

감마선 조사된 감자, 마늘, 생강에서 조사선량과 저장기간에 따른 DNA fragmentation의 변화

이혜진 · 박유경 · 양재승* · 강명희
한남대학교 식품영양학과, 한국원자력연구소 식품검지실*
(2004년 2월 4일 접수)

Changes of DNA Fragmentation by Irradiation Doses and Storage in Gamma-irradiated Potato, Garlic and Ginger

Hye Jin Lee, Yoo Kyoung Park*, Jae-Seung Yang**, and Myung-Hee Kang
Department of Food and Nutrition, Hannam University, Daejeon 306-791, Korea
Laboratory for Detection of Irradiated Foods, Korea Atomic Energy Research Institute, Daejeon 305-353, Korea**
(Received February 4, 2004)

Abstract

The changes in DNA damage were investigated during storage after irradiation. Potato, garlic were irradiated at 0.05, 0.07, 0.1 and 0.15 kGy and stored for 3 months. Ginger was irradiated at 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 and 0.05 kGy and stored for 1 month. The comet assay was applied to the sample immediately after irradiation and at the end of storage. Samples were isolated, grounded and the suspended cells were embedded in an agarose layer. After lysis of the cells, they were electrophoresed for 1 min. and then stained. DNA fragmentation in seeds caused by irradiation was quantified as tail length and tail moment (tail length \times % DNA in tail) by comet image analyzing system. Right after irradiation, the differences in tail length between unirradiated and irradiated samples were significant ($p < 0.05$) in potato, garlic and ginger. 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. Similarly in the stored samples, even 1 or 3 months after irradiation, all the irradiated samples 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 samples. Moreover, the method could detect DNA damage even after 1 or 3 months after irradiation.

Key Words : potato, garlic, ginger, irradiation detection, storage, comet assay, DNA damage

I. 서론

식품조사 (food irradiation)란 식품 또는 식품 재료를 본래의 상태에 가깝게 보존하거나 위생적 품

질을 개선할 목적으로 방사선 에너지를 식품에 일정기간 노출시켜 살균, 살충, 생장조절, 물성개선 등의 효과를 거두는 기술이다^{1,2)}. 식품의 방사선 조사는 WHO, FAO, IAEA와 같은 국제기구에서 안전

성을 인정받았으며 현재 40여 개국에서 허가되어 국제 교역에서 조사식품의 유통이 점차 증가하는 추세이다³⁻⁵⁾. 우리나라에서는 1987년에 최초로 감자, 양파, 마늘 등에 방사선 조사를 허용하였으며 이어 1995년에는 가공식품의 제조원료용 건조 채소류, 향신료, 건강식품에 사용되는 분말류 등에 대한 방사선 조사가 허용되기 시작했다⁶⁾.

방사선 조사식품의 상품화를 위해서는 국제수준에서의 공동노력이 요구되는데, 첫째, 방사선 조사식품의 안전성에 대한 연구, 둘째, 감마선 조사식품을 다루고 제조하기 위한 공정, 셋째, 방사선 조사식품의 검지방법의 개발 등이다⁷⁾. 식품의 방사선 조사는 식품의 저장기간을 높이는 장점이 있으나, 방사선이 처리된 식품은 방사선 에너지를 흡수하여 free radical을 다량 생성하게 되고⁸⁾, 이는 식품의 불포화 지방산과 반응하여 지질과산화물을 일으키므로 식품의 관능적인 품질을 저하시키고 식품의 항산화 영양소 함량에도 영향을 주게 된다⁹⁾. 나아가 식품의 방사선 조사는 생체막의 지질과산화 생성에 의한 세포파괴를 초래하여 악성종양을 유발시킬 수도 있으므로¹⁰⁾ 방사선 조사식품들에 대한 안전성 검토는 매우 중요하다고 볼 수 있다.

방사선 조사시에 조사 식품에 대한 변화들을 선택적으로 검지하기 위해 electron spin resonance¹¹⁾, thermoluminescence¹²⁾, GC-MS¹³⁾ 등이 사용되고 있고 독일 등 일부 유럽 국가에서는 방사선 조사식품의 수입 통제를 위해 독자적인 검지 방법과 방안을 마련하고 있다^{14,15)}. 방사선 조사 식품의 검지 기술 개발 연구는 1980년대 중반 이후 식품 조사기술의 산업화가 추진되고 방사선 조사식품의 교역이 예상되면서부터 세계 소비자연맹의 요구와 일부 EU 국가들에 의해서 본격적으로 시작되었으며^{3,16)}, 대부분의 선진국에서는 자국의 실정에 맞는 방사선 조사 식품 검지 기술을 개발하고 있다.

현재 우리나라는 중국, 미국 등 많은 나라로부터 농산물 시장 개방으로 인한 수입 품목과 그 수입량이 점차 증가하는 추세이고 국내에서도 일부 식품의 방사선 조사가 실용화되고 있음을 감안할 때, 소비자의 방사선 조사식품의 안전성 측면을 고려하여 조사식품에 대한 연구와 수입관리를 위한 방사선 조사 검지 방법과 기술의 확립은 시급히 추진되어야 한다.

방사선 조사 식품 검지와 관련하여 국내에 진행된 연구로, 현재까지 주로 물리적 방법이나 화학적 방법들이 연구되어 왔으나^{17,18)}, 최근 생물학적인 방법의 하나로 사용되기 시작한 comet assay는 DNA의 손상과 염기의 변화를 측정하는 방법으로서 방사선 조사로 인한 DNA 손상을 저렴한 장비를 통해 빠른 시간 내에 효과적으로 검지하는 것으로 알려져 있다¹⁹⁻²³⁾. 현재까지 comet assay 방법이 방사선 조사식품 검지에 도입된 이후로 국내외에서 방사선 조사된 곡류, 육류, 땅콩, 과일류, 콩류를 대상으로 조사선량을 확인하는 연구가 활발히 이루어지고 있다²⁴⁻²⁸⁾. 위 연구들 대부분의 시료에서 방사선 조사 여부를 판별할 수 있었으며, 조사선량의 증가에 따라 DNA 손상이 증가하는 연구 결과를 얻었다. 그러나 방사선 조사된 마늘과 생강, 감자를 대상으로 comet assay를 이용하여 DNA 손상 정도를 측정하고 일정 기간동안 저장한 후의 DNA 손상 정도의 변화를 살펴본 연구는 국내외적으로 아직까지 미흡하다.

따라서 본 연구는 우리의 식탁에서 가장 많이 사용되고 있는 감자와 마늘, 생강을 선정하여 일정량의 방사선을 조사한 후, 방사선 조사량에 따른 DNA 손상 정도를 comet assay를 통하여 검지할 수 있는지, 또 일정기간 저장한 후에도 감자와 마늘, 생강의 방사선 조사유무를 검지할 수 있는지 알아보고자하여 시도 되었다.

II. 재료 및 방법

1. 시료 및 시약

본 실험에 사용된 시료는 감자, 마늘, 생강으로 대전 광역시 농수산시장에서 국내산으로 구입하였다. 껍질을 제거하여 부드럽게 마쇄한 후 magnetic stirrer를 이용하여 300 rpm에서 5분 동안 균질화 하였다. 시료에 따라 0.01 ~ 0.15 kGy의 방사선을 조사한 후, 즉시 comet 분석을 수행하여 DNA 손상 정도를 측정하였고, 나머지는 저장기간별 방사선 조사 검지여부를 측정하기 위해 실온에서 생강은 1개월간, 마늘과 감자는 3개월간 저장한 뒤 comet assay를 실시하였다. 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.

2. 시료의 방사선 조사

시료의 방사선 조사는 한국원자력연구소의 ⁶⁰Co 감마선 조사 시설(AECL, Canada)을 이용하였다. 방사선 조사가 발아억제 목적으로 사용되는 감자, 마늘의 경우에는 각국의 허용 조사량이 0.15 kGy를 중심으로 최대 0.5 kGy 정도이기 때문에 본 연구에서도 유사한 조사량을 적용하였다²⁹⁾. 마늘과 감자는 0, 0.05, 0.07, 0.1, 0.15kGy의 선량으로, 생강은 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 kGy선량으로 시간당 일정한 선량이 조사 되도록 하였다.

3. Comet assay

Comet assay는 Cerda 등¹⁹⁾의 방법을 기초로 약간의 수정을 거쳐 실시하였다. 감자는 껍질 제거 후 강판에 갈아 4 g의 시료를 취하여 ice bath 상에 있는 작은 시약병에 넣었고, 마늘과 생강은 껍질을 제거한 후 세포에 손상을 주지 않을 정도로 부드럽게 마쇄하여 3 g의 시료를 취하였다. 여기에 PBS(phosphate buffered saline, pH 7.4) 완충액 10 mL을 넣고 magnetic stirrer로 500 rpm에서 10분 동안 혼합하였다. 이 현탁액을 200 m nylon sieve cloth로 여과시키고 냉장온도에서 10분 동안 방치하여 침전시킨 후 상층액을 취하여 100 m nylon sieve cloth로 재여과 시키고 1000 rpm에서 30초 동안 원심분리한 후에 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 μ L를 균일하게 도포 한 후 실온에서 30분간 건조시켰다. 이렇게 완성된 pre-coated agarose slide는 slide 상자에 보관하면서 실험에 사용하였다. 제조된 세포 현탁액의 상층액 100

μ L를 취하여 45°C로 유지된 0.8% low melting point agarose 1 mL와 혼합하였다. 혼합 용액 100 μ L를 취하여 앞서 준비한 pre-coated 슬라이드 위에 도포하고 공기방울이 생기지 않도록 빠른 속도로 cover glass slide(24×50 mm)를 덮어주었다. 이 슬라이드를 ice-bath 상에 놓아 세포 겔이 형성되도록 하였으며 이를 lysis buffer(2.5% SDS in 45 mM Tris-borate, 1 mM EDTA, pH 8.4)에 침지 시켜 세포의 핵막과 단백질을 용해시켰다. 각 시료의 단백 용해 시간은 마늘과 생강은 10분, 감자는 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 g/ml) 75 μ L로 염색하여 현미경으로 DNA comet을 관찰하였다.

4. 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 length(TL)와, tail length에 tail % DNA를 곱한 값인 tail moment(TM)로 나타내었다.

5. 통계처리

본 연구의 모든 실험결과는 윈도우용 SPSS (version 10.0)를 사용하여 각 시료별 및 조사선량별

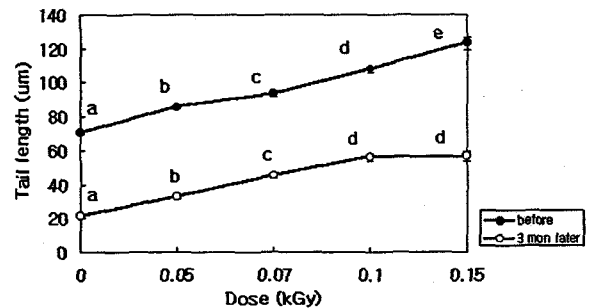
로 평균치와 표준오차를 구하였으며, 조사선량간 tail length, % DNA in tail 및 tail moment의 차이에 대한 유의성은 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 한 후, 사후 검증 방법으로 LSD test를 이용하여 검증하였다. Pearson's correlation coefficient를 사용하여 조사선량과 DNA 손상지표들간의 상관관계를 알아보았다.

III. 결과 및 고찰

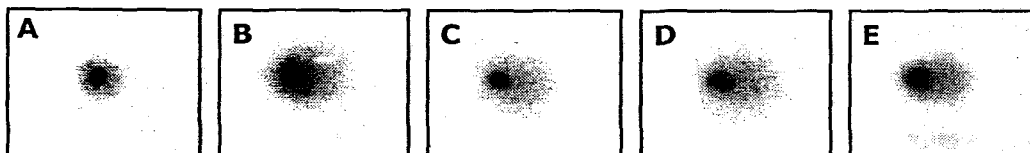
각 시료에 대해 감자와 마늘은 0, 0.05, 0.07, 0.1, 0.15 kGy, 생강은 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 kGy의 선량으로 방사선을 조사한 직후 실시한 comet assay의 결과를 살펴보면, 감자와 마늘, 생강 모두 비 조사 시료의 경우 원형 모양의 핵이 많이 관찰되었고 조사 시료는 대부분 핵이 손상된 것으로 나타나 비 조사 시료와 조사 시료간 DNA 손상정도의 차이는 뚜렷하게 구분되었다(Fig 1-3). 감자는 모든 선량에서 선량이 증가할수록 DNA 손상 정도가 증가하여 tail length(TL)가 유의적으로 차이가 날 수가 있었다(Fig 1, 4). 마늘의 경우 0.05 kGy와 0.07 kGy

조사시료간에는 유의적인 차이가 없었고, 조사전과 조사후 시료, 그리고 그외 선량에서는 선량이 증가함에 따라 TL이 유의적으로 증가하였다(Fig 2, 5). 생강은 선량이 0.04, 0.05 kGy로 증가하면서 DNA 손상 정도가 심해져 이미지 분석기로 관찰하는데 어려움이 있어 100개씩의 cell을 관찰할 수 없었으나 그 외 조사시료에서는 선량이 증가할수록 TL의 유의적인 증가를 나타내었다(Fig 3, 6).

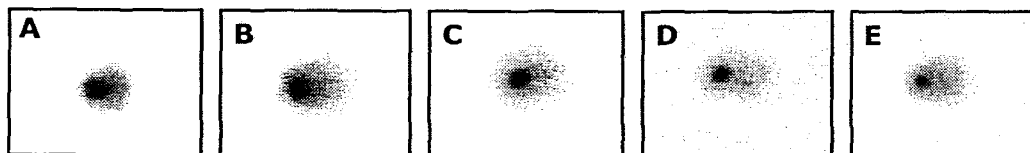
DNA 손상을 나타내는 다른 지표인 tail moment



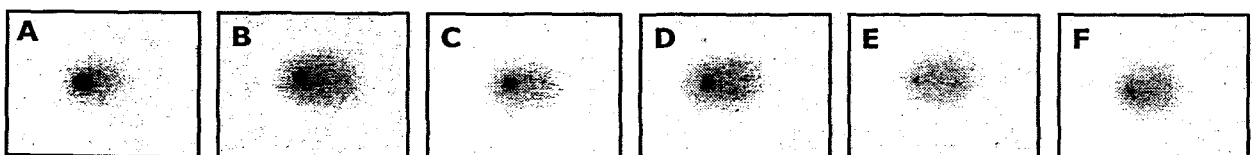
<Fig. 4> Radiation effect on DNA damage in Potato induced by gamma radiation at different doses from 0-0.15 kGy. Values are mean (●) and standard error (bars). Values with different superscript are significantly different at P<0.05



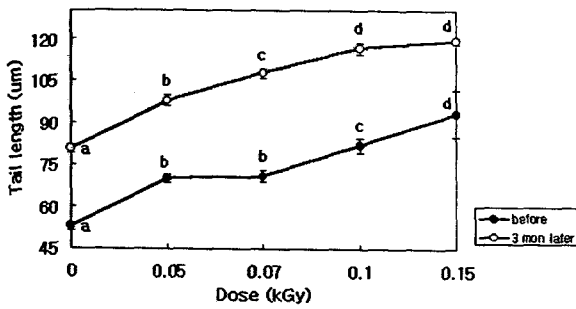
<Fig. 1> Representative DNA comets image from potato after ethidium bromide staining (Microscope objective X 200)
A: unirradiated, B: irradiated with 0.05 kGy, C: 0.07 kGy, D: 0.1 kGy, E: 0.15 kGy



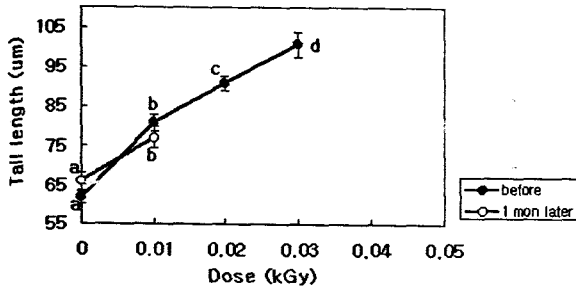
<Fig. 2> Representative DNA comets image from garlic after ethidium bromide staining (Microscope objective X 200)
A: unirradiated, B: irradiated with 0.05 kGy, C: 0.07 kGy, D: 0.1 kGy, E: 0.15 kGy



<Fig. 3> Representative DNA comets image from ginger after ethidium bromide staining (Microscope objective X 200)
A: unirradiated, B: irradiated with 0.01 kGy, C: 0.02 kGy, D: 0.03 kGy, E: 0.04 kGy, F: 0.05 kGy



<Fig. 5> Radiation effect on DNA damage in Garlic induced by gamma radiation at different doses from 0-0.15 kGy. Values are mean (●) and standard error (bars). Values with different superscript are significantly different at P<0.05



<Fig. 6> Radiation effect on DNA damage in Ginger induced by gamma radiation at different doses from 0-0.05 kGy. Values are mean (●) and standard error (bars). Values with different superscript are significantly different at P<0.05

(TM) 값을 보면, 각 시료에서 비 조사 시료에 비해 조사 시료의 TM 값이 유의적으로 높게 나타나 TL 과 비슷한 양상을 보여주었지만, 전체적으로 방사선 조사량에 따른 DNA 손상정도가 불규칙하게 나타나 DNA 손상을 반영하는 민감도가 TL 보다 낮음을 알 수 있었다(Table 1). 이와 같은 결과는 Koppen과 Cerda³⁰⁾의 보고 내용, 즉 TL 값은 손상된 DNA가 핵 체로부터 빠져 나와 이동한 거리만을 재는 값인 반면 TM 값은 TL에 tail내 % DNA를 곱해준 값으로 실험과정 중 생길 수 있는 cell 파편 등이 tail 부분에 존재하면서 tail내 DNA로 오인되어 이미지 분석기 상에서의 TM 계산에 영향을 미쳐 정확한 결과를 내는데 방해할 가능성이 있다고 밝힌 바와 같았다.

방사선 조사 후 실온에 저장했던 시료에 대해 방사선에 의한 DNA 손상의 변화를 TL 값으로 관찰한 결과, 생강과 마늘 모두에서 저장 후에도 비 조사 시료와 조사 시료간 DNA 손상 정도는 유의적인 차이를 보여주었다(Fig. 4-6). 감자는 3개월이 지난 후에 저장 전보다 DNA 손상정도가 감소하였으나, 비조사 시료와 조사 시료간의 tail length(µm)가 유의적인 차이를 보였으며, 조사 선량이 증가함에 따라 0.1 kGy와 0.15 kGy를 제외한 나머지 선량에서 tail length(µm)가 유의적으로 증가하였다(Fig 4). 마늘의 경우 3개월이 지난 후 두 시료 모두 비조사와

<Table 1> DNA damage assessed as tail length, tail moment from single cells of unirradiated and irradiated garlic and ginger analysed by the comet assay

	Dose (kGy)	Potato	Garlic	Dose (kGy)	Ginger
Tail length(µm)	0	70.7±1.4 ^a	52.9±1.2 ^a	0	61.8±1.5 ^a
	0.05	85.7±1.6 ^b	69.9±1.5 ^b	0.01	80.8±2.0 ^b
	0.07	93.6±1.8 ^c	70.9±2.0 ^c	0.02	90.8±1.8 ^c
	0.1	108.0±1.6 ^d	81.8±2.6 ^d	0.03	100.5±3.2 ^d
	0.15	123.3±3.8 ^e	93.1±8.5 ^d	0.04	N.D.*
				0.05	N.D.
Tail moment	0	24.7±1.3 ^a	22.9±1.0 ^a	0	27.3±1.3 ^a
	0.05	33.2±1.6 ^b	29.1±1.4 ^b	0.01	50.3±2.3 ^b
	0.07	26.4±1.3 ^a	32.9±1.6 ^b	0.02	49.0±1.8 ^b
	0.1	29.2±1.5 ^a	46.3±2.2 ^c	0.03	59.5±4.8 ^c
	0.15	32.5±1.5 ^b	47.0±4.7 ^d	0.04	N.D.*
				0.05	N.D.

*) 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)

N.D. : non-detectable

<Table 2> DNA damage assessed as tail length, tail moment from garlic and ginger after storage

	Dose (kGy)	Potato(3month)	Garlic(3month)	Dose (kGy)	Ginger(1month)
Tail length(μ m)	0	67.0 \pm 1.5 ^a	80.5 \pm 1.4 ^a	0	66.0 \pm 2.4 ^a
	0.05	75.3 \pm 1.7 ^b	97.9 \pm 1.9 ^b	0.01	77.0 \pm 2.8 ^b
	0.07	93.4 \pm 1.3 ^c	107.5 \pm 1.5 ^b	0.02	N.D.*
	0.1	106.8 \pm 1.1 ^d	116.4 \pm 2.2 ^c	0.03	N.D.
	0.15	111.2 \pm 1.9 ^d	119.1 \pm 2.6 ^d	0.04	N.D.
				0.05	N.D.
Tail moment	0	21.4 \pm 1.2 ^a	41.3 \pm 1.4 ^a	0	24.3 \pm 2.1 ^a
	0.05	33.2 \pm 1.4 ^b	49.0 \pm 1.7 ^b	0.01	30.7 \pm 2.3 ^b
	0.07	45.3 \pm 1.6 ^c	56.4 \pm 1.8 ^c	0.02	N.D.*
	0.1	56.0 \pm 2.3 ^d	67.1 \pm 2.6 ^c	0.03	N.D.
	0.15	56.6 \pm 2.9 ^d	62.0 \pm 3.3 ^c	0.04	N.D.
				0.05	N.D.

1) Mean \pm 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)

* N.D. : non-detectable

조사 시료 간에 유의적 차이가 있었으며 0.1 kGy와 0.15 kGy를 제외한 나머지 선량에서 선량이 증가할 수록 DNA 손상이 유의적으로 증가하였다(Fig 5). 1개월 저장한 생강의 경우 비조사시료와 조사시료간의 TL은 유의적인 차이를 보여주었으며 0.01 kGy 이상의 선량에서는 DNA의 손상이 너무 심하여 이미지 분석기로 측정할 수 없었다(Fig 6). 즉 본 실험에서 사용한 감자와 마늘, 생강 모두 방사선 조사한 후 실은 저장한 경우에도 조직의 DNA 손상의 차이가 나타났으며 이로써 방사선 조사여부를 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과는 DNA 손상의 다른 지표인 TM에서도 비슷한 양상을 보였다(Table 2). 또한 본 연구에서는 comet assay를 수행할 경우에도 ethidium bromide 염색과 형광현미경, 이미지 분석기를 이용하여 이전의 육안에 의존하던 방법보다 좀 더 빠르고 정확하게 결과를 분석할 수 있었다.

한편, 각 시료별로 저장 전과 저장 후의 TL 값의 변화를 살펴보면 감자와 마늘, 생강 모두에서 저장 전에 비해 저장 후에 감소하는 것으로 나타났다(Table 1-2). 이러한 현상이 나타나는 원인으로는 저장기간 동안 방사선 조사 시료뿐만 아니라 비 조사 시료의 세포 내에서도 DNA repair enzyme의 작용으로 손상된 DNA가 회복되었을 가능성을 생각해 볼 수 있다. Kim 등²⁷⁾의 선행연구에서도 방사선 조사 과일을 조사 후 3개월 간 4°C에서 저온 저장한 후 DNA 손상의 변화를 살펴보았는데, 키위, 오

렌지, 배 등 과일에서 3개월의 저장기간 후의 DNA 손상이 저장 전에 비해 감소하는 현상을 보였다. 이의 정확한 기전을 밝히기 위해서는 앞으로 저장기간에 따른 DNA 손상의 변화와 함께 DNA repair enzyme의 활성변화 등을 살펴보는 연구들이 더 수행되어야 하리라고 본다.

이상의 결과에서 comet assay를 이용해 DNA 손상정도를 관찰해 본 결과, 마늘, 생강 및 감자 시료의 경우, 방사선 조사이후 DNA 손상정도가 유의하게 증가되어 방사선 조사여부를 image analyzer 뿐만 아니라 현미경상 육안으로도 확인할 수 있었고 선량의 증가에 따라 DNA 손상 정도가 대부분 비례적으로 증가함을 관찰할 수 있었다. 뿐만 아니라 마늘과 생강을 일정 선량으로 방사선 조사한 후 일정기간 동안 실은 보관할 경우에도 comet assay에 의해 저장 시료의 방사선 조사 여부를 검지할 수 있었다. 또한, DNA 손상을 측정하기 위한 comet assay 분석지표 중 방사선 조사에 의한 DNA 손상을 측정하기 위해서는 TM 보다는 TL이 더 민감함을 알 수 있었다. 따라서 수입 감자, 마늘과 생강에 대해 살충, 저장기간연장의 목적으로 방사선이 조사되었을 경우 뿐만 아니라, 방사선이 조사된 후 상당기간 저장되었을 경우에도 각 시료마다 comet assay를 위한 조건을 설정한 후 조건에 따라 comet assay 분석법에 따른 실험을 한다면 대부분의 수입 감자와 마늘, 그리고 생강에서의 방사선 조사 유무를 확인

할 수 있을 것으로 사료된다.

현재 우리나라의 검역체계에서는 방사선 조사 식품의 검지기술이 확립되지 않고 있으나 빠른 시일 내에 우리나라도 수입되는 방사선 조사식품의 엄격한 통관체제가 적용되어야 할 것이다. 이를 위해서는 국제 수준의 방사선 조사기준에 맞춘 국내 방사선 조사 식품에 대한 포괄적인 조사기준이 마련되어야 하며, 또한 국내 소비자들의 방사선 조사에 대한 잘못된 인식에 대하여 소비자들이 신뢰할 수 있는 연구도 활발히 이루어져야 할 것이다.

IV. 요약 및 결론

채소류의 방사선 조사 여부 확인과 저장에 따른 변화를 측정하기 위해 마늘과 생강, 감자를 시료로 하여 방사선 조사로 유도된 DNA 손상을 comet assay로 확인하였다. 감자와 마늘, 생강을 구입하여 감자와 마늘은 0, 0.05, 0.07, 0.1, 0.15 kGy, 생강은 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 kGy 선량으로 조사하고 비 조사 시료와 조사 시료간의 DNA 손상 정도를 tail length와 tail moment로 측정하였다. 모든 시료의 DNA를 형광 염색 후 이미지 분석기를 이용하여 comet 양상을 관찰한 결과, 모든 시료에서 비 조사 시료보다 조사 시료의 tail length 값이 더 높았으며 조사 선량이 증가할수록 tail length가 유의적으로 증가하였다. DNA 손상 정도를 tail moment로 나타낸 결과도 이와 비슷하였으나 전체적으로 tail length에 비해 그 민감도는 낮았다. 방사선을 조사한 감자와 마늘, 생강을 일정 기간동안 실온에서 저장한 후에도 저장 전과 마찬가지로 모든 시료에서 비 조사 시료보다 조사 시료의 tail length 값이 더 높았으며, 조사 선량이 증가할수록 tail length가 증가하는 것으로 나타나, 저장 후에도 마늘과 생강의 방사선 조사 여부를 comet assay를 이용하여 검지 할 수 있었다. 본 연구결과 comet assay는 채소류의 방사선 조사 후와 일정기간 저장한 후에도 방사선 조사 여부의 판별에 유용하게 이용될 수 있음을 알 수 있었다. 또한 DNA 손상을 측정하기 위한 comet assay 분석지표 중 방사선 조사에 의한 DNA 손상을 측정하기 위해서는 tail moment 보다 tail length가 더 민감함을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 2002년 과학기술부 원자력연구개발사업 중장기 연구과제의 위탁과제로 수행된 것으로 연구비 지원에 감사 드립니다.

■참고문헌

- 1) Farkas J. Irradiation as a method for decontaminating food. *Int. J. Food Microbiol.* 44: 189-204, 1998.
- 2) WHO. WHO/FAO: Food irradiation: A technique for preserving and improving the safety of food. Geneva. 1998.
- 3) Yang JS. Detection of irradiated foods. *Food Sciences and Industry.* 30(2): 121-130, 1997.
- 4) WHO. Wholesomeness of Irradiated Food. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series. 651. Geneva, Switzerland. 1981.
- 5) Loaharanu P. Food irradiation: current status and future prospects. In *New Methods of Food Preservation* Gould, G.W. (ed.). Blackie Academic & Professional. Glasgow. pp 90-111, 1995.
- 6) Park JY, Oh KN, Kim KE, Yang JS. Detection of irradiated beef and pork by DNA comet assay. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29(6): 1025-1029, 2000.
- 7) Nam HS, Kim KE, Yang JS, Ly SY. Food majoring college students' knowledge and acceptance of irradiated food. *Korean J. Dietary Culture.* 15(4): 269-277, 2000.
- 8) Lee CH. Acceptance and trading on irradiated foods. *Korea university Press.* 1998.
- 9) Jang HH, Kang MH, Yang JS, Ly SY. Plasma, tissue thiobarbituric acid reactive substance and lymphocyte oxidative DNA damage in mouse fed gamma irradiated diet. *Korean J Nutr.* 36(3): 255-261, 2003.
- 10) Tappel AL. Lipid peroxidation damage to cell to cell components. *Fed Proc.* 32: 1870-1874, 1972.
- 11) Desrosiers MF, McLaughlin WL. Examination of gamma-irradiated fruits and vegetables by electron

- spin resonance spectroscopy. *Radiat Phys Chem* 34: 895-898, 1989.
- 12) Mamoon A, Abdul-Fattah AA, Abulfaraj WH. Thermoluminescence of irradiated herbs and spices. *Radiat Phys Chem* 44: 203-206, 1994.
 - 13) Stevenson MH, Crone AWJ, Hamilton JTG, McMurray CH. The use of 2-dodecylcyclobutanone for the identification of irradiated chicken meat and eggs. *Radiat Phys Chem* 42: 363-366, 1993.
 - 14) Schreiber GA, Hoffman A, Helle N, Bogl KW. Methods for routine control of irradiated food: Determination of the irradiation status of shellfish by TL analysis. *Radiat Phys Chem* 43: 533-544, 1994.
 - 15) Pinnioja S, Autio T, Niemi E, Pensala O. Import control of irradiated foods by thermoluminescence method. *Paper presented at 9th IIRP, Istanbul, Turkey* 11-16 Sept, 1994.
 - 16) Yang JS. Methods for identification of irradiated foods. *J. Fd Jyg Safety* 12(2): 160-174, 1997.
 - 17) Hwang KT, Park JY, Kim CK. Application of hydrocarbons as markers for detecting post-irradiation of imported meats and fish. *J Korean Soc Food Sci. Nutr.* 26(6): 1109-1151, 1997.
 - 18) Lee EY, Jung JY, Jo DJ, Kwon JH. Detection characteristics of TL, ESR and DNA comet for irradiated peanuts by origins. *J Korean Soc Food Sci. Nutr.* 30(6): 1076-1081, 2001.
 - 19) Cerda H. Detection of irradiated fresh chicken, pork and fish using the DNA comet assay *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 31: 89-92, 1998.
 - 20) Fairbairn DW, Olive PL, O'Neill KL. The comet assay: a comprehensive review. *Mutat. Res.* 339: 37-59, 1995.
 - 21) Cerda H, Delincee H, Haine H, Rupp H. The DNA "Comet assay" as a rapid screening technique to control irradiated food. *Mutat. Res.* 375: 167-181, 1997.
 - 22) Delincee H. DNA 'Comet assay' for rapid detection of irradiated food. *Acta. Aliment.* 25: 319-321, 1996.
 - 23) Cerda H. Detection of irradiated frozen food with the DNA comet assay: Interlaboratory test. *J. Sci. Food. Agric.* 76: 435-442, 1998.
 - 24) Kim CK, Yang JS, Lee HJ. Detection of irradiated grains using the DNA 'Comet assay'. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31(4): 906-911, 1999.
 - 25) Oh KN, Park JY, Kim KE, Yang JS. Detection of irradiated fruits using the DNA comet assay. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32(3): 531-537, 2000.
 - 26) Oh KN, Kim KE, Yang JS. Detection of irradiated beans using the DNA comet assay. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 29(5): 843-848, 2000.
 - 27) Kim SM, Park EJ, Yang JS, Kang MH. Chang of DNA fragmentation by irradiation doses and storage in gamma-irradiated fruits. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 31(4): 594-598, 2002.
 - 28) Jeong SK, Park JI, Ji ST, Park KU, Kim HH, Hyun CK, Shin HK. Discrimination of irradiated beef using comet assay. *Korean J. Food Sci. Technol.* 32(4): 747-754, 2000.
 - 29) IAEA. Supplement to food irradiation newsletter. 19, 1995.
 - 30) Koppen G, Cerda H. Identification of low-dose irradiated seeds using the neutral comet assay. *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* 30: 452-457, 1997.