J East Asian Soc Dietary Life
15(4): 431~436 (2005)

고선량 방사선 조사 분말 죽의 3개월 독성 평가

한삭명[1] · 이주운[2] · 변명우[2] · 강일준[1†]

[1]한림대학교 식품영양학과 · 한국영양연구소, [2]한국원자력연구소 정읍분소 방사선연구원

Toxicity Evaluation of High-Dose Irradiated Porridge Powder for Three Months

Sag-Myung Han[1], Ju-Woon Lee[2], Myung-Woo Byun[2] and Il-Jun Kang[1†]

[1]Dept. of Food and Nutrition & The Korean Institute of Nutrition, Hallym University, Chuncheon 200-702, Korea
[2]Division of Radiation Application Research, Advanced Radiation Technology Institute, Jeongeup 580-185, Korea

Abstract

In order to evaluate their possible subacute toxicity, the male and female of SD rats were given to 30 kGy irradiated porridge for three months. During the experimental periods, appearance, behavior, mortality, food and water consumption of rats fed the 30 kGy porridge were not affected compared with the non-irradiated control. In urine analysis, hematological as well as in serum biochemical findings, no significant differences were found between the non-irradiate control and 30 kGy porridge group. Although minor changes in biochemical parameters were observed, they were in the normal ranges. These results indicate that porridge irradiated at 30 kGy did not show any toxic effects under these experimental conditions.

Key words : Gamma irradiation, porridge, subacute toxicity.

서 론

1980년 FAO/IAEA/WHO의 조사 식품의 건전성에 관한 합동전문가위원회(Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food, FECFI)에서는 그동안의 연구 결과를 바탕으로 10 kGy 이하로 감마선 조사된 식품은 어떠한 독성학적, 미생물학적 문제도 없다고 결론지었다(WHO 1981, CAST 1986, WHO 1992). 이에 따라 WTO 체제하에서의 국제 무역에 있어 통과 기준이 되는 국제 식품규격위원회(Codex) 법안에는 모든 식품류의 방사선 조사를 승인하고 있다(FAO 1984).

한편, 유엔기구 주최로 열린 제15차 식품조사기술 국제자문단회의(ICGFI)에서는 조사 식품에 대한 선량 제한 철폐를 제안하였고 KODEX에 대해서도 식품에 대한 고선량 방사선 조사 허용을 권고하였다. 즉, 식품의 위생화를 위해 이미 설정된 10 kGy 이하의 조사선량이 미흡하다는 기술적 문제점이 많이 보고되고 있으며, 이에 따라 완전 살균과 장기 저장을 위해서는 10 kGy 이상의 고선량 조사가 필요하다고 알려져 있다(Roberts & Unneverhr 1994). 예를 들면 향신료의 경우, 프랑스는 11 kGy의 방사선 조사를, 미국과 아르헨티나는 최고 30 kGy의 조사를 허가하고 있다. 특히 면역 결핍 환자들을 위한 완전 멸균식을 위해 네덜란드 당국은 이미 75 kGy의 고선량 방사선 조사를 허가하고 있으며, 영국을 비롯한 여러 나라에서도 방사선 멸균 병원식(hospital diets)을 위해 선량 제한을 두고 있지 않는 실정이다(WHO 1999). 나아가 최근 선진국들은 고품질 장기보존 편의식품(high-quality shelfstable convenience foods) 및 즉석식품(ready-to-eat/ready-to-cook food)의 개발에 고선량의 방사선 조사를 이용하고 있으며, 이들 식품은 일반인뿐만 아니라 우주 비행사, 군인, 장기 캠핑인들을 위해서도 개발이 진행되고 있다. 남아프리카의 경우, shelf-stable meat product의 마케팅에 최소 45 kGy의 방사선 조사를 허가하고 있다(Kang *et al* 2005).

이와 같이 다용도의 고선량 방사선 조사 식품이 이미 개발되었거나 개발 중에 있어, 소비자를 위한 품질 보증 방안으로 다양한 형태의 안전성 연구가 선행되어야 하며, 나아가 고 선량 조사에 대비한 품질 변화 등에 대한 연구도 필요한 실정이다. 방사선 조사는 저장 중에 발생할 수 있는 여러 가지 문제점을 개선할 수 있지만 조사 식품의 안전성에 대한 소비자들의 부정적인 선입견이 여전히 남아 있기 때문에(Bruhn 1995, ICGFI 1994), 이를 해결하기 위한 꾸준한 노력도 필요하다.

따라서 본 연구에서는 분말죽 제품의 위생화와 물리적 특성 개선(Yook *et al* 2004)을 위하여 감마선 조사 기술의 이용 가능성이 높아짐에 따라 이들의 안전성을 검토할 목적으로 30 kGy의 고선량 감마선 조사 쇠고기 분말죽을 대상으로 3

† **Corresponding author** : Il-Jun Kang, Tel : +82-33-248-2135, Fax : +82-33-255-4787, E-mail : ijkang@hallym.ac.kr

개월간 독성 평가를 수행하였다.

재료 및 방법

1. 시료 및 방사선 조사

본 실험에 사용한 건조 분말죽은 판매 중인 쇠고기 죽 제품을 시중에서 구입하여 사용하였으며, 영양 성분은 단백질 7 g/100 g, 지방 5 g/100 g, 탄수화물 79 g/100 g, 나트륨 1,910 mg/100 g(390 kcal/100 g)이었다.

구입한 건조 분말 죽은 한국원자력연구소의 Co-60 감마선 조사 시설(IR-79, Nordion International Ltd., Ontario, Canada, 100 kiloCurie activity)을 이용하여 실온(12±1℃)에서 분당 70 Gy의 선량율로 총 30 kGy의 흡수선량을 얻도록 고선량 조사하였다. 흡수선량의 확인은 Fricke dosimetry(ceric/cerous dosimeter)를 사용하였으며(Holm, 1970), 이때 흡수선량의 오차는 ±0.2 kGy이었다. 감마선 조사한 건조 분말죽은 비조사 대조 시료와 함께 실온에 저장하면서 3개월간 독성 시험을 실시하였다.

2. 실험 동물

대한실험동물에서 분양 받은 암수 각각 4 주령의 SPF (specific pathogen free) SD계 랫트 암수를 사용하였으며 동물 입수 후 약 1주일간의 순화 기간을 거쳐 건강한 동물만을 실험에 사용하였다. 실험 동물은 온도 25±1℃, 습도 55±5%, 조도 300~500 Lux로 12시간 자동 점 · 소등 장치가 설치되어 있으며, 여과된 공기가 양압으로 공급되는 무균 동물 사육 시설에서 사육하였다. 동물은 순화 및 시험 기간 중(3개월)에 polycarbonate cage에 5 마리씩 넣어 사육하였으며, 이 기간 동안 물은 수돗물을 자유로이 공급하였고, 순화 기간 중에는 삼양사의 분말 사료를 제공하였다.

3. 시험군의 구성 및 시험 물질의 투여

순화 기간 중에 건강하다고 판단된 동물의 체중을 측정하여 평균 체중에 가까운 개체들이 골고루 들어가도록 무작위법으로 군을 분리하였으며, 군 분리는 각 군당 10 마리로 하고 암수 각각 2개의 시험군으로 나누었다. 즉, 시험군은 쇠고기 분말 죽 30 kGy 고선량 투여군 및 비조사 투여군으로 구성하였다. 사료는 각각의 필수 영양소들을 AIN-76 규격에 맞게 혼합하였으나 분말 쇠고기죽의 영양소를 기준으로 casein 20%, corn starch 58%, sucrose 8%, soybean oil 4.2% 대신에 분말 쇠고기 죽 77%, casein 13%로 식이를 조정하여 3개월간 분말로 공급하였다. 그 밖의 규격은 동일하게 AIN-76 mineral mixture 3.5%, AIN-76 vitamin mixture 1%, DL-methionine 0.3%, alpha-cellulose 5.0%로 하였다.

4. 검사 항목 및 시험 방법

감마선 조사 분말 죽의 독성 시험은 국립보건안전연구원 고시 제 94-3호「의약품 등의 독성시험기준」및 국립보건안전연구원 발행「독성시험 표준작업 지침서」의 일반 독성시험법(NISR/SOP/GTX)을 참조하였다(국립보건안전연구원 2003).

1) 일반 상태 관찰

투여 기간 중 매일 1회 이상 생사의 확인과 일반 상태의 유무를 관찰하고, 이상이 인정되는 경우에는 행동 이상의 상태와 폐사 등의 임상 증상을 관찰하였다. 폐사시에는 부검을 실시하여 사망 원인을 검사하도록 하였다.

2) 체중, 사료 섭취량 및 음수 섭취량 측정

모든 동물에 대하여 투여 개시 직전에 1회, 투여 개시 후 매주 2회씩, 그리고 부검시 각각 체중을 측정하였다. 또한 매주 2회 사육 케이지 별로 1일간의 사료 섭취량 및 음수 섭취량을 측정하였다.

3) 뇨 검사

치사 3일 전 대사 cage에서 뇨를 채취하여 Uropaper(Eiken Chem Co, Japan)를 이용하여 뇨당, 뇨단백, 수소이온농도 및 잠혈(occult blood)을 측정하였다.

4) 혈액학적 검사 및 혈청 생화학적 검사

최종일 투여후 ether 마취하에 후대정맥(Posterior vena cava)으로부터 채혈하였다. 혈액학적 검사는 혈액을 CBC bottle에 넣은 후 4시간 이내 적혈구수(RBC), 백혈구수(WBC), 혈소판수(PLT)를 coulter counter를 이용해 측정하였다. 혈청 생화학 검사는 채취한 혈액의 일부를 실온에 15분 정도 방치하여 응고시키고, 원심분리(3,000 rpm, 15 min)하여 얻은 혈청에 대하여 alanine transaminase(ALT), aspartate transaminase (AST), 총 단백(total proteine), 당(glucose), 총 콜레스테롤(total cholesterol), 중성지방(triglyceride), 총 빌리루빈(total bilirubin), blood urea nitrogen(BUN), lactate dehydrogenase (LDH), 알부민, 요산(uric acid) 및 Ca 등을 자동 혈청 생화학 분석기(Spotchem 4710)를 사용하여 측정하였다.

5) 병리조직학적 검사

방혈 치사 후 모든 동물에 대해 내부 장기의 형태, 크기, 색조, 경도 및 기타 병변 등의 육안적 소견을 관찰 기록하였으며, 모든 장기를 10% 중성 포르말린 액에 고정하였다. 조직학적 검사는 2주간 이상의 충분한 고정을 거친 폐, 간, 신장 등의 장기를 파라핀 포매기에 포매하여 microtome으로 4~5 μm 절편으로 만든 후, hematoxylin & eosin 염색을 하여 250배율로 관찰하였다.

5. 통계분석

대조군과 고선량 감마선 조사된 시료에서 얻은 실험 자료로부터 ANOVA를 구한 후 Duncan's multiple range test를 이용하여 통계 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 체중변화, 사료 섭취량 및 장기 무게

실험 동물에 있어서 고선량 조사 쇠고기 분말 죽을 3개월간 투여하는 동안 육안적으로 별다른 이상이 없었으며, 전 시험군에서 폐사동물은 발생하지 않았다. 각 군의 체중 변화를 살펴본 결과, 고선량 조사 쇠고기 죽을 3개월간 투여한 모든 동물에서 대조군에 비해 체중 증가율의 유의성 있는 변화는 관찰되지 않았다(Table 1). 즉, 초기 대조군 암수의 체중은 각각 111.3 g 및 133.7 g, 30 kGy 투여군은 각각 110.8 g 및 134.2 g이었으며, 3개월후 체중은 대조군의 경우 암수 각각 285.9 g 및 368.6 g, 30 kGy 투여군은 각각 292.6 g 및 364.6 g 으로 유의성 있는 차이가 없었다. 또한 식이 소비량 및 식이 효율(Food Efficiency Ratio; FER)의 변화를 조사한 결과에서도 대조군에 비해 유의성 있는 변화는 관찰되지 않았다. 이때 증체 효과는 1일의 평균 체중 증가량이며, 식이 소비량은 1일 평균 식이섭취량, 그리고 FER은 체중 증가량(g)을 식이 섭취량(g)으로 나눈 평균치로 나타내었다(Table 1).

고선량 조사 쇠고기 죽(30 kGy)의 투여가 실험동물의 주요 장기 무게에 미치는 영향을 조사한 결과, 일관성 있는 변화는 관찰되지 않았으며 방사선 조사에 의한 변화가 통계적 유의성을 나타내지 않았다(Table 2).

2. 혈액학적 검사 및 혈청 생화학적 검사

고선량 조사 쇠고기 분말죽(30 kGy)을 투여한 자성 및 웅성

Table 1. Effects of 30 kGy-irradiated beef porridge on body weight, food consumption and food efficiency ratio of rats

Groups	Body weight gain (g/day)		Food consumption (g/day)		Food efficiency ratio (%)	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Control	2.61±0.32$^{NS.1)}$	1.94±0.28$^{NS.}$	18.77±2.54$^{NS.}$	17.14±2.12$^{NS.}$	0.14±0.02$^{NS.}$	0.11±0.02$^{NS.}$
30 kGy	2.56±0.38	2.02±0.33	18.65±2.42	17.32±1.84	0.14±0.02	0.12±0.03

[1] Mean±SD., $^{NS.}$: Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test(column).

Table 2. Effects of 30 kGy-irradiated beef porridge on the weight of liver, kidney and spleen in rats

Group	Liver (g, wet wt)		Kidney (g, wet wt)		Spleen (g, wet wt)	
	Male	Female	Male	Female	Male	Female
Control	15.76±1.47$^{NS.1)}$	9.26±0.79$^{NS.}$	1.53±0.14$^{NS.}$	0.86±0.09$^{NS.}$	0.82±0.07$^{NS.}$	0.61±0.07$^{NS.}$
30 kGy	15.12±2.36	8.97±1.34	1.48±0.19	0.87±0.07	0.85±0.11	0.58±0.09

1) Mean±SD., $^{NS.}$: Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test(column).

Table 3. Heamatological values in the male and female rats treated orally with 30 kGy-irradiated beef porridge for 3 months

Sex	Dose	WBC[1)]	RBC[1)]	Platelet
		10^9/L	10^{12}/L	10^9/L
Male	Control	12.5±2.3$^{NS.2)}$	8.2±0.4$^{NS.}$	1037.5±45.8$^{NS.}$
	30 KGy	11.3±3.5	8.3±0.2	1042.2±46.9
Female	Control	7.7±2.4$^{NS.}$	7.6±0.4$^{NS.}$	982.6±38.2$^{NS.}$
	30 KGy	7.8±1.8	7.4±0.3	979.4±29.6

[1] WBC: white blood corpuscles, RBC: red blood corpuscles.
[2] Mean±SD., $^{NS.}$: Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test(column).

랫트의 혈액학적 검사를 수행한 결과(Table 3), 백혈구수의 경우 혈액 1 L당 자성 11~13×10^9 수준, 웅성 7~8×10^9의 수준으로 자성, 웅성 랫트 모두 고선량 조사 쇠고기 분말 죽의 투여에 의해 유의적인 변화를 나타내지 않았다. 적혈구수에 있어서도 암수 랫트 모두 혈액 1 L당 7~8×10^{12}의 수준으로 조사 쇠고기 죽의 투여에 의한 영향은 없었다. 혈소판수는 혈액 1 L당 약 900~1,000×10^9의 수준으로 앞선 백혈구 및 적혈구수와 마찬가지로 자성, 웅성 랫트 모두 방사선 조사 쇠고기 죽의 투여에 의한 유의적인 변화를 나타내지 않았다. 따라서 고선량 조사 쇠고기 죽의 투여는 혈액학적인 측면에서 문제를 야기하지 않음을 관찰할 수 있었다.

Table 4에는 고선량 조사 쇠고기 죽을 투여한 랫트의 혈청생화학적 검사 결과를 나타내었다. 자성 및 웅성 랫트의 혈당치(Glu), blood urea nitogen(BUN), total cholesterol(T-cho), total bilirubin(T-Bil), total protein(T-Pro)은 대조군과 비교해 30 kGy 조사 쇠고기 죽 투여군은 차이를 나타내지 않았으며, 그 밖에 AST(aspartate transaminase), ALT(alanine transaminase), TG(total glyceride), LDH(lactate dehydrogenase), Ca, Alb(albumin), UA(uric acid)도 모든 시험군에서 정상 범위를 나타내었다(Table 4).

3. 뇨검사

고선량 조사 쇠고기 죽(30 kGy)을 투여한 랫트의 뇨를 치사 3일 전에 채취하여 뇨당, 뇨단백, 수소이온 농도 및 잠혈(occult blood)을 측정한 결과는 Table 5와 같다. 시험 결과 방사선 조사에 따라 초래되는 특이한 변화는 관찰할 수 없었다. 즉, 뇨당의 경우 모든 시험군에서 음성을 나타냈으며, 뇨단백의 경우도 30 mg/dL 이상을 나타내는 시험동물은 관찰되지 않았다. 또한 뇨의 pH도 대부분 7~8 범위의 정상 pH 값을 나타냈으며, 잠혈에 있어서도 모두 음성이었다.

4. 병리학적 조직검사

고선량 조사 쇠고기 죽(30 kGy)을 투여한 랫트의 병리학적 조직검사를 위해 우선 장기를 육안으로 관찰한 결과, 모든 동물에서 내부 장기의 형태, 크기, 색조, 경도 및 기타 병변 등의 육안적 이상 소견을 관찰할 수 없었다. 방사선 조사 쇠고기 죽을 투여한 랫트의 간, 신장 및 폐의 병리조직학적 검사결과, 간에서는 모든 군에서 염증, 괴사, bilirubin 침착, iron 침착 등의 병적인 변화를 보이지 않았고 간세포의 구조도 변화를 보이지 않았다. 신장에서도 염증, 괴사 등의 병적인 변화를 보이지 않았고 신장세포도 정상적인 구조를 유지하고 있었다. 면역학적 요인이나 독성 물질에 기인하는 사구체 및 신세관의 괴사도 관찰되지 않았고 세관세포들이 잘 밀집되어 있어 부종도 없음이 확인되었다. 폐에서도 염증이나

Table 4. Serum biochemical values in male and female rats treated orally with 30 kGy-irradiated beef porridge for 3 months

Parameter	Male	Male	Female	Female
	Control	30 kGy	Control	30 kGy
Glu[1](mg/dL)	235.8±21.5[NS.2]	232.6±24.6	224.4±23.7[NS.]	221.6±27.4
T-cho(mg/dL)	150.5±13.5[NS.]	152.6±11.3	107.5±18.6[NS.]	110.2±17.5
BUN(mg/dL)	47.6± 3.7[NS.]	49.2± 3.2	36.9± 4.1[NS.]	37.3± 3.4
T-Bil(mg/dL)	0.3± 0.1[NS.]	0.3± 0.1	0.3± 0.1[NS.]	0.3± 0.2
AST(IU/L)	120.6±22.58[NS.]	123.2±24.35	125.8±17.63[NS.]	128.4±21.41
ALT(IU/L)	43.2± 6.75[NS.]	45.1± 7.45	41.2± 5.79[NS.]	39.8± 7.12
T-Pro(g/dL)	5.4± 0.1[NS.]	5.5± 0.2	5.5± 0.2[NS.]	5.4± 0.3
TG(mg/dL)	224.4±34.7[NS.]	227.2±27.4	153.4±31.5[NS.]	157.2±24.6
LDH(IU/L)	795.1±45.7[NS.]	772.7±39.4	69.7±57.2[NS.]	893.2±46.3
Ca(mg/dL)	10.2± 0.3[NS.]	10.1± 0.4	10.1± 0.3[NS.]	10.2± 0.2
Alb(g/dL)	2.9± 0.2[NS.]	2.8± 0.2	3.1± 0.1[NS.]	3.0± 0.2
UA(mg/dL)	2.8± 0.3[NS.]	2.8± 0.4	2.7± 0.6[NS.]	2.8± 0.5

[1] Glu: glucose, T-cho: total cholesterol, BUN: blood urea nitrogen, T-Bil: total bilirubin, AST: aspartate transaminase, ALT: alanine transaminase, T-Pro: total protein, TG: triglyceride, LDH: lactate dehydrogenase, Alb: albumin, UA: uric acid.

[2] Mean±SD., [NS.]: Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test(row).

Table 5. Urinalysis in the male and female rats treated orally with 30 kGy-irradiated beef porridge after 3 months

Sex		Male		Female	
Group		Control	30 kGy	Control	30 kGy
No. of animal		10	10	10	10
Glucose	-	10	10	10	10
Protein	-	0	1	1	0
	trace	10	9	9	10
pH	30+	0	0	0	0
	6~7	2	1	2	3
	7~8	8	9	8	7
Occult Blood	−	10	10	10	10
	+	0	0	0	0

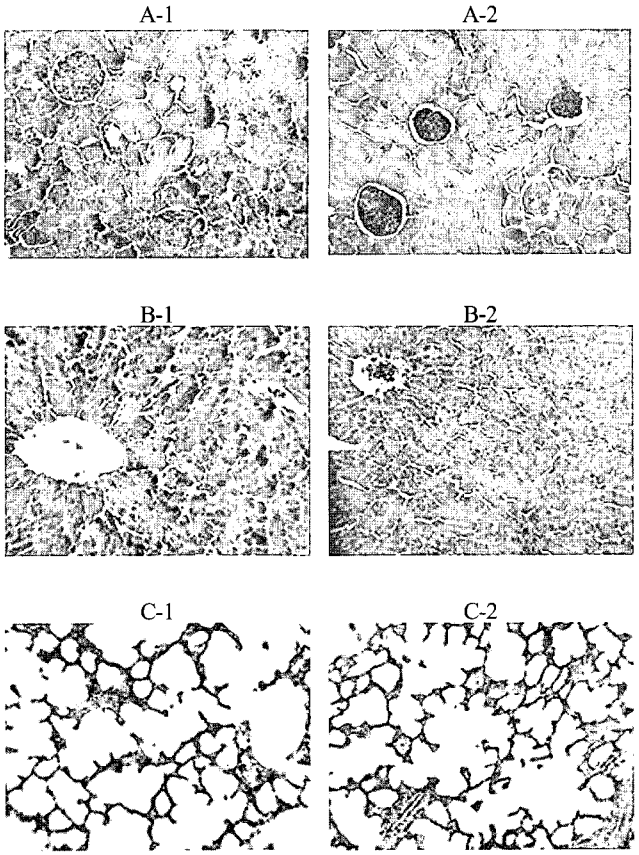

Fig. 1. Histopathological examination of the male rats administered with irradiated beef porridge for 3 months.
(A-1) kidney of control group,(A-2) kidney of 30 kGy treatment group,(B-1) liver of control group,(B-2) liver of 30 kGy treatment group,(C-1) lung of control group,(C-2) lung of 30 kGy treatment group. H&E staining(×250).

섬유화된 변화가 발견되지 않았고 폐포의 구조도 정상으로 유지 되어 있었다(Fig. 1).

이상의 독성 시험 결과, 30 kGy 고선량 조사한 쇠고기 분말 죽의 투여는 어떠한 유의할 만한 변화를 초래하지 않음을 관찰할 수 있었다. 따라서 고선량 조사 쇠고기 분말 죽을 3개월간 랫트에 섭취시킨 경우, 시험한 최고 선량인 30 kGy에서는 독성이 없는 것으로 판명되었다. 이는 쇠고기(Kang *et al* 2005) 및 밀(Tanaka 1992)의 30 kGy 감마선 조사가 돌연변이를 유발하지 않는다는 보고와도 잘 일치하였다. 이밖에도 최고 58 kGy의 감마선 조사 식품을 투여한 만성 독성 시험, 최기 형성 시험, 우성 치사 시험, 반성 열성 시험, Ames 시험 등에서 감마선 조사에 의한 악영향이 검지되지 않았다는 연구도 많이 보고되고 있다(Anon 1997, Diehl 1990, Thayer 1997).

요약 및 결론

분말 죽의 위생화 및 물리적 특성 개선을 위해 고선량 감마선 조사 기술의 이용 가능성이 높아짐에 따라 이들의 안전성을 확보할 목적으로 30 kGy의 고선량 감마선 조사 쇠고기 분말 죽을 대상으로 3개월간 독성 평가를 실시하였다. 감마선 조사한 분말 죽을 3개월간 암수 랫트에 경구 투여하였을 때 나타나는 독성을 평가한 결과, 시험기간 동안 시험 물질 투여에 의한 임상 증상이나 폐사 동물은 나타나지 않았으며 체중 변화, 사료 섭취량 및 주요 장기 무게도 대조군에 비해 차이를 보이지 않았다. 혈액학적 검사, 혈청학적 검사 및 뇨검사에서도 모든 시험군은 정상적인 결과를 나타내었다. 현미경 관찰을 통한 병리조직학적 검사에서 간, 신장, 폐 조직

은 모두 정상적인 구조를 유지하고 있었으며, 염증, 괴사 등의 유의할만한 병적 변화는 관찰되지 않았다. 따라서 고선량 조사 쇠고기 분말죽(30 kGy)을 3개월간 랫트에 섭취시킨 경우, 본 시험조건에서 독성이 없는 것으로 판명되었다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 그 지원에 감사드립니다.

문 헌

국립보건안전연구원 (2003) 독성시험 표준작업지침서.

Anon (1987) Safety evaluation of 35 kinds of irradiated human foods. *Chinese Medical Journal* 100: 715-718.

Bruhn C (1995) Consumer attitudes and market response to irradiated food. *J Food Protect* 58: 175-182.

CAST (1986) Ionizing energy in food processing and pest control: I. Wholesomeness of food treated with ionizing energy, Ames, IA, Council for Agricultural Science and Technology, Report No. 109, ISSN 0194-4088.

Diehl, JF (1990) *Safety of irradiated foods*. Marcel Dekker, Inc, New York.

FAO (1984) Codex general standard for irradiated foods and recommended international code of practice for the operation of radiation facilities used for the treatment of food. Codex Alimentarious Commission. Rome, Italy.

Holm NW, Berry RJ (1970) *Manual on radiation dosimetry*. Marcel Dekker Inc, New York.

ICGFI (1994) Summary report on eleventh meeting of the international consultative group on food irradiation. Denpasar, Bali, Indonesia, 2-4 November.

Kang IJ, Kang YH, Chung CK, Oh SH, Lee JW, Byun MW (2005) Genotoxicological safety of high-dose irradiated porridges. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 261-266.

Kang IJ, Kwak HJ, Lee BH, Kim KH, Byun MW, Yook HS (1998) Genotoxicological and acute toxicological safeties of gamma irradiated beef. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 775-780.

Roberts T, Unneverhr L (1994) New approaches to regulating food safety. *Food Rev* 17: 2-8.

Tanaka N (1992) Induction of polyploids in bone marrow cells and micronuclei in reticulocytes in Chinese hamsters and rats fed with an irradiated wheat flour diet. *In Final report of the Food Irradiation Research Committee for 1986-1991*. Matsuyama A, ed. The Japan Isotopes Association, Tokyo, Japan. p 212-220.

Thayer (1987) Toxicology studies of irradiated-sterilized chicken. *J Food Protect* 50: 278-288.

WHO (1981) *Wholesomeness of irradiated food*. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO expert committee on the wholesomeness of irradiated food. Technical Report Series, WHO, Geneva. p 659-682.

WHO (1992) Review of the safety and nutritional adequacy of irradiated food, WHO/HPP/FOS/92.2.

WHO (1999) High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with dises above 10 kGy. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO study group, WHO Technical Report Series 890. WHO, Geneva.

Yook HS, Lee YS, Lee JW, Oh SH, Kim JH, Kim DS, Byun MW (2004) Textural and sensory characteristics of gamma irradiated porridges. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 427-432.

(2005년 5월 20일 접수, 2005년 8월 9일 채택)