

저장기간에 따른 감마선 조사 수입 오렌지의 품질 특성

경은지 · 김경희 · *육홍선

충남대학교 식품영양학과

Quality Characteristics of Gamma Irradiated-Imported Orange during Storage

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

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

Abstract

This study was conducted to evaluate the effect of gamma irradiation (0.4, 0.6, 0.8, 1 and 1.5 kGy) on the microbiological, physicochemical and sensory qualities of imported orange during storage at 3°C for 60 days. Total aerobic bacteria and yeast/mold counts in non-irradiated oranges were 3.59 and 3.75 log CFU/g, and those counts in irradiated oranges at 1.5 kGy were decreased by 1.75 and 2.26 log CFU/g, respectively. Moreover, those counts were decreased significantly according to a dose-dependent manner after gamma irradiation. The pH revealed no significant difference between the control and irradiated samples; however, titratable acidity was decreased significantly according to a dose-dependent manner and storage time. The vitamin C contents were decreased significantly according to a dose-dependent manner and storage time after gamma irradiation. Further, sensory evaluation testing revealed no significant difference between the control and irradiated samples, except 1.5 kGy. Samples irradiated at 1.5 kGy had the lowest values in color, sweetness, sourness, flavor, texture and overall acceptance. The results suggest that gamma irradiation was effective for ensuring microbiological safety; however, irradiated oranges at 1 and 1.5 kGy did not have good physicochemical and sensory qualities. Therefore, we can use the sample irradiated at 0.4~0.6 kGy as optimum-dose to be minimize on quality changes.

Key words: orange, gamma irradiation, quarantine, quality

서 론

감귤류의 과일은 연간 100만 톤 이상 생산하는 세계 농업의 중요한 원예 작물의 하나로, vitamin C, 엽산, 칼륨, 그리고 펙틴을 충분히 공급하고, 잠재적으로 건강을 보호할 수 있는 항산화물질인 phytochemical을 포함한다(Moulehi 등 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 증가폭을 보이며, 국내 과일 시장에서 큰 부분을 차지하고 있다

(FTA 2013). 오렌지는 미국에서 과일 중에서 가장 많이 생산되는 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 유리하고, 소비자에게 선호되기 때문이다. 캘리포니아 주에서는 Navel 품종과 Valencia 품종이 재배되고 있는데, 주로 생과용으로 소비되는 Navel 오렌지는 스위트오렌지의 한 종류로서 과정부에 배꼽이 형성되어 있는 오렌지를 지칭한다. Valencia 오렌지에 비해 단맛이 강하고 향기가 독특하며, 종자가 없기 때문에 소비자들에게 인기 높은

* 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

감귤 품종이다(Lee YS 2004; Park 등 2007).

현재 식품의 저장성 개선을 위해 가열 처리나 자외선 조사, 훈증제 처리, 화학 약품 처리, microwave 등의 살균 처리를 하지만, 이는 고온에 의한 식품의 일반 성분의 변화 및 손실을 가져오거나, 화학 성분의 잔류 및 유해 물질의 생성에 따른 여러 문제점을 야기하고, 미생물 살균 효과도 떨어져 효과적인 대체 기술의 개발이 필요하다. 따라서 최근 여러 대체 기술 중 하나로 방사선 에너지의 이용이 효과적인 것으로 인식되고 있다(Van Calenberg 등 1998; Ko 등 2005). 식품의 방사선 조사는 FAO, IAEA, WHO 등의 국제기구에서 유용하고, 안전한 식품 및 공중보건 제품의 살균방법으로 공인되어 현재 세계 60여 국가에서 산업적으로 이용되고 있으며(Byun & Yook 2003), FDA에서는 식물 위생의 목적으로 과일의 방사선 조사를 1 kGy 이하로 허용하고 있다(FDA 2008). 감마선은 제품을 완전 포장한 후, 살균이 가능하여 살균 후 포장과정에서의 2차 오염을 방지할 수 있고, 대량으로 처리가 가능하며, 잔류성 및 곰팡이 상승이 거의 없다. 또한, 적절한 선량의 방사선 조사는 제품 고유의 품질을 유지하면서도 미생물에 대하여 강력한 선택적 살균효과를 나타내며, 식품의 영양학적·관능학적 변화를 최소화할 수 있는 장점이 있어(Sawai 등 1990; Byun 1997; Niemira 등 2001), 과채류의 위생화와 보존성 증진에 유효한 효과가 기대된다(Yun 등 2008).

국가 간의 식품 교역이 활발해짐과 동시에 미국에서 한국으로의 오렌지 수입량이 크게 증가하고, 수출입 식품의 검역 방법으로 방사선이 확대되고 있지만, 방사선 조사된 농산물과 열대과일이 수입되어도 유통에 대한 규정이 마련되어 있지 않아, 세계 무역의 자유화 경향에서 심각한 통상의 문제를 야기시킬 수 있다(Lee JW 2009). 따라서 본 연구에서는 수입국의 검역 기준을 정립하고, 방사선 조사선량의 정확성을 보증하기 위한 목적의 일환으로, 감마선 조사가 오렌지의 미생물 및 이화학적 품질 변화와 유통·저장 시 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 1월 대전중앙청과에서 미국 캘리포니아에서 수입된 Navel 오렌지(*Citrus sinensis*)를 구입하여 재료로 사용하였다. 오렌지는 감마선 조사한 후 위생 지퍼백(Homeplus, polyethylene, Hwaseong, Korea)에 넣어 냉장 보관(3±2℃)하였다.

2. 감마선 조사

감마선 조사는 한국원자력연구원 방사선 과학연구소(Jeong-eup, Republic of Korea) 내 Co⁶⁰ 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 선량을 기준으로 설정하였고, 흡수선량의 확인은 alanine dosimeter(5 mm, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였다. 비조사구인 0 kGy는 동일한 온도효과를 얻기 위하여 감마선 조사시설 외부에 보관하였고, 조사 직후 조사구와 함께 보관하였다.

3. 시료 준비

감마선 조사 시료는 감마선을 조사하지 않은 비조사구와 함께 3±2℃에서 15일 간격으로 60일까지 저장하면서 분석을 실시하였다. 미생물은 시료의 과피, 색도는 과피와 과육, 물성과 관능은 과육 부분을 이용하였다. pH, 산도, 총 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 냉장 보관(3±2℃)하면서 사용하였고, 총당 및 환원당, vitamin C는 착즙한 시료를 -70℃에서 보존한 후 동결건조(FD 8518, Ilshin Lab Co. Ltd., Dongducheon, Korea)하여 분말로 만들어 냉동 보관(-24±1℃)하면서 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 & Mccan 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℃에서 48시간 배양하고, 효모 및 곰팡이균은 potato dextrose agar(Difco)를 사용하여 25℃에서 72시간 배양하여 생성된 colony의 수를 육안으로 계수하여 시료 1 g당 log colony forming unit(log CFU/g)로 나타내었다.

미생물의 개체수를 1/10로 줄이는데 필요한 방사선량(Decimal reduction dose, D10 value)은 아래의 식에 의하여 산출하였다(Song 등 2010).

$$D_{10} = \frac{\text{Dose(kGy)}}{(\log N_0 - \log N)}$$

(N_0 : 미생물의 초기균수, N : 방사선 조사 후 생존한 미생물의 수, dose: kGy)

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 ΔE 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 하며 과실의 과피를 벗겨 적도 위치의 과육 부분을 3×3×1 cm 두께로 잘라서 6회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다.

7. pH 및 산도 측정

pH는 착즙한 시료 3 ml를 증류수로 10배 희석한 뒤 1시간 동안 교반한 후 pH meter(Istek, pH-200L, Guro, Korea)를 이용하여 측정하였다. 산도는 착즙한 시료 10 ml를 증류수에 녹여 100 ml로 정용한 뒤, 이를 삼각플라스크에 20 ml 취한 후 1% phenolphthalein 용액 3~4 방울을 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 : 시료채취량(ml)

8. 총 고형분 측정

착즙한 시료를 착즙, 여과한 착즙액을 일정량 취해 당도계(ATAGO, N-1a, Tokyo, Japan)로 측정하였다.

9. 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 취해 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 등 2003)을 이용하는 데, 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 끓는 물에 넣었다가 꺼내서 10분간 얼음에 넣어 식히고, spectrophotometer로 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 당 함량과 환원당 정량은 glucose(Samchun pure chemical Co., LTD, Pyeongtaek, Korea)를 이용한 표준검량곡선($R^2=0.996$, $R^2=0.994$)에 흡광도를 적용하여 계산하였다.

meter(UV-1800, Shimadzu, Kyoto, Japan)로 490 nm에서 흡광도를 측정하였다. 환원당은 DNS법(Lee 등 2003)을 이용하는 데, 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 끓는 물에 넣었다가 꺼내서 10분간 얼음에 넣어 식히고, spectrophotometer로 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 당 함량과 환원당 정량은 glucose(Samchun pure chemical Co., LTD, Pyeongtaek, Korea)를 이용한 표준검량곡선($R^2=0.996$, $R^2=0.994$)에 흡광도를 적용하여 계산하였다.

10. Vitamin C 함량 측정

동결건조 시료 5 mg을 60% methanol에 용해하여 0.2 μ m filter(PALL Gelman Laboratory, AnnArbor, MI, USA)로 여과한 후 이를 시험 용액으로 하였다. HPLC는 YL 9100(Young Lin Instrument Co., LTD, Anyang, Korea)를 사용하였고, 분석에 사용된 column은 YMC-Pack ODS-AQ(250×4.6 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. Vitamin C 정량을 위한 표준 물질은 환원형 vitamin C인 L(+)-ascorbic acid(Samchun pure chemical Co., LTD, Anyang, Korea)를 사용하였고, 이렇게 얻어진 피크의 높이와 면적은 표준검량곡선($R^2=0.998$)에 대입하여 검체 중의 함량(mg%)을 산출하였다.

11. 관능검사

식품영양학과 대학생 및 대학원생 중 20명을 관능검사원으로 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 척도방법을 사용하여 시료의 색깔, 단맛, 신맛, 향, 질감, 전체적인 선호도를 평가하였다.

12. 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 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

1. 미생물 분석

오렌지에 오염된 미생물의 방사선 감수성(D_{10} value)는 미생물의 개체수를 1/10로 줄이는데 필요한 방사선량 값으로, 고등 생물일수록 방사선에 민감하여 효모 및 곰팡이가 일반 세균보다 방사선 감수성이 큰 것으로 보고(Mendonca 2002; Song 등 2010)되었으며, Lee 등(1998)은 조사 시료의 두께에 의한 차이, 시료에 존재하는 초기 미생물의 농도, 시료의 물리 화학적 상태, 매개체의 이화학적 성질, 조사 환경과 저장 조건 및 조사 선원 등에 따라 달라진다고 하였다. 본 연구결과에서 일반 호기성 세균은 0.82 kGy, 효모 및 곰팡이는 1.01 kGy로 나타나 효모 및 곰팡이가 일반 세균보다 감마선에 의한 내성이 큰 것으로 확인되었다.

감마선 조사된 오렌지를 $3\pm 2^\circ\text{C}$ 에서 보관하면서 60일 동안 관찰한 일반 호기성 세균, 효모 및 곰팡이의 변화를 Table 1에 나타내었다. 일반 호기성 세균은 저장 0일 2.94(0.4 kGy), 2.88(0.6 kGy), 2.83(0.8 kGy), 2.41(1 kGy), 1.75(1.5 kGy) log CFU/g으로 비조사구 3.59 log CFU/g에 비해 유의적으로 감소됨을 확인하였다($p < 0.05$). 비조사구는 저장 0일 3.59 log CFU/g에 비해 저장 60일에는 5.50 log CFU/g으로 34.7% 증가하였다. 0.4 kGy 조사구는 저장 45일까지 감소하는 경향을 보이다가 저장 60일에는 증가하였고, 0.6 kGy 이상의 조사선량에서는 저장 15일째 균수가 감소하다가 저장 30일째부터는 검출한

계 이하 수준을 보이며, 저장 60일까지 감마선 조사에 의한 미생물 감소 효과를 나타내었다. 이는 감마선 조사에 의해 손상을 받은 생존세포가 보존기간이 경과함에 따라 주변 환경에 적응하지 못하고, 점차 사멸하는 post irradiation effect에 의한 것으로 사료된다(Ma & Axcy 1981). 이러한 경향은 효모 및 곰팡이에서도 유사한 경향을 나타내었다. 효모 및 곰팡이의 초기 오염도는 비조사구에서 저장 0일째 3.75 log CFU/g에 비해 4.86 log CFU/g으로 22.8% 증가하였다. 저장 0일 3.09(0.4 kGy), 3.02(0.6 kGy), 2.94(0.8 kGy), 2.86(1 kGy), 2.26(1.5 kGy) log CFU/g으로 비조사구에 비해 유의적으로 감소함을 확인하였고($p < 0.05$), 비조사구에 비해 조사구에서 효모 및 곰팡이의 감소 효과를 확인할 수 있었다. 0.4 kGy 조사구는 저장 30일까지 감소하는 경향을 보이다가 저장 45일째 증가하였고, 0.6 kGy 이상의 선량에서는 저장 15일째 균수가 감소하다가 저장 30일째부터는 검출한계 이하 수준을 보이며, 저장 60일까지 감마선 조사에 의한 감소 효과를 보였다. 이러한 결과는 Yun 등(2008)이 0.6 kGy 이상의 감마선 조사는 비조사구에 비하여 5~6주 정도의 미생물학적 보존성 확보가 가능함을 확인하였고, Lee 등(2008)은 저장기간이 지남에 따라 비조사구는 유의적으로 증가하고, 조사선량이 증가할수록 감소하는 뚜렷한 차이를 나타냈다고 보고하여 본 연구결과와 일치하였다.

Table 1. Changes in microbial growth of orange during storage at $3\pm 2^\circ\text{C}$ for 60 days after gamma irradiation

(Unit: log CFU/g)

Irradiation dose(kGy)	Storage period(days)						SEM ³⁾
	0	15	30	45	60		
Total aerobic bacteria	0	3.59 ^{aB1)}	3.95 ^{aAB}	4.19 ^{aAB}	5.14 ^{aAB}	5.50 ^{aA}	1.53
	0.4	2.94 ^{aA}	2.70 ^{abA}	2.09 ^{bA}	2.08 ^{bA}	2.87 ^{bA}	2.17
	0.6	2.88 ^{aA}	2.04 ^{bcAB}	ND	ND	0.79 ^{cBC}	1.83
	0.8	2.83 ^{aA}	0.75 ^{cdB}	ND	ND	ND	1.50
	1.0	2.41 ^{aA}	0.38 ^{cdB}	ND	ND	ND	1.39
	1.5	1.75 ^{aA}	ND ^{d)}	ND	ND	ND	1.10
SEM ²⁾	1.92	2.13	1.98	2.13	2.35		
Yeasts and molds	0	3.75 ^{aA}	4.02 ^{aA}	4.13 ^{aA}	5.38 ^{aA}	4.86 ^{aA}	1.68
	0.4	3.09 ^{aA}	2.80 ^{aA}	2.16 ^{bA}	2.26 ^{bA}	2.86 ^{bA}	2.25
	0.6	3.02 ^{aA}	2.53 ^{aA}	ND	ND	0.38 ^{cB}	1.89
	0.8	2.94 ^{aA}	0.79 ^{bB}	ND	ND	ND	1.55
	1.0	2.86 ^{aA}	0.38 ^{bb}	ND	ND	ND	1.47
	1.5	2.26 ^{aA}	ND	ND	ND	ND	1.24
SEM	1.88	2.17	1.97	2.24	2.29		

1) a-d: 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($n=36$). 3) Standard error of the means($n=30$). 4) ND: not detected within the detection limit($< 10^1$ CFU/g).

2. 색도 변화

감마선 조사된 오렌지의 색도 변화는 과피와 과육 부분의 Hunter값을 이용하여 각각 Table 2와 3에 나타내었다. 과피의 L값(명도)은 저장 45일까지는 조사선량에 따른 차이를 나타내지 않았고, 저장 60일째는 선량이 증가할수록 감소하는 경향을 보였다. 또한, 비조사구와 0.4, 0.6, 0.8 kGy 조사구의 L값은 저장 30일 이후부터 유의적으로 감소하였고, 1, 1.5 kGy 조사구의 감소폭이 더 크게 나타나는 것을 보아, 비조사구에 비하여 조사구에서 색이 더욱 진해진 것으로 보인다. a값(적

색도)은 조사선량과 저장기간이 증가할수록 감소하는 경향을 보였고, 비조사구 및 0.4, 0.6 kGy보다 0.8, 1, 1.5 kGy의 감소폭이 더 크게 나타났다. 특히 저장 초기에 비하여 저장 60일째 조사선량이 증가할수록 유의적으로 감소하였다. b값(황색도)은 저장 0일과 15일째 조사선량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였고, 저장 30일째와 45일째 유의적인 차이를 보이지 않다가 저장 60일째 1, 1.5 kGy에서 유의적인 차이를 보이며, 저장기간이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. ΔE 값은 전체적인 색차를 나타내는 것으로, 12.0 이상이

Table 2. Changes in Hunter's color values of orange peels during storage at 3±2°C for 60 days after gamma irradiation

Hunter parameter	Irradiation dose(kGy)	Storage period(days)					SEM ⁷⁾
		0	15	30	45	60	
L ¹⁾	0	67.09 ^{bA5)}	65.08 ^{bB}	66.51 ^{bcA}	63.87 ^{abC}	60.52 ^{cd}	2.80
	0.4	67.38 ^{ba}	67.13 ^{aA}	67.37 ^{abcA}	61.41 ^{cC}	64.12 ^{aB}	3.48
	0.6	68.77 ^{aA}	67.89 ^{aA}	67.84 ^{abA}	65.94 ^{aB}	62.74 ^{abC}	2.76
	0.8	68.88 ^{aA}	68.19 ^{aA}	68.43 ^{aA}	64.23 ^{abB}	61.17 ^{bcC}	3.75
	1.0	68.23 ^{aA}	67.30 ^{abB}	66.49 ^{bcBC}	65.69 ^{aC}	54.69 ^{dd}	5.23
	1.5	65.95 ^{cb}	68.12 ^{aA}	66.17 ^{cb}	63.19 ^{bcC}	54.75 ^{dd}	5.29
	SEM ⁶⁾	1.50	1.68	2.14	3.14	4.42	
a ²⁾	0	30.41 ^{bB}	34.23 ^{aA}	29.39 ^{bB}	24.69 ^{abD}	27.33 ^{aC}	3.87
	0.4	30.78 ^{ba}	32.19 ^{bB}	30.91 ^{aB}	26.05 ^{abC}	27.14 ^{aC}	15.84
	0.6	29.44 ^{ba}	30.67 ^{cb}	30.89 ^{aB}	26.83 ^{aC}	27.79 ^{aC}	16.19
	0.8	27.57 ^{ca}	30.76 ^{cb}	28.77 ^{bcC}	23.90 ^{bd}	21.54 ^{be}	17.63
	1.0	30.31 ^{ba}	30.77 ^{cb}	27.00 ^{dc}	27.06 ^{aC}	20.41 ^{bd}	17.41
	1.5	33.04 ^{aA}	29.05 ^{db}	27.60 ^{cdC}	27.39 ^{aC}	20.98 ^{bd}	16.34
	SEM	14.14	2.34	2.23	3.75	4.10	
b ³⁾	0	66.39 ^{dB}	68.29 ^{cb}	70.56 ^{ca}	66.98 ^{bcB}	64.15 ^{bc}	3.43
	0.4	69.35 ^{cb}	71.55 ^{baB}	72.76 ^{abA}	63.90 ^{cC}	69.64 ^{aB}	4.66
	0.6	71.02 ^{bb}	73.65 ^{aA}	73.76 ^{aA}	71.46 ^{aB}	66.21 ^{bc}	3.79
	0.8	73.32 ^{aA}	73.94 ^{aA}	74.01 ^{aA}	69.57 ^{abB}	64.05 ^{bc}	5.38
	1.0	72.72 ^{aA}	71.53 ^{baB}	70.96 ^{bcAB}	69.62 ^{abB}	51.42 ^{cC}	8.39
	1.5	70.20 ^{bcB}	73.01 ^{abA}	69.35 ^{cb}	66.66 ^{bcC}	49.19 ^{cd}	9.19
	SEM	2.92	3.02	3.28	4.91	8.54	
ΔE ⁴⁾	0	73.07 ^{dB}	76.46 ^{dA}	76.46 ^{ba}	71.42 ^{bcAB}	69.73 ^{cb}	3.81
	0.4	75.90 ^{cbC}	78.48 ^{cbAB}	79.07 ^{aA}	69.03 ^{cd}	74.88 ^{aC}	5.25
	0.6	76.90 ^{bcB}	79.82 ^{abA}	79.98 ^{aA}	76.36 ^{aB}	71.85 ^{bc}	3.98
	0.8	78.37 ^{aA}	80.09 ^{aA}	79.44 ^{aA}	73.68 ^{abB}	67.69 ^{dc}	5.26
	1.0	78.79 ^{aA}	77.91 ^{ca}	75.94 ^{bb}	74.85 ^{abB}	55.42 ^{cC}	8.99
	1.5	77.60 ^{abA}	78.60 ^{bcA}	74.78 ^{bb}	72.12 ^{bcC}	53.52 ^{ed}	9.66
	SEM	2.59	2.15	2.93	5.11	8.61	

¹⁾ L: Degree of lightness. ²⁾ a: Degree of redness. ³⁾ b: Degree of yellowness. ⁴⁾ ΔE : Overall color difference $\sqrt{\Delta L^2 + \Delta a^2 + \Delta b^2}$.

⁵⁾ a-e: Values with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$). A-E: Values with different letters within a row differ significantly ($p < 0.05$). ⁶⁾ Standard error of the means ($n=90$). ⁷⁾ Standard error of the means ($n=75$).

면 상당히 큰 정도(very much)의 육안적 차이에 해당한다(Bae 등 2008). 본 실험 결과, 과피의 ΔE 값은 53.52~80.09의 범위를 보이며, 모든 시료에서 very much 정도의 차이를 나타냈고, 저장기간에 따라 색차의 정도가 감소하는 경향을 보였다.

과육의 경우, L값은 조사선량에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았지만 저장기간이 지남에 따라 증가하는 경향을 나타내었고, a값은 저장기간이 지남에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이때의 a값은 음의 값을 나타내는데, 이는 과육 내에 chlorophyll이 존재하기 때문으로 보인다(Kim 등 1996). b값은 조사선량과 저장기간이 증가할수록 황색도가 높아지는 경향이 나타났으나, 유의적인 차이는 보이지 않았다. ΔE 값은 과

피의 색차 수치보다는 낮았으나, 저장기간에 따라 색차의 정도가 증가하는 경향을 보이고 24.37~39.81의 범위를 나타내며, 과육에서도 very much, 즉 상당히 큰 정도의 차이를 보였다. 일반적으로 1 kGy 이상의 고선량의 감마선 조사는 부분적으로 과육의 내부 갈변을 유도하는 경우가 보고(Joesphson & Peterson 1983; Lee 등 2008)되고 있어, 오렌지의 색도적 품질 유지에 1 kGy 이상의 감마선 조사는 적절치 않은 것으로 사료된다.

3. 경도 변화

감마선 조사된 오렌지 과육 부분의 경도 변화는 Table 4에

Table 3. Changes in Hunter's color values of orange flesh during storage at $3\pm 2^\circ\text{C}$ for 60 days after gamma irradiation

Hunter parameter	Irradiation dose(kGy)	Storage period(days)					SEM ⁷⁾
		0	15	30	45	60	
L ¹⁾	0	47.30 ^{bcD5)}	49.88 ^{aC}	59.81 ^{bA}	51.49 ^{bB}	51.08 ^{cBC}	4.58
	0.4	48.01 ^{abC}	48.37 ^{bc}	59.73 ^{bA}	51.62 ^{bB}	51.94 ^{cB}	4.77
	0.6	46.41 ^{cdE}	48.45 ^{bd}	60.11 ^{bA}	53.73 ^{aC}	57.54 ^{ab}	5.62
	0.8	46.69 ^{cdE}	49.96 ^{aD}	62.72 ^{aA}	52.03 ^{bc}	55.57 ^{bB}	5.88
	1.0	48.68 ^{aD}	50.47 ^{aC}	55.70 ^{aA}	49.80 ^{cC}	54.02 ^{bB}	3.06
	1.5	45.82 ^{dE}	49.50 ^{abD}	60.27 ^{bA}	52.46 ^{abC}	55.31 ^{bB}	5.54
	SEM ⁶⁾	1.67	1.91	3.25	2.46	3.02	
a ²⁾	0	-1.30 ^{abA}	-1.52 ^{abA}	-4.25 ^{abC}	-1.97 ^{aA}	-3.15 ^{bB}	1.48
	0.4	-1.81 ^{bB}	-1.24 ^{aA}	-4.12 ^{abD}	-2.85 ^{bcC}	-2.23 ^{ab}	1.21
	0.6	-1.61 ^{bA}	-1.73 ^{abA}	-3.97 ^{aC}	-2.34 ^{cB}	-3.64 ^{bcC}	1.24
	0.8	-0.91 ^{aA}	-2.07 ^{abcB}	-4.65 ^{bcC}	-3.17 ^{cD}	-4.13 ^{cdD}	1.63
	1.0	-1.24 ^{abA}	-2.28 ^{bcB}	-5.05 ^{cdD}	-2.27 ^{abB}	-3.46 ^{bc}	1.63
	1.5	-2.63 ^{cA}	-2.66 ^{cA}	-5.53 ^{dC}	-2.90 ^{bcA}	-4.39 ^{dB}	1.39
	SEM	1.00	1.13	0.91	1.02	0.99	
b ³⁾	0	27.12 ^{bcD}	31.47 ^{abB}	28.91 ^{cCD}	34.11 ^{bA}	30.62 ^{cBC}	3.47
	0.4	28.69 ^{abB}	30.80 ^{aAB}	24.00 ^{dC}	31.53 ^{cAB}	32.83 ^{bcA}	4.96
	0.6	26.53 ^{bcD}	28.96 ^{aC}	28.88 ^{cC}	37.35 ^{ab}	39.61 ^{aA}	5.92
	0.8	28.72 ^{abD}	31.20 ^{aC}	25.80 ^{dE}	37.39 ^{aA}	34.97 ^{bB}	4.93
	1.0	30.09 ^{abB}	30.37 ^{abB}	31.02 ^{bB}	34.55 ^{bAB}	38.78 ^{aA}	6.36
	1.5	26.09 ^{cD}	29.35 ^{aC}	33.15 ^{ab}	38.70 ^{aA}	37.82 ^{aA}	5.98
	SEM	3.14	3.98	3.92	4.12	6.13	
ΔE ⁴⁾	0	27.19 ^{bcD}	31.54 ^{abB}	29.25 ^{cC}	34.18 ^{ba}	30.79 ^{cBC}	3.36
	0.4	28.77 ^{abB}	30.83 ^{aAB}	24.37 ^{cC}	31.68 ^{cAB}	32.92 ^{bcA}	4.85
	0.6	26.58 ^{bcD}	29.03 ^{aC}	30.16 ^{bcC}	37.43 ^{ab}	39.81 ^{aA}	5.83
	0.8	28.75 ^{abD}	31.30 ^{aC}	26.24 ^{dE}	37.54 ^{aA}	35.22 ^{bB}	4.88
	1.0	30.12 ^{aC}	30.49 ^{aC}	31.44 ^{bc}	34.66 ^{bB}	38.95 ^{aA}	4.77
	1.5	26.23 ^{cD}	29.50 ^{aC}	33.63 ^{ab}	38.81 ^{aA}	38.08 ^{aA}	6.00
	SEM	3.11	3.92	3.89	4.08	4.57	

¹⁻⁷⁾ Subscripts of this table are same as Table 2.

Table 4. Changes in hardness of orange during storage at 3±2°C for 60 days after gamma irradiation (Unit: g)

Irradiation dose(kGy)	Storage period(days)					SEM ³⁾
	0	15	30	45	60	
0	2,355.95 ^{aA1)}	2,117.13 ^{abBC}	2,186.17 ^{aB}	1,950.76 ^{abCD}	1,818.52 ^{abD}	230.47
0.4	2,285.81 ^{aA}	2,250.26 ^{aAB}	2,039.64 ^{abC}	2,096.67 ^{abC}	1,822.82 ^{abD}	218.18
0.6	2,042.95 ^{aA}	2,044.84 ^{abA}	1,912.66 ^{bB}	1,804.57 ^{bB}	1,809.52 ^{abB}	135.50
0.8	2,049.31 ^{aA}	1,827.47 ^{bC}	1,997.95 ^{bAB}	1,897.95 ^{abBC}	1,786.24 ^{abC}	145.43
1.0	2,038.59 ^{aA}	1,921.88 ^{abAB}	1,994.72 ^{bAB}	1,863.23 ^{bB}	1,885.18 ^{abB}	121.38
1.5	2,051.92 ^{aAB}	2,104.64 ^{abA}	1,974.04 ^{bB}	1,806.76 ^{bC}	1,742.90 ^{bC}	158.90
SEM ²⁾	171.86	187.75	144.62	138.71	95.83	

¹⁾ a-b: 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($n=30$).

나타내었다. 식품에 방사선이 조사되면 식품에 존재하는 수분의 이온화로부터 생성된 활성 유리 라디칼이 식품 성분과 화학적인 반응이 일어나며, 그 반응에서 생성된 또 다른 화합물들에 의한 2차 화학적 반응으로 이화학적 및 물리학적 특성에 영향을 미친다(Thayer 1994; Song 등 2010). 오렌지의 경도 변화는 조사선량과 저장기간이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나, 유의적인 차이는 보이지 않았다. 저장 0일 비조사구의 경도와 비교했을 때 조사구의 감소율이 2.98%(0.4 kGy), 13.29%(0.6 kGy), 13.02%(0.8 kGy), 13.47%(1 kGy), 12.90%(1.5 kGy)로 0.6 kGy 이상의 조사선량에서 큰 감소율을 나타내었지만, 저장 60일에는 비조사구와 조사구 간의 큰 차이를

보이지 않았다. 이러한 결과는 Ladaniya 등(2003)과 Yun 등(2007)의 연구와도 일치하였고, 감마선 조사에 의해 과실이나 견과류의 경도가 감소되지만, 저장기간이 경과함에 따라 비조사구와의 차이가 줄어든다고 발표한 Kwon 등(1998)의 보고와 유사한 경향이였다.

4. pH 및 산도 변화

감마선 조사된 오렌지의 pH 및 산도 변화는 각각 Table 5에 나타내었다. 저장기간 동안 조사선량에 따른 유의적인 차이는 있었으나, 일률적으로 증가하거나 감소하는 경향을 보이지는 않았다. 비조사구와 조사구에서도 큰 차이를 보이지

Table 5. Changes in pH and titratable acidity of orange during storage at 3±2°C for 60 days after gamma irradiation

	Irradiation dose(kGy)	Storage period(days)					SEM ³⁾
		0	15	30	45	60	
pH	0	3.84 ^{bC1)}	3.64 ^{abD}	4.00 ^{dA}	4.02 ^{bA}	3.89 ^{bB}	0.14
	0.4	3.87 ^{aC}	3.66 ^{aE}	3.99 ^{deB}	4.03 ^{bA}	3.79 ^{cd}	0.14
	0.6	3.77 ^{dD}	3.65 ^{abE}	4.08 ^{aA}	4.06 ^{aB}	3.91 ^{aC}	0.17
	0.8	3.86 ^{aC}	3.54 ^{cd}	4.02 ^{ca}	4.02 ^{bA}	3.89 ^{bB}	0.18
	1.0	3.81 ^{cC}	3.63 ^{bE}	3.98 ^{eb}	4.05 ^{aA}	3.76 ^{dD}	0.16
	1.5	3.84 ^{bB}	3.53 ^{cd}	4.06 ^{bA}	4.06 ^{aA}	3.66 ^{cC}	0.22
	SEM ²⁾	0.04	0.06	0.04	0.02	0.09	
Titratable acidity (%)	0	0.90 ^{aA}	0.85 ^{abB}	0.86 ^{aB}	0.79 ^{aC}	0.79 ^{aC}	0.04
	0.4	0.82 ^{cb}	0.86 ^{aA}	0.79 ^{bcC}	0.79 ^{aC}	0.77 ^{bD}	0.04
	0.6	0.85 ^{bA}	0.84 ^{bB}	0.68 ^{bcC}	0.70 ^{cd}	0.70 ^{cd}	0.07
	0.8	0.79 ^{db}	0.84 ^{bA}	0.76 ^{cC}	0.74 ^{bD}	0.70 ^{de}	0.05
	1.0	0.85 ^{bA}	0.81 ^{cb}	0.82 ^{abB}	0.74 ^{bC}	0.68 ^{dD}	0.07
	1.5	0.85 ^{bA}	0.84 ^{bA}	0.74 ^{cb}	0.71 ^{cBC}	0.66 ^{cC}	0.08
	SEM	0.03	0.02	0.05	0.04	0.05	

¹⁾ a-e: Values with different letters within a column differ significantly($p<0.05$). ^{A-E}: Values with different letters within a row differ significantly($p<0.05$). ²⁾ Standard error of the means($n=18$). ³⁾ Standard error of the means($n=15$).

않아 조사선량이 pH에 영향을 미치지 않음을 알 수 있었고, Yun 등(2008)의 연구결과와 일치하였다.

온주밀감의 경우, 저장 중에 성분 변화를 조사하고, 소비자의 기호적 식미를 조사한 결과, 산 함량 0.7~0.8%인 상태에서 소비자의 기호성이 높으며, 0.7% 이하에서는 당 함량이 많더라도 기호성은 낮다고 하였다(Koh JS 2004; Lee 등 2007). 본 실험에서는 저장 60일째 1, 1.5 kGy를 제외한 모든 시료에서 높은 0.7~0.9%를 나타냈다. 산 함량이 높은 비조사구의 감소율은 저장 0일 대비 저장 60일째 12.2%로 나타났지만, 1 kGy와 1.5 kGy는 각각 20.00%, 22.35%의 감소율을 보여 저장 기간과 조사선량이 증가할수록 산 함량이 낮아지는 경향을 나타냈다.

5. 총 고형분 변화

감마선 조사된 오렌지의 총 고형분 함량은 Table 6에 나타내었다. 총 고형분 함량은 조사구에 비해 비조사구에서 유의적으로 더 높았고, 조사선량에 따른 큰 차이는 없었지만, 저장 기간에 따라 감소하는 경향을 보였다. 이는 감마선 조사된 과일은 시간이 지남에 따라 총 고형분 함량이 감소한다는 Ladaniya 등(2003)과 Kim & Yook(2009)의 연구결과와 일치하였다.

6. 총 당 및 환원당 함량 변화

감마선 조사된 오렌지의 총 당 및 환원당 함량 변화는 Table 7에 나타내었다. 일반적으로 과일의 당 함량은 성숙과정이나 저장기간 동안 가수분해에 의해 증가되기도 하고, 호흡기질로 사용되어 감소하기도 한다(Ackeman 등 1992; Yun 등 2008). 3°C의 냉장 저장 조건에서 저장 45일까지 비조사구는 18.6%, 조사구는 12.1~22.1%까지 증가하는 경향을 보였고, 저장기간에 따른 유의적인 차이를 나타냈으나, 조사선량에 따른 변화는 보이지 않았다. 저장 60일째는 다시 감소하여 저

장 초기의 당 함량 수준을 보였고, 조사선량에 따른 통계적 유의차는 없었다. 본 연구는 Yun 등(2008)의 연구와 유사한 결과를 보였고, 이는 과육에서 과피로의 수분 이동에 의한 중량 감소를 유발하여 내용성분의 농축효과로 당 함량이 증가한 것으로 사료된다(Kubo & Haginuma 1980). 한편, 감마선 조사된 오렌지의 환원당 함량은 저장기간에 따라 증가하는 경향을 보였다. 저장 0일 대비 저장 60일째 비조사구는 7.7%, 조사구는 12.1~18.3%까지 증가하였으나, 조사선량에 따른 유의적인 차이는 보이지 않았다. Yun 등(2007)은 사과의 환원당 함량 변화는 감마선 조사 여부 및 보존 온도에 크게 상관없이 점차 증가한다는 경향을 보였고, Manolopoulou & Papadopoulou (1998)도 키위가 저장기간이 증가함에 따라 환원당이 증가한다고 보고하여 본 실험 결과와 유사한 결과를 나타내었다.

7. Vitamin C 함량 변화

감마선 조사된 오렌지의 vitamin C 함량 변화는 Table 8에 나타내었다. 저장 0일 대비 저장 60일의 vitamin C의 감소율은 비조사구의 경우 20.1%였으나, 조사구는 21.3%(0.4 kGy), 23.6%(0.6 kGy), 49.4%(0.8 kGy), 58.4%(1 kGy), 65.2%(1.5 kGy)로 비조사구와 조사구 간의 확연한 차이를 보였다. 조사선량과 저장기간의 증가에 따라 vitamin C 함량이 유의적으로 감소하는 경향을 보여 Ladaniya 등(2003)의 보고와 유사하였고, 이러한 현상은 vitamin C 자신이 산화됨으로써 오렌지의 산화 억제와 갈변 방지에 큰 역할을 한 것으로 보인다(Cha 등 1990). 또한, Mendonca(2002)는 저장 시 vitamin C의 ascorbic acid가 분해되어 이미와 이취의 원인물질을 생성한다고 보고하였고, Byun 등(1999)은 감마선 조사 시 선량이 증가함에 따라 ascorbic acid의 파괴가 증가한다고 보고하였다. 본 실험 결과, 0.4~0.6 kGy에서는 vitamin C 함량의 감소폭이 크지 않아 품질에 큰 변화가 없었으나, 0.8 kGy 이상에서는 확연한 감소

Table 6. Changes in total soluble solid contents of orange during storage at 3±2°C for 60 days after gamma irradiation
(Unit: °Brix)

Irradiation dose(kGy)	Storage period(days)					SEM ³⁾
	0	15	30	45	60	
0	13.10 ^{aA1)}	12.00 ^{bC}	13.13 ^{aA}	11.23 ^{cD}	12.43 ^{aB}	0.74
0.4	12.17 ^{dB}	12.67 ^{aA}	12.00 ^{eB}	12.10 ^{aB}	11.60 ^{cC}	0.37
0.6	12.13 ^{dA}	11.77 ^{bB}	12.33 ^{bA}	10.09 ^{dC}	12.10 ^{aA}	0.54
0.8	12.00 ^{eB}	12.07 ^{bB}	12.33 ^{bA}	10.07 ^{dD}	11.03 ^{dC}	0.87
1.0	12.47 ^{cB}	12.73 ^{aA}	12.27 ^{bC}	12.27 ^{eE}	11.47 ^{cD}	0.93
1.5	12.60 ^{bA}	12.73 ^{aA}	11.50 ^{dC}	11.80 ^{bB}	12.00 ^{bB}	0.50
SEM ²⁾	0.38	0.43	0.51	0.76	0.48	

¹⁾ a-d. 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($n=18$). ³⁾ Standard error of the means($n=15$).

Table 7. Changes in total sugar contents and reducing sugar contents of orange during storage at 3±2°C for 60 days after gamma irradiation (Unit: %)

	Irradiation dose(kGy)	Storage period(days)					SEM ³⁾
		0	15	30	45	60	
Total sugars	0	10.53 ^{aD1)}	11.25 ^{aBC}	11.76 ^{abB}	12.49 ^{abA}	10.95 ^{cCD}	0.77
	0.4	10.46 ^{aC}	11.47 ^{aBC}	11.25 ^{bBC}	12.77 ^{aA}	11.93 ^{aAB}	0.91
	0.6	10.60 ^{aC}	11.25 ^{aB}	11.09 ^{bB}	11.92 ^{bcA}	11.54 ^{abAB}	0.50
	0.8	10.41 ^{aB}	11.03 ^{aB}	11.87 ^{abA}	11.73 ^{cA}	11.00 ^{cB}	0.62
	1.0	11.13 ^{aB}	11.15 ^{aB}	12.02 ^{abAB}	12.48 ^{abA}	10.99 ^{cB}	0.77
	1.5	11.13 ^{aB}	11.53 ^{aB}	12.19 ^{aA}	12.53 ^{abA}	11.43 ^{bcB}	0.59
	SEM ²⁾	0.54	0.36	0.58	0.48	0.42	
Reducing sugars	0	5.20 ^{bcC}	5.38 ^{bBC}	5.26 ^{bC}	5.83 ^{aA}	5.60 ^{cAB}	0.27
	0.4	4.96 ^{cC}	5.17 ^{cBC}	5.29 ^{bB}	5.91 ^{aA}	5.87 ^{bAB}	0.42
	0.6	5.49 ^{aBC}	5.37 ^{bC}	5.80 ^{aB}	5.76 ^{aB}	6.29 ^{aAB}	0.36
	0.8	5.21 ^{bcC}	5.59 ^{aAB}	5.78 ^{aA}	5.34 ^{bBC}	5.84 ^{bcA}	0.29
	1.0	5.44 ^{abC}	5.63 ^{aB}	5.58 ^{abBC}	5.71 ^{aB}	6.32 ^{aA}	0.32
	1.5	5.59 ^{aC}	5.60 ^{aC}	5.53 ^{abC}	5.97 ^{aB}	6.39 ^{aA}	0.36
	SEM	0.25	0.19	0.29	0.24	0.32	

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 ($n=18$). ³⁾ Standard error of the means ($n=15$).

Table 8. Changes in vitamin C contents of orange during storage at 3±2°C for 60 days after gamma irradiation

(Unit: mg%)

Irradiation dose(kGy)	Storage period(days)					SEM ³⁾
	0	15	30	45	60	
0	48.34 ^{aA1)}	45.42 ^{aB}	44.50 ^{aB}	41.90 ^{aC}	38.61 ^{aD}	0.89
0.4	47.42 ^{bA}	45.27 ^{aB}	43.68 ^{bC}	41.21 ^{aD}	37.31 ^{bE}	0.93
0.6	47.33 ^{bA}	45.16 ^{aB}	42.02 ^{cC}	38.18 ^{bD}	36.17 ^{cE}	1.12
0.8	44.82 ^{cA}	31.15 ^{bB}	30.49 ^{dB}	27.40 ^{cC}	22.68 ^{dD}	1.98
1.0	41.69 ^{dA}	23.23 ^{cB}	21.01 ^{eC}	18.96 ^{dD}	17.36 ^{eE}	2.36
1.5	40.31 ^{eA}	23.11 ^{cB}	20.16 ^{fC}	17.38 ^{eD}	14.03 ^{fE}	2.45
SEM ²⁾	0.74	2.45	2.51	2.46	2.43	

¹⁾ a-f: Values with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$). ^{A-E}: Values with different letters within a row differ significantly ($p < 0.05$). ²⁾ Standard error of the means ($n=18$). ³⁾ Standard error of the means ($n=15$).

율을 보여 산소를 차단한 혐기적 상태의 방사선 조사 및 포장 방법에 대한 좀 더 다양한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

8. 관능 평가

감마선 조사된 오렌지의 관능평가는 각각 Table 9에 나타내었다. 저장 0일째 모든 항목에 걸쳐서 비조사구와 조사구 간의 유의적인 차이 없이 모두 높은 선호도를 보였지만, 저장 15일째와 30일째 조직감과 색에 비해 신맛, 단맛, 향, 전체적인 선호도에서 조사선량이 증가할수록 감소하며, 유의적인

차이를 보였다. 비조사구는 저장 30일째에도 높은 관능적 효과를 얻었지만, 조사구에서는 저장기간과 조사선량의 증가에 따라 모든 관능검사의 선호도가 감소하는 것을 나타냈고, 특히 1, 1.5 kGy 조사구에서 가장 낮은 선호도를 나타냈다. 저장 45일째는 비조사구의 변패취는 크지 않았지만, 조사구의 변패취와 불패취가 증가해 관능검사를 수행할 수 없었고, Table 3과 4에 나타난 색도 및 경도 측정 결과와 같이 저장기간이 지남에 따라 과육의 내부 갈변과 경도 감소로 볼 때, 육안으로도 좋지 않은 품질로 평가됨을 알 수 있었다. 이는 1 kGy

이상의 고선량 감마선 조사는 관능적 품질을 저하시킨다고 보고한 연구결과(Thayer 1994; Kwon 등 1998)와 유사한 것으로, 0.8 kGy 이하의 조사구에서 전반적으로 높은 선호도를 보여 미생물 감소 효과뿐 아니라, 관능 면에서도 적합한 선량인

Table 9. Changes in sensory scores of orange during storage at 3±2°C for 60 days after gamma irradiation

Sensory parameters	Irradiation dose(kGy)	Storage period(days)			
		0	15	30	SEM ²⁾
Sourness	0	5.2 ^{aA1)}	5.6 ^{aA}	4.7 ^{aA}	1.15
	0.4	5.0 ^{aA}	5.0 ^{aA}	4.3 ^{abA}	1.10
	0.6	5.4 ^{aA}	4.8 ^{aAB}	4.3 ^{abB}	1.12
	0.8	5.4 ^{aA}	5.3 ^{aA}	4.1 ^{abB}	1.28
	1.0	5.5 ^{aA}	4.0 ^{bB}	3.4 ^{bcB}	1.37
	1.5	4.7 ^{aA}	3.3 ^{bB}	3.0 ^{cB}	1.37
	SEM ²⁾	1.29	1.16	1.22	
Sweetness	0	5.9 ^{aA}	5.1 ^{aA}	5.6 ^{aA}	0.94
	0.4	6.0 ^{aA}	5.1 ^{aA}	5.1 ^{abA}	1.07
	0.6	6.1 ^{aA}	4.9 ^{aB}	4.7 ^{abB}	1.28
	0.8	6.0 ^{aA}	4.9 ^{aB}	5.1 ^{abAB}	1.18
	1.0	5.6 ^{aA}	4.7 ^{aAB}	4.1 ^{bcB}	1.30
	1.5	5.5 ^{aA}	3.4 ^{bB}	3.2 ^{cB}	1.59
	SEM	0.95	1.20	1.43	
Texture	0	5.9 ^{aA}	6.0 ^{aA}	5.6 ^{aA}	1.02
	0.4	5.9 ^{aA}	4.6 ^{bcdB}	5.1 ^{abAB}	1.24
	0.6	5.9 ^{aA}	4.9 ^{bcB}	5.3 ^{abAB}	1.07
	0.8	6.1 ^{aA}	5.6 ^{abAB}	4.9 ^{abB}	1.22
	1.0	5.6 ^{aA}	4.4 ^{cdA}	4.4 ^{bA}	1.37
	1.5	5.5 ^{aA}	3.6 ^{dB}	4.9 ^{abA}	1.42
	SEM	1.20	1.34	1.10	
Color	0	6.1 ^{aA}	5.5 ^{aA}	5.0 ^{aA}	1.31
	0.4	6.1 ^{aA}	5.3 ^{aA}	4.9 ^{aB}	1.21
	0.6	6.3 ^{aA}	5.3 ^{aB}	4.9 ^{aB}	1.14
	0.8	6.2 ^{aA}	5.4 ^{aAB}	5.0 ^{aB}	1.17
	1.0	6.1 ^{aA}	5.4 ^{aAB}	4.4 ^{aB}	1.37
	1.5	5.9 ^{aA}	5.3 ^{aA}	5.2 ^{aA}	1.07
	SEM	0.88	1.08	1.30	
Flavor	0	5.4 ^{aA}	4.6 ^{aA}	4.7 ^{aA}	0.99
	0.4	5.4 ^{aA}	4.6 ^{aA}	3.6 ^{bcB}	1.20
	0.6	5.5 ^{aA}	5.1 ^{aB}	4.6 ^{aB}	0.98
	0.8	5.7 ^{aA}	4.6 ^{aA}	4.1 ^{abB}	1.16
	1.0	5.8 ^{aA}	4.9 ^{aB}	3.6 ^{bcB}	1.38
	1.5	5.5 ^{aA}	3.7 ^{bA}	3.0 ^{cA}	1.51
	SEM	1.14	0.98	1.04	

Table 9. Continued

Sensory parameters	Irradiation dose(kGy)	Storage period(days)			SEM ³⁾
		0	15	30	
Overall acceptance	0	5.9 ^{aA}	5.6 ^{aA}	5.1 ^{aA}	1.01
	0.4	5.8 ^{aA}	5.0 ^{abAB}	4.7 ^{abB}	1.15
	0.6	6.1 ^{aA}	5.0 ^{abB}	5.0 ^{abB}	1.13
	0.8	6.0 ^{aA}	5.1 ^{aAB}	4.7 ^{abB}	1.14
	1.0	5.7 ^{aA}	4.1 ^{bcB}	4.0 ^{abB}	1.33
	1.5	5.3 ^{aA}	3.9 ^{cB}	3.4 ^{bbB}	1.47
	SEM	1.05	1.11	1.31	

1) a-d: Values with different letters within a column differ significantly ($p < 0.05$). A-B: 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 ($n=60$). On the hedonic scale for sourness, sweetness and texture a score of 1=none~7=strong; for color, flavor and overall acceptance a score of 1=dislike extremely~7=like extremely.

것으로 사료된다.

요 약

오렌지의 위생성 및 보존성을 향상시키고, 수입국의 검역 기준을 정립하기 위한 연구의 일환으로 오렌지에 0.4, 0.6, 0.8, 1, 1.5 kGy로 감마선 조사를 실시하여 3°C에서 60일 동안 저장하면서 미생물 및 이화학적 품질 특성을 조사하였다. 오렌지 1.5 kGy 조사구의 호기성세균, 효모 및 곰팡이는 각각 3.59 log CFU/g, 3.75 log CFU/g에서 1.75 log CFU/g, 2.26 log CFU/g까지 감소하여 조사선량과 저장기간에 따라 유의적인 차이를 보였다. pH는 비조사구와 조사구 사이의 유의적인 차이를 나타내지 않았고, 산도는 조사선량과 저장기간의 증가에 따라 감소하였다. Vitamin C 함량은 조사선량과 저장기간의 증가에 따라 유의적으로 감소하였다. 관능평가는 조사선량과 저장기간이 증가할수록 감소하였고, 1.5 kGy는 색깔, 신맛, 단맛, 향, 질감, 전체적인 선호도에서 가장 낮은 선호도를 보였다. 이상의 결과를 종합하여 볼 때, 감마선 조사는 미생물학적 안정성에는 효과적이지만, 1 kGy와 1.5 kGy는 물리적 특성과 관능 특성에 좋지 않은 영향을 끼치는 것으로 보고, 품질 변화를 최소화하기 위한 최적 선량은 0.4-0.6 kGy 인 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 농림수산식품기술기획평가원

에 의해 이루어진 것으로 이에 감사드립니다.

References

- Ackeman J, Ficher M, Amado R. 1992. Changes in sugars, amino acids during ripening and storage of apples. *J Agric Food Chem* 40:1131-1132
- AOAC. 1980. Official Methods of Analysis. 13th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C. pp.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
- 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
- Byun MW. 1997. Application and aspect of irradiation technology in food industry. *Food Sci Ind* 30:89-100
- Cha YJ, Lee SM, Ahn BJ, Song NS, Jeon SJ. 1990. Substitution effect of sorbitol for sugar on the quality stability of *Yu Ja Cheong* (citron product). *J Korean Soc Food Nutr* 19:13-20
- 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. pp.25-146
- Joesphson ES, Peterson MS. 1983. Preservation of Food by Ionizing Radiation. CRC Press, BocaRaton, FL 231-251
- 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 KH, Yook HS. 2009. Effect of gamma irradiation on quality of kiwifriut (*Actinidia deliciosa* var. *deliciosa* cv. Hayward). *Radiation Physics and Chemistry* 78:414-421
- Ko JK, Ma YH, Song KB. 2005. Effect of electron beam irradiation on the microbial safety and qualified of sliced dried squid. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34:433-437
- Koh JS. 2004. Post-harvest science and technology of Jeju citrus. Cheju National University. Jeju. Korea
- 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 effect 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 MK, Lee MH, Kwon JH. 1998. Sterilizing effect of electron beam on ginseng powders. *Korean J Food Sci Technol* 30:1362-1366
- Lee SA, Kim KH, Kim MS, Park NK, Yook HS. 2008. Microbial and physico-chemical characteristics of a *Maesil (Prunus mume)* treated with low levels of gamma rays. *J East Asian Soc Dietary Life* 18:989-996
- 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
- Lee SH, Kim JH, Jeong HC, Koh JS. 2007. Changes in the quality of allabong *Tangor (Citrus kiyomi×ponkan)* with growth stage and temperature pretreatment conditions. *Kor J Food Preserv* 14:565-570
- Lee YS. 2004. The status and prospects of orange/grape industries in the United States. Journal of Rural Development. Korea. pp.191-254
- Ma K, Axcy RB. 1981. Factors influencing radiation resistance of vegetive 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 cool-storage. *Food Chem* 63:529-534
- Mendonca AF. 2002. Nactivation by irradiation. In: Contol of

- Foodborne Microorganisms, Juneja VK, Sofos JN (Editors), Marcel Dekker, Inc. New York, USA. pp.75-104
- Moulehi I, Bourgou S, Ourghemmi I, Tounsi MS. 2012. Variety and ripening impact on phenolic composition and antioxidant activity of mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) and bitter orange (*Citrus aurantium* L.) seeds extracts. *Industrial Crops and Products* 39:74-80
- Niemira BA, Sommers CH, Boyd G. 2001. Irradiation inactivation of four Salmonella serotypes in orange juices with various turbidities. *J Food Prot* 64:614-617
- 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* 25:75-81
- Sawai T, Yamazaki M, Shimokawa T, Sekiguchi M, Sawai T. 1990. Improvement of sedimentation and dewatering of municipal sludge by radiation. *Radiat Phys Chem* 35:465-468
- 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
- Thayer DW. 1994. Wholesomeness of irradiated foods. *Food Technol* 48:58-67
- 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 selected spices. *Lebensm-Wiss u Technol* 31:252-258
- Yun HJ, Joe MH, Kwon JH, Lim BL, Kim DH. 2008. Quality characteristics of grapes during post-irradiation storage at different temperatures. *Korean J Food Preserv* 15:648-655
- 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. *Kor J Food Preserv* 14:239-246
- 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. *Kor J Food Preserv* 15:377-384

접 수 : 2013년 8월 29일
 최종수정 : 2013년 10월 18일
 채 택 : 2014년 1월 22일