J Korean Soc Food Sci Nutr
37(6), 767~774(2008)

한국식품영양과학회지
DOI: 10.3746/jkfn.2008.37.6.767

# 감마선 조사가 살구의 미생물학적 · 이화학적 변화에 미치는 영향

이성아[1] · 이정옥[1] · 김경희[1] · 권종숙[1] · 김홍기[2] · 변명우[3] · 이주운[3] · 육홍선[1†]

[1]충남대학교 식품영양학과
[2]충남대학교 응용생물학전공
[3]한국원자력연구원 방사선과학연구소

# Influence Gamma Irradiated on Microbial and Physicochemical Changes of Apricot

Seong-A Lee[1], Jeong-Ok Lee[1], Kyoung-Hee Kim[1], Jong-Sook Kwon[1], Hong-Gi Kim[2], Myung-Woo Byun[3], Ju-Woon Lee[3], and Hong-Sun Yook[1†]

*[1]Dept. of Food and Nutrition, and [2]Dept. of Applied Biology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea*
*[3]Radiation Research Center for Innovative Technology, Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup 580-185, Korea*

## Abstract

This study investigated the effect of gamma irradiation (0.5, 1 and 2 kGy) on the microbial and physicochemical changes of apricot at 20℃ for 2 weeks. Total aerobic bacteria, yeasts and molds were significantly decreased with increasing dose level. Hunter's color value and hardness were decreased with increment of irradiation dose level. The contents of total sugar and reducing sugar were no significantly changed by irradiation. Hydrogen donating activity was decreased and organic acid and vitamin C contents were increased with elapse of storage periods in all samples. However, there was no significant change by gamma irradiation. Sensory acceptance of irradiated apricots had high acceptability during initial storage period, but it was decreased in comparison to nonirradiated sample with elapse of storage period. These results suggest that gamma irradiation was effective upon microbiological safety and it did not affect antioxidant activity, but not good on color and texture of apricot.

**Key words:** gamma-irradiation, apricot, physicochemical, microbial, storage

## 서 론

살구(*Prunus armeniaca var.* Max)는 장미목 장미과에 속하는 분류로서 그 열매를 식용으로 이용하며 중국이 원산지로 알려져 있다(1,2). 살구는 생육형태에 따라 크게 두 가지로 분류할 수 있는데 구미계통은 중국에서 페르시아를 거쳐 그리스로 건너가 개량된 것으로 현재는 남부유럽이나 미국의 캘리포니아 지역에서 주로 재배되고 있으며 동남아시아 계통은 온대중부 이북지역에서 주로 재배되는 품종으로 주로 중국, 한국, 일본 등지에서 재배되고 있다(1,2). 살구 과육의 선명한 색은 주로 카로틴에 의한 것으로 비타민 A의 효력이 높고 말린 살구는 미네랄이 높으며 칼슘 70 mg, 인 120 mg, 철분 2.3 mg이 함유되어 있다. 또한 살구는 독특한 향기가 있고 비타민 A와 천연당류가 풍부하여 통조림, 잼, 견과 등으로 가공되어 이용되기도 하나 단경기에 수확되어 거의 생식용으로 소비되는 추세이다. 따라서 수요보다 공급이 많아 가격이 하락되고 고품질 상태로 소비자에게 판매되기 어려운 실정이다. 또한 최근 FTA체결이 이루어져 당도 높은 품질 우수한 외래 과일이 우리 시장을 침식하여 농업인과 생산단체에 타격을 가하고 있다(3). 따라서 국내산 살구의 저장 및 유통 중의 품질저하를 방지할 수 있는 관리방법이 필요한 상황이다.

현재 식품의 저장성 개선을 위해 주로 이용되고 있는 살균처리 기술에는 가열처리나 자외선 조사, 훈증제 처리, 화학약품 처리, microwave 처리 등이 있다. 하지만 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 최근 여러 대체 기술 중 하나로 방사선 에너지의 이용이 효과적인 것으

†Corresponding author. E-mail: yhsuny@cnu.ac.kr
Phone: 82-42-821-6840, Fax: 82-42-821-8887

로 인식되고 있다(4,5). 식품의 방사선 조사는 WHO, FAO, IAEA와 같은 국제기구에서 인정받았으며(6) 현재 40여 개국에서 허가되어 국제 교역에 조사식품의 유통이 점차 증가하는 추세이다(7,8). 특히 감마선 조사기술은 투과력이 높아 제품을 완전 포장한 후 살균이 가능하여 살균 후 포장과정에서의 2차 오염을 방지할 수 있고, 대량으로 처리가 가능하며, 잔류성 및 품온 상승이 거의 없고 제품 고유의 품질을 유지하면서도 미생물에 대하여 강력한 선택적 살균효과를 나타내는 장점이 있어(9,10) 식품의 보존성 향상 기술로서 매우 적합하다. 또한 적절한 선량의 방사선 조사는 식품의 물리적, 화학적 및 관능적 특성에 영향을 미치지 않으면서 식중독 등의 식인성 질병 발생의 위험을 상당히 줄일 수 있는 식품 위생화 방법으로 활용도가 커지고 있다(9,10).

따라서 본 연구에서는 감마선 조사가 살구의 미생물 및 이화학적 품질 변화와 유통·저장시 안전성에 미치는 영향을 조사하여 살구에 대한 감마선 조사의 미생물 제어 및 살구 품질에 미치는 전반적인 영향을 살펴보고 감마선 조사의 이용성에 대해 알아보고자 한다.

## 재료 및 방법

### 재료

2007년 05월 경북 영천시 임고면에서 햇살구를 구입하여 재료로 사용하였다. 살구는 포장기(Leepack, Hanguk Electronic, Gyunggi, Incheon, Korea)를 이용하여 포장재(polyethylene bag, 2 mL $O_2/m^2/24$ hr at 0°C; 20×30 cm; Sunkyung Co. Ltd., Seoul, Korea)로 약 20개씩 포장하여 감마선 조사 전까지 하루 동안 냉장(4°C) 보관하였다.

### 감마선 조사

감마선 조사는 한국원자력연구소 내 선원 10만 Ci, $Co^{60}$ 감마선 조사시설(point source AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 실온에서 0.5, 1, 2 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였고, 흡수선량의 확인은 ceric cerous dosimeter(Bruker Instruments, Rjeomstettern, Germany)를 사용하였으며, 흡수선량의 오차는 ±0.2 kGy였다.

### 시료준비

감마선 조사 시료는 감마선을 조사하지 않은 비조사구와 함께 20°C에서 2주간 저장하면서 0, 1 및 2주차에 분석을 실시하였다. 미생물, 색도, 물성, 관능은 생시료를 이용하였고 총당, 환원당, 수소공여능, 유기산 및 비타민 C는 살구의 껍질을 벗기고 분쇄하여 -70°C에서 동결시킨 뒤 5일 동안 동결건조(SFDSM12-60Hz, Samwon Freezing Engineering Co., Seoul, Korea)를 한 후 분말로 만들어 밀봉하여 냉동 보관하면서 시료로 사용하였다.

### 미생물 분석

과실의 껍질부분을 3 g 칭량한 뒤 멸균수(0.85% NaCl) 27 mL를 가한 다음 균질화한 후 시험에 사용하였다. 일반 호기성 세균은 plate count agar(Difco Labs., Detroit, MI, USA)를 사용하여 30°C에서 48시간 배양하였고, 효모 및 곰팡이균은 potato dextrose agar(Difco)를 사용하여 25°C에서 3~5일 배양하여 생성된 colony의 수를 육안으로 계수하여 시료 1 g당 log colony forming unit(log CFU/g)로 나타내었다.

### 색도 측정

과실의 색도는 Hunter 색도계(ND-300A, Nippon Denshoku, Tokyo, Japan)로 시료를 1 cm 두께로 자른 뒤 명도(L, lightness), 적색도(a, redness), 황색도(b, yellowness)를 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다(11).

### 물성 측정

과실의 물성은 texture analyzer(TA-XT2/25, Stable Micro System Co. Ltd., Surrey, England)를 사용하여 측정하였다. 지름 5 mm의 plunger를 이용하여 hardness를 측정하였다. 분석조건은 pre test speed: 2.0 mm/sec, test speed: 1.0 mm/sec, post test speed: 2.0 mm/sec, strain: 70%로 하였으며 과실의 껍질을 벗기고 1 cm 두께로 잘라서 사용하였다.

### 총당 및 환원당 함량 측정

총당은 시료 1 g을 증류수에 희석하여 희석액 1 mL를 취해 5% 페놀용액 1 mL, 황산 5 mL를 넣고 혼합한 뒤, 실온에서 20분 정도 추출한 후 spectrophotometer(Ultrospec 4300 pro uv/visible spectrophotometer, Buckinghamshire, UK)로 490 nm에서 흡광도를 측정하였다. 포도당을 이용한 표준검량식에 흡광도를 적용하여 시료 중 총당 함량을 구하였다. 환원당은 DNS법(12)을 이용하였는데 시료 1 g을 증류수에 희석한 후 이를 1 mL 취해 DNS시약(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 냉각하였다. 그 다음 spectrophotometer(Ultrospec 4300 pro uv/visible spectrophotometer, Buckinghamshire, UK)로 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 흡광도는 포도당를 이용한 표준검량식에 적용하여 시료 중 환원당 함량을 구하였다.

### 수소공여능 측정

시료 1 g에 methanol을 9 mL 가하여 실온에서 24시간 추출한 뒤 2400 rpm에서 20분간 원심분리 하여 얻은 상등액을 시료용액으로 사용하였고, 0.2 mM DPPH용액 1 mL과 시료용액 1 mL을 가하여 혼합한 뒤 30분 뒤에 methanol 용액을 blank로 하여 517 nm에서 spectrophotometer(Ultrospec 4300 pro uv/visible spectrophotometer, Buckinghamshire,

UK)로 흡광도를 측정하였다. 수소공여능은 다음 계산식에 의해 환산하였다.

$$수소공여능(\%) = \left(1 - \frac{시료첨가구의\ 흡광도}{무첨가구의\ 흡광도}\right) \times 100$$

### 유기산 함량 측정

시료 1 g을 증류수에 녹여 100 mL로 정용한 뒤 이를 삼각플라스크에 10 mL 취하고 페놀프탈레인용액 3~4 방울을 떨어뜨린 뒤 0.1 N NaOH 용액으로 분홍색이 나타날 때까지 적정하였다. 여기서 blank는 증류수를 사용하였다.

### 비타민 C 함량 측정

인도페놀적정법을 이용하여 측정하였는데 시료 1 g을 메타인산·초산용액(초산 80 mL, 메타인산 30 g을 증류수에 녹이고 1 L로 정용)에 녹여 100 mL로 정용한 후, 이를 10 mL 취해 인도페놀용액(탄산나트륨 50 mg, 인도페놀 50 mg을 증류수에 녹인 뒤 200 mL로 정용)으로 적정하였다. Blank는 비타민 C 표준용액(0.1 mg/mL)으로 하였다.

### 관능검사

식품영양학과 대학생 및 대학원생 중 20명을 관능검사요원으로 선발하여 난수를 써놓은 시료를 무작위로 배열하고 나눠준 뒤, 시료의 color(색상), flavor(향), overall acceptability(전체적인 기호도)를 '5점: 매우 좋다'~'1점: 매우 좋지 않다'로서 5점 척도방법으로 평가하도록 하였고 sourness(신맛), sweetness(단맛), texture(조직감)은 '5점: 매우 강하다'~'1점: 매우 약하다'로서 5점 척도방법으로 평가하도록 하였다. 시료는 살구의 껍질을 벗기고 과육을 잘라서 제공하였다.

### 통계분석

모든 실험은 3회 이상 반복 실시하였으며, 얻어진 결과들은 SPSS software를 이용하여 유의적 차이가 있는 항목에 대해서는 Duncan의 다중검정법으로 $p<0.05$ 수준에서 유의차 검정을 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 미생물 분석

감마선 조사된 살구의 미생물 변화는 껍질부분을 대상으로 2주 동안 실시하였으며, Table 1에 나타내었다. 총 호기성 세균의 경우 저장 초기에는 비조사구에서 3.78 log CFU/g, 조사구에서 2.00(0.5 kGy), 1.81(1 kGy), 1.00(2 kGy) log CFU/g로 나타나 비조사구와 조사구간에 뚜렷한 차이를 나타내었고, 저장 1주, 2주차에도 비조사구에 비해 조사구에서 미생물이 유의적으로 감소하였다. 비조사구에서는 저장기간이 지남에 따라 총 호기성 세균이 증가하는 경향을 나타내었으나 조사구에서는 저장기간에 따른 차이를 보이지 않아

**Table 1. Changes in microbial growth of apricot stored at the conditions of 20°C during 2 weeks after gamma irradiation** (unit: log CFU/g)

| | Irradiation dose (kGy) | Storage period (weeks) | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 1 | 2 | SEM[3)] |
| Total aerobic bacteria | 0 | 3.78[aC1)] | 4.67[aB] | 6.25[aA] | 0.10 |
| | 0.5 | 2.00[bA] | 2.07[bA] | 2.68[bA] | 0.61 |
| | 1.0 | 1.81[bA] | 2.00[bA] | 2.67[bA] | 0.50 |
| | 2.0 | 1.00[bA] | 1.08[bA] | 1.17[cA] | 0.90 |
| | SEM[2)] | 0.60 | 0.66 | 0.52 | |
| Yeasts and molds | 0 | 4.43[aC] | 4.77[aB] | 6.49[aA] | 0.08 |
| | 0.5 | 2.54[bB] | 2.66[bB] | 3.05[bA] | 0.14 |
| | 1.0 | 2.41[bA] | 2.51[bA] | 2.54[bA] | 0.22 |
| | 2.0 | 0.50[cA] | 1.08[cA] | 1.15[cA] | 0.85 |
| | SEM | 0.38 | 0.46 | 0.49 | |

[1)]Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-C) differ significantly ($p<0.05$). [2)]Standard error of the means (n=16). [3)]Standard error of the means (n=12).

감마선 조사가 호기성 세균의 생육억제에 미치는 영향이 크다고 보고한 Byun 등(13)의 연구결과와 일치하였다.

곰팡이 및 효모군의 측정결과 저장 초기 비조사구에서 4.43 log CFU/g을 나타냈고 조사구에서 2.54(0.5 kGy), 2.41(1 kGy), 0.50(2 kGy) log CFU/g으로 조사선량이 증가할수록 감소하였다. 또한 비조사구와 0.5 kGy 조사구에서는 저장기간이 지날수록 증가하는 뚜렷한 차이를 나타내었으나 1 kGy 이상의 조사구에서는 저장기간에 따른 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 토마토에 0.5~3.7 kGy까지 감마선 조사를 한 결과 조사선량이 증가함에 따라 총호기성 세균 및 효모 곰팡이가 감소하였다고 보고한 Prakash 등(14)의 연구와 동일하였다.

### 색도 변화

감마선 조사된 살구의 저장 2주간 색도 변화는 Table 2에 나타낸 바와 같다. 먼저 명도를 나타내는 L값은 조사구에서 저장기간이 지남에 따라 감소하는 차이를 보였다. 비조사구에 비하여 조사구에서 L값의 감소폭이 크게 나타나 조사구에서 색이 더욱 진해진다고 보여진다. 감마선 조사에 따른 영향을 살펴보면 저장초기에는 조사선량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았으나 저장 2주차에서는 조사선량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. a값(적색도)은 1, 2 kGy 조사구에서 저장기간이 지남에 따라 감소하는 차이를 보였고 조사선량에 따라서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다. 황색도인 b값은 비조사구에서 저장기간이 지남에 따라 21.25(저장 0주), 24.25(저장 1주), 23.92(저장 2주)로 저장 1주차에 증가하였다가 저장 2주차에 약간 감소하였으며 2 kGy 조사구에서는 23.10(저장 0주), 19.83(저장 1주), 18.31(저장 2주)로 저장기간 증가에 따라 유의적으로 감소하였다. 또한 저장초기에는 비조사구에 비해 조사구에서의 황색도가 높았으나 저장 2주차에는 조사구에서의 황색도가 더 낮은 것으로 나타나 저장기간 동안 감마선 조사선량 증가에

Table 2. Changes in Hunter's color values of apricot stored for 2 weeks under the conditions of 20℃ after gamma irradiation

| | Irradiation dose (kGy) | Storage period (weeks) 0 | 1 | 2 | SEM[6)] |
|---|---|---|---|---|---|
| L[1)] | 0 | 42.59[aB4)] | 44.61[aA] | 42.24[aB] | 0.76 |
| | 0.5 | 43.45[aA] | 39.67[bB] | 38.90[bB] | 0.93 |
| | 1.0 | 43.80[aA] | 43.88[aA] | 38.04[bB] | 1.23 |
| | 2.0 | 43.70[aA] | 38.11[bB] | 33.79[cC] | 0.93 |
| | SEM[5)] | 0.95 | 0.84 | 1.12 | |
| a[2)] | 0 | 14.16[bA] | 16.46[aA] | 16.41[aA] | 1.31 |
| | 0.5 | 15.60[abA] | 12.27[bB] | 14.67[aA] | 0.96 |
| | 1.0 | 17.03[aA] | 15.94[aAB] | 14.59[aB] | 0.94 |
| | 2.0 | 16.73[aA] | 12.49[bB] | 11.05[bB] | 0.82 |
| | SEM | 0.88 | 0.75 | 1.35 | |
| b[3)] | 0 | 21.25[bB] | 24.25[aA] | 23.92[aA] | 0.37 |
| | 0.5 | 22.39[abA] | 19.29[bB] | 21.11[bA] | 0.64 |
| | 1.0 | 23.15[aA] | 23.20[aA] | 20.47[bB] | 0.90 |
| | 2.0 | 23.10[aA] | 19.83[bB] | 18.31[cC] | 0.73 |
| | SEM | 0.63 | 0.69 | 0.73 | |

[1)]L: Degree of lightness. [2)]a: Degree of redness. [3)]b: Degree of yellowness. [4)]Values with different letters within a column (a-c) and a row (A-C) differ significantly ($p<0.05$). [5)]Standard error of the means (n=32). [6)]Standard error of the means (n=24).

따라 황색도가 감소하는 것으로 여겨진다. 이는 2 kGy 이상의 감마선 조사가 배의 L값을 감소시켰다고 보고한 Kwon 등(15)의 결과와 X-선 조사가 하와이산 과일의 색도에 유의적인 영향을 미쳤다는 Boylston 등(16)의 보고와 비슷한 양상을 보였고 일반적으로 고선량의 감마선 조사는 부분적으로 과육의 내부 갈변을 유도하는 경우가 보고(17)되고 있어 살구의 색도적 품질 유지에 감마선 조사는 적절치 않은 것으로 사료된다.

### 경도 변화

살구는 생과 100 g당 85%의 수분을 함유하고 있는 과실로 수확 후 저장, 유통 과정에서 수분이 증발되며 이러한 상태가 지속될 경우 중량 감소와 더불어 조직감 감소가 나타나 살구의 품질이 저하된다. 저장 중에 물성 변화는 Table 3에 나타내었다. 경도는 저장기간이 지남에 따라 모든 시료에서 유의적으로 감소하였고 조사선량별로 살펴보면 저장 0주차 다른 시료에 비해 2 kGy 조사구만 경도가 유의적으로 감소하는 반면 저장 1, 2주차에는 조사선량이 증가함에 따라 경도가 유의적으로 감소하였다. Egea 등(18)은 토마토에 0.5~1 kGy의 전자선 조사한 결과 조사구의 경도가 비조사구에 비해 낮은 값을 나타내었다고 보고하였고, Yun 등(9)은 1 kGy 감마선 조사된 사과의 경도를 측정한 결과 비조사구에 비해 조사구에서 다소 낮은 경향을 보였다고 보고하여 본 연구과 유사한 경향을 나타내었다.

Table 3. Changes in hardness of apricot stored for 2 weeks under the conditions of 20℃ after gamma irradiation

(unit: g)

| | Irradiation dose (kGy) | Storage period (weeks) 0 | 1 | 2 | SEM[3)] |
|---|---|---|---|---|---|
| Hardness | 0 | 1516.93[aA1)] | 1318.122[aAB] | 1150.80[aB] | 167.92 |
| | 0.5 | 1491.73[aA] | 1058.88[bB] | 1008.06[abB] | 38.99 |
| | 1.0 | 1474.87[aA] | 852.79[bB] | 814.43[bB] | 200.99 |
| | 2.0 | 1077.38[bA] | 330.94[cB] | 259.69[cB] | 174.93 |
| | SEM[2)] | 174.90 | 156.49 | 143.03 | |

[1)]Values with different letters within a column (a-c) and a row (A,B) differ significantly ($p<0.05$). [2)]Standard error of the means (n=36). [3)]Standard error of the means (n=27).

### 총당 및 환원당 함량 변화

감마선 조사된 살구의 총당 및 환원당 변화는 Fig. 1과 Fig. 2에 나타내었다. 감마선 조사된 살구의 총당 함량 변화는 조사선량과 저장기간에 따른 차이를 나타내지 않아 감마선 조사에 따른 사과의 총당 함량이 유의적인 차이를 보이지 않았다고 보고한 Yun 등(9)의 결과와 일치하는 것으로 나타났다. 한편 감마선 조사된 살구의 환원당 함량 변화를 살펴보면 저장기간이 지남에 따라 비조사구와 0.5 kGy 조사구

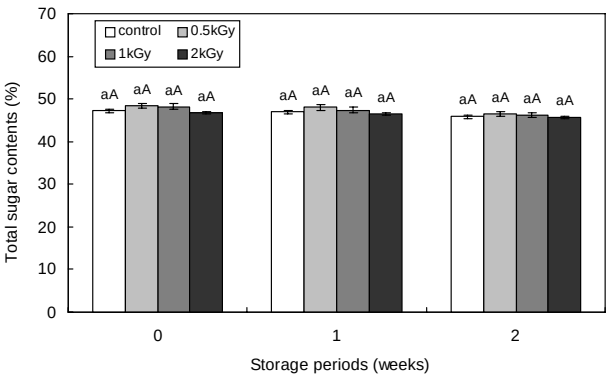


Fig. 1. Changes in total sugars contents of apricot stored for 2 weeks under the conditions of 20℃ after gamma irradiation. [a]Values with different superscript letters in the same storage periods are significantly different ($p<0.05$). [A]Values with different superscript letters in the same irradiation dose are significantly different ($p<0.05$).

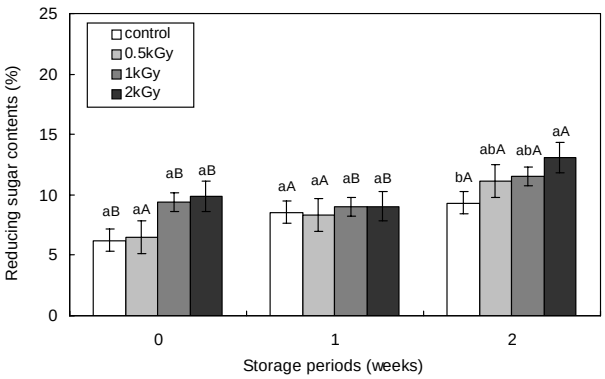


Fig. 2. Changes in reducing sugars contents of apricot stored for 2 weeks under the conditions of 20℃ after gamma irradiation. [a,b]Values with different superscript letters in the same storage periods are significantly different ($p<0.05$). [A,B]Values with different superscript letters in the same irradiation dose are significantly different ($p<0.05$).

에서는 별다른 차이를 나타내지 않았으나 1, 2 kGy 조사구에서는 저장기간 동안 증가하는 경향을 나타내었다. 조사선량별로 살펴보면 저장초기와 1주차에서는 조사선량에 따른 유의적인 차이를 보이지 않았고 2주차에서는 조사선량이 증가함에 따라 증가하였다. Manolopoulou와 Papadopoulou(19)는 키위가 저장기간이 증가함에 따라 환원당이 증가한다고 보고하였고 Castell-perez 등(20)은 전자선 조사된 멜론의 당 함량이 조사에 의해 유의적인 영향을 받지 않았다고 하였으며 Yun 등(9)도 감마선 조사에 따른 사과의 환원당 함량 변화는 감마선 조사 여부에 크게 상관없이 증가하는 경향을 나타낸다고 보고하여 본 실험 결과와 유사한 결과를 나타내었다.

### 수소공여능 변화

감마선 조사된 살구의 총 수소공여능 변화는 100 mg/mL의 농도로 2주 동안 실시하였으며 Fig. 3에 나타낸 바와 같다. 수소공여능은 저장기간이 지남에 따라 비조사구 및 조사구에서 평균적으로 88.73%(저장 0주), 86.29%(저장 1주), 85.79%(저장 2주)로 약간씩 감소하는 경향을 보였으나 비조사구 및 조사구간에 뚜렷한 차이는 보이지 않았고 조사선량에 따라서도 차이를 보이지 않았다. 항산화 물질의 가장 특징적인 역할은 oxidative free radical과 반응하는 것으로 이 점을 이용하여 항산화능을 측정할 수 있다. DPPH는 안정한 free radical로 cysteine, glutathion과 같은 함유 황 amino acid와 ascorbic acid, tocopherol, polyhydroxy aromatic compounds(hydroquinone, pyrogalloyl, etc.), aromatic amines(ρ-phentlene diamine, ρ-aminophenol 등) 등에 의해서 환원되어 탈색되므로 항산화 물질의 항산화능을 측정할 때 이 DPPH법이 편리한 방법으로 알려져 있다. 또한 DPPH radical 소거능이 높으면 자유라디칼을 환원시키거나 상쇄시키는 능력이 높아 항산화성 및 활성산소와 같은 자유라디칼의 소거작용 증진으로 인체 내 노화를 억제하는 효과가 있을 것으로 알려져 있다(21,22). 본 연구에서는 감마선 조사가 살구의 항산화능에 영향을 미치지 않음을 확인할 수 있었고 이는 감마선 조사한 감귤 정유의 전자공여능 측정결과 유의적인 차이가 없었다고 보고한 Kim 등(23)의 연구와 사과의 DPPH radical 소거능은 감마선 조사에 의해 영향을 받지 않는다고 보고한 Yun 등(9)의 연구와 일치하는 결과이다.

### 유기산 함량 변화

감마선 조사된 살구의 유기산 함량 변화는 Fig. 4에 나타내었다. 일반적으로 살구의 유기산은 시트르산(citric acid)과 사과산(malic acid) 등이 1~2% 들어있다. 모든 시료에서 저장기간이 지남에 따라 증가하는 유의적인 차이를 나타내었고 조사선량에 따라 차이는 있었으나 일률적으로 증가하거나 감소하는 경향을 보이지 않았다. Miller와 McDonald(24)는 포도에 0.3, 0.6 kGy로 감마선 조사를 한 결과 유기산 함량에 영향을 끼치지 않는다고 보고하였고, Boylston 등(16)은 하와이산 과일에 X-선 조사를 한 결과 유기산에 대한 유의적인 변화는 없었다고 보고하였으며, Kwon 등(15)은 감마선을 조사한 배의 적정산도 변화를 측정한 결과 저장 중 적정산도는 뚜렷한 처리조건별 차이와 변화 양상을 보이지 않았다고 보고하여 본 연구결과와 유사한 결과를 나타내었다.

### 비타민 C 함량 변화

과일과 채소 등의 음식물 섭취는 비타민 C 및 카로티노이드와 같은 중요한 영양소들을 포함하고 있으며, 이런 물질들은 산화물 및 자유라디칼과 반응하여 체내의 산화적 스트레스를 조절한다고 알려져 있다(25,26). Fig. 5는 감마선 조사된 살구의 비타민 C 함량 변화로 2주 동안 실시하였다. 저장기간이 증가함에 따라 평균적으로 0.22(저장 0주), 0.25(저장 1주), 0.28(저장 2주) mg/100 mL로 비타민 C 함량이 약간씩

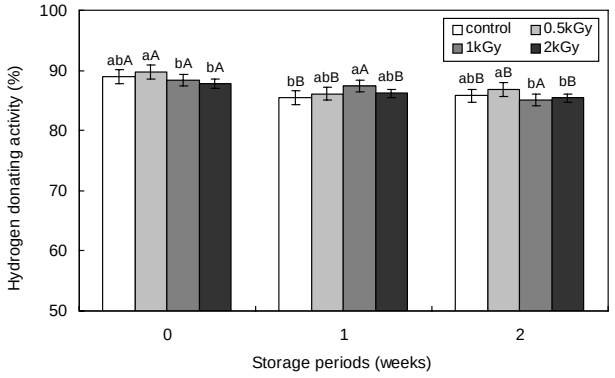


**Fig. 3. Changes in hydrogen donating activity of apricot stored for 2 weeks under the conditions of 20°C after gamma irradiation.** [a,b]Values with different superscript letters in the same storage periods are significantly different ($p<0.05$). [A,B]Values with different superscript letters in the same irradiation dose are significantly different ($p<0.05$).

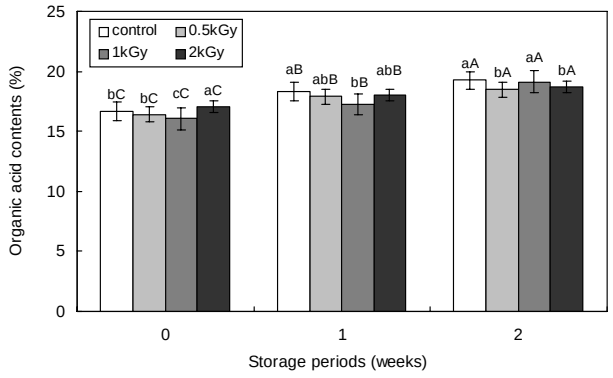


**Fig. 4. Changes in organic acid contents of apricot stored for 2 weeks under the conditions of 20°C after gamma irradiation.** [a-c]Values with different superscript letters in the same storage periods are significantly different ($p<0.05$). [A-C]Values with different superscript letters in the same irradiation dose are significantly different ($p<0.05$).

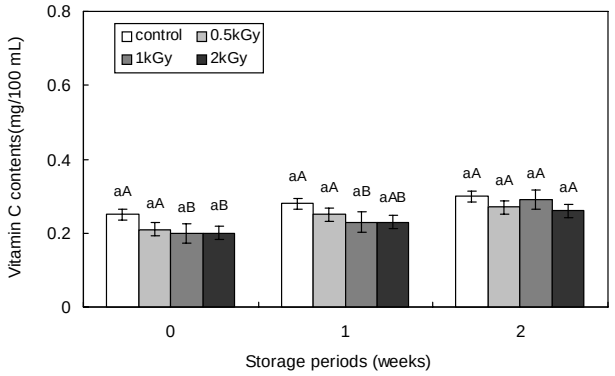


**Fig. 5. Changes in vitamin C contents of apricot stored for 2 weeks under the conditions of 20℃ after gamma irradiation.**
[a]Values with different superscript letters in the same storage periods are significantly different ($p<0.05$). [A,B]Values with different superscript letters in the same irradiation dose are significantly different ($p<0.05$).

증가하는 경향을 나타내었고, 조사선량이 증가함에 따라 함량이 감소하는 경향을 보였으나 유의차는 보이지 않았다. Wen 등(27)은 구기자에 1 kGy 미만의 감마선 조사를 하였을 경우 비타민 C 함량에 대한 영향은 적었으며, Landaniya 등(28)는 만다린에 감마선 조사 시 저장 초기 비조사구에 비해 조사구에서 비타민 C 함량이 감소하였으며, 저장기간 전반에 걸쳐 비조사구에 비해 낮은 함량을 나타내었다고 보고하여 본 연구의 결과와 일치하였다.

### 관능검사

Table 4는 감마선 조사된 살구의 관능검사 결과이다. 신맛에 대한 강도특성 평가 결과 조사구에서 저장기간이 지남에 따라 신맛이 증가하였다. 조사선량에 따른 결과를 살펴보면 저장 0주, 1주차에서는 비조사구에 비해 조사구에서 낮은 수치를 보여 유의적인 차이를 보였고, 저장 2주차에는 모든 시료 간에 유의적인 차이가 없었다. 단맛에 대한 강도특성 평가 결과 저장 초기에는 비조사구와 조사구간에 차이를 나타내지 않았고 저장 1주차 조사구에서 2.8점(0.5 kGy), 2.7점(1 kGy), 2.4점(2 kGy)으로 비조사구(1.4점)에 비해 단맛이 높았으며 저장 2주차에서는 저장 초기와 마찬가지로 비조사구와 조사구 및 조사선량에 따라서 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 조직감에 대한 강도특성 평가결과는 저장 0, 1주차 조사구에서 비조사구에 비하여 경도가 낮은 경향을 보였고 저장 2주차 2 kGy 조사구에서 2.2점으로 가장 낮은 경도를 보였다. 색에 대한 기호도는 저장 초기 비조사구에 비해 조사구에서 높은 기호도를 나타내었고 저장 1주차에서는 비조사구와 조사구 간에 유의적인 차이를 나타내지 않았으며 저장 2주차에서는 조사구에서 낮은 기호도를 보였다. 이를 Table 2의 기계적 색도측정 결과와 같이 비교해 보면, 저장기간이 지남에 따라 명도, 적색도, 황색도가 감소함에 따라 육안으로도 좋지 않은 색으로 평가됨을 알 수 있었다. 향에 대한 기호도에서는 조사선량과 저장기간에 따라 차이를 나타내지 않았으며 전체적인 맛에서는 저장초기와 저장 1주차에서는 비조사구에 비해 조사구에서 높은 기호도를 보였지만 저장 2주에서는 비조사구 3.1점, 0.5 kGy 조사구 2.5점, 1 kGy 조사구 2.5점, 2 kGy 조사구 2.1점으로 비조사구와 조사구 및 조사선량에 따라서 유의적인 차이를 보이지 않았다. 이를 종합해 보면 저장 초기에는 조사구에서 높은 기호도를 나타냈지만 저장기간이 지남에 따라 기호도가 비조사구보다 감소함을 알 수 있었다. 이는 1 kGy 이상의 감마선 조사는 관능적 품질을 저하시키는 것으로 확인되었다고 보고한 Kwon 등(15)의 결과와 유사한 것이며, 사과에 대한 1 kGy의 감마선 조사가 비조사구에 비해 관능적 선호도가 다소 낮았다고 보고한 Yun 등(9)의 결과와 동일하게 나타났다. 따라서 미생물학적 저감 효과 이외에도 관능적 품질을 증진시키기 위해 감마선 조사와 함께 CA저장, MA저장 및 MCP저장 등을 함께 병행한 연구가 더 필요할 것으로 사료된다.

**Table 4. Changes in sensory test of apricot stored for 2 weeks under the conditions of 20℃ after gamma irradiation**

| | | Irradiation dose (kGy) | Storage period (weeks) 0 | 1 | 2 | SEM[3)] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Intensity | Sourness | 0 | $4.2^{aA1)}$ | $4.4^{aA}$ | $3.7^{aA}$ | 0.44 |
| | | 0.5 | $2.8^{bB}$ | $3.3^{bAB}$ | $3.9^{aA}$ | 0.37 |
| | | 1.0 | $3.3^{bA}$ | $3.5^{bA}$ | $4.1^{aA}$ | 0.38 |
| | | 2.0 | $3.2^{bB}$ | $3.4^{bB}$ | $4.4^{aA}$ | 0.35 |
| | | SEM[2)] | 0.41 | 0.33 | 0.41 | |
| | Sweetness | 0 | $1.7^{aA}$ | $1.4^{bA}$ | $2.1^{aA}$ | 0.34 |
| | | 0.5 | $2.6^{aA}$ | $2.8^{aA}$ | $1.6^{aB}$ | 0.41 |
| | | 1.0 | $2.4^{aA}$ | $2.7^{aA}$ | $1.9^{aA}$ | 0.48 |
| | | 2.0 | $2.5^{aA}$ | $2.4^{aA}$ | $2.3^{aA}$ | 0.46 |
| | | SEM | 0.44 | 0.46 | 0.37 | |
| | Texture | 0 | $4.1^{aA}$ | $4.4^{aA}$ | $4.0^{aA}$ | 0.34 |
| | | 0.5 | $3.1^{bA}$ | $2.4^{bA}$ | $3.1^{aA}$ | 0.44 |
| | | 1.0 | $3.3^{abA}$ | $2.2^{bB}$ | $3.3^{aA}$ | 0.45 |
| | | 2.0 | $2.9^{bA}$ | $1.9^{bB}$ | $2.2^{bAB}$ | 0.38 |
| | | SEM | 0.44 | 0.33 | 0.44 | |
| Accept-ability | Color | 0 | $2.6^{cB}$ | $3.8^{aA}$ | $4.0^{aA}$ | 0.44 |
| | | 0.5 | $3.8^{abA}$ | $3.5^{aA}$ | $3.7^{abA}$ | 0.35 |
| | | 1.0 | $3.1^{bcA}$ | $2.9^{aA}$ | $3.0^{bcA}$ | 0.44 |
| | | 2.0 | $4.1^{aA}$ | $3.8^{aA}$ | $2.2^{cB}$ | 0.39 |
| | | SEM | 0.35 | 0.45 | 0.41 | |
| | Flavor | 0 | $3.0^{aA}$ | $3.3^{aA}$ | $3.0^{aA}$ | 0.44 |
| | | 0.5 | $3.1^{aA}$ | $2.8^{abA}$ | $3.6^{aA}$ | 0.39 |
| | | 1.0 | $3.3^{aA}$ | $2.3^{bB}$ | $3.1^{aAB}$ | 0.43 |
| | | 2.0 | $3.5^{aA}$ | $2.9^{abA}$ | $3.0^{aA}$ | 0.38 |
| | | SEM | 0.39 | 0.43 | 0.42 | |
| | Overall acceptability | 0 | $2.5^{bA}$ | $2.4^{bA}$ | $3.1^{aA}$ | 0.54 |
| | | 0.5 | $3.3^{aA}$ | $3.0^{abA}$ | $2.5^{aA}$ | 0.37 |
| | | 1.0 | $3.5^{aA}$ | $3.4^{aA}$ | $2.5^{aB}$ | 0.43 |
| | | 2.0 | $3.0^{abA}$ | $2.7^{abAB}$ | $2.1^{aB}$ | 0.35 |
| | | SEM | 0.37 | 0.45 | 0.46 | |

[1)]Values with different letters within a column (a-c) and a row (A,B) differ significantly ($p<0.05$). [2)]Standard error of the means (n=80). [3)]Standard error of the means (n=60).
On the hedonic scale for sourness, sweetness and texture a score of 1=none~5=strong; for color, flavor and overall acceptability a score of 1=dislike extremely~5=like extremely.

## 요 약

살구의 저장·유통 과정에서 품질 특성 및 살구 식품산업에 적용할 수 있는 자료제공을 위한 연구의 일환으로 살구에 0.5~2 kGy로 감마선 조사를 실시하여 20°C에서 2주간 저장하면서 살구의 미생물학적 및 이화학적 품질 특성을 조사하였다. 살구의 호기성 세균과 효모, 곰팡이 변화는 조사량이 증가할수록 감소하여 미생물 증가를 억제시킴을 알 수 있었다. 색도변화와 경도변화에서는 조사구에서 값이 감소하였다. 총당, 환원당 함량은 감마선 조사에 의한 영향을 나타내지 않았으며 수소공여능은 저장기간이 지남에 따라 감소하였고 유기산 및 비타민 C 함량은 저장기간 지남에 따라 증가하였으나 감마선 조사에 의한 영향은 나타나지 않았다. 관능검사 결과 저장초기에는 조사구에서 높은 기호도를 보였으나 저장기간이 지남에 따라 기호도가 비조사구보다 감소하였다. 따라서 감마선 조사는 살구의 색도, 물리적 특성에 좋지 않은 영향을 끼치지만 항산화 성분 등에 영향을 주지 않으면서 미생물학적 안정성에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.



## 감사의 글

본 연구는 학술진흥재단 신진교수인력사업(KRF-2006-331-C00319)의 일환으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.


## 문 헌


1. Kwon YJ, Kim YH, Kwag JJ, Kim KS, Yang KK. 1990. Volatile components of apricot (*Prunus armeniaca var*. ansu Max.) and Japanese apricot (*Prunus mume Sieb*. et Zucc.). *J Korean Agric Chem Soc* 33: 319-324.
2. 이창복. 1979. 대한식물도감. 향문사, 서울. p 451.
3. Kim KH. 2008. The effects of Korea-US free trade agreements. *J Korean Economy* 2008: 1-40.
4. Ko JK, Ma YH, Song KB. 2005. Effect of electron beam irradiation on the microbial safety and qualitied of sliced dried squid. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 433-437.
5. 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.
6. WHO. 1981. Wholsomeness of irradiated food. Report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee. Technical Report Series 651. Geneva, Switzerland.
7. Loaharanu P. 1995. Food irradiation: current status and future prospects. In *New Methods of Food Preservation*. Gould GW, ed. Blackie Academic & Professional, Glasgow. p 90-111.
8. Kim SM, Park EJ, Yang JS, Kang MH. 2002. Changes of DNA fragmentation by irradiation doses and storage in gamma-irradiated fruits. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 594-598.
9. Yun HJ, Lim SY, Hur JM, Jeong JW, Yang SH, Kim DH. 2007. Changes of functional compounds in, and texture characteristics of apples, during post-irradiation storage at different temperatures. *Korean J Food Preserv* 14: 239-246.
10. Byun MW. 1997. Application and aspect and irradiation technology in food industry. *Food Sci Ind* 30: 89-100.
11. Kang JO, Lee GH. 2003. Effects of pigment of red beet and chitosan on reduced nitrite sausages. *Korean J Food Sct Ani Resour* 23: 215-220.
12. 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.
13. Byun MW, Kwon JH, Cho HK, Cha BS, Kang SS, Kim JM. 1990. Microbiological quality stability of fresh mushroom (*Agaricus bisporus*) by gamma irradiation. *Korean J Food Hyg* 5: 21-26.
14. Prakash A, Manley J, Decosta S, Caporaso F, Foley D. 2002. The effects of gamma irradiation on the microbiological, physical and sensory qualities of diced tomato. *Rad Phys Chem* 63: 387-390.
15. Kwon JH, Kang HJ, Jo DJ, Chung HS, Kwon YJ, Byun MW, Chio SJ, Chio JU. 2002. Effects of gamma radiation and methyl bromide fumigation on quarantine pest and quality of Asian pears. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 57-63.
16. Boylston TD, Reitmerir CA, Moy JH, Mosher GA, Taladriz L. 2002. Sensory quality and nutrient composition of three Hawaiian fruits treated by X-irradiation. *J Food Quality* 25: 419-433.
17. Joesphson ES, Peterson MS. 1983. *Preservation of food by ion-izing radiation*. CRC Press, Bocaraton, FL. p 231-251.
18. Egea MI, Martinez-Madrid MC, Sanchez-Bel P, Murcia MA, Romojaro F. 2007. The influence of electron-beam ionization on ethylene metabolism and quality parameters in apricot (*Prunus armeniaca* L., cv Bulida). *LWT* 40: 1027-1035.
19. 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.
20. Castell-Perez E, Mereno M, Podriguez O, Moreira RG. 2004. Electron beam irradiation treatment of cantaloupes: Effect on product quality. *Food Sci Technol Int* 10: 383-390.
21. Choi DY, Do JH, Lee KS, Yang CB. 1994. Changes in hydrogen donating activities of the extract from *Hololeion maximowiczii* root by drying methods. *Korean J Food Sci Technol* 26: 147-151.
22. Yoo SJ, Kim SH, Jun MS, Oh HK, Chio HJ, Ham SS. 2007. Antioxidative, antimutagenic and cytotoxic effects of *Prunus armeniaca* extracts. *Korean J Food Preserv* 14: 220-225.
23. Kim HJ, Jo CH, Lee NY, Son JH, An BJ, Yook HS, Byun MW. 2006. Effects of gamma irradiation on physiological activity of citrus essential oil. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 797-804.
24. Miller WR, McDonald RE. 1996. Postharvest quality of GA-treated florida grape fruit after gamma irradiation with TBZ and storage. *Postharvest Biol Technol* 7: 253-260.
25. Shon MY, Park SK. 2006. Synergistic effect of Yuza (*Citrus junos*) extracts and ascorbic acid on antiproliferation of human cancer cells and antioxidant activity. *Korean J Food Preserv* 13: 649-654.
26. Sies H, Stanl W. 1995. Vitamins E and C, beta-carotene, and other carotenoids as antioxidant. *Am J Clin Nutr* 62: 1315-1321.

27. Wen HW, Chung HP, Chou FI, Kim IH, Hsieh PC. 2006. Effect of gamma irradiation on microbial decontamination and chemical and sensory characteristic of lycium fruit. *Rad Phys Chem* 75: 596-603.

28. Ladaniya MS, Singh S, Wadhawan AK. 2003. Response of 'Nagpur', mandarin, 'Mosambi' sweet orange and 'Kagzi' acid lime to gamma radiation. *Rad Phys Chem* 67: 665-675.

(2008년 4월 22일 접수; 2008년 5월 21일 채택)