

감마선 조사 과일류에서 조사선량과 저장기간에 따른 DNA Fragmentation의 변화

김상미 · 박은주* · 양재승** · 강명희†

한남대학교 식품영양학과

*경남대학교 생명과학부

**한국원자력연구소 식품검지실

Changes of DNA Fragmentation by Irradiation Doses and Storage in Gamma-Irradiated Fruits

Sang-Mi Kim, Eunju Park*, Jae-Seung Yang** and Myung-Hee Kang†

Dept. of Food and Nutrition, Hannam University, Taejon 306-791, Korea

*Division of Life Sciences, Kyungnam University, Masan 631-701, Korea

**Laboratory for Detection of Irradiated Foods, Korea Atomic Energy Research Institute, Taejon 305-353, Korea

Abstract

The changes in DNA damage were investigated during storage after irradiation. Kiwi, orange and pear were irradiated at 0.1, 0.3, 0.5, 0.7 and 1.0 kGy and stored for 3 months at 4°C. The comet assay was applied to the sample seeds at the beginning of irradiation and at the end of storage. Seeds were isolated and crushed, and the suspended cells were embedded in an agarose layer. After lysis of the cells, they were electrophoresed for 2 min and then stained. DNA fragmentation in seeds caused by irradiation was quantified as tail length and tail moment (tail length × % DNA in tail) by comet image analyzing system. Immediately after irradiation, the differences in tail length between unirradiated and irradiated fruit seeds were significant ($p < 0.05$) in kiwi, orange and pear seeds. With increasing the irradiation doses, statistically significant longer extension of the DNA from the nucleus toward anode was observed. The results represented as tail moment showed similar tendency to those of tail length, but the latter parameter was more sensitive than the former. Similarly even 3 months after irradiation, all the irradiated fruit seeds significantly showed longer tail length than the unirradiated controls. These results indicate that the comet assay could be one of the simple methods of detecting irradiated fruit seeds. Moreover, the method could detect DNA damage even after 3 months after irradiation.

Key words: fruits, irradiation detection, storage, comet assay, DNA damage

서 론

최근 식품의 방사선 조사 기술은 식품이나 농산물의 살균, 살충, 저장기간 연장, 과채류의 숙성 지연 등으로 각국 정부와 식품산업계로부터 관심이 높아지고 있다(1,2). 식품의 방사선 조사는 WHO, FAO, IAEA와 같은 국제기구에서 인정받았으며(3) 현재 40여 개국에서 허가되어 국제 교역에서 조사식품의 유통이 점차 증가하는 추세이다(4).

방사선 조사 과일은 살충을 위해 기존에 쓰였던 화학살충제 처리 과일에 비해 인체에 유해하지 않다고 알려지고 있지만 방사선 자체에 대한 안전성 우려로 인해 아직은 소비자들이 거부감을 가지고 있는 실정이다(5). 현재 우리 나라에서는 방사선 조사 허용 식품에 과일이 포함되어 있지 않으나, 외국에

서는 살충 또는 검역을 위해 과일의 방사선 조사가 허용되고 있으며 그 조사량은 1.0 kGy 이하로 규제되고 있다(6). 따라서 국제적인 교역의 증대로 인해 국내 시장에서 수입 과일의 유통이 점점 증가하고 있는 이 시점에서 소비자들이 방사선 조사된 수입 과일에 대한 자유로운 선택을 할 수 있도록 다양한 수입과일을 대상으로 정확한 방사선 조사 검지 방법을 통한 표시제도가 확립되어야 할 것이다.

Comet assay는 방사선 조사로 인한 DNA 손상을 저렴한 장비를 이용해 빠른 시간 내에 효과적으로 검지하는 것으로 알려져 있다(7). 최근 comet assay방법이 방사선 조사식품 검지에 도입되어 국내외에서 방사선 조사된 곡류, 육류, 과일류, 콩류를 대상으로 조사선량을 확인하는 연구가 활발히 이루어지고 있다(8-16). 그 중 comet assay를 이용한 방사선 조사 과

†Corresponding author. E-mail: mhkang@mail.hannam.ac.kr
Phone: 82-42-629-7491. Fax: 82-42-629-7490

일에 대한 검지확인 연구로는 Delincee 등에 의해 grapefruit (6), 딸기(16)를 각각 1 kGy, 0.5 kGy까지 방사선 조사하여 DNA 손상을 나타내는 tail length를 측정하여 비 조사 시료와 비교한 연구가 수행된 바 있으며 국내에서는 Oh 등(13)에 의해 포도, 자두, 딸기, 복숭아, 사과, 천도복숭아를 대상으로 comet assay를 이용해 방사선 검지를 확인한 연구가 있다. 그러나 이 연구들은 방사선 조사 직후 comet assay를 실시하여 DNA 손상정도를 측정함으로써 방사선 조사한 과일을 일정기간 저장한 후 DNA 손상정도의 변화를 측정하는 연구는 그 필요성만 제안되었을 뿐(7) 국내의를 통틀어 아직까지 보고된 바 없다. 과일의 경우 수확한 뒤 일정한 수송기간과 저장기간을 거친 후 시장에서 유통되므로 조사직후보다는 조사한 과일을 일정기간 저장한 뒤 여전히 comet assay를 이용해 방사선 조사에 의한 DNA 손상정도를 측정할 수 있는지를 검토해보는 것은 매우 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다.

본 연구에서는 우리 나라에서 수출·수입량의 수위를 차지하는 과일 중 키위, 오렌지, 배를 선정하여 1.0 kGy 이하의 방사선을 조사한 뒤 comet assay를 이용하여 방사선 조사여부를 확인하여 보고자 하였으며, 또한 조사직후 저온으로(4°C) 3개월 간 저장한 뒤에도 comet assay를 이용하여 방사선 조사여부를 감지할 수 있는지에 대해 살펴보았다.

재료 및 방법

시료 및 시약

본 실험에 사용된 과일은 키위, 오렌지, 배였으며 수입과일인 키위는 뉴질랜드산, 오렌지는 미국 캘리포니아산으로 신선한 상태의 것을 2000년 9월 시중 대형 마켓에서 구입하였고, 배는 2000년에 우리 나라에서 생산된 신고 품종으로 충청남도 유성 부근 농장에서 수확한 직후 신선한 상태로 구입하였다. 모든 과일은 1.0 kGy 이하의 선량으로 방사선 조사하고 일부는 조사직후 과육을 제거한 후 씨를 추출하여 comet 분석을 하였고, 나머지는 저장기간에 따른 방사선의 효과를 측정하기 위해 저온창고 또는 냉장고에서(0~4°C) 3개월 동안 저장한 뒤 comet assay를 실시하였다. 3개월 저장 후 배는 상태가 양호하였고 키위와 오렌지는 약간 물러졌으나 습도 등의 저장조건을 좀더 최적으로 한다면 상태가 더 양호할 것으로 생각된다. 주요시약 가운데 sodium chloride, potassium chloride, tris-base ethylenediamine tetra-acetic acid(EDTA), low melting point agarose, normal melting point agarose, disodium hydrogen phosphate, phosphate dihydrogen phosphate, ethidium bromide는 Sigma Chemical(St. Louis, MO., USA) 제품을 사용하였으며, boric acid, sodium dodecyl sulphate(SDS)는 Applichem(Darmstadt, Germany) 제품을 사용하였다.

시료의 방사선 조사

시료의 방사선 조사는 한국원자력연구소의 ⁶⁰C 감마선 조사 시설(AECL, Canada)을 이용하여 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 kGy의 선량으로 시간당 일정한 선량률로 조사하였다.

Comet assay

Comet assay는 Koppen과 Cerda(9)의 방법을 변형하여 실시하였다. 과육을 제거한 씨는 막자 사발로 세포에 손상을 주지 않을 정도로 부드럽게 마쇄하고 0.25 g의 시료를 취하여 ice bath상에 있는 작은 시약병에 넣었다. PBS(phosphate buffered saline, pH 7.4) 완충액을 키위와 배는 5 mL, 오렌지는 3 mL을 넣고 magnetic stirrer로 500 rpm에서 5분 동안 섞어주었다. 이 현탁액을 200 μm nylon sieve cloth로 여과시키고 냉장 온도에서 10분 동안 방치하여 침전시킨 후 상층액을 취하여 100 μm nylon sieve cloth로 재여과시키고 다시 냉장온도에서 키위와 배는 30분, 오렌지는 45분 동안 방치시킨 후 상층액을 취하여 comet 분석용으로 사용하였다.

슬라이드(76×26 mm, Marienfeld, Superior, Germany)는 ethanol에 하룻밤 담근 후 깨끗하게 닦고 45°C로 유지되어 있는 0.5% normal melting point agarose 50 μL를 균일하게 도포한 후 실온에서 30분간 건조시켰다. 이렇게 완성된 precoated agarose slide는 slide 상자에 보관하면서 실험에 사용하였다.

제조된 세포 현탁액의 상층액 100 μL를 취하여 45°C로 유지된 0.8% low melting point agarose 1 mL와 혼합하였다. 혼합용액 100 μL를 취하여 앞서 준비한 precoated 슬라이드 위에 도포하고 공기방울이 생기지 않도록 빠른 속도로 cover glass slide(24×50 mm)를 덮어주었다. 이 슬라이드를 ice-bath상에 놓아 세포 겔이 형성되도록 하였으며 이를 lysis buffer(2.5% SDS in 45 mM Tris-borate, 1 mM EDTA, pH 8.4)에 침지시켜 세포의 핵막과 단백질을 용해시켰다. 각 시료의 단백질 용해 시간은 시료에 따라 키위는 10분, 오렌지는 45분, 배는 15분으로 하였다.

단백 용해 용액에 용해된 슬라이드는 SDS가 배제된 TBE buffer(45 mM Tris-borate, 1 mM EDTA, pH 8.4)에 5분 동안 담근 후 꺼내서 물기를 제거하고 슬라이드의 agarose end가 전기영동 tray 위에 (+)극 쪽으로 향하도록 나란히 올려놓고, 냉장 보관된 TBE buffer를 슬라이드 위로 약 2~4 mm 정도 올라오도록 채워 넣은 후 2 V/cm로 1분 동안 전기영동을 실시하였다. 전기영동 후 슬라이드를 증류수로 5분 동안 흘려 세척하고 상온에서 1시간 동안 건조시킨 후 ethidium bromide(20 μg/mL) 75 μL로 염색하여 현미경으로 DNA comet을 관찰하였다.

DNA comet의 현미경 관찰

Ethidium bromide로 염색된 슬라이드상의 DNA comet을 형광 현미경(DMLB, Leica, Germany)상에서 배율 200배로 관찰하였으며, CCD video camera(KP-M, Hitachi, Japan)를 통해 보내진 각각의 세포핵 이미지는 Comet image analyzing system(Komet 4.0, Kinetic Imaging Ltd, UK)이 설치된 컴퓨터 상에서 분석하였다. 본 실험에서는 각 시료마다 준비된 2개의 슬라이드에서 각각 50개씩 총 100개의 핵체를 무작위로 선택하여 관찰하였으며, 각 조사선량마다 2회 이상 반복 실험하였다. DNA의 손상정도는 핵으로부터 이동한 DNA 파편의

거리인 tail length와 tail length에 tail % DNA를 곱한 값인 tail moment로 나타내었다.

통계처리

본 연구의 모든 실험결과는 윈도우용 SPSS(version 10.0)를 사용하여 각 시료별 및 조사선량별로 평균치와 표준오차를 구하였으며, 조사선량간의 tail length 및 tail moment의 유의성은 일원배치분석(one-way ANOVA)에서 LSD test를 이용하여 검증하였다. Pearson's correlation coefficient를 사용하여 조사선량과 DNA 손상지표들간의 상관관계를 알아보았다.

결과 및 고찰

각 시료에 대해 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 kGy의 선량으로 방사선 조사한 직후 실시한 comet assay 결과, 모든 시료에서 비 조사 시료의 경우 원형 모양의 핵이 많이 관찰되었고 조사 시료는 대부분 핵이 손상된 것으로 나타나 비 조사 시료와 조사 시료간의 tail length 차이는 뚜렷하게 구분되었다(Fig. 1). 키위 씨의 경우 핵체 크기가 다른 시료들보다 크고 일정하게 나타났으며 조사 시료의 tail length도 오렌지, 배에 비해 비교적 길었다(Fig. 1). 키위 씨의 경우 비 조사 시료에 비해 조사선량이 증가할수록 유의적으로 DNA 손상정도가 증가하는 것을 볼 수 있었다(Fig. 2). 오렌지 씨의 경우도 마찬가지로 선량이 증가할수록 tail length가 유의적으로 증가하였고(Fig. 3), 배 씨도 선량 증가에 따라 tail length가 유의적으로 증가하였다(Fig. 4). 조사선량과 tail length간의 상관관계를 Pearson's correlation coefficient로 살펴본 결과, 상관계수 값이 키위 씨의 경우 $r = 0.570(p < 0.01)$, 오렌지 씨 $r = 0.568(p < 0.01)$, 배 씨 $r = 0.615$

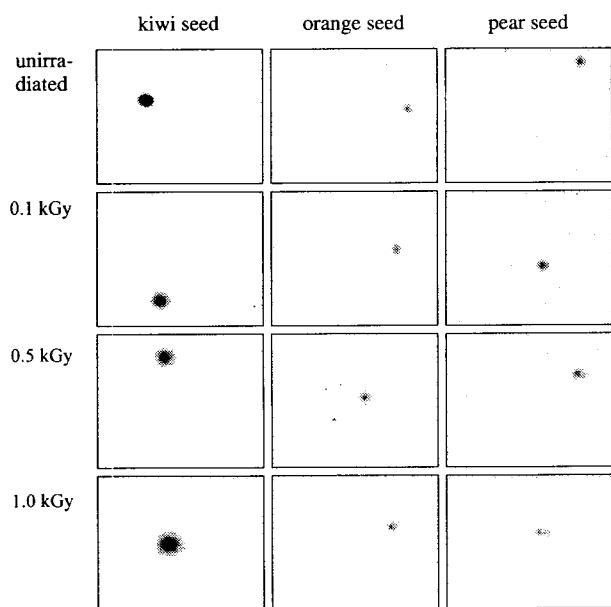


Fig. 1. DNA comets from fruits seeds. Ethidium bromide staining (microscope objective $\times 20$).

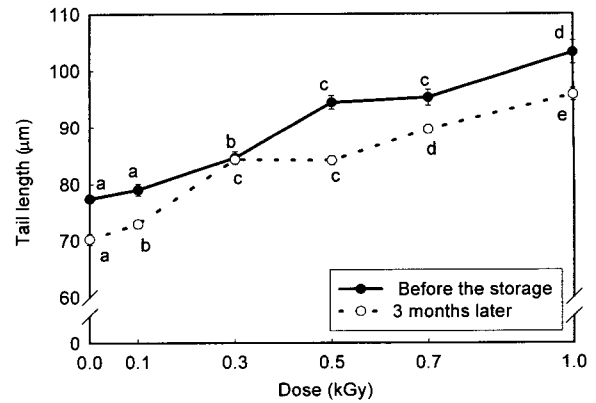


Fig. 2. Effect of irradiation doses and storage (0~4°C) on DNA damage in kiwi seeds.

Results are expressed as mean and standard error (bars). Values within the same line with the same superscript are not significantly different at $p < 0.05$.

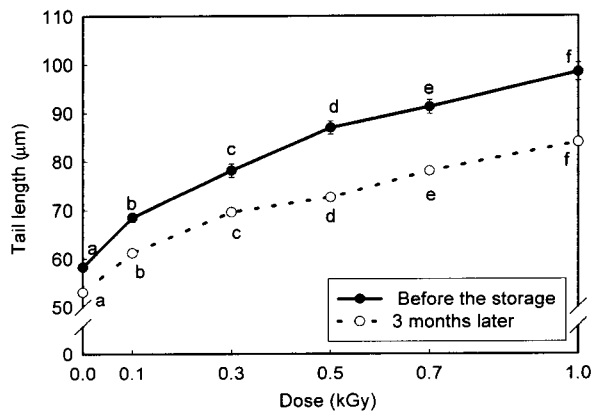


Fig. 3. Effect of irradiation doses and storage (0~4°C) on DNA damage in orange seeds.

Results are expressed as mean and standard error (bars). Values within the same line with the same superscript are not significantly different at $p < 0.05$.

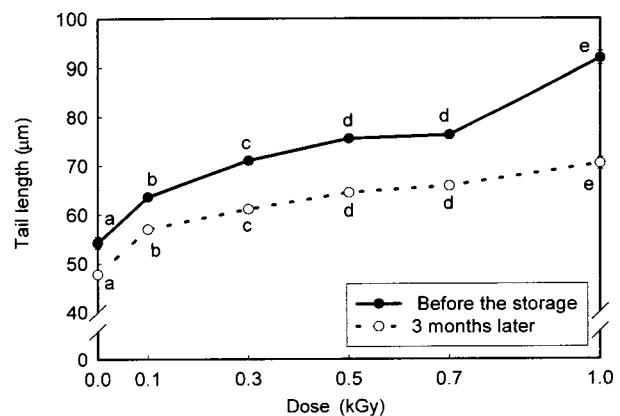


Fig. 4. Effect of irradiation doses and storage (0~4°C) on DNA damage in pear seeds.

Results are expressed as mean and standard error (bars). Values within the same line with the same superscript are not significantly different at $p < 0.05$.

($p < 0.01$)로 나타나 조사선량이 tail length에 상당한 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

Oh 등(13)은 silver staining으로 DNA를 염색한 뒤 표준 투과현미경을 통해 육안으로 comet 양상을 관찰할 경우 육류조직인 동물성 세포에서와는 달리 식물세포인 과일 씨의 경우 comet assay에 의해 방사선 조사선량을 달리한 시료들 간의 DNA 손상정도를 정확히 구분하는 것이 어려웠다고 밝힌 바 있다. 그러나 본 연구에서는 과일 씨의 DNA를 ethidium bromide로 형광 염색하여 이미지 분석기로 분석한 결과 비교적 정확하게 또한 빠른 시간 내에 방사선 조사선량간 DNA 손상 정도의 구분이 가능하였다.

DNA 손상을 나타내는 다른 지표인 tail moment도 각 시료에서 비 조사 시료에 비해 조사 시료의 tail moment 값이 유의적으로 높게 나타나 tail length와 비슷한 양상을 보여주었지만, 전체적으로 방사선 조사량에 따른 DNA 손상을 반영하는 민감도가 tail length보다 낮음을 알 수 있었다(Table 1). 이와 관련하여 Koppen과 Cerda(9)는 tail length는 손상된 DNA가 핵 체로부터 빠져 나와 이동한 거리만을 재는 값인 반면 tail moment는 tail length 값에 tail내 % DNA를 곱해준 값으로 실험과정 중 생길 수 있는 cell 파편 등이 tail 부분에 존재하면서 tail내 DNA로 오인되어 이미지 분석기 상에서의 tail moment 계산에 영향을 미쳐 정확한 결과를 내는데 방해할 가능성이 있다고 밝힌 바 있다.

방사선 조사 후 저온으로 저장했던 시료에 대해서 3개월이 지난 후 방사선에 의한 DNA 손상의 변화를 관찰한 결과, 모든 과일 씨에서 3개월이 지난 후에도 비 조사 시료와 조사 시료간의 tail length는 유의적인 차이를 보여주었다(Figs. 2~4). 키위 씨의 경우 3개월 동안 저장한 후에 방사선 선량이 증가할수록 DNA 손상이 유의적으로 증가하였으며(Fig. 2), 오렌지 씨와 배 씨의 경우도 키위 씨에서와 같이 3개월 간 저장한 후에도 방사선 선량이 증가할수록 tail length로 본 DNA 손상도가 유의적으로 증가하는 결과를 관찰할 수 있었다(Fig. 3, Fig. 4). 조사선량과 tail length간의 상관관계를 살펴본 결과, 키위 씨의 경우 상관관계수 $r=0.562(p < 0.01)$, 오렌지 씨 $r=0.697(p < 0.01)$, 배 씨 $r=0.515(p < 0.01)$ 로 3개월이 지난 후에도 방사선 조사선량이 tail length로 살펴본 DNA 손상도에 여전히 영향을 미치

는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 결과는 Koppen과 Cerda(9)가 렌즈 콩, 해바라기 씨, 대두, 참깨 등을 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 kGy의 선량으로 방사선 조사한 다음 1년 간 실온에서 저장한 뒤 분석한 결과에서 조사 시료가 비 조사 시료보다 DNA 손상이 유의적으로 증가했다고 보고한 결과와 일치한다.

각 시료의 저장 전후 tail length의 변화를 살펴보면 방사선 조사 여부에 관계없이 세 가지 과일 모두에서 저장 전에 비해 저장 후에 감소하는 것으로 나타났다(Figs. 2~4). 이 기전으로 저장기간 동안 방사선 조사 시료뿐만 아니라 비 조사 시료의 세포 내에서 DNA repair enzyme의 작용으로 손상된 DNA가 회복될 가능성을 생각해 볼 수 있다. 그러나 아직까지 과일의 저장에 따른 DNA 손상의 변화 또는 DNA repair enzyme의 활성을 살펴본 연구가 보고된 바 없다.

이상의 결과에서 방사선 조사된 키위, 오렌지, 배의 경우 이미지 분석기를 이용한 comet assay 분석 결과 1.0 kGy 이하의 저 선량으로도 과일 씨 부분의 세포내 DNA가 유의적으로 손상됨으로 인해 방사선 조사여부를 확인할 수 있었고, 선량의 증가에 따라 DNA 손상 정도가 비례적으로 증가함을 관찰할 수 있었다. 또한 과일을 방사선 조사한 후 저온에서 보관할 경우 DNA 손상정도가 조사 직후에 비해 감소하였지만, 여전히 비 조사 시료와 조사 시료간의 구별이 가능함은 물론 조사선량이 증가할수록 DNA 손상이 비례적으로 증가됨을 관찰하였다. 따라서 각 시료마다 comet assay를 위한 조건을 최적으로 한다면 대부분의 과일에서 방사선 조사 여부를 확인할 수 있을 것이며, 통제된 실험조건 하에서라면 대략적인 조사량까지도 추정할 수 있을 것이다. 아울러 본 연구결과, 원산지에서 살충, 또는 저장기간 연장의 목적으로 방사선 조사된 과일이 우리나라로 수입되기까지 수송을 위해 일정한 기간이 지날지라도 comet assay에 의해 방사선 조사여부를 효과적으로 검지할 수 있음을 확인하였다.

요 약

과일의 방사선 조사 여부 확인과 저장에 따른 변화를 측정하기 위해 감마선 조사로 유도된 DNA 손상을 comet assay로 확인하였다. 키위, 오렌지, 배를 구입하여 0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 1.0 kGy의 저 선량으로 조사하고 비 조사 시료와 조사 시료간의

Table 1. Tail moment¹⁾ of the comets from single cells of unirradiated and irradiated kiwi, orange and pear seeds analysed by the comet assay

Dose (kGy)	Kiwi		Orange		Pear	
	0	3 months	0	3 months	0	3 months
0	11.67±0.46 ²⁾	3.74±0.35 ^a	17.29±0.58 ^a	9.52±0.42 ^a	7.61±0.42 ^a	6.78±0.36 ^a
0.1	10.21±0.48 ^a	2.93±0.26 ^a	21.27±0.67 ^b	12.32±0.49 ^b	10.70±0.44 ^b	10.09±0.63 ^b
0.3	14.29±0.53 ^b	4.36±0.34 ^a	26.62±0.84 ^c	17.48±0.57 ^c	13.79±0.53 ^c	13.62±0.49 ^c
0.5	14.15±0.53 ^b	4.45±0.35 ^a	26.48±0.73 ^c	16.19±0.53 ^c	25.73±0.90 ^d	15.75±0.48 ^d
0.7	15.36±0.96 ^b	11.94±6.28 ^b	26.88±0.91 ^c	20.17±0.67 ^d	36.62±1.10 ^f	13.16±0.56 ^c
1.0	18.00±0.74 ^c	17.44±0.76 ^c	30.65±1.18 ^d	24.63±0.77 ^e	32.80±1.23 ^e	13.38±0.68 ^c

¹⁾Tail moment = tail length (μm) × % DNA in tail.

²⁾Mean ± standard error. Values with the same superscripts within column are not significantly different at $p < 0.05$ (one-way ANOVA and the least-significant-difference test).

DNA 손상정도를 tail length와 tail moment로 측정하였다. 과일 씨의 DNA를 형광 염색하여 이미지 분석기를 이용하여 comet 양상을 관찰한 결과, 모든 시료에서 비 조사 시료보다 조사 시료의 tail length가 더 길었으며 조사 선량이 증가할수록 tail length가 유의적으로 길게 나타났다. Tail moment로 나타난 결과도 이와 비슷하였으나 전체적으로 tail length에 비해 그 민감도가 낮았다. 방사선 조사한 과일을 저온에서 3개월 동안 저장한 후에도 저장 전과 마찬가지로 모든 시료에서 비 조사 시료보다 조사 시료의 tail length가 더 길었으며, 조사 선량이 증가할수록 tail length가 길게 나타나, 저장 후에도 comet assay를 이용해 조사 시료와 조사 시료의 방사선 조사여부를 검지할 수 있었다. 따라서 본 연구결과 comet assay는 신선한 과일과 일정기간 저장한 과일의 방사선 조사여부 판별에 유용하게 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2000년 과학기술부 원자력연구개발사업 중장기 연구과제의 위탁과제로 수행된 것으로 연구비 지원에 감사드립니다.

문헌

1. Yang JS. 1997. Detection of irradiated foods. *Food Sciences and Industry* 30: 121-130.
2. Farkas J. 1998. Irradiation as a method for decontaminating food. *Int J Food Microbiol* 44: 189-204.
3. WHO. 1981. Wholsomeness of Irradiated Food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series 651. Geneva, Switzerland.
4. 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.
5. Nam HS, Kim KE, Yang JS, Ly SY. 2000. Food majoring college students' knowledge and acceptance of irradiated food. *Korean J Dietary Culture* 15: 269-277.
6. Delincee H. 1998. Detection of irradiated food: DNA fragmentation in grapefruits. *Radiat Phys Chem* 52: 135-139.
7. Fairbairn DW, Olive PL, O'Neill KL. 1995. The comet assay: a comprehensive review. *Mutat Res* 339: 37-59.
8. Cerda H, Delincee H, Haine H, Rupp H. 1997. The DNA "Comet assay" as a rapid screening technique to control irradiated food. *Mutat Res* 375: 167-181.
9. Koppen G, Cerda H. 1997. Identification of low-dose irradiated seeds using the neutral comet assay. *Lebensm-Wiss u-Technol* 30 452-457.
10. Cerda H. 1998. Detection of irradiated fresh chicken, pork and fish using the DNA comet assay. *Lebensm-Wiss u-Technol* 31: 89-92.
11. Cerda H. 1998. Detection of irradiated frozen food with the DNA comet assay: Interlaboratory test. *J Sci Food Agric* 76: 435-442.
12. Kim CK, Yang JS, Lee HJ. 1999. Detection of irradiated grains using the DNA 'Comet assay'. *Korean J Food Sci Technol* 31: 906-911.
13. Oh KN, Park JY, Kim KE, Yang JS. 2000. Detection of irradiated fruits using the DNA comet assay. *Korean J Food Sci Technol* 32: 531-537.
14. Oh KN, Kim KE, Yang JS. 2000. Detection of irradiated beans using the DNA comet assay. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 843-848.
15. Park JY, Oh KN, Kim KE, Yang JS. 2000. Detection of irradiated beef and pork by DNA comet assay. *Korean J Food Sci Technol* 29: 1025-1029.
16. Delincee H. 1996. DNA 'Comet assay' for rapid detection of irradiated food. *Acta Aliment* 25: 319-321.

(2002년 3월 27일 접수; 2002년 7월 30일 채택)