

30 kGy 감마선 조사된 곡류 분말의 아급성 독성평가

전영은¹ · 김혜미¹ · 이주운² · 변명우² · 강일준^{1*}

¹한림대학교 식품영양학과 · 한국영양연구소

²한국원자력연구소

Toxicity of 30 kGy Irradiated Cereal Powders for Three Months

Young Eun Jeon¹, Hye Mi Kim¹, Ju-Woon Lee², Myung-Woo Byun², and Il-Jun Kang^{1*}

¹Dept. of Food Science and Nutrition & The Korean Institute of Nutrition,
Hallym University, Chunchon 200-702, Korea

²Division of Radiation Application Research, Korea Atomic Energy
Research Institute, Jeongseup 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 cereal powders for three months. During the experimental periods, appearance, behavior, mortality, body weight, organ weight, and food consumption of rats fed the 30 kGy cereal powders were not affected compared to the non-irradiated control. In urine analysis, histopathological examination, hematological as well as in serum biochemical findings, no significant differences were found between the rats administered with non-irradiated control and 30 kGy cereal powders for three months. These results indicate that cereal powders irradiated at 30 kGy did not show any toxic effects under these experimental conditions.

Key words: cereal powder, gamma irradiation, 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(1,2). 이에 따라 WTO 체제하에서의 국제 무역에 있어 통과 기준이 되는 국제식품규격위원회(CODEX) 법안에는 모든 식품류의 방사선 조사를 승인하고 있다(3). 그러나 한편으로는 다양한 선량의 범위에서 몇몇 식품에서 관찰된 특정 성분의 함유량 감소나 특유한 방사선 분해물의 생성 유무로, 조사식품을 일반식품으로 사용하는 것에 대한 부적합성과 관련하여 찬반의 논란이 끊임없이 이어져왔다(4). 이에 대해 전문가들은 특정영양소의 감소나 특유한 분해물이 생성되었다면 그것은 멸균처리 등과 같은 다른 식품보존방법으로부터 생기는 결과와 별 차이가 없는 것이며, 특히 냉동이나 진공상태에서의 조사와 같은 병행처리기술의 발달로 이러한 현상이 현저히 줄어들었다고 한다(5,6). 따라서 현재 많은 국가들이 방사선 조사식품을 상업화하고 있으며,

조사식품의 실용화에 소비자의 신뢰를 단계적으로 쌓아가고 있다. 더욱이 감마선 조사는 다양한 크기나 형태의 식품 보존에 이용될 수 있는 이점 때문에 향후 식품업계에서의 감마선 조사 활용은 점차 늘어날 것으로 기대된다(7).

한편, 유엔기구 주최로 열린 제15차 식품조사기술 국제자문단회의(ICGFI)에서는 조사식품에 대한 선량제한 철폐를 제안하였고 국제식품규격위원회(CODEX)에서도 식품에 대한 10 kGy 이상의 고선량 감마선조사 허용을 권고하였다. 즉, 식품의 위생화를 위해 이미 설정된 10 kGy 이하의 조사선량이 미흡하다는 기술적 문제점이 많이 보고되고 있으며, 이에 따라 완전살균과 장기저장을 위해서는 10 kGy 이상의 고선량 조사가 필요하다고 알려져 있다(8). 예를 들면 향신료의 경우, 프랑스는 11 kGy의 감마선조사를, 미국과 아르헨티나는 최고 30 kGy의 조사를 허가하고 있다(7). 특히 면역결핍 환자들을 위한 완전 멸균식을 위해 네덜란드 당국은 이미 75 kGy의 고선량 감마선조사를 허가하고 있으며, 영국을 비롯한 여러 나라에서도 감마선 멸균 병원식(hospital diets)을 위해 선량 제한을 두고 있지 않는 실정이다(9). 나아가 최근 선진국들은 고품질 장기보존 편의식품(high-quality shelf-stable convenience foods) 및 즉석식품(ready-to-

*Corresponding author. E-mail: ij kang@hallym.ac.kr
Phone: 82-33-248-2135, Fax: 82-33-255-4787

eat/ready-to-cook food)의 개발에 고선량의 감마선조사를 이용하고 있으며, 이들 식품은 일반인뿐만 아니라 우주비행사, 군인, 장기캠핑인들을 위해서도 개발이 진행되고 있다. 남아프리카의 경우, shelf-stable meat product의 마케팅에 최소 45 kGy의 감마선조사를 허가하고 있다(10).

이와 같이 다용도의 고선량 감마선조사식품이 이미 개발되었거나 개발 중에 있어, 소비자를 위한 품질보증 방안으로 다양한 형태의 안전성 연구가 선행되어야 하며, 나아가 고선량 조사에 대비한 품질 변화 등에 대한 연구도 필요한 실정이다. 감마선 조사는 저장 중에 발생할 수 있는 여러 가지 문제점을 개선할 수 있지만 조사 식품의 안전성에 대한 소비자들의 부정적인 선입견이 여전히 남아있기 때문에 이를 해결하기 위한 꾸준한 노력도 필요하다(11).

따라서 본 연구에서는 환자식용 곡류분말의 위생화와 물리적 특성 개선(12)을 위하여 감마선 조사기술의 이용 가능성이 높아짐에 따라 이들의 안전성을 검토할 목적으로 30 kGy의 고선량 감마선조사 곡류분말을 대상으로 3개월간 독성학적 안전성 평가를 수행하였다.

재료 및 방법

시료 및 방사선 조사

본 실험에 사용한 곡류분말은 판매중인 곡류를 시중에서 구입한 후 분말화하여 사용하였으며, 보리 30%, 멥쌀 15%, 현미 10%, 찹쌀, 검정콩, 메주콩, 율무, 밀, 옥수수, 수수, 검정깨, 기장 각 5%로 구성하였다.

조제한 곡류분말은 한국원자력연구소(Daejeon, Korea) 내 선원 10만 Ci, Co-60 감마선 조사시설(AECL, IR-79, MDS Nordion International Co. Ltd., Ottawa, ON, Canada)을 이용하여 실온($14 \pm 1^\circ\text{C}$)에서 분당 70 Gy의 선량율로 총 30 kGy의 흡수선량을 얻도록 조사하였다. 흡수선량의 확인은 Fricke dosimetry(ceric/cerous dosimeter)를 사용하였으며(9), 이때 흡수선량의 오차는 ± 0.3 kGy이었다. 감마선 조사한 곡류분말은 비조사 대조시료와 함께 7°C 에서 3개월간 저장하면서 3개월간 독성 시험을 실시하였다.

실험동물

암수 각각 6주령의 SPF(specific pathogen free) SD계 랫트 암수를 사용하였으며 동물 입수 후 약 1주일간의 순화 기간을 거쳐 건강한 동물만을 실험에 사용하였다. 실험동물은 온도 $21 \pm 1.5^\circ\text{C}$, 습도 $55 \pm 5\%$, 조도 150~300 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 3마리씩 넣어 사육하였으며, 이 기간 동안 물은 수돗물을 자유로이 공급하였고, 순화 기간 중에는 고형 사료를 제공하였다.

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 9마리로 하고 암수 각각 4개의 시험군으로 나누었다. 즉, 시험군은 투여용량을 달리한 곡류분말 30 kGy 투여군 3군(100, 1,000, 5,000 mg/kg) 및 비조사 투여군으로 구성하였다. 사료는 각각의 필수영양소들을 AIN-76 규격에 맞게 혼합하였으나 곡류분말의 영양소를 기준으로 casein, corn starch, sucrose, soybean oil 등의 양을 조정하여 3개월간 분말로 공급하였다.

검사 항목 및 방법

감마선 조사 곡류분말의 독성 시험은 식품의약품안전청 고시 제2005-60호 “의약품 등의 독성시험기준”을 참조하였다.

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. 폐사 시에는 부검을 실시하여 사망 원인을 검사하도록 하였다.

체중, 사료 섭취량 및 음수 섭취량 측정: 모든 동물에 대하여 투여 개시 직전에 1회, 투여 개시 후 매주 2회씩, 그리고 부검 시 각각 체중을 측정하였다. 또한 매주 2회 사육케이지 별로 1일간의 사료 섭취량 및 음수 섭취량을 측정하였다.

동물의 도살처리 및 장기무게: 사육이 끝난 실험동물을 12시간 동안 절식시키고 에테르로 마취시킨 후 경추 탈골법에 의하여 도살하였다. 간, 위, 신장, 비장은 혈액채취 후 즉시 적출하여 생리식염수로 세척하고 여과지로 표면의 수분을 제거한 후 무게를 측정하였다. 장기, 혈청의 시료는 분석 전까지 -70°C 냉동고에 보관하였다.

혈액 및 혈청 생화학적 검사: 혈액학적 검사는 모세관 채혈튜브(EDTA 포함)를 사용하여 랫트 안와 정맥총에서 혈액을 채취한 후 4시간 이내 총 백혈구 수(WBC), 총 적혈구 수(RBC), 헤모글로빈 함량(Hb), 혈소판 수(PLT) 등을 동물용 자동혈구 계산기(Hemavet 950, Drew scientific company, UK)를 이용해 측정하였다. 혈청 생화학 검사는 채취한 혈액의 일부를 실온에 15분 정도 방치하여 응고시키고, 원심분리(3,000 rpm, 15 min)하여 얻은 혈청에 대하여 albumin(ALB), alkaline phosphatase(ALP), blood urea nitrogen(BUN), creatinine(CREA), glucose(GLUC), total bilirubin(T-BIL) 및 cholesterol(CHOL) 등을 생화학측정기(Kornelab 20XT, Thermo, Finland)를 사용하여 측정하였다.

노 검사: 치사 3일 전 대사 cage에서 노를 채취하여 생화학측정기(Kornelab 20XT, Thermo, Finland)를 이용하여 alkaline phosphatase(ALP), blood urea nitrogen(BUN), direct bilirubin(D-BIL) 및 total bilirubin(T-BIL)을 측정하였다.

병리조직학적 검사: 방혈 치사 후 모든 동물에 대해 내부 장기의 형태, 크기, 색조, 경도 및 기타 병변 등의 육안적 소견을 관찰 기록하였으며, 모든 장기를 4% 중성 포르말린

액에 고정하였다. 조직학적 검사는 2주간 이상의 충분한 고정을 거친 간, 신장 등의 장기를 파라핀 포매기에 포매하여 microtome으로 4~5 μm 절편으로 만든 후, hematoxylin & eosin 염색을 하여 100배율로 관찰하였다.

통계분석: 대조군과 30 kGy 감마선 조사된 곡류분말시료에서 얻은 실험 자료로부터 ANOVA를 구한 후 Duncan's multiple range test를 이용하여 통계 분석하였다.

결과 및 고찰

체중변화, 사료 섭취량 및 장기 무게

랫트에게 30 kGy 고선량 조사 곡류분말을 3개월간 투여하는 동안 육안적으로 특이한 이상이 없었으며, 전 시험군에서 폐사동물은 발생하지 않았다.

각 군의 체중 변화를 살펴본 결과, 고선량 조사 곡류분말을 3개월간 투여한 모든 시험군에서 정상적인 체중증가가 관찰되었으며 대조군에 비해 체중 증가율의 유의성 있는 변화는 없었다(Table 1). 또한 식이 섭취량의 변화를 조사한 결과에서도 대조군에 비해 암수 모두 통계적 유의성을 나타내지 않았다. 이때 증체 효과는 1일의 평균 체중 증가량이며, 식이 섭취량은 1일 평균 식이섭취량으로 나타내었다(Table 1).

고선량 조사 곡류분말(30 kGy)의 투여가 랫트의 주요 장

기에 미치는 영향을 조사하였다. 부검 결과 암·수 모든 군에서 각각의 장기에서는 해부학적인 이상증상은 나오지 않았다. 장기무게 측정 결과에서도 간장(liver), 신장(kidney) 및 비장(spleen)무게는 30 kGy 곡류분말 섭취량에 의해 일관성 있는 변화는 관찰되지 않았으며 방사선 조사에 의한 변화도 통계적 유의성을 나타내지 않았다(Table 2).

혈액 및 혈청 생화학적 검사

고선량 조사 곡류분말(30 kGy)을 투여한 자성 및 음성 랫트의 혈액학적 검사를 수행한 결과, 총백혈구수(WBC, white blood cell), 호중구(NE, neutrophil), 림프구(LY, lymphocyte), 단핵구(MO, monocyte), 호산구(EO, eosinophil), 호염구(BA, basophil)는 대조군과 비교해 유의성 있는 차이를 나타내지 않았다(Table 3). 또한 총 적혈구수(RBC, red blood cell), 혈중 적혈구 비율(HCT, hematocrit), 평균 적혈구 용적(MCV, mean corpuscular volume), 적혈구 크기 분포폭(RDW, red blood cell distribution width)과 헤모글로빈(Hb, hemoglobin), 평균 헤모글로빈 함유량(MCH, mean corpuscular Hb), 평균 헤모글로빈 농도(MCHC, mean corpuscular Hb concentration), 혈소판(PLT, platelet), 평균 혈소판 용적(MPV, mean platelet volume)도 암·수 대조군 및 30 kGy 곡류분말 투여군 모두 정상치를 나타내었다(Table 4).

Table 1. Effects of 30 kGy-irradiated cereal powders on body weight and food consumption of rats

Groups	Body weight gain (g/day)		Food intake (g/day)	
	Male	Female	Male	Female
Control	2.58±0.27 ^{NS1)}	1.97±0.31 ^{NS}	11.77±2.54 ^{NS}	10.14±2.12 ^{NS}
30 kGy (100 mg)	2.67±0.51	1.94±0.44	12.62±2.14	10.02±2.51
30 kGy (1,000 mg)	2.55±0.47	1.92±0.38	11.15±1.96	9.84±1.73
30 kGy (5,000 mg)	2.62±0.34	2.02±0.25	11.65±2.42	10.32±1.84

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

Table 2. Effects of 30 kGy-irradiated cereal powders 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	15.22±0.98 ^{NS1)}	8.65±0.62 ^{NS}	1.68±0.08 ^{NS}	1.27±0.07 ^{NS}	0.83±0.03 ^{NS}	0.68±0.03 ^{NS}
30 kGy (100 mg)	16.11±0.62	8.70±0.36	1.65±0.10	1.28±0.04	0.84±0.05	0.70±0.04
30 kGy (1,000 mg)	15.21±0.71	8.50±0.23	1.59±0.15	1.23±0.04	0.87±0.02	0.69±0.03
30 kGy (5,000 mg)	15.14±0.43	8.61±0.15	1.69±0.07	1.24±0.07	0.83±0.03	0.67±0.06

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

Table 3. Analysis of leukocytes in SD rats treated orally with 30 kGy-irradiated cereal powders

Sex	Group	WBC	NE	LY	MO	EO	BA
Male	Control	2.63±0.64 ^{NS1)}	0.68±0.22	1.83±0.39 ^{NS}	0.11±0.04 ^{NS}	0.02±0.01 ^{NS}	0.02±0.01 ^{NS}
	30 kGy (100 mg)	2.89±0.58	0.57±0.14	1.95±0.55	0.12±0.03	0.02±0.01	0.03±0.01
	30 kGy (1,000 mg)	2.71±0.59	0.72±0.15	1.85±0.42	0.09±0.02	0.03±0.01	0.02±0.01
	30 kGy (5,000 mg)	2.77±0.76	0.61±0.15	1.91±0.42	0.12±0.04	0.03±0.01	0.02±0.01
Female	Control	4.65±1.03 ^{NS}	1.91±0.60 ^{NS}	2.32±0.36 ^{NS}	0.27±0.08 ^{NS}	0.04±0.03 ^{NS}	0.02±0.01 ^{NS}
	30 kGy (100 mg)	3.82±1.39	1.83±0.57	2.53±0.35	0.29±0.08	0.04±0.02	0.02±0.01
	30 kGy (1,000 mg)	4.47±0.59	1.84±0.22	2.43±0.53	0.26±0.04	0.05±0.04	0.02±0.01
	30 kGy (5,000 mg)	4.42±0.76	1.86±0.21	2.55±0.46	0.27±0.05	0.06±0.03	0.02±0.01

¹⁾Mean±SD. NS: Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test (column). unit: $\times 10^3/\mu\text{L}$.

Table 4. Analysis of erythrocytes and thrombocytes in SD rats treated orally with 30 kGy-irradiated cereal powders

Sex	Group	RBC ($\times 10^6/\mu\text{L}$)	HCT (%)	MCV ($\times 10^{-15}$ L)	RDW (%)	
Male	Control	6.96 \pm 0.92 ^{NS1)}	35.42 \pm 3.21 ^{NS}	53.98 \pm 1.12 ^{NS}	15.34 \pm 0.25 ^{NS}	
	30 kGy (100 mg)	7.20 \pm 0.25	35.14 \pm 1.21	54.80 \pm 0.65	15.20 \pm 0.25	
	30 kGy (1,000 mg)	6.90 \pm 0.36	37.55 \pm 2.11	54.38 \pm 0.62	15.45 \pm 0.17	
	30 kGy (5,000 mg)	7.02 \pm 0.62	37.78 \pm 3.45	53.73 \pm 0.55	15.50 \pm 0.55	
Female	Control	7.34 \pm 0.46 ^{NS}	40.69 \pm 2.41 ^{NS}	55.88 \pm 0.83 ^{NS}	13.98 \pm 0.37 ^{NS}	
	30 kGy (100 mg)	6.92 \pm 0.69	41.54 \pm 3.94	54.16 \pm 0.61	14.38 \pm 0.27	
	30 kGy (1,000 mg)	7.01 \pm 0.84	42.98 \pm 4.81	54.62 \pm 0.68	14.36 \pm 0.38	
	30 kGy (5,000 mg)	6.73 \pm 1.09	41.34 \pm 4.94	55.86 \pm 0.45	14.16 \pm 0.54	
Sex	Group	Hb (g/dL)	MCH (pg)	MCHC (g/dL)	PLT ($\times 10^3/\mu\text{L}$)	MPV ($\times 10^{-15}$ L)
Male	Control	15.54 \pm 2.12 ^{NS}	20.64 \pm 0.70 ^{NS}	38.24 \pm 0.82 ^{NS}	677.4 \pm 194.0 ^{NS}	5.54 \pm 0.29 ^{NS}
	30 kGy (100 mg)	15.38 \pm 0.58	21.38 \pm 0.41	38.28 \pm 0.43	653.2 \pm 117.1	5.43 \pm 0.49
	30 kGy (1,000 mg)	14.70 \pm 1.16	21.17 \pm 0.82	38.87 \pm 1.20	631.3 \pm 118.4	5.65 \pm 0.42
	30 kGy (5,000 mg)	15.23 \pm 1.52	21.55 \pm 0.42	38.12 \pm 0.55	623.0 \pm 134.5	5.55 \pm 0.12
Female	Control	16.38 \pm 1.14 ^{NS}	22.28 \pm 0.32 ^{NS}	40.10 \pm 0.57 ^{NS}	677.4 \pm 194.0 ^{NS}	5.44 \pm 0.29 ^{NS}
	30 kGy (100 mg)	16.08 \pm 1.71	21.64 \pm 0.46	39.96 \pm 0.73	685.6 \pm 71.9	5.48 \pm 0.30
	30 kGy (1,000 mg)	16.74 \pm 1.97	22.00 \pm 0.56	40.40 \pm 0.59	695.4 \pm 120.4	5.30 \pm 0.21
	30 kGy (5,000 mg)	16.14 \pm 1.39	21.90 \pm 0.35	39.42 \pm 0.59	668.0 \pm 89.8	5.32 \pm 0.50

¹⁾Mean \pm SD. NS: Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test (column).

혈액 생화학측정기기를 이용하여 SD rat의 혈청을 분석한 결과, albumin(ALB), alkaline phosphatase(ALP), blood urea nitrogen(BUN), creatinine(CREA), direct bilirubin(D-BIL), glucose(GLUC), total bilirubin(T-BIL) 및 cholesterol(CHOL), glutamate oxaloacetate transaminase(GOT), glutamate pyruvate transaminase(GPT), HDL-cholesterol(HDL-CHOL), triglyceride(TG), total protein(TP)이 암·수 대조군 및 30 kGy 곡류분말 투여군 모두 정상수치를 나타내어, 30 kGy 곡류분말 투여는 혈청생화학적 측면에서 문제를 야기하지 않음을 관찰할 수 있었다 (Table 5).

뇨의 생화학적 분석

30 kGy 감마선조사 곡류분말을 투여한 랫트의 뇨를 처사 3일 전에 채취하여 alkaline phosphatase(ALP), blood urea nitrogen(BUN), direct bilirubin(D-BIL) 및 total bilirubin(T-BIL)을 측정된 결과는 Table 6과 같다. 시험 결과 고선량 조사 곡류분말(30 kGy)의 섭취에 의해 초래되는 특이한 변화는 관찰할 수 없었고 모두 정상치를 나타내었다.

조직학적 검사

고선량 곡류분말(30 kGy)을 투여한 암, 수 랫트의 병리학 적 조직검사를 위해 우선 장기를 육안으로 관찰한 결과, 모든 동물에서 내부 장기의 형태, 크기, 색조, 경도 및 기타

Table 5. Analysis of serum in SD rats treated orally with 30 kGy-irradiated cereal powders

Sex	Group	ALB (g/dL)	ALP (U/L)	BUN (mg/dL)	CREA (U/L)	D-BIL (mg/dL)	GLUC (mg/dL)	T-BIL (mg/dL)
Male	Control	2.21 \pm 0.39 ^{NS1)}	401.4 \pm 65.9 ^{NS}	13.69 \pm 0.98 ^{NS}	0.63 \pm 0.17 ^{NS}	0.18 \pm 0.03 ^{NS}	177.1 \pm 19.6 ^{NS}	0.19 \pm 0.04 ^{NS}
	30 kGy (100 mg)	1.89 \pm 0.37	461.4 \pm 66.2	14.26 \pm 1.72	0.61 \pm 0.06	0.17 \pm 0.03	181.9 \pm 23.7	0.18 \pm 0.04
	30 kGy (1,000 mg)	2.15 \pm 0.31	398.6 \pm 54.8	13.65 \pm 0.76	0.62 \pm 0.16	0.17 \pm 0.02	169.8 \pm 18.2	0.18 \pm 0.02
	30 kGy (5,000 mg)	1.95 \pm 0.33	392.4 \pm 49.0	14.61 \pm 1.25	0.61 \pm 0.08	0.18 \pm 0.02	170.9 \pm 13.1	0.19 \pm 0.02
Female	Control	2.74 \pm 0.39 ^{NS}	107.8 \pm 28.9 ^{NS}	15.21 \pm 0.73 ^{NS}	0.61 \pm 0.15 ^{NS}	3.25 \pm 0.48 ^{NS}	152.9 \pm 15.5 ^{NS}	2.33 \pm 0.83 ^{NS}
	30 kGy (100 mg)	2.80 \pm 0.18	115.5 \pm 12.2	15.17 \pm 1.52	0.59 \pm 0.05	3.31 \pm 0.65	144.2 \pm 15.8	2.32 \pm 0.40
	30 kGy (1,000 mg)	2.52 \pm 0.36	121.7 \pm 20.3	16.03 \pm 1.65	0.59 \pm 0.07	3.10 \pm 0.54	150.1 \pm 9.6	2.22 \pm 0.22
	30 kGy (5,000 mg)	2.74 \pm 0.26	109.9 \pm 22.3	15.13 \pm 2.25	0.57 \pm 0.03	3.15 \pm 0.63	153.8 \pm 13.9	2.37 \pm 0.73
Sex	Group	CHOL (mg/dL)	GOT (U/L)	GPT (U/L)	HDL-CHOL (mg/dL)	TG (mg/dL)	TP (g/dL)	
Male	Control	90.36 \pm 8.72 ^{NS}	65.73 \pm 3.87 ^{NS}	46.49 \pm 6.45 ^{NS}	38.78 \pm 7.36 ^{NS}	83.54 \pm 33.88 ^{NS}	5.75 \pm 0.21 ^{NS}	
	30 kGy (100 mg)	91.46 \pm 6.88	67.45 \pm 9.92	44.17 \pm 6.84	37.07 \pm 5.69	85.91 \pm 20.77	5.68 \pm 0.47	
	30 kGy (1,000 mg)	90.04 \pm 9.17	64.80 \pm 8.97	44.57 \pm 4.05	34.66 \pm 5.37	83.90 \pm 25.58	5.99 \pm 0.53	
	30 kGy (5,000 mg)	95.83 \pm 7.74	65.35 \pm 9.20	48.90 \pm 6.07	36.04 \pm 5.96	84.77 \pm 25.93	5.79 \pm 0.53	
Female	Control	73.17 \pm 12.08 ^{NS}	89.97 \pm 9.78 ^{NS}	46.33 \pm 5.57 ^{NS}	35.66 \pm 4.42 ^{NS}	64.41 \pm 14.36 ^{NS}	4.36 \pm 0.98 ^{NS}	
	30 kGy (100 mg)	71.50 \pm 7.67	94.36 \pm 8.69	44.18 \pm 4.07	36.09 \pm 3.95	64.16 \pm 12.18	4.29 \pm 0.32	
	30 kGy (1,000 mg)	79.47 \pm 14.44	88.11 \pm 8.50	47.39 \pm 3.24	37.01 \pm 5.75	60.50 \pm 14.72	4.60 \pm 0.61	
	30 kGy (5,000 mg)	73.53 \pm 13.03	91.78 \pm 6.52	47.54 \pm 2.70	36.36 \pm 4.55	61.08 \pm 7.61	4.10 \pm 0.43	

¹⁾Mean \pm SD. NS: Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test (column).

Table 6. Analysis of urine in SD rats treated orally with 30 kGy-irradiated cereal powders

Sex	Group	ALP (U/L)	BUN (mg/dL)	D-BIL (mg/dL)	T-BIL (mg/dL)
Male	Control	27.04±2.24 ^{NS1)}	124.4±12.8 ^{NS}	0.147±0.018 ^{NS}	0.146±0.008 ^{NS}
	30 kGy (100 mg)	26.56±1.15	128.1±14.3	0.155±0.011	0.146±0.004
	30 kGy (1,000 mg)	26.60±2.51	126.2±8.8	0.153±0.022	0.141±0.014
	30 kGy (5,000 mg)	27.93±2.81	122.3±5.4	0.155±0.021	0.143±0.017
Female	Control	26.76±5.82 ^{NS}	133.0±12.4 ^{NS}	0.151±0.016 ^{NS}	0.132±0.005 ^{NS}
	30 kGy (100 mg)	30.25±1.00	138.3±12.3	0.150±0.014	0.137±0.011
	30 kGy (1,000 mg)	29.03±2.76	135.4±15.1	0.153±0.020	0.134±0.008
	30 kGy (5,000 mg)	28.63±1.64	135.5±15.0	0.155±0.007	0.132±0.006

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

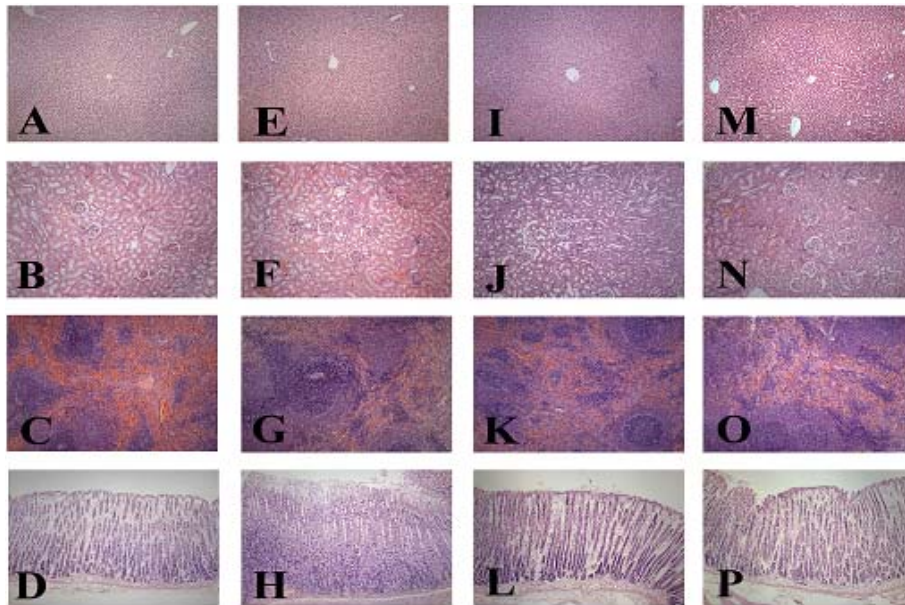


Fig. 1. Histopathological examination of the male rats administered with 30 kGy irradiated cereal powders for 3 months ($\times 100$).

Control: A (liver), B (kidney), C (spleen), D (stomach). 100 mg of 30 kGy cereal powder: E (liver), F (kidney), G (spleen), H (stomach). 1,000 mg of 30 kGy cereal powder: I (liver), J (kidney), K (spleen), L (stomach). 5,000 mg of 30 kGy cereal powder: M (liver), N (kidney), O (spleen), P (stomach).

병변 등의 육안적 이상 소견을 관찰할 수 없었다. 이에 따라 간장(liver), 신장(kidney), 비장(spleen), 위장(stomach)을 채취하여 4% 포르말린에 고정 후 조직을 관찰하였다. 간의 경우 모든 군에서 염증, 괴사, bilirubin 침착, iron 침착 등의 병적인 변화를 보이지 않았고 간세포의 구조도 모두 정상이었다. 신장에서도 염증, 괴사 등의 병적인 변화를 보이지 않았고 면역학적 요인이나 독성 물질에 기인하는 사구체 및 신세관의 괴사도 관찰되지 않았다. 비장 및 위장도 염증이나 이상 변화가 발견되지 않았고 구조도 정상이었다(Fig. 1, 2).

이상의 독성 시험 결과, 30 kGy 감마선조사 곡류분말을 3개월간 암·수 랫트에 섭취시켜도 5,000 mg/kg까지 독성이 없는 것으로 나타나 무해용량(NOAEL)은 5,000 mg/kg 이상인 것으로 추정된다. 이는 쇠고기(13), 밀(14), 및 쇠고기 분말죽(15)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 보고되었다(16-18).

요 약

곡류분말의 위생화 및 물성 개선을 위해 고선량 감마선 조사 기술의 이용 가능성이 높아짐에 따라 이들의 안전성을 확보할 목적으로 30 kGy 고선량 감마선 조사 곡류분말을 대상으로 3개월간 독성 평가를 실시하였다. 30 kGy로 조사한 곡류분말을 3개월간 암수 랫트에 경구 투여한 후 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

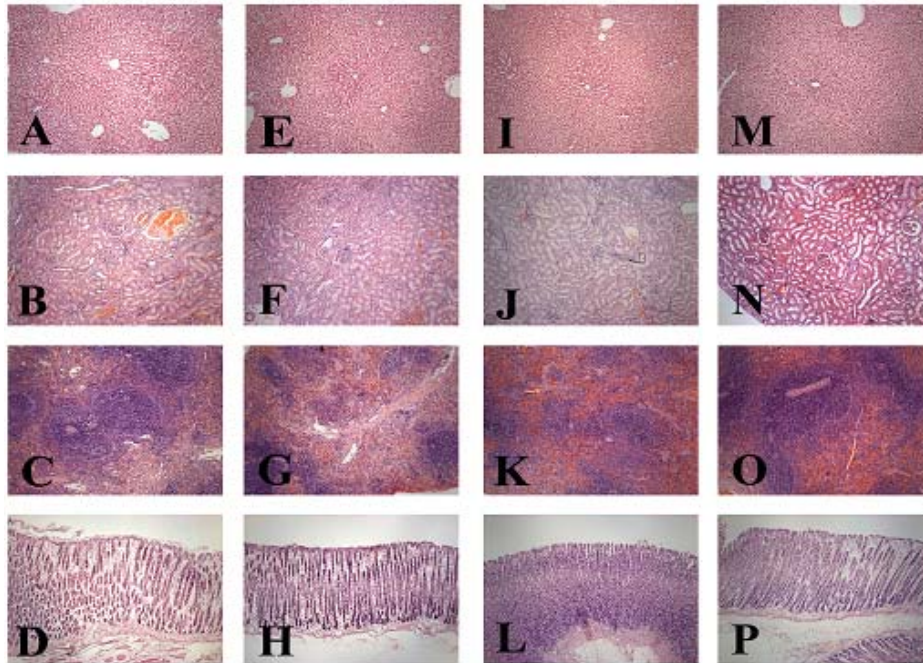


Fig. 2. Histopathological examination of the female rats administered with 30 kGy irradiated cereal powders for 3 months ($\times 100$).

Control: A (liver), B (kidney), C (spleen), D (stomach). 100 mg of 30 kGy cereal powder: E (liver), F (kidney), G (spleen), H (stomach). 1,000 mg of 30 kGy cereal powder: I (liver), J (kidney), K (spleen), L (stomach). 5,000 mg of 30 kGy cereal powder: M (liver), N (kidney), O (spleen), P (stomach).

않았다. 혈액학적 검사, 혈청학적 검사 및 뇨 검사에서도 모든 시험군은 정상적인 수치를 나타내었다. 병리조직학적 검사에서 간, 신장, 비장 및 위 조직 모두 정상적인 구조를 유지하고 있었으며, 염증, 괴사 등의 유의할만한 병적 변화도 관찰되지 않았다. 따라서 고선량 조사 곡류분말(30 kGy)을 3개월간 암·수 랫트에 5,000 mg/kg까지 섭취시켜도 본 시험조건에서는 독성이 없는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 2008년도 한림대학교 교비 학술연구비(HRF-2008-026)와 과학기술부의 원자력 연구개발 사업에 의하여 연구되었으며 그 지원에 감사드립니다.

문헌

- 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.
- 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.
- 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 Alimentarius Commission. Rome, Italy.
- Bruhn C. 1995. Consumer attitudes and market response to irradiated food. *J Food Protect* 58: 175-179.
- Taub IA, Halliday JW, Sevilla MD. 1979. Chemical reactions in proteins irradiated at subfreezing temperatures. *Adv Chem Ser* 180: 109-140.
- WHO. 1992. *Review of the safety and nutritional adequacy of irradiated food*. WHO/HPP/FOS/92.2.
- Hugo WB. 1991. A brief history of heat and chemical preservation and disinfection. *J Appl Bacteriol* 71: 9-18.
- Roberts T, Unneverhr L. 1994. New approaches to regulating food safety. *Food Rev* 17: 2-8.
- WHO. 1999. *High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with doses above 10 kGy*. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO study group, WHO Technical Report Series 890. WHO, Geneva.
- 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.
- ICGFI. 1994. Summary report on eleventh meeting of the international consultative group on food irradiation. Denpasar, Bali, Indonesia, November.
- 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.
- 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.
- 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.
15. Han SM, Lee JW, Byun MW, Kang IJ. 2005. Toxicity of high-dose irradiated porridge powder for three months. *J East Asian Soc Dietary Life* 15: 431-436.
 16. Shanghai Institute of Radiation Medicine. 1987. Safety evaluation of 35 kinds of irradiated human foods. *Chin Med J* 100: 715-718.
 17. Diehl JF. 1990. *Safety of Irradiated Foods*. Marcel Dekker, Inc., New York.
 18. Thayer DW. 1987. Toxicology studies of irradiated-sterilized chicken. *J Food Protect* 50: 278-288.

(2008년 1월 31일 접수; 2008년 5월 1일 채택)