°C에서 3일 간격으로 15일까지 저장하면서 분석을 실시하였다. 미생물은 시료의 과피, 색도는 과피와 과육, 물성과 관능은 과육 부분을 이용하였다. 산도, 가용성 고형분은 오렌지의 과피를 제거하고, 녹즙기(GFJ-3070G, NUC Electronics Co. Ltd., Daegu, Korea)로 착즙하여 3,000 rpm으로 15분 동안 원심 분리(COMBI-514R, Hanil Science Industrial Co. Ltd., Incheon, Korea)한 시료를 incubator에 보관(20±0.1°C)하면서 사용하였고, 총당 및 환원당, vitamin C는 착즙한 시료를 -70°C에서 보존한 후 동결건조(FD 8518, Ilshin Lab Co. Ltd., Dongducheon, Korea)하여 분말로 만들어 냉동 보관하면서 시료로 사용하였다.

### 4. 미생물 분석

오렌지의 미생물 오염도를 측정하기 위하여 비조사구 및 감마선 조사된 각 시료의 호기성 세균, 효모 및 곰팡이의 분포를 pour plating에 의한 plate count 방법으로 검사하였다(Harrigan & Mccane 1976). 미생물 분석을 위한 시료는 과실의 과피 부분을 3 g 칭량한 뒤 멸균수(0.85% NaCl) 27 mL를 가한 다음 균질화하고, 이 방법으로 1/10씩 단계별로 희석하여 사용하였다. 일반 호기성 세균은 plate count agar(Difco Labs., Detroit, MI, USA)를 사용하여 37°C에서 48시간 배양하고, 효모 및 곰팡이균은 potato dextrose agar(Difco)를 사용하여 25°C에서 72시간 배양하여 생성된 colony의 수를 육안으로 계수하여 시료 1 g당 log colony forming unit(log CFU/g)로 나타내었다.

### 5. 색도 측정

과실의 색도 측정은 Hunter 색도계(Chroma meter CR-400, Konica Minolta Sensing, INC., Tokyo, Japan)로 과피, 적도 위치의 과육 부분을 시료로 하여 3×3×1 cm 크기로 자른 뒤 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness) 및 전체적인 색차를 나타내는  $\Delta E$  값을 나타냈으며, 15회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

## 6. 경도 측정

과실의 물성은 texture analyzer(TA/XT2/25, Stable Micro System Co. Ltd., Surrey, England)를 사용하였다. 지름 3 mm의 plunger를 이용하였고, 측정조건은 pre test speed: 2.0 mm/sec, test speed: 1.0 mm/sec, post test speed: 2.0 mm/sec, strain: 70%로 하여 과실의 과피를 벗겨 적도 위치의 과육 부분을 3×3×1 cm 두께로 잘라서 6회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

## 7. 당산비 측정

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 해당하는 구연산의 양(g)

D: 희석배수

S: 시료채취량(ml)

가용성 고형분(°Brix)은 착즙한 시료를 착즙, 여과한 착즙액을 일정량 취해 당도계(ATAGO, N-1a, Tokyo, Japan)로 측정하였으며, 당산비는 가용성 고형분과 산도의 비율로 나타내었다.

## 8. 총 당 및 환원당 함량 측정

시료의 총 당 함량은 phenol-sulfuric acid(AOAC 1980)법에 따라 측정하였다. 동결건조 시료 1 g을 증류수에 희석하여 희석액 1 ml를 취하고, 5% phenol 용액 1 ml, 황산 5 ml를 넣고 vortexing 한 뒤, 실온에서 20분 정도 방치하고, spectrophotometer(UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 490 nm에서 흡광도를 측정하였다. 환원당은 DNS법(Lee 2003)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)을 2 ml 넣고 섞은 후, 10분간 가열 및 냉각하여 spectrophotometer로 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 당 및 환원당 함량은 glucose(Samchun pure chemical Co., LTD, Pyeongtaek, Korea)를 이용하여 계산하였다.

## 9. Vitamin C 함량 측정

동결건조 시료 5 mg을 60% methanol에 용해하여 0.2 μm

filter(PALL Gelman Laboratory, AnnArbor, MI, USA)로 여과한 후 이를 시험 용액으로 하였다. 분석에 사용된 HPLC는 YL 9100(Young Lin Instrument Co., LTD, Anyang, Korea), column은 YMC-Pack ODS-AQ(250×4.6 mm I.D., 5 μm), detector는 YL 9120 UV/vis detector, mobile phase는 acetonitrile:water=10:90 (v/v), flow rate는 0.7 ml/min으로 하고, 20 μl 주입하여 254 nm에서 분석하였다. Vitamin C 정량을 위한 표준물질은 환원형 vitamin C 인 L(+)-ascorbic acid(Samchun pure chemical Co., LTD, Anyang, Korea)를 사용하였다.

## 10. 관능검사

식품영양학과 대학생 및 대학원생 중 20명을 관능검사로 원으로 선발하여 난수를 써놓은 시료를 무작위로 배열하고, 오렌지 과피를 벗긴 과육 부분을 시료로 제공하였다. 각 시료간의 차이를 더욱 명확하게 구분하기 위해 대단히 좋다(7점), 아주 좋다(6점), 약간 좋다(5점), 보통이다(4점), 약간 좋지 않다(3점), 아주 좋지 않다(2점), 대단히 좋지 않다(1점)로 구성된 7점 척도방법을 사용하여, 시료의 색깔, 단맛, 신맛, 향, 질감, 전체적인 선호도를 평가하였다.

## 11. 통계 처리

모든 실험은 3회 이상 반복 측정하였으며, 그 결과는 SPSS Statistics 20.0 Network Version(on release 20.0.0 of PASW Statistics) software를 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

### 1. 미생물 분석

감마선 조사된 오렌지의 일반 호기성 세균, 효모 및 곰팡이의 변화를 Table 1에 나타내었다. 일반 호기성 세균은 비조사구에서 저장 0일 4.24 log CFU/g에 비해 저장 15일째 6.38 log CFU/g으로 유의적 차이를 보이며 증가하였으나, 조사구에서는 선량 증가에 따른 미생물 감소 효과를 보였다. 저장 3일과 6일째 검출한계 이하의 수준을 보였던 0.6 kGy와 0.8 kGy는 저장 9일째 다시 검출되기 시작하여 저장 15일까지 유의적으로 증가하였고, 1 kGy와 1.5 kGy는 저장 15일째 검출되었다. 이러한 경향은 효모 및 곰팡이에서도 유사하게 나타났다. 저장 0일 비조사구는 3.98 log CFU/g에 비해 저장 15일째 6.68 log CFU/g으로 유의적 차이를 보이며 증가하였으나, 조사구에서는 선량 증가에 따라 미생물 감소 효과를 보였고 0.8 kGy 이상의 선량에서는 검출한계 이하의 수준을 보였다.

Table 1. Changes in microbial growth of orange during storage at 20±0.1°C for 15 days after gamma irradiation

(Unit: log CFU/g)

Irradiation dose(kGy)	Storage period (days)						SEM <sup>3)</sup>	
	0	3	6	9	12	15		
Total aerobic bacteria	0	4.24 <sup>aD1)</sup>	4.83 <sup>aCD</sup>	5.10 <sup>aBCD</sup>	5.37 <sup>aABC</sup>	6.05 <sup>aAB</sup>	6.38 <sup>aA</sup>	0.16
	0.4	0.75 <sup>bA</sup>	0.75 <sup>bA</sup>	1.25 <sup>bA</sup>	1.47 <sup>bA</sup>	1.33 <sup>bA</sup>	1.90 <sup>bA</sup>	0.25
	0.6	0.75 <sup>bB</sup>	ND	ND	0.79 <sup>bcB</sup>	1.21 <sup>bAB</sup>	2.42 <sup>bA</sup>	0.22
	0.8	0.38 <sup>bB</sup>	ND	ND	0.41 <sup>bcB</sup>	0.88 <sup>bB</sup>	2.43 <sup>bA</sup>	0.21
	1.0	0.38 <sup>bB</sup>	ND	ND	ND	ND	1.20 <sup>bA</sup>	0.13
	1.5	ND <sup>4)</sup>	ND	ND	ND	ND	0.75 <sup>bA</sup>	0.09
	SEM <sup>2)</sup>	0.27	0.27	0.29	0.32	0.35	0.35	
Yeasts and molds	0	3.98 <sup>aC</sup>	4.30 <sup>aBC</sup>	5.23 <sup>aBC</sup>	5.51 <sup>aAB</sup>	6.21 <sup>aA</sup>	6.68 <sup>aA</sup>	0.23
	0.4	1.00 <sup>bA</sup>	0.38 <sup>bA</sup>	1.18 <sup>bA</sup>	0.85 <sup>bA</sup>	1.73 <sup>bA</sup>	1.98 <sup>bA</sup>	0.25
	0.6	0.83 <sup>bBC</sup>	ND	ND	0.45 <sup>bAB</sup>	1.18 <sup>bcAB</sup>	1.89 <sup>bA</sup>	0.21
	0.8	ND	ND	ND	0.38 <sup>bB</sup>	0.75 <sup>bcAB</sup>	1.80 <sup>bA</sup>	0.17
	1.0	ND	ND	ND	ND	ND	0.48 <sup>bcA</sup>	0.08
	1.5	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.00
	SEM	0.26	0.26	0.28	0.31	0.35	0.36	

1) a-c: Values with different letters within a column differ significantly ( $p < 0.05$ ). A-D: Values with different letters within a row differ significantly ( $p < 0.05$ ). 2) Standard error of the means (n=36). 3) Standard error of the means (n=36). 4) ND: not detected within the detection limit ( $< 10^1$  CFU/g).

0.6 kGy와 0.8 kGy의 선량은 저장 3일과 6일째 검출한계 이하의 수준을 보였으나, 저장 9일 이후에 다시 검출되기 시작하여 저장 15일까지 유의적으로 증가하였고, 1 kGy는 저장 15일에 다시 검출되었다. 1.5 kGy는 모든 저장기간 동안 검출한계 이하의 수준을 보여 감마선 조사에 의한 감소 효과를 보였다. 이는 감마선에 의해 미생물의 세포 내 DNA의 공유결합이 절단되고, purine이나 pyrimidine 염기가 소실되면서 세포가 손상을 입은 것으로 보이고(Kim 2009a), 손상 받은 생존세포는 post irradiation effect에 의해 보존기간이 경과함에 따라 주변 환경에 적응하지 못하고, 세포 증식력을 상실한 것으로 사료된다(Ma & Axcy 1981).

## 2. 색도 변화

감마선 조사된 오렌지 색도 변화는 과피와 과육 부분의 Hunter 값을 이용하여 각각 Table 2와 3에 나타내었다. 과피의 L값(명도)과 a값(적색도)은 비조사구는 저장기간이 증가함에 따라 유의적으로 감소하였고, 조사구는 저장 9일까지 선량에 따른 차이를 보이지 않았지만 저장 12일째 선량이 증가할수록 감소하는 경향을 보여, 조사구에서 색은 더욱 진해지고, 적색도는 감소하는 것으로 나타났다. b값(황색도)은 조사선량과 저장기간이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈고, 저장 12일과 15일째 큰 감소폭을 보여, 저장기간 동안 감마선

조사에 의해 황색도가 감소하는 것으로 여겨진다. ΔE값(전체적인 색차)은 12.0 이상이면 상당히 큰 정도(very much)의 육안적 차이에 해당하는 것으로(Bae 등 2008), 과피의 ΔE값은 49.02-80.59의 범위를 보이며, 모든 시료에서 very much 정도의 차이를 나타냈고, 저장기간과 조사선량의 증가에 따라 색차의 정도가 감소하는 경향을 보였다.

과육의 L값은 비조사와 조사구 간의 증가 또는 감소의 경향을 나타내지 않았으나, 저장 0일에 비해 저장 15일째 감소하였다. a값은 저장 0일째 조사선량에 따라 증가하였으나, 저장 3일째부터는 감소하는 경향을 보였으며, 비조사구를 제외한 모든 조사선량에서 저장기간이 증가할수록 감소하였다. Kim 등(1996)은 과육 내에 chlorophyll이 존재하기 때문에 a값이 음의 값을 나타낸다고 보고한 바 있어, 본 실험에서 감마선 조사가 chlorophyll 색소에 영향을 미친 것으로 보인다. b값은 비조사구와 조사구 간의 차이를 보이지 않았고, 저장기간이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. ΔE값은 과피보다 낮은 27.55-41.87의 범위를 보이며, 모든 시료에서 very much 정도의 차이를 나타냈고, 비조사구와 조사구 간의 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 1 kGy 이상의 감마선 조사는 대사적 이상을 유도하여 과일의 갈변 장애 및 발생을 촉진한다고 보고(Kang 등 2003)되어 있어, 본 연구에서도 오렌지의 색도적 품질 유지를 위해 1 kGy 이상의 감마선 조사는 적절하지

**Table 2. Changes in Hunter's color values of orange peels during storage at 20±0.1°C for 15 days after gamma irradiation**

Hunter parameter	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)						SEM <sup>7)</sup>
		0	3	6	9	12	15	
L <sup>1)</sup>	0	66.40 <sup>abA5)</sup>	67.89 <sup>abA</sup>	64.01 <sup>dB</sup>	64.02 <sup>cB</sup>	58.70 <sup>aC</sup>	55.76 <sup>cD</sup>	0.55
	0.4	66.22 <sup>abA</sup>	66.55 <sup>bcA</sup>	65.52 <sup>abA</sup>	65.20 <sup>bcA</sup>	57.20 <sup>aB</sup>	56.75 <sup>cB</sup>	0.54
	0.6	66.12 <sup>abB</sup>	68.47 <sup>aA</sup>	64.16 <sup>cdC</sup>	66.47 <sup>abB</sup>	57.86 <sup>aD</sup>	54.38 <sup>cE</sup>	0.63
	0.8	65.73 <sup>abBC</sup>	66.54 <sup>bcAB</sup>	64.79 <sup>bcdC</sup>	66.93 <sup>aA</sup>	58.59 <sup>aD</sup>	64.75 <sup>cC</sup>	0.37
	1.0	65.27 <sup>ba</sup>	65.36 <sup>cA</sup>	65.32 <sup>abcA</sup>	65.76 <sup>abA</sup>	54.98 <sup>bc</sup>	69.26 <sup>bb</sup>	0.58
	1.5	66.82 <sup>aA</sup>	66.31 <sup>bcA</sup>	66.28 <sup>aA</sup>	67.08 <sup>aA</sup>	55.32 <sup>bb</sup>	50.84 <sup>dc</sup>	0.80
	SEM <sup>6)</sup>	0.16	0.24	0.18	0.24	0.29	0.61	
a <sup>2)</sup>	0	31.27 <sup>abA</sup>	29.88 <sup>ba</sup>	30.18 <sup>abA</sup>	27.55 <sup>abcB</sup>	26.61 <sup>aB</sup>	24.55 <sup>bc</sup>	0.38
	0.4	31.34 <sup>abAB</sup>	31.67 <sup>abA</sup>	31.42 <sup>aAB</sup>	29.91 <sup>ab</sup>	22.68 <sup>cC</sup>	23.67 <sup>bcC</sup>	0.49
	0.6	31.70 <sup>abA</sup>	26.53 <sup>cC</sup>	29.24 <sup>bb</sup>	26.83 <sup>bcC</sup>	21.19 <sup>dd</sup>	21.80 <sup>dd</sup>	0.53
	0.8	31.78 <sup>abA</sup>	30.15 <sup>bAB</sup>	31.29 <sup>aA</sup>	29.29 <sup>abB</sup>	23.18 <sup>bcd</sup>	26.20 <sup>cC</sup>	0.43
	1.0	32.99 <sup>aA</sup>	32.66 <sup>aA</sup>	30.69 <sup>abB</sup>	29.01 <sup>abC</sup>	24.02 <sup>bd</sup>	22.32 <sup>de</sup>	0.53
	1.5	30.68 <sup>ba</sup>	30.31 <sup>ba</sup>	29.68 <sup>abA</sup>	26.13 <sup>cB</sup>	23.23 <sup>bcC</sup>	22.49 <sup>cdC</sup>	0.48
	SEM	0.25	0.37	0.25	0.36	0.25	0.26	
b <sup>3)</sup>	0	73.44 <sup>aA</sup>	72.89 <sup>aA</sup>	68.09 <sup>cB</sup>	68.10 <sup>cB</sup>	61.87 <sup>aC</sup>	52.54 <sup>bd</sup>	0.92
	0.4	72.64 <sup>abA</sup>	69.03 <sup>cB</sup>	73.42 <sup>aA</sup>	70.93 <sup>bAB</sup>	56.13 <sup>bcC</sup>	55.00 <sup>bc</sup>	0.97
	0.6	72.50 <sup>abB</sup>	72.53 <sup>ab</sup>	70.59 <sup>bb</sup>	75.03 <sup>aA</sup>	56.48 <sup>bc</sup>	47.99 <sup>cd</sup>	1.23
	0.8	72.98 <sup>abA</sup>	70.47 <sup>abB</sup>	70.22 <sup>bb</sup>	74.99 <sup>aA</sup>	60.09 <sup>aD</sup>	65.43 <sup>cC</sup>	0.66
	1.0	70.73 <sup>ba</sup>	71.28 <sup>abA</sup>	72.28 <sup>abA</sup>	72.60 <sup>abA</sup>	53.41 <sup>cB</sup>	54.86 <sup>bb</sup>	1.07
	1.5	71.49 <sup>abB</sup>	70.39 <sup>abB</sup>	71.23 <sup>bb</sup>	74.53 <sup>aA</sup>	53.75 <sup>bcC</sup>	43.55 <sup>dd</sup>	1.42
	SEM	0.31	0.36	0.35	0.44	0.54	0.93	
ΔE <sup>4)</sup>	0	79.88 <sup>aA</sup>	78.80 <sup>aA</sup>	74.51 <sup>dB</sup>	73.47 <sup>dB</sup>	67.36 <sup>aC</sup>	58.02 <sup>bd</sup>	0.95
	0.4	79.16 <sup>abA</sup>	75.97 <sup>bb</sup>	79.89 <sup>aA</sup>	76.99 <sup>cB</sup>	60.61 <sup>cC</sup>	59.92 <sup>bc</sup>	1.05
	0.6	79.14 <sup>abAB</sup>	77.33 <sup>abBC</sup>	76.45 <sup>cC</sup>	79.77 <sup>abA</sup>	60.33 <sup>cd</sup>	52.77 <sup>cE</sup>	1.27
	0.8	79.64 <sup>abA</sup>	76.67 <sup>abB</sup>	76.92 <sup>bcB</sup>	80.59 <sup>aA</sup>	64.43 <sup>bd</sup>	70.51 <sup>ac</sup>	0.71
	1.0	78.06 <sup>abA</sup>	78.46 <sup>abA</sup>	78.54 <sup>abA</sup>	78.23 <sup>bcA</sup>	58.58 <sup>cB</sup>	59.35 <sup>bb</sup>	1.13
	1.5	77.82 <sup>ba</sup>	76.69 <sup>abA</sup>	77.19 <sup>bcA</sup>	79.05 <sup>abcA</sup>	58.57 <sup>cB</sup>	49.02 <sup>dc</sup>	1.44
	SEM	0.27	0.34	0.33	0.40	0.53	0.90	

<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> a-d: Values with different letters within a column differ significantly ( $p < 0.05$ ). <sup>A-E</sup>: Values with different letters within a row differ significantly ( $p < 0.05$ ). <sup>6)</sup> Standard error of the means (n=90). <sup>7)</sup> Standard error of the means (n=90).

않을 것으로 보인다.

### 3. 경도 변화

감마선 조사된 오렌지 과육 부분의 경도 변화는 Table 4에 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(Lee 등 2008). 오렌지의 경도 변화는 조사선량과 저장기간이 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈으나, 유

의적 차이는 보이지 않았다. 저장 0일 비조사구 대비 조사구의 감소율은 26.62%(0.4 kGy), 20.91%(0.6 kGy), 18.63%(0.8 kGy), 33.84%(1 kGy), 37.26%(1.5 kGy)로 1 kGy와 1.5 kGy에서의 감소폭이 더 크게 나타났지만 저장 15일째는 비조사구와 조사구 간의 큰 차이를 보이지 않아 Nagai & Moy(1985)와 Ladaniya 등(2003)의 연구결과와 일치하였다.

### 4. 당산비 변화

감마선 조사된 오렌지의 당산비 변화를 Table 5에 나타내

**Table 3. Changes in Hunter's color values of orange flesh during storage at 20±0.1°C for 15 days after gamma irradiation**

Hunter parameter	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)						SEM <sup>7)</sup>
		0	3	6	9	12	15	
L <sup>1)</sup>	0	48.70 <sup>cC5)</sup>	47.24 <sup>aA</sup>	50.61 <sup>aBC</sup>	49.62 <sup>aAB</sup>	48.02 <sup>cdAB</sup>	46.48 <sup>cC</sup>	0.23
	0.4	54.38 <sup>aA</sup>	46.54 <sup>aA</sup>	50.73 <sup>aA</sup>	48.73 <sup>aA</sup>	50.09 <sup>abA</sup>	49.22 <sup>aA</sup>	0.40
	0.6	51.27 <sup>bcA</sup>	46.20 <sup>aA</sup>	50.36 <sup>aA</sup>	50.13 <sup>aA</sup>	47.62 <sup>dA</sup>	47.34 <sup>bcA</sup>	0.31
	0.8	53.91 <sup>abA</sup>	47.76 <sup>aA</sup>	50.52 <sup>aA</sup>	49.48 <sup>aA</sup>	49.61 <sup>abcA</sup>	47.25 <sup>bcA</sup>	0.39
	1.0	52.27 <sup>abCD</sup>	47.84 <sup>aAB</sup>	48.75 <sup>aD</sup>	48.72 <sup>aABC</sup>	48.75 <sup>bcdBCD</sup>	47.26 <sup>bcA</sup>	0.31
	1.5	48.47 <sup>cC</sup>	47.41 <sup>aA</sup>	48.87 <sup>aBC</sup>	49.47 <sup>aBC</sup>	50.76 <sup>aBC</sup>	48.20 <sup>abAB</sup>	0.27
	SEM <sup>6)</sup>	0.47	0.22	0.27	0.19	0.26	0.21	
a <sup>2)</sup>	0	-1.95 <sup>bB</sup>	-0.87 <sup>bcA</sup>	0.18 <sup>aA</sup>	-0.55 <sup>aA</sup>	0.04 <sup>aA</sup>	-0.85 <sup>aA</sup>	0.15
	0.4	-0.02 <sup>abC</sup>	-0.79 <sup>abcABC</sup>	-0.87 <sup>bcAB</sup>	-0.21 <sup>aA</sup>	-0.96 <sup>bAB</sup>	-2.77 <sup>dC</sup>	0.16
	0.6	-0.92 <sup>aA</sup>	-0.24 <sup>abBC</sup>	-0.30 <sup>abAB</sup>	-0.97 <sup>abAB</sup>	-1.82 <sup>cAB</sup>	-2.21 <sup>cC</sup>	0.13
	0.8	-0.22 <sup>aA</sup>	-0.02 <sup>aA</sup>	-0.42 <sup>abB</sup>	-1.45 <sup>bAB</sup>	-1.65 <sup>abAB</sup>	-1.10 <sup>aAB</sup>	0.15
	1.0	-0.63 <sup>aA</sup>	-0.65 <sup>abB</sup>	-0.32 <sup>abC</sup>	-0.68 <sup>abBC</sup>	0.23 <sup>aA</sup>	-1.69 <sup>bBC</sup>	0.10
	1.5	-0.28 <sup>aA</sup>	-1.45 <sup>cD</sup>	-1.68 <sup>cC</sup>	-0.66 <sup>abAB</sup>	-1.23 <sup>abAB</sup>	-1.74 <sup>bBC</sup>	0.12
	SEM	0.16	0.11	0.14	0.12	0.14	0.10	
b <sup>3)</sup>	0	30.04 <sup>cC</sup>	29.44 <sup>aA</sup>	32.06 <sup>aBC</sup>	32.88 <sup>aAB</sup>	27.53 <sup>dBC</sup>	30.57 <sup>abC</sup>	0.35
	0.4	41.85 <sup>aA</sup>	28.43 <sup>aA</sup>	30.26 <sup>aA</sup>	32.27 <sup>abA</sup>	31.99 <sup>bA</sup>	30.34 <sup>abA</sup>	0.74
	0.6	34.11 <sup>bcA</sup>	29.09 <sup>aA</sup>	32.51 <sup>aA</sup>	31.95 <sup>abA</sup>	28.72 <sup>cdA</sup>	31.15 <sup>aA</sup>	0.38
	0.8	38.99 <sup>abA</sup>	31.16 <sup>aAB</sup>	33.50 <sup>aAB</sup>	29.10 <sup>cC</sup>	31.26 <sup>bcBC</sup>	28.77 <sup>bABC</sup>	0.71
	1.0	34.05 <sup>bcD</sup>	29.25 <sup>aB</sup>	30.76 <sup>aCD</sup>	29.79 <sup>bcBC</sup>	32.64 <sup>bB</sup>	32.13 <sup>aA</sup>	0.42
	1.5	32.37 <sup>cAB</sup>	30.05 <sup>aAB</sup>	30.02 <sup>aA</sup>	30.72 <sup>abcB</sup>	35.55 <sup>aA</sup>	31.93 <sup>aA</sup>	0.53
	SEM	0.82	0.43	0.46	0.37	0.48	0.33	
ΔE <sup>4)</sup>	0	30.12 <sup>cC</sup>	29.46 <sup>aA</sup>	32.11 <sup>aBC</sup>	32.89 <sup>aAB</sup>	27.55 <sup>dBC</sup>	30.58 <sup>abC</sup>	0.35
	0.4	41.87 <sup>aA</sup>	28.47 <sup>aA</sup>	30.28 <sup>aA</sup>	32.29 <sup>abA</sup>	32.02 <sup>aA</sup>	30.47 <sup>abA</sup>	0.74
	0.6	34.14 <sup>bcA</sup>	29.10 <sup>aA</sup>	32.53 <sup>aA</sup>	31.98 <sup>abA</sup>	28.78 <sup>cdA</sup>	31.23 <sup>aA</sup>	0.38
	0.8	39.04 <sup>abA</sup>	31.16 <sup>aAB</sup>	33.51 <sup>aAB</sup>	29.15 <sup>cC</sup>	31.33 <sup>bcBC</sup>	28.80 <sup>bABC</sup>	0.71
	1.0	34.06 <sup>bcD</sup>	29.27 <sup>aB</sup>	30.76 <sup>aCD</sup>	29.81 <sup>bcBC</sup>	32.65 <sup>ab</sup>	32.18 <sup>aA</sup>	0.42
	1.5	32.40 <sup>cAB</sup>	30.09 <sup>aAB</sup>	30.07 <sup>aA</sup>	30.75 <sup>abcB</sup>	35.58 <sup>aA</sup>	31.99 <sup>aA</sup>	0.53
	SEM	0.82	0.43	0.46	0.37	0.48	0.33	

<sup>1-7)</sup> Subscripts of this table are same as Table 2.

**Table 4. Changes in hardness of orange during storage at 20±0.1°C for 15 days after gamma irradiation** (Unit: kg)

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)						SEM <sup>3)</sup>
	0	3	6	9	12	15	
0	2.63 <sup>aA1)</sup>	2.25 <sup>aB</sup>	2.25 <sup>aB</sup>	2.04 <sup>aC</sup>	1.90 <sup>abD</sup>	1.61 <sup>aE</sup>	0.06
0.4	1.93 <sup>cA</sup>	1.84 <sup>bAB</sup>	1.84 <sup>bAB</sup>	1.80 <sup>bB</sup>	1.82 <sup>cB</sup>	1.46 <sup>bc</sup>	0.03
0.6	2.08 <sup>cA</sup>	1.68 <sup>cC</sup>	1.68 <sup>cC</sup>	1.55 <sup>cD</sup>	1.84 <sup>bcB</sup>	1.49 <sup>bD</sup>	0.04
0.8	2.14 <sup>bA</sup>	1.65 <sup>cC</sup>	1.65 <sup>cC</sup>	1.46 <sup>dD</sup>	1.95 <sup>aB</sup>	1.53 <sup>abD</sup>	0.04
1.0	1.74 <sup>dB</sup>	1.60 <sup>cC</sup>	1.60 <sup>cC</sup>	1.50 <sup>dD</sup>	1.90 <sup>abcA</sup>	1.49 <sup>bD</sup>	0.03
1.5	1.65 <sup>dA</sup>	1.23 <sup>dC</sup>	1.23 <sup>dC</sup>	1.32 <sup>dC</sup>	1.44 <sup>dB</sup>	1.47 <sup>bB</sup>	0.03
SEM <sup>2)</sup>	0.06	0.05	0.05	0.04	0.03	0.01	

<sup>1)</sup> a-d. Values with different letters within a column differ significantly ( $p < 0.05$ ). <sup>A-E</sup>. Values with different letters within a row differ significantly ( $p < 0.05$ ). <sup>2)</sup> Standard error of the means (n=36). <sup>3)</sup> Standard error of the means (n=36).

**Table 5. Changes in Brix/acid ratio of orange during storage at 20±0.1°C for 15 days after gamma irradiation**

(Unit: %)

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)						SEM <sup>3)</sup>
	0	3	6	9	12	15	
0	3.88 <sup>cD1)</sup>	4.29 <sup>bc</sup>	4.23 <sup>cC</sup>	4.87 <sup>aB</sup>	5.09 <sup>aA</sup>	4.30 <sup>bcC</sup>	0.10
0.4	4.34 <sup>abC</sup>	4.41 <sup>abC</sup>	4.44 <sup>bB</sup>	4.39 <sup>bBC</sup>	4.88 <sup>bA</sup>	4.34 <sup>bc</sup>	0.05
0.6	3.72 <sup>cC</sup>	4.41 <sup>aB</sup>	4.77 <sup>aAB</sup>	4.86 <sup>cA</sup>	4.69 <sup>cAB</sup>	4.38 <sup>bB</sup>	0.10
0.8	4.03 <sup>bcE</sup>	4.77 <sup>aD</sup>	4.52 <sup>bD</sup>	4.93 <sup>bB</sup>	5.07 <sup>aA</sup>	4.67 <sup>aC</sup>	0.08
1.0	4.55 <sup>aB</sup>	4.14 <sup>cC</sup>	4.86 <sup>aA</sup>	4.51 <sup>bB</sup>	4.52 <sup>dB</sup>	4.20 <sup>cC</sup>	0.06
1.5	4.64 <sup>aB</sup>	4.11 <sup>cD</sup>	4.51 <sup>bB</sup>	4.28 <sup>bc</sup>	4.87 <sup>bA</sup>	4.26 <sup>bcCD</sup>	0.06
SEM <sup>2)</sup>	0.09	0.04	0.05	0.07	0.05	0.04	

<sup>1)</sup> a-d. Values with different letters within a column differ significantly ( $p<0.05$ ). <sup>A-E</sup>. Values with different letters within a row differ significantly ( $p<0.05$ ). <sup>2)</sup> Standard error of the means (n=18). <sup>3)</sup> Standard error of the means (n=18).

었다. 당산비는 과실의 품질 판정에 중요한 지표가 되는 것으로, 비조사구와 0.4, 0.6, 0.8 kGy는 저장 12일까지 계속 증가하다가 저장 15일째 조금 감소하였고, 1, 1.5 kGy는 저장 6일과 12일에 걸쳐 초기의 당산비 수준보다 증가하였지만, 저장 15일째 다시 감소하였다. Kim(2009b)은 일반적으로 감귤이 성숙됨에 따라 산 함량이 낮아지고, 당 함량이 증가한다고 보고하여, 저장기간에 따라 당산비가 증가하는 경향을 보인 본 실험결과와 유사하였다. 그러나 비조사구와 조사구 간의 큰 차이는 보이지 않아, 감마선 조사는 당산비 변화에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

### 5. 총 당 및 환원당 함량 변화

감마선 조사된 오렌지의 총 당 및 환원당 함량 변화는 Table 6에 나타내었다. 총 당 함량은 20°C의 저장 조건에서 비조사구보다 조사구에서 높게 나타났고, 저장 6일까지는 초기의 당 함량 수준을 유지하다가 저장 9일에 증가폭이 커졌다. 저장 0일 대비 저장 15일까지 비조사구는 16.6%, 조사구는 9.6~19.7%까지 증가하는 경향을 보였으나, 조사선량에 따른 통계적 유의차는 보이지 않았다. 이는 과육에서 과피로의 수분 이동에 의한 중량 감소를 유발하여 내용성분의 농축효과로 당 함량이 증가(Kubo & Haginuma 1980)한 것으로 사료된다.

**Table 6. Changes in total sugar contents and reducing sugar contents of orange during storage at 20±0.1°C for 15 days after gamma irradiation**

(Unit: %)

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)						SEM <sup>3)</sup>	
	0	3	6	9	12	15		
Total sugars	0	9.21b <sup>BC1)</sup>	9.17 <sup>aC</sup>	9.43 <sup>aB</sup>	10.58 <sup>aA</sup>	10.53 <sup>bA</sup>	10.74 <sup>bA</sup>	0.17
	0.4	9.38 <sup>bB</sup>	9.40 <sup>aB</sup>	9.63 <sup>aB</sup>	10.62 <sup>aA</sup>	10.53 <sup>bA</sup>	10.76 <sup>bA</sup>	0.16
	0.6	9.70 <sup>abC</sup>	9.32 <sup>aC</sup>	9.50 <sup>aC</sup>	10.51 <sup>aB</sup>	10.83 <sup>abAB</sup>	11.07 <sup>aA</sup>	0.17
	0.8	9.21 <sup>bB</sup>	9.18 <sup>aB</sup>	9.51 <sup>aB</sup>	10.64 <sup>aA</sup>	10.76 <sup>abA</sup>	11.02 <sup>abA</sup>	0.21
	1.0	9.90 <sup>abC</sup>	9.23 <sup>aD</sup>	9.86 <sup>aC</sup>	10.78 <sup>aB</sup>	10.67 <sup>abB</sup>	11.23 <sup>aA</sup>	0.17
	1.5	10.31 <sup>aC</sup>	9.46 <sup>aE</sup>	9.82 <sup>aD</sup>	10.78 <sup>aB</sup>	10.89 <sup>aB</sup>	11.30 <sup>aA</sup>	0.16
	SEM <sup>2)</sup>	0.13	0.05	0.07	0.05	0.05	0.06	
Reducing sugars	0	5.66 <sup>bcC</sup>	5.72 <sup>cC</sup>	6.60 <sup>bcA</sup>	6.44 <sup>cdA</sup>	6.18 <sup>dB</sup>	6.64 <sup>aA</sup>	0.10
	0.4	5.89 <sup>abA</sup>	6.28 <sup>aA</sup>	6.46 <sup>cA</sup>	6.22 <sup>eA</sup>	6.28 <sup>cdA</sup>	6.49 <sup>aA</sup>	0.10
	0.6	5.55 <sup>cd</sup>	6.03 <sup>bc</sup>	6.87 <sup>aA</sup>	6.32 <sup>deB</sup>	6.47 <sup>bcB</sup>	6.69 <sup>aA</sup>	0.11
	0.8	5.62 <sup>bcC</sup>	5.98 <sup>bB</sup>	6.83 <sup>aA</sup>	6.72 <sup>bA</sup>	6.60 <sup>abA</sup>	6.81 <sup>aA</sup>	0.12
	1.0	5.99 <sup>aD</sup>	6.24 <sup>aC</sup>	6.84 <sup>aAB</sup>	6.99 <sup>aA</sup>	6.77 <sup>aB</sup>	6.92 <sup>aAB</sup>	0.09
	1.5	6.17 <sup>aD</sup>	5.94 <sup>bc</sup>	6.73 <sup>aAB</sup>	6.63 <sup>bcB</sup>	6.26 <sup>cdC</sup>	6.99 <sup>aA</sup>	0.09
	SEM	0.06	0.05	0.04	0.07	0.06	0.10	

<sup>1)</sup> a-d. Values with different letters within a column differ significantly ( $p<0.05$ ). <sup>A-D</sup>. Values with different letters within a row differ significantly ( $p<0.05$ ). <sup>2)</sup> Standard error of the means (n=18). <sup>3)</sup> Standard error of the means (n=18).

한편, 감마선 조사된 오렌지의 환원당 함량은 저장 0일 대비 저장 15일째 비조사구는 17.3%, 조사구는 10.2~21.2%까지 증가하여 총 당 함량의 증가폭과 유사한 수준을 보였으나, 조사선량에 따른 유의적 차이는 보이지 않았다. Yun 등(2008b)과 Manolopoulou & Papadopoulou(1998)도 감마선 조사 여부와 상관없이 저장기간에 따라 총 당 및 환원당이 증가한다고 보고하여 본 실험 결과와 유사하였다.

## 6. Vitamin C 함량 변화

감마선 조사된 오렌지의 vitamin C 함량 변화는 Table 7에 나타내었다. 저장 0일 비조사구의 vitamin C 함량과 비교했을 때 조사구의 감소율은 1.8%(0.4 kGy), 5.6%(0.6 kGy), 13.4%(0.8 kGy), 14.8%(1 kGy), 19.1%(1.5 kGy)로 0.8 kGy 이상의 조사선량에서 큰 감소율을 보였고, 조사선량과 저장기간의 증가에 따라 유의적으로 감소하였다. 특히 1.5 kGy에서는 저장 9일째 비조사구 대비 18.7%, 저장 12일째 23.9%, 저장 15일째 25.5% 감소하며 가장 낮은 함량을 나타낸 것으로 보아, 조사선량이 증가함에 따라 vitamin C의 파괴가 증가한 것으로 보인다. 이는 Ladaniya 등(2003)의 연구결과와 일치하는 것으로, Park (2011)은 vitamin C는 방사선 조사과정에서 가장 큰 영양 손실의 우려를 가지고 있으며, 쉽게 산화될 수 있다고 보고하였다. 본 실험 결과, 0.8 kGy 이상의 조사선량에서 품질 변화를 보여, 방사선 조사과정 중 산소와의 접촉을 최대한 줄이고, 포장방법을 보완한다면 vitamin C의 손실을 최소화할 수 있을 것으로 사료된다.

## 7. 관능 평가

감마선 조사된 오렌지의 관능 평가는 Table 8에 나타내었다. 저장 0일째는 조사선량에 관계없이 모든 항목에 걸쳐 높은 선호도를 보였지만, 저장 3일째 신맛과 전체적인 선호도

항목에서 1.5 kGy의 선량이 가장 낮은 수준을 나타냈다. 저장 6일째는 색깔과 향을 제외한 모든 항목에서 비조사구에 비해 조사구에서 낮은 선호도를 보였으나 유의적인 차이는 없었고, 저장 9일째 색깔을 제외한 모든 항목에서 감마선 조사 여부에 상관없이 모두 낮은 선호도를 보였다. 저장 12일째는 조사구에서의 변패취와 불쾌취가 증가해 관능검사를 수행할 수 없었고, 감마선 조사에 의해 vitamin C가 분해되면서 이미와 이취의 원인물질이 생성된 것으로 보인다(Byun 등 1999). 또한 Table 3와 4에 나타난 색도와 물성 측정에서도 알 수 있듯이, 감마선 조사에 의한 과육 내부의 갈변과 경도 감소가 저장기간이 지남에 따라 오렌지의 선호도에 영향을 미쳐 좋지 않은 품질로 평가됨을 알 수 있었다. 이는 1 kGy 이상의 감마선 조사는 관능적 품질을 저하시킨다고 보고한 연구결과(Thayer 1994; Kwon 등 1998)와 유사한 것으로, 산소를 차단한 혐기적 상태의 방사선 조사 및 진공포장방법 등을 이용하면 관능적 품질을 유지시킬 수 있을 것으로 사료된다.

## 요 약

방사선 기술에 대한 오렌지 수입국의 검역 기준을 정립하고, 이를 활용하기 위한 목적의 일환으로 오렌지에 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.5, kGy로 감마선 조사를 실시하여 20°C에서 15일 동안 저장하면서 미생물 및 이화학적 품질 특성을 조사하였다. 일반 호기성 세균과 효모 및 곰팡이는 비조사구에서 저장기간 증가에 따라 유의적으로 증가하였고, 조사구에서는 선량이 증가할수록 유의적으로 감소하여 미생물 감소 효과를 보였다. Vitamin C 함량은 조사선량과 저장기간의 증가에 따라 유의적으로 감소하였다. 관능평가는 색깔을 제외한 신맛, 단맛, 질감, 향, 전체적인 선호도에서 조사선량과 저장기간이 증가할수록 감소하였고, 향이 가장 낮은 선호도를 보였다. 이

Table 7. Changes in vitamin C contents of orange during storage at 20±0.1°C for 15 days after gamma irradiation

(Unit: mg%)

Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)						SEM <sup>3)</sup>
	0	3	6	9	12	15	
0	15.05 <sup>aA1)</sup>	14.74 <sup>aA</sup>	13.27 <sup>aB</sup>	12.18 <sup>aC</sup>	11.83 <sup>aC</sup>	10.94 <sup>aD</sup>	0.37
0.4	14.78 <sup>aA</sup>	14.47 <sup>aA</sup>	12.46 <sup>bbB</sup>	11.84 <sup>bcC</sup>	11.10 <sup>bdD</sup>	10.62 <sup>beE</sup>	0.39
0.6	14.21 <sup>bA</sup>	13.87 <sup>bA</sup>	12.35 <sup>bbB</sup>	11.72 <sup>bcC</sup>	11.00 <sup>bdD</sup>	10.54 <sup>bcE</sup>	0.33
0.8	13.03 <sup>cA</sup>	12.24 <sup>cB</sup>	12.19 <sup>bbB</sup>	11.07 <sup>cC</sup>	10.84 <sup>bcD</sup>	10.34 <sup>cE</sup>	0.23
1.0	12.83 <sup>cA</sup>	12.00 <sup>cB</sup>	11.49 <sup>cC</sup>	11.03 <sup>cdD</sup>	10.62 <sup>ceE</sup>	10.02 <sup>dfF</sup>	0.22
1.5	12.18 <sup>dA</sup>	11.85 <sup>cA</sup>	11.02 <sup>dbB</sup>	9.90 <sup>dcC</sup>	9.00 <sup>ddD</sup>	8.15 <sup>deE</sup>	0.36
SEM <sup>2)</sup>	0.26	0.29	0.18	0.18	0.21	0.22	

<sup>1)</sup> a-c. Values with different letters within a column differ significantly ( $p < 0.05$ ). <sup>A-F</sup>. Values with different letters within a row differ significantly ( $p < 0.05$ ). <sup>2)</sup> Standard error of the means (n=18). <sup>3)</sup> Standard error of the means (n=18).



**Table 8. Changes in sensory scores of orange during storage at 20±0.1°C for 15 days after gamma irradiation**

Sensory parameters	Irradiation dose (kGy)	Storage period (days)				SEM <sup>3)</sup>
		0	3	6	9	
Sourness	0	5.3 <sup>abA1)</sup>	4.7 <sup>abcAB</sup>	5.1 <sup>aAB</sup>	4.3 <sup>aB</sup>	0.15
	0.4	5.3 <sup>abA</sup>	5.1 <sup>abA</sup>	3.9 <sup>bcB</sup>	4.0 <sup>aB</sup>	0.20
	0.6	6.0 <sup>aA</sup>	5.1 <sup>abA</sup>	3.9 <sup>bcB</sup>	3.4 <sup>aB</sup>	0.23
	0.8	5.1 <sup>abAB</sup>	5.6 <sup>aA</sup>	4.6 <sup>abB</sup>	4.5 <sup>aB</sup>	0.17
	1.0	4.9 <sup>abA</sup>	4.4 <sup>bcAB</sup>	3.8 <sup>bcB</sup>	3.8 <sup>aB</sup>	0.17
	1.5	4.6 <sup>bA</sup>	4.1 <sup>cA</sup>	3.5 <sup>cA</sup>	4.0 <sup>aA</sup>	0.18
	SEM <sup>2)</sup>	0.16	0.13	0.13	0.15	
Sweetness	0	5.6 <sup>abA</sup>	5.0 <sup>bAB</sup>	5.1 <sup>aAB</sup>	4.3 <sup>aB</sup>	0.20
	0.4	6.5 <sup>aA</sup>	5.5 <sup>abAB</sup>	4.8 <sup>aB</sup>	4.7 <sup>aB</sup>	0.21
	0.6	6.0 <sup>aA</sup>	5.3 <sup>abAB</sup>	4.0 <sup>aC</sup>	4.3 <sup>abC</sup>	0.22
	0.8	5.5 <sup>abA</sup>	6.0 <sup>aAB</sup>	4.0 <sup>aB</sup>	4.3 <sup>aB</sup>	0.20
	1.0	4.9 <sup>bAB</sup>	5.4 <sup>abAB</sup>	4.3 <sup>aAB</sup>	3.7 <sup>aB</sup>	0.24
	1.5	5.5 <sup>abA</sup>	4.7 <sup>bA</sup>	4.6 <sup>aA</sup>	3.6 <sup>aA</sup>	0.20
	SEM	0.14	0.13	0.17	0.18	
Texture	0	5.3 <sup>abA</sup>	4.7 <sup>bA</sup>	5.1 <sup>abA</sup>	4.7 <sup>abA</sup>	0.17
	0.4	5.8 <sup>abA</sup>	5.4 <sup>abAB</sup>	5.3 <sup>aAB</sup>	5.0 <sup>aB</sup>	0.12
	0.6	6.4 <sup>aA</sup>	5.6 <sup>aB</sup>	4.5 <sup>abC</sup>	4.0 <sup>abC</sup>	0.19
	0.8	5.3 <sup>abA</sup>	6.1 <sup>aAB</sup>	4.4 <sup>bbC</sup>	4.3 <sup>abC</sup>	0.19
	1.0	5.4 <sup>abA</sup>	4.6 <sup>bAB</sup>	3.3 <sup>cC</sup>	4.2 <sup>abBC</sup>	0.22
	1.5	5.1 <sup>bA</sup>	4.6 <sup>bAB</sup>	3.2 <sup>cC</sup>	3.5 <sup>aBC</sup>	0.24
	SEM	0.15	0.14	0.15	0.17	
Color	0	5.9 <sup>aA</sup>	5.9 <sup>aA</sup>	5.4 <sup>aA</sup>	5.2 <sup>aA</sup>	0.16
	0.4	5.6 <sup>aA</sup>	5.4 <sup>aA</sup>	5.0 <sup>aA</sup>	5.2 <sup>aA</sup>	0.19
	0.6	5.8 <sup>aA</sup>	5.4 <sup>aA</sup>	4.8 <sup>aA</sup>	5.2 <sup>aA</sup>	0.18
	0.8	5.8 <sup>aA</sup>	5.4 <sup>aA</sup>	5.2 <sup>aA</sup>	5.3 <sup>aA</sup>	0.16
	1.0	5.6 <sup>aA</sup>	5.4 <sup>aA</sup>	5.0 <sup>aA</sup>	5.3 <sup>aA</sup>	0.20
	1.5	5.9 <sup>aA</sup>	5.4 <sup>aA</sup>	5.0 <sup>aA</sup>	5.2 <sup>aA</sup>	0.18
	SEM	0.15	0.13	0.16	0.13	
Flavor	0	5.8 <sup>aA</sup>	4.9 <sup>aA</sup>	5.0 <sup>aA</sup>	3.5 <sup>aB</sup>	0.20
	0.4	5.8 <sup>aA</sup>	5.4 <sup>aA</sup>	4.9 <sup>aA</sup>	3.3 <sup>aB</sup>	0.22
	0.6	5.7 <sup>aA</sup>	5.3 <sup>aA</sup>	4.1 <sup>aB</sup>	3.2 <sup>aB</sup>	0.22
	0.8	5.0 <sup>aA</sup>	5.4 <sup>aA</sup>	4.4 <sup>aAB</sup>	3.7 <sup>aB</sup>	0.19
	1.0	5.1 <sup>aA</sup>	4.4 <sup>aAB</sup>	4.3 <sup>aAB</sup>	3.8 <sup>aB</sup>	0.19
	1.5	5.3 <sup>aA</sup>	5.0 <sup>aAB</sup>	5.0 <sup>aB</sup>	3.2 <sup>aC</sup>	0.20
	SEM	0.15	0.13	0.13	0.13	
Overall acceptability	0	6.0 <sup>abA</sup>	4.9 <sup>bcBC</sup>	5.4 <sup>aAB</sup>	4.2 <sup>abcC</sup>	0.19
	0.4	6.5 <sup>aA</sup>	5.3 <sup>abB</sup>	5.1 <sup>aB</sup>	4.7 <sup>aB</sup>	0.18
	0.6	6.3 <sup>abA</sup>	5.6 <sup>abA</sup>	4.1 <sup>bB</sup>	3.0 <sup>cC</sup>	0.26
	0.8	5.3 <sup>bAB</sup>	6.0 <sup>aA</sup>	4.8 <sup>abB</sup>	4.5 <sup>abB</sup>	0.20
	1.0	5.6 <sup>abA</sup>	5.0 <sup>bcAB</sup>	4.0 <sup>bB</sup>	3.8 <sup>abcB</sup>	0.23
	1.5	5.8 <sup>abA</sup>	4.3 <sup>cB</sup>	4.1 <sup>bB</sup>	3.2 <sup>bcB</sup>	0.23
	SEM	0.14	0.14	0.14	0.20	

1) a-c: Values with different letters within a column differ significantly ( $p < 0.05$ ). A-C: Values with different letters within a row differ significantly ( $p < 0.05$ ). 2) Standard error of the means (n=120). 3) Standard error of the means (n=80). On the hedonic scale for sourness, sweetness, texture, color, flavor and overall acceptability a score of 1=dislike extremely~7=like extremely.

상의 결과를 종합하여 볼 때, 감마선 조사는 미생물학적 안정성에는 효과가 있지만, 1 kGy 이상의 감마선 조사는 오렌지의 품질 및 관능 특성에 좋지 않은 영향을 미치는 것으로 보고, 품질을 유지하기 위한 최적 선량은 0.4~0.6 kGy인 것으로 사료된다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 농림수산식품기술기획평가원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

## References

- AOAC. 1980. Official Methods of Analysis. 13th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C 190-209
- Bae KI, Choi IR, Park KS. 2008. An experimental study for the properties of cornus officinal used in dyeing textile. Sungshin Women's University. Seoul. Korea pp.39
- Bramlage WJ, Couey HM. 1965. Gamma radiation of fruit to extend market life. *Agr Res Ser US Dpet of Agriculture Market Res Rpt* No. 717
- 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
- 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
- Calenberg SV, Vanhaelewyn G, Cleemput OV, Callens F, Mondelaers W, Huyghebaert A. 1998. Comparison of the effect of X-ray and electron beam irradiation on some selected spices. *Lebensm-Wiss u Technol* 31:252-258
- FDA. 2008. Foods permitted to be irradiated under FDA regulations (21 CFR 179.26)
- FTA Item Trade returns of Orange. <http://fta.customs.go.kr> (accessed July 2013)
- Harrigan WF, Mccane ME, 1976. Laboratory Methods in Food and Dairy Microbiology. Academic Press, London 25-146
- Kang HJ, Chung HS, Jo DJ, Byun MW, Choi SJ, Choi JU, Kwon JH. 2003. Effects of gamma radiation and methyl bromide fumigation on physiological and chemical quality of apples. *Korean J Food Preserv* 10:381-387
- 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. *Kor J Post-Harvest Sci Technol* 3:23-32
- Kim YD. 2009b. Study on the composition of flavonoids and biological activities from Jeju citrus fruits. Jeju National University. Korea pp.39-40
- Kim YJ. 2009a. Effect of gamma irradiation on the quality of seafood cooking drips and its identification properties. Kyungpook National University. Daegu. Korea pp.23
- Ko JK, Ma YH, Song KB. 2005. Effect of electron beam irradiation on the microbial safety and quality of sliced dried squid. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34:433-437
- Kubo N, Haginuma S. 1980. Effects of storage conditions on the quality and some components of Satsuma mandarin. *J Jpn Soc Hort Sci* 49:260-268
- Kwon JH, Kim SJ, Chung HW, Kwon YJ, Byun MW. 1998. Comparative effects of gamma irradiation and methyl bromide fumigation on disinfestation and physicochemical quality of acorn. *Korean J Food Preserv* 5:199-206
- Ladaniya MS, Singh Shyam, Wadhawan AK. 2003. Response of 'Nagpur' mandarin, 'Mosambi' sweet orange and 'Kagzi' acid lime to gamma radiation. *Radiation Physics and Chemistry* 67:665-675
- 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
- Lee JW. 2009. International cooperation for establishing SOP on quarantine management of irradiated food in international trade. Korea Atomic Research Institute. Korea pp.1-3
- Lee SA, Lee JO, Kim KH, Kwon JS, Yook HS. 2008. Influence gamma irradiated on microbial and physicochemical changes of apricot. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37:767-774
- Ma K, Axcy RB. 1981. Factors influencing radiation resistance of vegetative bacteria and spores associated with radappertization of meat. *J Food Sci* 46:612-616
- Manolopoulou H, Papadopoulou P. 1998. A study of respiratory and physico-chemical changes of four kiwi fruit cultivars during coolstorage. *Food Chem* 63:529-534
- 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 Biology and Technology* 86:91-99
- Moulehi I, Bourgou S, Ourghemmi I, Tounsi MS. 2012. Variety

- and ripening impact on phenolic composition and anti-oxidant activity of mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) and bitter orange (*Citrus aurantium* L.) seeds extracts. *Industrial Crops and Products* 39:74-80
- Nagai NY, Moy JH. 1985. Quality of gamma irradiated california valencia oranges. *J of Food Science* 50:215-219
- Pala CU, Toklucu AK. 2013. Microbial, physicochemical and sensory properties of UV-C processed orange juice and its microbial stability during refrigerated storage. *Food Science and Technology* 50:426-431
- Park JN. 2011. Studies on the manufacturing of *Bibimbap* by using radiation technology. Chonbuk National University. Korea pp.20-21
- Thayer DW. 1994. Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol* 48:58-67
- WHO. 1999. High dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy. WHO Technical Report Series 890. World Health Organization, Geneva 9-37
- Yun HJ, Joe MH, Kwon JH, Lim BL, Kim DH. 2008a. Quality characteristics of grapes during post-irradiation storage at different temperatures. *Korean J Food Preserv* 15:648-655
- Yun HJ, Lim SY, Hur JM, Kim DH. 2008b. Changes of nutritional compounds and texture characteristics of peaches (*Prunus persica* L. Batsch) during post-irradiation storage at different temperature. *Kor J Food Preserv* 15:377-384

---

접 수 : 2013년 11월 21일

최종수정 : 2014년 2월 13일

채 택 : 2014년 4월 1일