

감마선 조사와 저장온도에 따른 사과 기능성 성분 및 조직감 변화

윤혜정 · 임상용 · 허정무 · 정진우 · 양수형 · 김동호[†]
한국원자력연구원 정음방사선과학연구소

Changes of Functional Compounds in, and Texture Characteristics of, Apples, during Post-Irradiation Storage at Different Temperatures

Hye-Jeong Yun, Sang-Yong Lim, Jung-Mu Hur, Jin-Woo Jeong,
Soo-Hyung Yang and Dong-Ho Kim[†]

Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute, Jeongeup 580-185, Korea

Abstract

The effects of gamma irradiation on the physiochemical and physical characteristics of apples were investigated during post-irradiation storage at 4°C and 25°C. The contents of total and reducing sugars were analyzed and the results indicated that apples receiving 1 kGy of gamma irradiation did not show significant differences in sugar contents compared to non-irradiated controls. Important physiological characteristics were evaluated by measurement of total phenolic content and total flavonoid content, reducing power, and radical scavenging ability, and the results indicated that gamma irradiation at a dose of 1 kGy did not affect physiological activities. Changes in physical parameters such as weight loss, strength, cohesiveness and hardness, during post-irradiation storage, were temperature-dependent, whether the apples were irradiated or not. The color and sensory acceptance of the apples were not affected by irradiation during cold storage. However, minor deterioration in color quality and sensory acceptance of irradiated apples was noted under ambient temperature storage. We conclude that gamma irradiation (1 kGy) does not affect apple nutritional content stability, functional properties, or physical characteristics, especially upon cold storage after radiation treatment.

Key words : apple, gamma irradiation, physiochemical property, physiological activity, storage quality

서 론

사과(*Malus pumila* var. *dulcissima*)는 분류학상 장미과에 속하는 다년생 목본식물로서, 과실은 관능특성이 좋고 영양학적으로 당, 식이섬유, 칼륨 및 비타민 C 등이 풍부하여 과실로서 뿐만 아니라 주스, 잼 등 다양한 식품으로 이용되고 있다. 사과는 대부분 수확 후 바로 저장하거나 선별, 포장하여 유통되는데, 보존 또는 유통기간의 경과에 따라 내외부적인 여러 요인에 의하여 복합적인 품질저하가 진행된다. 사과의 품질변화를 유발하는 내부적 요인 중에는 과실자체의 효소나 영양성분 등의 생화학적 작용에 의한 후숙과 연화현상이 가장 일반적이며, 외부적 요인으로는

곰팡이나 세균 등에 의한 미생물학적 요인, 쥐나 해충 등에 의한 생물학적인 요인, 온도나 습도 등의 환경적 요인, 그리고 조직손상 등의 물리적 요인들이 있다(1). 그러나 일반적으로 과실류의 보존성을 결정하는 가장 중요한 요인은 미생물에 의한 부패인 것으로 알려져 있다(1).

과실류의 유통과 국제교역 등에서 과실류의 미생물 제어 및 보존성 향상 방법으로 가장 일반적으로 사용되어온 방법의 하나는 ethylene oxide (EO)와 methyl bromide (MeBr)를 비롯한 훈증살균 기술이 있다(2). 그러나 EO는 발암성과 잔류성 등의 문제점이 보고되어 식품에 대한 사용이 국제적으로 전면중지 되었으며, MeBr도 오존층을 파괴하는 환경공해물질로 규명되어 몬트리올 협약에 의하여 사용이 규제되어 있다(3). 따라서 기존에 가장 보편적으로 사용되었던 훈증처리 방법을 대체하기 위한 기술로 다양한 저장조건

[†]Corresponding author. E-mail : fungikim@kaeri.re.kr,
Phone : 82-63-570-3140, Fax : 82-63-570-3149

설정(4,5), 저온처리(5), phosphine 훈증처리(6), 열처리(7), 포장재(8), CA 저장(9) 등이 연구되어 왔다. 사과와 배, 복숭아 등과 같이 에틸렌 생성이 높은 climacteric 과실은 장기간 저장 시 에틸렌 생성을 억제하기 위하여 1-methylcyclopropene (10), tropolone(11) 등을 처리하는 방법도 연구되고 있다. 그러나 이러한 처리방법은 식품의 종류에 따라 제한성이 크고, 효과가 불완전하며, 처리 시간이 길거나 과실에 생리적 장애를 유발시키는 문제점을 가지고 있어 산업적 실용화에 비교적 제약이 크다.

방사선 조사 기술은 국제기구(FAO/IAEA/WHO)와 선진 여러 나라에서 유용하고 안전한 식품 및 공중보건 제품의 살균방법으로 공인되어 이미 여러 분야에서 산업적으로 이용되고 있다(12). 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(13) 식품의 보존성 향상 기술로서 매우 적합하다. 또한 적절한 선량의 방사선 조사는 식품의 물리적, 화학적 및 관능적 특성에 영향을 미치지 않으면서도 식품에서 유래하는 병원성 미생물을 제거할 수 있으므로 식중독 등의 식인성 질병 발생의 위험을 상당히 줄일 수 있는 식품 위생화 방법으로 활용도가 커지고 있다(13).

본 연구는 사과와 사과 가공품의 저장·유통과정에서 문제시되고 있는 미생물의 제어에 감마선 조사의 효과를 평가하는 연구의 일환으로 수행되었다. 비록 식품의 방사선 조사가 식품의 영양이나 관능 특성에 미치는 영향이 다른 기술에 비하여 낮다고 알려져 있으나 방사선 조사기술을 식품의 살균에 적용하기 위해서는 각 식품의 식품영양학적 품질특성에 영향을 미치지 여부를 재검증하여야 한다. 과채류, 특히 사과는 관능특성과 영양성분 이외에도 quercetin, glycosides, cyanidin epicatechin 등과 같은 flavonoid와 chlorogenic acid 및 ferulic acid 등과 같은 페놀 화합물의 항알러지, 항암, 항산화성 등과 같은 다양한 생리활성이 중요한 품질요소의 하나이므로(14,15) 방사선 조사에 의한 사과의 생리활성 특성 변화여부를 살펴볼 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 감마선에 의한 사과의 생리화학적 기능성과 주요 성분의 변화 및 물리적 품질특성 등의 변화를 분석하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 사과(*Malus pumila* var. *dulcissima*)는 2005년 11월에 전북 정읍지역에서 수확된 제품으로, 수확 직후 외관이 건전하고 병반이 없으며 크기가 균일한 사과를

현지에서 구입하여 사용하였다. 시료의 감마선 조사는 한국원자력연구소의 선원 300,000 Ci, ^{60}Co 감마선 조사시설(AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 20℃의 실온에서 분당 70 Gy의 선량율로 1 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 선량 1 kGy는 Codex 등에서 과실류의 국제적 검역에서의 권장 선량으로 본 실험에서는 향후 산업적 적용을 목적으로 이 선량을 직접 적용하였다. 흡수선량의 확인은 ceric/cerous dosimeter를 사용하였으며, 총 흡수선량의 오차는 $\pm 5.4\%$ 이내로 하였다. 감마선 조사 시료는 감마선을 조사하지 않은 비조사 대조구와 함께 각각 4℃와 25℃의 온도조건에 저장하면서 이화학적 분석을 실시하였다. 시료는 각 시험 구별로 10개의 사과를 random sampling하여 분석하였다.

영양성분 및 기능성 측정

시료의 영양성분 및 기능성의 측정은 사과 시료를 녹즙기(Extrusion type, Dong-A Co., Seoul, Korea)에서 착즙한 다음 여과(No. 2, Whatman, Kent, England)하여 준비하였다. 시료의 총 당함량은 phenol-sulfuric acid(16)법에 따라 측정하였다. 시료액 1 mL에 5% 페놀 1 mL, 황산 5 mL을 첨가하여 20분간 반응시켜 발색시킨 다음 spectrophotometer(UV 1601, Shimadzu, Japan)를 이용하여 470 nm에서 흡광도를 측정하였다. 환원당 함량은 시료액 2 mL에 DNS 용액(Dinitrosalicylic acid 0.5%, NaOH 4%, Rochellet salt 30%) 2 mL을 첨가하여 10분간 가열하여 반응시킨 다음 냉각하여 spectrophotometer(UV 1601, Shimadzu, Japan)를 이용하여 550 nm에서 흡광도를 측정하였다. 총 당함량과 환원당의 정량은 glucose를 이용하여 표준검량곡선을 작성하여 계산하였다.

총 페놀 함량은 tannic acid를 표준검량곡선으로 하여 Folin-Denis(17)법으로 측정하였다. 시료에 70% 에탄올 50 mL을 첨가하여 추출한 시료액 5 mL에 Folin-Denis시약 5 mL을 첨가하여 혼합 한 후 실온에서 3분간 반응시킨 후 10% Na_2CO_3 용액 5 mL을 첨가하여 실온에서 1시간 정치시킨 다음 760 nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 총 flavonoid 함량은 naringin을 표준검량곡선으로 하여 Davis 법(18)으로 측정하였다. 사과즙에 50% methanol을 첨가하여 제조한 시료용액 1 mL에 diethylene glycol 10 mL을 혼합하고 1N NaOH 1 mL을 가하여 다시 혼합한 다음 37℃에서 1시간 반응시킨 후 420 nm에서 흡광도를 측정하였다.

환원력은 Oyaizu(19)의 방법에 따라 측정하였다. 시료 0.5 mL에 sodium phosphate buffer(50 mM, pH 6.6) 2.5 mL과 1% potassium ferricyanide 용액 2.5 mL를 혼합 한 후 50℃에서 20분간 반응시켰다. 반응액에 10% trichloroacetate 0.5 mL를 첨가한 후 3,000 rpm에서 10분간 원심분리하여 얻어진 상층액에 0.1% ferric chloride 1 mL을 첨가하여 발색반응을 유도한 다음, UV/VIS spectrophotometer를 사용하여 700

nm에서 흡광도를 측정하였다. 시료의 DPPH radical 소거능 측정은 Blois(20)의 방법에 따라 실시하였다. 시료 추출액 1 mL에 0.2 mM DPPH(Sigma Co. Ltd., USA) 용액 1 mL을 혼합한 다음 실온에서 30분 반응시킨 후에 spectrophotometer (UV-1610PC, Shimadzu Co., Japan)를 이용하여 517 nm에서 흡광도를 측정하였다. DPPH radical 소거능은 아래의 식에 의하여 구하였다.

$$\text{DPPH radical 소거능(\%)} = (1 - \frac{A}{B}) \times 100$$

A : 시료 첨가구의 흡광도

B : 시료 무첨가구의 흡광도

물리적 특성 측정

사과의 중량 변화는 저장 초부터 사과 20개를 정해진 포장용기에 넣고, 경시적으로 측정하여 백분율로 나타내었다. 사과의 경도는 경도계(Sun Co., CR-200D, Japan)를 이용하여 실시하였다. 사용한 plunger의 직경은 3 mm 이었으며, 시료는 5개의 사과를 8등분하여 각 시료구당 3회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다. 사과의 기계적 색도는 color와 color difference meter (Minolta, Model CR-200, Japan)를 이용하여 과피와 과육의 색도를 측정하였다. 과피의 색은 과피의 정해진 부분에 대하여, 내부 색도는 처리구당 5개씩 절단하여 절단면의 색도를 10회 반복 측정하여 Hunter's color value인 L값(lightness), a값(redness), b값(yellow)으로 나타내었다.

관능검사

관능검사는 9점 척도법(1=dislike extremely, 5=neither like nor dislike, 9=like extremely)에 따라 실시하였으며, 사과를 일정한 크기로 절단하여 10명의 검사원으로 하여 향기/냄새(odor), 조직감(texture), 다즙성(juciness), 산도(acidity), 감미도/단맛(sweetness), 전반적인 기호도(overall acceptability)에 대하여 실시하였다.

통계분석

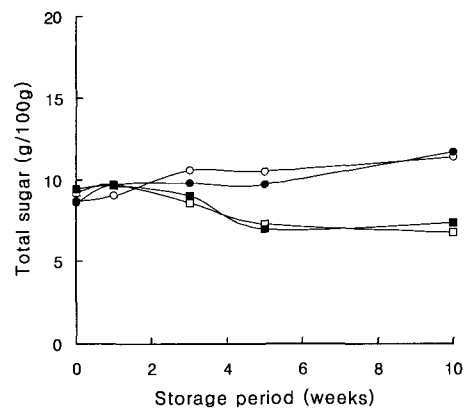
통계처리는 SPSS를 이용하여 One-way ANOVA를 실시하여 군간의 유의차를 검정하였고, 사후검정으로는 Durcan's multiple range test(p < 0.05)로서 유의차를 검정하였다.

결과 및 고찰

총 당 및 환원당 함량

감마선 조사 사과의 저장기간 중 각 시료의 총 당 함량과 환원당 함량 측정 결과는 Fig. 1에 나타낸 바와 같다. 사과의 당 함량은 맛 뿐만 아니라 저장수명에도 영향을 끼치는

(A)



(B)

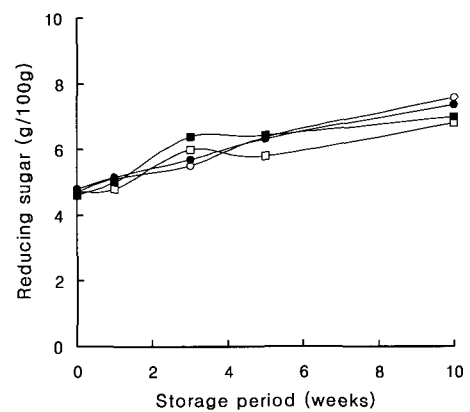


Fig. 1. Change of total sugar(A) and reducing sugars(B) in apples during post-irradiation storage at 4°C and 25°C.

○: control at 4°C, □: control at 25°C, ●: 1 kGy-irradiated apple at 4°C, ■: 1 kGy-irradiated apple at 25°C.

인자이다. 일반적으로 사과의 당 함량은 성숙과정이나 저장기간 동안 전분의 가수분해에 의해 증가되기도 하고, 호흡기질로 사용되어 감소하기도 한다(21). Forney와 Austin (22)은 당 함량이 높을수록 저장기간이 길어지며, 당 함량과 보존 기간은 저장 온도에 따라 유의적인 차이를 나타낸다고 보고한 바 있는데 본 실험에서도 이들의 결과와 유사하게 사과의 저장온도에 따라 총 당함량이 다르게 변화하는 경향을 나타내었다. 본 실험에서 사과의 총 당함량 변화는 각 시험구에 따라 다소의 차이는 있었으나, 일반적으로 4°C의 냉장 저장 시에는 대부분의 시험구에서 보존기간의 경과에 따라 총 당 함량이 큰 변화가 없었으나 실온 저장 조건에서는 점차 감소하는 경향을 보였으며 감마선 조사에 따른 총 당 함량의 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. 따라서 사과의 총 당 함량은 감마선 조사 여부와 상관없이 저장온도에 영향을 받음을 확인할 수 있었다. 사과의 환원당 함량 변화는 감마선 조사 여부 및 보존온도에 크게 상관없이 점차 증가하는 경향을 나타내었다. 한편, 사과의 환원당 함량변화에 대한 보고를 살펴보면 저장온도가 낮을수록

환원당 용출이 적다는 보고(23)와 환원당 용출은 저장 온도에 상관없이 유사한 수준으로 나타난다는 보고(24) 등이 있으나 본 연구에서의 실험결과는 전자보다는 후자의 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

총 phenolic compound 및 flavonoid 함량

페놀화합물과 플라보노이드는 식물계에 널리 분포되어 있는 2차 대사산물로 다양한 구조와 분자량을 가지며, 각 화합물의 작용기에 따라 항산화 효과 등과 같은 다양한 생리활성을 나타낸다. 본 실험에서 수행한 감마선 조사 사과의 총 phenolic compound 및 flavonoid 함량 측정결과는 Fig. 2에 나타내었다. 저장온도에 따른 사과의 총 페놀화합물 함량 변화의 전체적인 경향을 살펴보면, 4°C의 냉장 저장 조건에서는 저장 5주까지 증가하였다가 일정 수준을 유지하였고 25°C의 상온에서는 점차 감소하였으며 감마선 조사구와 비조사구간의 유의적인 차이는 관찰되지 않았다. 따라서 사과의 감마선 조사는 사과의 총 페놀화합물 함량에

영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 한편, 본 연구에서 나타난 총 페놀화합물 함량변화의 경향은 페놀화합물 함량이 냉장 저장 중에 증가한다고 발표한 Poter 등(25)의 연구 보고, 상온(25°C)저장의 경우 보존 3주 이후부터 페놀화합물의 함량이 급격히 감소한다고 발표한 Asemota 등(26)의 보고와 유사하게 나타났다. 또한 사과의 총 페놀화합물은 품종에 따라 각기 다르나(27) 일반적으로 수확 직후 냉장 저장 중에는 비교적 안정하다고 알려져 있다(28). 본 연구결과에서도 총 페놀화합물의 안정적 보존을 위해서는 저장온도를 적정하게 설정하는 가장 좋은 방법임을 재확인하였다. 사과의 저장온도에 따른 총 플라보노이드 함량 변화 또한 4°C의 저온저장 조건이 25°C 보다 높은 함량을 나타내었다. 한편, 감마선을 조사한 시험구의 플라보노이드 함량이 비조사구에 비하여 다소 높게 유지되었으나 통계적인 유의성은 없었다.

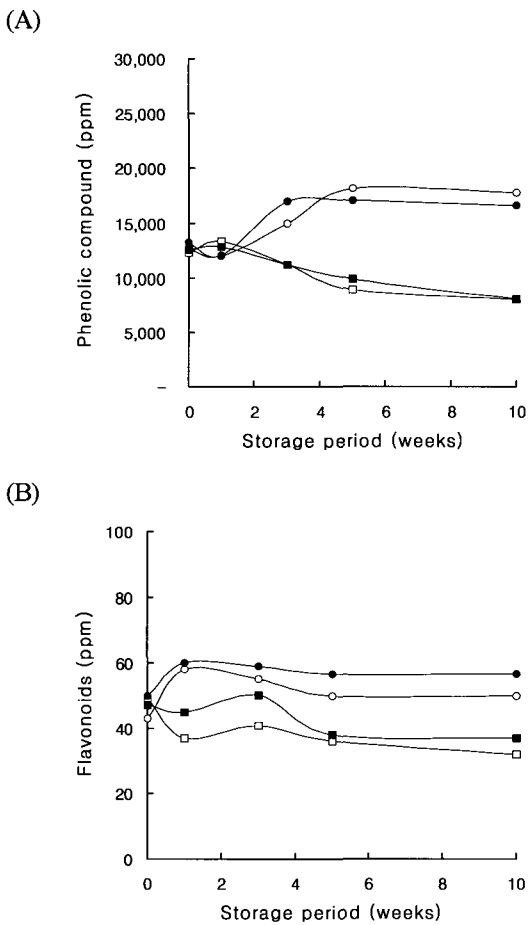


Fig. 2. Change of total phenolic compounds(A) and flavonoids contents(B) in apples during post-irradiation storage at 4°C and 25°C.

○: control at 4°C, □: control at 25°C, ●: 1 kGy-irradiated apple at 4°C, ■: 1 kGy-irradiated apple at 25°C.

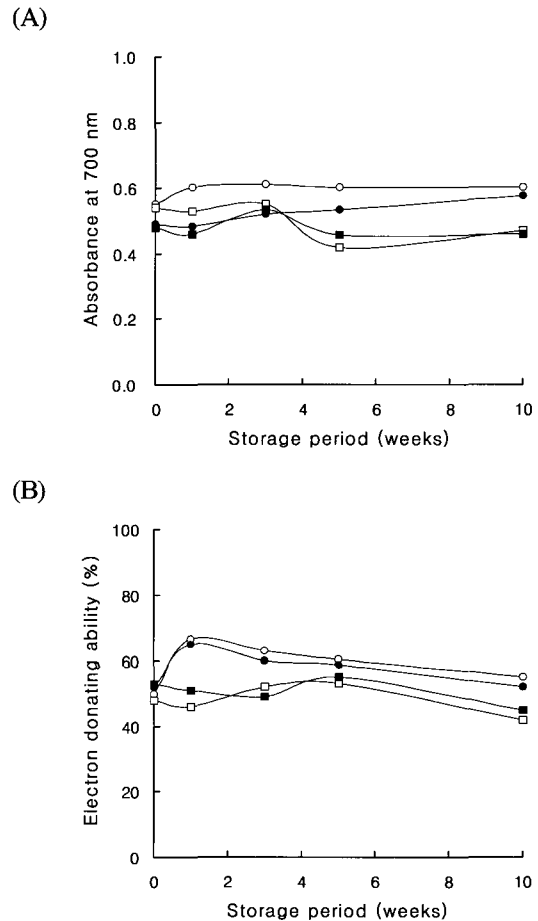


Fig. 3. Change of reducing power(A) and DPPH radical scavenging activity(B) in apples during post-irradiation storage at 4°C and 25°C.

○: control at 4°C, □: control at 25°C, ●: 1 kGy-irradiated apple at 4°C, ■: 1 kGy-irradiated apple at 25°C.

환원력 및 Diphenyl-1-picryl-hydrazyl(DPPH) radical 소거능

식품의 환원력(reducing power)은 항산화성을 판정하는 기준의 하나이며, 식품의 생체 이용적 측면에서 환원력을 유지하는 능력이 큰 물질일수록 산화 예방 및 항산화능이 크다고 볼 수 있다(29). 본 실험에서 준비한 시료의 환원력을 측정된 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 감마선 조사 시료는 보존 1주후까지는 비조사구에 비하여 환원력이 다소 낮았으나, 이후 보존 기간의 경과에 따라 비조사구와의 차이는 없어지고 저장온도의 영향을 더 받음을 알 수 있었다. DPPH radical 소거능은 감마선 조사에 의한 영향은 없었으며, 저온저장에서 상온저장에 비하여 상대적으로 높은 radical 소거능을 나타내었다.

물리적 특성변화

사과에 감마선을 조사하여 10주간 저장하면서 중량과 기계적 물성(strength, cohesiveness, hardness)의 변화를 측정하였다(Fig. 4). 사과는 약 85% 이상의 높은 수분을 함유하고 있는 과실로 수확 후 저장, 유통 과정에서 상대습도가 낮은 경우 표피에서 수분이 증발되며, 이러한 상태가 지속될 경우 중량 감소와 더불어 위조현상, 조직감 감소가 나타나 사과의 품질이 저하하게 된다. 실험결과, 사과의 중량변화는 Fig. 4-A에 제시한 바와 같이 감마선 조사여부에는 영향을 받지 않고 보존온도에 의존적임을 알 수 있었다. 4℃ 보존의 경우 보존 10주 후 약 1-2%의 중량 감소가 나타났는데 비하여 25℃ 보존 시에는 10주 후 5-6%의 중량 감소가 관찰되었다. 사과의 기계적 물성 변화와 연화 등은 중량 감소뿐만 아니라 polygalacturonase, β-galactosidase, pectinesterase 및 cellulase 등의 효소에 의한 펙틴의 가용화, 세포벽 성분의 변화 등과 같은 생리화학적 요인에 의해서도 발생된다(30). 사과의 strength는 전체적으로 보존 5주째까지는 점차 감소하였다가 이후에는 큰 변화가 나타나지 않는 양상이었다. 그러나 보존온도에 따른 strength 변화는 유의적 수준으로 관찰되었다. 즉, 보존 10주 후 4℃에 저장한 사과의 strength는 25℃ 저장 시료에 비하여 10% 이상 높은 수준을 유지하였다. 한편, 감마선 조사는 사과의 strength의 변화에 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었다(Fig. 4-B). Cohesiveness는 모든 시료에서 저장기간이 경과함에 따라 점차 증가하는 경향을 나타내었으며, 감마선 조사 시험구의 cohesiveness가 비조사구에 비하여 다소 낮은 수준을 유지하는 것으로 보아 사과의 cohesiveness는 보존 온도보다는 감마선 조사에 영향을 받는 것으로 사료되었다(Fig. 4-C). 사과의 hardness는 보존온도와 감마선 조사 모두에 의하여 영향을 받는 것으로 나타났다. 저장온도에 따른 hardness의 변화를 살펴보면, 4℃ 보존의 경우 보존 5주째까지는 hardness가 점차 증가하다가 이후 다소 감소하거나 유지되는 경향을 보였으며 25℃ 보존에서는 보존기간의

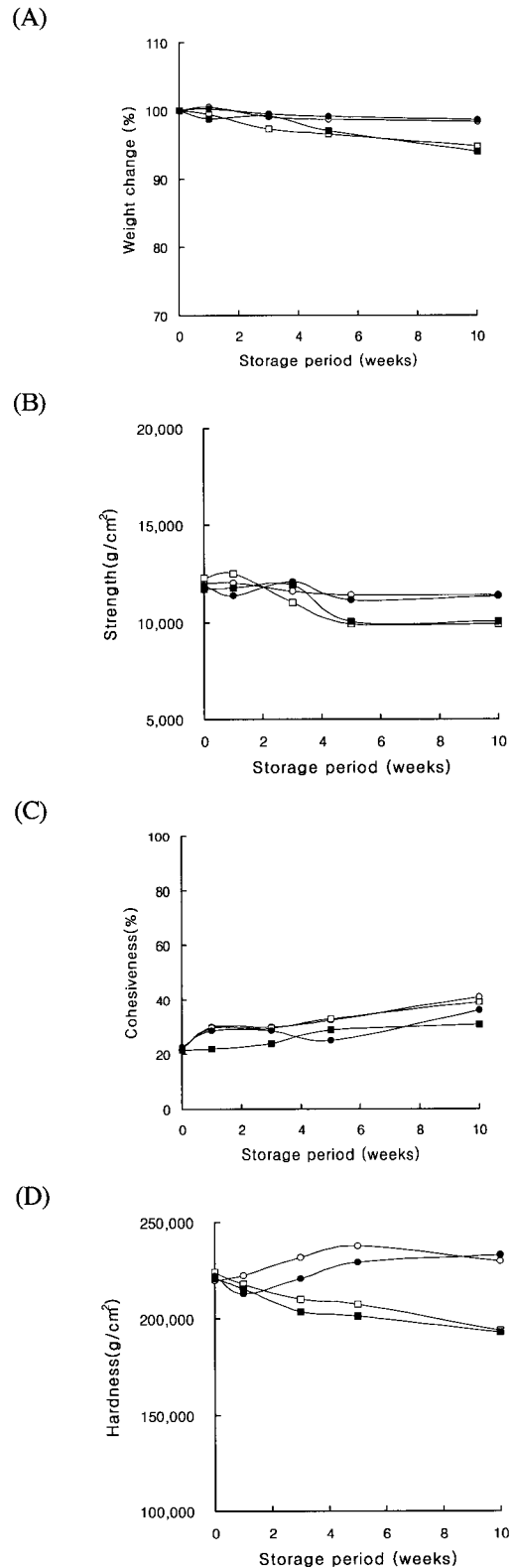


Fig. 4. Change of weight(A), strength(B), cohesiveness(C) and hardness(D) in apples during post-irradiation storage at 4°C and 25°C.

○: control at 4°C, □: control at 25°C, ●: 1 kGy-irradiated apple at 4°C, ■: 1 kGy-irradiated apple at 25°C.

경과에 따라 지속적인 감소를 나타내었다. 한편, 동일 보존 온도 조건에서 감마선 조사 시험구는 비조사구에 비하여 hardness가 다소 낮은 경향을 보여주었으나 보존 10주 경과 이후에는 감마선 조사구와 대조구간에 hardness의 차이가 거의 나타나지 않았다. 이러한 결과는 감마선 조사에 의해 과실이나 견과류의 경도가 감소되거나 저장기간이 경과함에 따라 대조구와의 차이가 줄어든다고 발표한 Kwon 등(31)의 보고와 유사한 경향이었다.

색도 변화

사과를 감마선 조사한 후 각각 4℃와 25℃에 보관하면서 과피 및 과육의 기계적 색도 변화를 측정하여 Table 1에 나타내었다. 과피의 명도(L)변화는 감마선 조사 후 25℃에 저장한 시험구에서는 증가하는 양상이었으나 다른 시험구에서는 유의적인 변화가 나타나지 않았다. 과피의 적색도(a)는 일반적으로 저장기간이 증가함에 따라 증가하는 양상이었으나 감마선 조사 후 4℃ 저장 시험구에서는 변화가 나타나지 않았고 대체적으로 25℃ 저장된 시료의 적색도(a)의 증가율이 높게 나타났다. 과피의 황색도(b)의 변화는 감마선 조사 후 25℃ 저장 시험구에서는 점차 증가하였으나 다른 시험구에서는 큰 변화를 나타내지 않았다. 전체적으로 과피의 색도변화는 4℃ 저장 시료보다는 25℃ 저장시료

Table 1. Changes of Hunter color values in peels and flesh of the apples during post-irradiation storage at 4℃ and 25℃

Storage temp.	Hunter parameter	Storage period (weeks)	Peels		Flesh		
			Control	1 kGy-irradiated apple	Control	1 kGy-irradiated apple	
4℃	L	0	43.882	39.582	63.572	61.736	
		5	39.788	39.582	66.321	62.535	
		10	41.009	39.682	64.192	65.617	
		a	0	12.514	21.649	-0.944	2.088
			5	20.814	21.649	-0.733	2.010
			10	19.315	18.435	0.551	0.043
	b	0	16.431	12.798	16.045	16.023	
		5	12.877	13.420	11.410	14.517	
		10	13.795	11.657	12.805	11.892	
		L	0	46.450	37.146	59.464	59.853
			5	42.588	39.369	67.633	65.524
			10	43.025	43.021	68.080	67.220
25℃	a	0	11.818	19.768	3.765	2.502	
		5	20.022	21.702	0.664	1.684	
		10	23.755	24.633	0.607	1.432	
	b	0	18.488	12.090	17.418	17.347	
		5	16.759	14.421	11.758	11.206	
		10	15.251	17.145	12.779	12.799	

에서 다소간의 변화가 관찰되었고 특히 감마선 조사 후 25℃ 저장 시료에서 보다 큰 변화가 나타났다. 과육의 색도 변화에서 명도(L)는 모든 시료에서 증가하였으며, 적색도(a)와 황색도(b)는 감소하는 양상을 나타내었다. 또한 과육의 색도변화는 저장온도의 차이와 감마선 조사 여부에 영향을 받지 않는 것으로 사료되었다. 일반적으로 고선량의 감마선 조사는 부분적으로 과육의 내부 갈변을 유도하는 경우가 보고되고 있으나(32) 본 실험에서 일반적인 과실류의 검역처리 기준으로 적용한 1 kGy의 감마선 조사선량에서는 사과 과육의 색도변화는 나타나지 않는 것으로 확인되었다.

관능평가

각각의 저장조건에서 감마선 조사에 의한 사과의 관능적 품질평가를 실시하여 Table 2에 나타내었다. 저장기간이 증가할수록 품질이 저하됨을 확인할 수 있었고 4℃ 저장시 대조군은 저장조건에 따른 관능적 품질 저하가 거의 일어나지 않았으나, 25℃ 저장의 경우 저장 5주째에 기호도의 저하

Table 2. Sensory evaluation of overall acceptances from apple treated with irradiation during storage for 10 weeks

Storage (weeks)	Sensory parameters	Treatment ¹⁾				SEM ²⁾
		A	B	C	D	
0	Odor	6.88 ³⁾	6.77 ^b	6.77 ^b	6.88 ^a	0.15
	Texture	6.40 ^b	6.00 ^d	6.55 ^a	6.21 ^c	0.19
	Juiciness	6.67 ^a	6.00 ^b	6.56 ^a	6.10 ^b	0.30
	Acidity	6.22 ^c	6.44 ^a	6.00 ^d	6.33 ^b	0.29
	Sweetness	6.67 ^b	6.22 ^c	6.89 ^a	6.67 ^b	0.31
	Overall acceptances	6.89 ^b	6.22 ^d	7.00 ^a	6.67 ^c	0.28
	5	Odor	6.77 ^a	6.55 ^a	5.56 ^b	4.66 ^c
Texture		6.88 ^a	6.44 ^a	5.78 ^b	3.67 ^c	0.10
Juiciness		6.78 ^a	6.33 ^{ab}	6.12 ^b	4.67 ^c	0.44
Acidity		6.44 ^a	6.11 ^a	6.22 ^a	4.33 ^b	0.48
Sweetness		6.56 ^a	6.22 ^a	6.22 ^a	4.22 ^b	0.46
Overall acceptances		6.55 ^a	6.44 ^a	5.40 ^b	4.11 ^c	0.19
10		Odor	6.44 ^a	6.67 ^a	5.50 ^b	5.21 ^b
	Texture	6.40 ^a	6.11 ^a	3.67 ^b	3.44 ^b	0.55
	Juiciness	6.22 ^a	6.33 ^a	3.67 ^b	3.10 ^b	0.06
	Acidity	6.33 ^c	5.88 ^b	4.22 ^c	3.78 ^c	0.37
	Sweetness	6.11 ^a	6.44 ^a	4.00 ^b	3.44 ^c	0.41
	Overall acceptances	6.30 ^a	6.22 ^a	4.78 ^b	3.22 ^c	0.33

¹⁾A: control at 4℃, B: 1 kGy-irradiated apple at 4℃, C: control at 25℃, D: 1 kGy-irradiated apple at 25℃.

²⁾SEM: standard error of the mean (n=40).

³⁾Mean values of scores followed by different letters in same row are significantly different at P < 0.05.

Score are evaluated from extremely dislike(1 point) to extremely like(9 point).

가 나타났다. 동일온도 저장의 조건에서 4℃ 저장의 경우에는 대조군과 감마선 조사(1 kGy) 처리군의 차이가 거의 나타나지 않았으나 25℃ 저장 조건에서는 감마선 조사 시험구의 관능적 선호도가 대조구에 비하여 다소 낮아졌다.

요 약

사과의 유통에서 내·외부 품질특성 및 외부 오염원으로부터의 안전성 확보를 위한 연구의 일환으로 사과에 감마선 조사를 실시하여 각각 4℃와 25℃에 저장하면서 사과의 생리화학적 및 물리적 품질특성을 살펴보았다. 연구 결과 영양 성분 및 기능성 성분의 손실이나 품질저하는 보존온도에 의하여 결정되었고 감마선 조사에 의한 영향은 거의 나타나지 않았다. 또한 중량변화와 기계적 물성 특성 또한 감마선 조사에 의하여 영향을 받지 않았다. 색도와 관능특성은 상온 보관시 감마선 조사 시험구에서 다소간의 품질 열화가 관찰되었으나 저온보존에서는 대조구와 차이를 나타내지 않았다. 따라서, 감마선 조사는 사과의 영양성분 및 기능성, 그리고 물리적 요인의 보존안정성에 영향을 주지 않으면서도 미생물학적 관점에서의 유통, 보존안정성을 확보할 수 있는 유효한 기술이 될 수 있을 것으로 사료되었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 공동연구사업(과제번호: 2C07-0201080025)의 지원에 의해 이루어진 것임.

참고문헌

- Seo, J.Y., Kim, E.J., Hong, S.I., Y, S.H. and Kim. D. (2006) Effects of mild heat treatment on microorganism, respiratory characteristics and firmness of *fuji* apple. Korean J. Food Sci. Technol., 38, 47-51
- Kang, H.J., Chung, H.S., Jo, D.J., Byun, M.W., Choi, S.J., Choi, J.U. and Kwon, J.H. (2003) Effects of gamma radiation and methyl bromide fumigation on physiological and chemical quality of apples. Korean J. Food Preserv., 10, 381-387
- UNEP. (1994) Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Report of the methyl bromide technical options committee. p.294-304
- Wszelaki, A.L. and Mitcham, E.J. (2000) Effects of superatmospheric oxygen on strawberry fruit quality and decay. Postharvest Boil. Technol., 20, 125-133
- Gould, W.P. and Sharp, J.L. (1990) Cold-storage quarantine treatment for carambolas infested with the carubbean fruit fly(Dipera:Tephritidae). J. Econ. Entomol., 72, 354-359
- Hatton, T.T., Cubbedge, R.H., Windeguth, D.L. and Spalding, D.H. (1982) Phosphine as a fumigant for grapefruit infested by caribbean fruit fly larvae. Proc. Fla. State Hort. Soc., 95, 221-224
- Smith, K.J. and Lay-Yee, M. (2000) Response of 'Royal Gala' apples to hot water treatment for insect control. Postharvest Biol. Technol., 19, 111-122
- Jiang, Y., Joyce, D.C. and Macnish, A.J. (1999) Extension of the helf life of banana fruit by 1-methylcyclopropene in combination with polyethylene bags. Postharvest Biol. Technol., 16, 187-193
- Somok, R.M. (2001) Controlled atmosphere storage of fruits. Horticultural Reviews 1. AVI Publishing Co., Westport, CT, USA, p.277-278
- Pre-Aymard, C., Weksler, A. and Lurie, S. (2003) Responses of 'Anna', a rapidly ripening summer apple, to 1-methylcyclopropene. Postharvest Biol. Technol., 27, 163-170
- Mizutani, F., Golam Rabbany, A.B.M. and Akiyoshi, H. (1998) Inhibition fo ethylene production and 1-aminocyclopropane-1-carboxylate oxidase activity by tropolones. Phytochem., 48, 31-34
- Byun, M.W. and Yook, H.S. (2003) Internal and External Situation of Irradiation Technology Utilization in the Food and Public Health Industry. Korean J. Food Preserv., 10, 106-123
- Byun, M.W. (1997) Application and aspect of irradiation technology in food industry. Food. Sci. Ind., 30, 89-100
- Wang, H., Cao, G. and Prior, R.L. (1996) Total antioxidant capacity of fruits. J. Agric. Food. Chem., 44, 701-705
- Van der Sluis, A.A., Dekker, M. and Jongen, W.M.F. (1997) Flavonoids as bioactive components in apple products. Cancer Lett., 114, 107-108
- A.O.A.C. (1980) Official Methods of Analysis. 13th ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., p.190-209
- Prosky, L., Asp, N., Schweizer, T., Devries, J. and Furda, I. (1988) Determination of insoluble, soluble and total dietary fiber in foods products, Interlaboratory study. J. Assoc. Off. Anal. Chem., 71, 1017-1025
- Song, E.Y., Choi, Y.H., Kang, K.H. and Koh, J.S. (1998)

- Free sugar, organic acid, hesperidin, naringin and inorganic inorganic elements changes of *Cheju* citrus fruits according to harvest data. Korean J. Food Sci. Technol., 30, 306-312
19. Oyaizu, M. (1986) Studies on products of browning reactions : Antioxidative activities of products of browning reaction prepared from glucosamine. Japan J. Nutr., 44, 301-315
 20. Blois, M.S. (1958) Antioxidant determination by the use of a stable free radical. Nature, 181, 1190-1200
 21. Ackeman, J., Ficher, M. and Amado, R. (1992) Changes in sugars, amino acids during ripening and storage of apples. J. Agric. Food Chem., 40, 1131-1132
 22. Forney, C.F. and Austin, R.K. (1998) Times of day at harvest influences carbohydrate concentration in crisphead lettuce and its sensitivity to high CO₂ levels after harvest. J. Am. Soc. Hort. Sci., 113, 581-583
 23. Lee, Y.S., Oh, S.H., Lee, J.W., Kim, J.H., Rhee, C.O., Lee, H.K. and Byun, M.W. (2004) Effect of gamma irradiation on quality of irradiation on quality of cooked rice. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 33, 582-586
 24. Choi, J.H., Im, J.S. and Oh, D.H. (2006) Effect of gamma irradiation on the microbiological and physicochemical quality changes of steamed waxy corns during storage. Korean J. Food Preserv., 13, 292-298
 25. Poter, W.C., Pharr, D.M., Kijshman, L.J., Pope, D.T. (1976) Discoloration of chilled sweet potato(*Ipomoea Hatas*(L.) Lam.) roots: Factors related to cultivar differences. J. Food Sci., 91, 938-941
 26. Asemota, H.N., Wellington, M., Oduyoga, A.A. and Ahmad, M.H. (1992) Effect of short-term storage on phenolic content, o-diphenolase and peroxidase activities of cut yam tubers. J. Sci. Food Agric., 60, 309-312
 27. Sapers, G.M., Duglas J.R, F.W., Bilyk, A., Hsu, A.F., Dower, H.W., Garzarella, L. and Kozempel, M. (1989) Enzymatic browning in atlantic potatoes and related cultivars. J. Food Sci., 54, 362-365
 28. Coseteng, M.Y. and Lee, C.Y. (1987) Changes in apple polyphenoloxidase and polyphenol concentrations in relation to degree of browning. J. Food Sci., 52, 985-989
 29. Kim, J.H., Jeong, C.H. and Sim, K.H. (2003) Biological activities of solvent fractions of *Capsicum annum* leaves. Korean J. Food Preserv., 10, 540-546
 30. Yoshioka, J., Aoba, K. and Kashimura, Y. (1992) Molecular weight and degree of methoxylation in cell wall polyuronide during softening in pear and apple fruit. J. Am. Soc. Hort. Sci., 117, 600-606
 31. Kwon, J.H., Kim, S.J., Chung, H.W., Kwon, Y.J. and Byun, M.W. (1998) Comparative effect of gamma irradiation and methyl bromide fumigation on disinfestation and physicochemical quality of acorn. Korean J. Food Preserv., 5, 199-206
 32. Joesphson, E.S. and Peterson, M.S. (1983) Preservation of Food by Ion-izing Radiation, CRC Press Inc., Boca Raton, FL, p.231-251

(접수 2007년 3월 6일, 채택 2007년 5월 25일)