

우주식품으로 개발한 30 kGy 감마선 조사된 건조우주비빔밥의 3개월 독성평가

박재남^{1,3} · 김진경⁴ · 최단비² · 김재훈¹ · 송범석¹ · 이주운¹ · 강일준^{2*}

¹한국원자력연구원 정읍방사선과학연구소 방사선식품생명공학팀

²한림대학교 식품영양학과 · 한국영양연구소

³전북대학교 식품영양학과, ⁴대구가톨릭대학교 의생명과학과

Toxicity Evaluation of 30 kGy Irradiated Dried Space *Bibimbap* for Three Months

Jae-Nam Park^{1,3}, Jin Kyung Kim⁴, Dan Bi Choi², Jae-Hun Kim¹,
Beom-Seok Song¹, Ju-Woon Lee¹, and Il-Jun Kang^{2*}

¹Team for Radiation Food Science and Biotechnology, Advanced Radiation Technology Institute,
Korea Atomic Energy Research Institute, Jeonbuk 580-185, Korea

²Dept. of Food Science and Nutrition & The Korean Institute of Nutrition, Hallym University,
Gangwon 200-702, Korea

³Dept. of Food Science & Human Nutrition, Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756, Korea

⁴Dept. of Medical Life Science, Catholic University of Daegu, Gyeongbuk 712-702, Korea

Abstract

This study was conducted to evaluate the possible subacute toxicity of gamma-irradiated dried *bibimbap*. The dried *bibimbap* was irradiated at the dose of 30 kGy at room temperature. For the animal study, the male and female ICR mice (8 mice per group) had the diet with AIN39G as control and dried *bibimbap* 30 kGy irradiated and non-irradiated for three months. During the experimental period, the group with 30 kGy irradiated *bibimbap* did not show any changes in appearance, behavior, mortality, body weight, organ weight, and food consumption compared to the control. Also, all of the biochemical parameters were observed in the normal ranges. In histopathological examination including hematological and serum biochemical analyses, there were no significant differences among the control and 30 kGy irradiated dried *bibimbap* groups. These results indicate that irradiation of *bibimbap* up to 30 kGy did not cause any toxic effects and could be applied for the development of safe ready-to-cook food.

Key words: *bibimbap*, toxicity, gamma irradiation, safety, space food

서 론

전주비빔밥은 한국을 대표하는 전통식품으로 최근 우리 전통음식의 관광 상품화, 국제화에 대한 중요성이 높아짐에 따라 맛뿐만 아니라 영양학적 가치가 높은 비빔밥을 편의식화 하는데 많은 관심이 모아지고 있다. 우리의 대표적 전통음식인 비빔밥에 대한 연구는 국제화 흐름과 같이하여 맛과 재료의 다양성을 향상시켜 비빔밥을 편의식으로 개발하는 연구(1,2), 비빔밥의 위생학적 안전성연구(3) 및 비빔밥의 phytochemical의 기능성 입증연구가 이루어지고 있다(4-6). 최근 방사선 조사기술을 이용하여 비빔밥을 우주식품으로 개발하는 쾌거를 이루어냈다. 이처럼 높은 에너지 수준을 갖는 방사선 조사를 활용하여 식품을 환자식, 비상식 및 특수목적 식품으로 개발하는 연구가 활발하게 진행되고 있다

(7,8). 그러나 현대사회의 소비자들은 식품의 기능성과 더불어 안전성을 중요시 하고 있다. 이러한 요소들은 제품의 선택기준과도 직결되기 때문에 방사선 조사기술을 활용하여 개발된 식품을 실용화하기 위해서는 철저한 안전성 평가를 통해 소비자 수용성을 증진시켜야 한다.

일반적으로 방사선 조사식품의 안전성에 관해서는 1981년 “10 kGy 이하로 조사된 모든 식품은 독성학적으로 안전하며, 영양학적으로도 문제가 되지 않는다”라고 결론지었으며 보다 높은 선량을 조사하여도 안전성에 문제가 없다고 보고하고 있다(9). 그러나 현재 다양한 선량의 범위에서 몇몇 식품에 관찰된 특정 성분의 함유량 감소나 특유의 방사선 분해물의 생성 유무로 조사식품의 안전성에 대해 찬반의 논란이 끊임없이 이루어져 왔다. 방사선 조사식품의 안전성에 대한 소비자들의 부정적인 선입견이 여전히 남아 있기 때문

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

에(10,11) 10 kGy 이상의 고선량 방사선 조사 식품의 경우에는 다양한 형태의 안전성 연구가 선행되어야 한다.

따라서 본 연구에서는 이미 개발된 건조 우주비빔밥의 안전성을 검토할 목적으로 고선량(30 kGy) 조사된 건조 우주비빔밥을 ICR 마우스에 3개월간 섭취시킨 다음 독성평가를 수행하였다.

재료 및 방법

시료 및 방사선 조사

밥 50%, 고추장 12.5%, 콩나물 7.5%, 쇠고기 5%, 미나리 5%, 도라지 4.5%, 고사리 4%, 표고버섯 4%, 당근 2.5%, 오이 2.5%, 무채 2.5%로 구성된 비빔밥을 잘 섞어 -20°C 로 급속 동결한 다음 동결 건조하여 진공포장한 후 30 kGy의 흡수선량이 되도록 감마선조사하여 건조우주비빔밥을 제조하였다. 이때 감마선 조사는 Co-60 방사선 조사시설(IR-79, Nordion International Ltd., Ontario, Canada)을 이용하여 실온에서 시간당 10 kGy의 선량률로 조사하였으며, 흡수선량 확인은 Alanine dosimeter(5 mm, Bruker Instruments, Rheinstetten, Germany)를 사용하였다. 이때 흡수선량의 오차는 ± 0.3 kGy이었다. 30 kGy 감마선 조사한 비빔밥은 비조사 대조시료와 함께 냉장 저장하면서 3개월간 독성 시험을 실시하였다.

시험동물 및 사육환경

시험동물은 6주령의 특정병원체 부재(specific pathogen free)의 ICR 계열 마우스를 (주)코아텍(Koatech Laboratory Animal Research Co., Pyeongtaek, Korea)으로부터 구입하였다. 7일간의 검역 및 순화과정을 거친 뒤 체중감소가 없는 건강한 동물을 선별하여 시험에 사용하였다. 실험동물은 온도 $20.9\sim 22.6^{\circ}\text{C}$, 상대습도 $45\sim 55\%$, 환기회수 및 방식 $10\sim 15$ 회/시간, 전배기방식, 조명시간 12시간(08:00~20:00) 및 조도 $150\sim 300$ Lux로 설정된 사육환경에서 폴리카보네이트 사육상자(278X420X200 mm, Three-Shine Inc., Kumsan, Korea)에 2~3마리씩 수용하였다.

시험군의 구성 및 시험 물질의 투여

7일간의 검역 및 순화과정을 거친 뒤, 체중감소가 없는 건강한 동물을 선별하여 무작위법으로 군을 분리하였다. 시험동물은 각 군에 암수 각 8마리를 사용하여 3개의 시험군으로 나누었다. 즉, AIN93G 식이를 기본으로 투여한 대조군과 감마선 비조사(0 kGy) 건조우주비빔밥 투여 시험군, 고선량(30 kGy) 조사 건조우주비빔밥 투여 시험군으로 구성하였다. 사료는 각각의 필수영양소들을 AIN93G 규격에 맞게 혼합하여 pellet을 만들어 3개월간 자유로이 섭취시켰고, 필터와 유수 살균기를 이용하여 여과·살균된 정제수를 자유급식 시켰다. 단, 건조우주비빔밥 투여 시험군의 경우에는 AIN93G 식이를 기본으로 corn starch, dextrose 및 cellulose

Table 1. Formula of experimental diets

Ingredient	AIN93G	<i>Bibimbap</i> (0 kGy)	<i>Bibimbap</i> (30 kGy)
Casein	200	200	200
Corn starch	397.5	79.5	79.5
Dextrose	132	141.5	141.5
<i>Bibimbap</i>	0	318.0	318.0
Sucrose	100	100	100
Cellulose	50	40	40
Soybean oil	70	70	70
Mineral mix	35	35	35
Vitamin mix	10	10	10
L-cystine	3	3	3
Choline bitartrate	3	3	3
Total	1,000	1,000	1,000
Total kcal	4,000	4,000	4,000

의 양을 조정하여 총 열량을 동일하게 조성한 pellet을 만들어 사용하였다(Table 1).

일반증상 및 폐사의 관찰

투여 당일은 투여 후 1시간부터 6시간째까지 관찰하였고, 투여 다음날부터 90일까지는 매일 1회 모든 동물에 대해 일정한 시간에 일반 증상 및 중독 증상, 사망의 유무를 전 실험 기간 동안 관찰하였으며, 이상증상 및 정도를 개별적으로 기록하였다.

체중 변화, 사료섭취량 및 음수섭취량 측정

시험 기간 중 모든 동물의 체중은 투여개시 전에 실시하였으며, 투여 후 90일까지의 체중을 매주 일회 측정하였다. 사료 및 물은 각 사육 상자의 사료통과 음수통에 사육하는 마우스가 충분히 먹을 수 있도록 공급하였다. 사료 섭취량 및 음수량을 측정하기 위해 사료의 공급량과 잔량, 물의 공급량과 잔량을 일주일간씩 통계분석 하였다.

동물의 도살처리 및 장기무게

사육이 끝난 실험동물을 12시간 동안 절식시키고 에테르로 마취시킨 후 경추 탈골법에 의하여 도살하였다. 간, 비장, 신장, 고환, 난소, 폐, 심장은 혈액채취 후 즉시 적출하여 생리식염수로 세척하고 여과지로 표면의 수분을 제거한 다음 무게를 측정하였다. 장기 및 혈청의 시료는 분석 전까지 -70°C 냉동고에 보관하였다.

혈액학적 검사

부검당일에 안와 채혈을 통해 EDTA-2K가 코팅된 튜브(Becton Dickinson, Franklin Lakes, NJ, USA)에 혈액을 채취한 후 자동혈구계측장치(HEMA VET 950, Drew Inc, Cumbria, UK)를 이용하여 총 백혈구 수(white blood cell, WBC), 호중구(neutrophil), 림프구(lymphocyte), 단핵구(monocyte), 호산구(eosinophil), 호염구(basophil) 수를 측정하였다. 나아가, 총 적혈구 수(red blood cell, RBC), 헤모글로빈 함량(hemoglobin, Hb), 혈중 적혈구 비율(hematocrit, HCT), 평균 적혈구 용적(mean corpuscular volume,

MCV), 평균 헤모글로빈 함유량(mean corpuscular hemoglobin, MCH), 평균 헤모글로빈 농도(mean corpuscular hemoglobin concentration, MCHC), 적혈구 크기 분포폭(red blood cell distribution width, RDW), 혈소판 수(platelet, PLT), 평균 혈소판 용적(mean plasma volume, MPV)도 측정하였다.

혈액의 생화학적 검사

부검 당일 채취된 혈액에서 분리한 혈청을 혈액생화학 분석기기(KoneLab 20, Thermo Fisher Scientific, Waltham, Finland)를 이용하여 알부민(albumin, ALB), alkaline phosphatase(ALP), alanine aminotransferase(ALT), aspartate aminotransferase(AST), blood urea nitrogen(BUN), 콜레스테롤(cholesterol, CHOL), creatinine(CREA), bilirubin direct(D-BIL), 포도당(glucose, GLUC), 총 빌리루빈(total bilirubin, T-BIL), 중성지방(triglycerides, TG), 총 단백질(total protein, TP)을 측정하였다.

조직학적 검사

조직학적 검사를 위하여 간과 신장을 4% 파라포름알데하이드 용액에 고정시킨 후, 일반적인 조직처리과정을 거쳐 파라핀 포매를 하였다. 포매된 각 조직은 마이크로톰(Lecia RM2255, Lecia, Wetzlar, Germany)으로 7 µm 박절한 후 hematoxylin & eosin 염색을 실시하여 광학현미경(Axio-imager M1, Carlzeiss, Niedersachsen, Germany)으로 관찰하였다.

부검소견의 관찰

투여 후 90일간의 투여 및 관찰기간이 종료된 후에 모든 실험동물을 Ketamin(Yuhan Corporation, Seoul, Korea)으로 근육마취 시킨 후, 육안으로 각종장기의 소견을 관찰하였다.

통계처리

이상의 실험에서 얻어진 결과는 Statistical Package for Social Sciences 10.0을 이용하여 one way ANOVA 분석을 하였으며 시료간의 유의성은 Duncan's multiple range test로 $p < 0.05$ 수준에서 비교하였다.

결과 및 고찰

체중 변화, 시료섭취량 및 장기 무게

시험 전 기간 동안 대조군을 포함하여 암수 모든 투여군에서 사망동물은 관찰되지 않았으며, 임상증상을 관찰한 결과 비조사(0 kGy) 건조우주비빔밥 섭취 및 고선량(30 kGy) 조사 건조우주비빔밥 섭취에 기인한 이상증상은 관찰되지 않았다.

30 kGy 감마선 조사된 비빔밥을 마우스에 투여한 후 각군의 체중 변화와 시료섭취량 결과를 Table 2에 나타내었다. 고선량 조사 비빔밥 분말을 3개월간 투여한 모든 시험군에서 정상적인 체중 증가가 관찰되었으며, 대조군 및 비조사 시료 투여군과 비교해 볼 때 유의적 차이가 없는 것으로 나타났다(Table 2). 또한 식이섭취량 역시 대조군에 비해 비조사 시료 투여군 및 30 kGy 조사 시료 투여군 모두 암수 모두 통계적 유의성을 나타내지 않았다. 주요 장기에 미치는 영향을 조사하기 위해 부검한 결과, 암수 모든 군의 장기에서 유의성 있는 변화나 시험물질 섭취로 인한 특이할 만한 해부학적 이상증상은 관찰되지 않았다. 장기무게 측정 결과에서도 간장, 신장 및 비장 등의 무게 변화는 통계적 유의성을 나타내지 않았다($p < 0.05$)(Table 3).

혈액학적 검사

30 kGy로 감마선 조사된 비빔밥을 90일간 투여한 암수

Table 2. Effects of freeze dried *bibimbap* irradiated at 30 kGy on body weight and food consumption of ICR mouse

Sex	Group	Initial body weights (g)	Final body weights (g)	Body weight gain (g)	Food intake (g/day)
Male	Control	32.60 ± 0.98 ^{NS}	42.31 ± 4.98 ^{NS}	9.05 ± 3.61 ^{NS}	3.79 ± 0.31 ^{NS}
	0 kGy	32.21 ± 1.28	44.31 ± 4.78	11.80 ± 4.06	3.53 ± 0.25
	30 kGy	32.03 ± 1.77	39.50 ± 3.09	7.90 ± 2.53	3.48 ± 0.51
Female	Control	26.40 ± 2.25 ^{NS}	38.85 ± 4.45 ^{NS}	12.80 ± 5.59 ^{NS}	3.29 ± 0.43 ^{NS}
	0 kGy	26.05 ± 1.38	38.41 ± 4.24	11.53 ± 4.53	3.01 ± 0.31
	30 kGy	26.17 ± 1.02	36.30 ± 3.24	10.10 ± 4.36	3.01 ± 0.34

Values are expressed as mean ± SEM (n=8). ^{NS}Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test (column).

Table 3. Effects of freeze dried *bibimbap* irradiated at 30 kGy on the organ weight of ICR mouse (unit: g/100 g BW)

Sex	Group	Liver	Spleen	Kidney (Left)	Kidney (Right)	Testis /Ovary	Lung	Heart
Male	Control	4.06 ± 0.38 ^{NS}	0.25 ± 0.05 ^{NS}	0.63 ± 0.08 ^{NS}	0.65 ± 0.09 ^{NS}	0.58 ± 0.01 ^{NS}	0.50 ± 0.01 ^{NS}	0.52 ± 0.05 ^{NS}
	0 kGy	3.53 ± 1.52	0.21 ± 0.04	0.62 ± 0.09	0.63 ± 0.06	0.45 ± 0.01	0.57 ± 0.06	0.40 ± 0.03
	30 kGy	4.17 ± 0.31	0.20 ± 0.05	0.68 ± 0.08	0.66 ± 0.08	0.47 ± 0.01	0.52 ± 0.05	0.50 ± 0.04
Female	Control	3.78 ± 0.35 ^{NS}	0.26 ± 0.07 ^{NS}	0.43 ± 0.11 ^{NS}	0.45 ± 0.10 ^{NS}	0.38 ± 0.12 ^{NS}	0.47 ± 0.09 ^{NS}	0.37 ± 0.08 ^{NS}
	0 kGy	3.67 ± 0.38	0.27 ± 0.05	0.49 ± 0.08	0.48 ± 0.07	0.44 ± 0.11	0.52 ± 0.08	0.40 ± 0.05
	30 kGy	3.66 ± 0.42	0.26 ± 0.06	0.47 ± 0.07	0.49 ± 0.06	0.43 ± 0.12	0.54 ± 0.11	0.41 ± 0.06

Values are expressed as mean ± SEM (n=8). ^{NS}Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test (column).

Table 4. Hematology profiles of the male and female ICR mouse administered orally with freeze dried *bibimbap* irradiated at 30 kGy for 3 months (unit: k/ μ L)

Sex	Group	White blood cell	Neutrophil	Lymphocyte	Monocyte	Eosinophil	Basophil
Physiological range		1.8~10.7	0.1~2.4	0.9~9.3	0.0~0.4	0.0~0.2	0.0~0.2
Male	Control	5.38±0.57 ^{NS}	2.28±0.37 ^{NS}	3.03±0.22 ^{NS}	0.15±0.03 ^{NS}	0.04±0.06 ^{NS}	0.02±0.04 ^{NS}
	0 kGy	6.00±0.75	2.13±0.23	3.55±0.52	0.21±0.04	0.08±0.04	0.02±0.08
	30 kGy	6.07±0.72	2.09±0.26	3.62±0.56	0.29±0.03	0.07±0.02	0.02±0.03
Female	Control	7.45±5.44 ^{NS}	2.15±1.64 ^{NS}	4.91±3.63 ^{NS}	0.30±0.16 ^{NS}	0.07±0.04 ^{NS}	0.01±0.01 ^{NS}
	0 kGy	7.02±1.86	2.46±0.84	4.21±1.12	0.21±0.06	0.06±0.03	0.01±0.02
	30 kGy	7.90±2.79	2.16±0.89	5.23±1.89	0.34±0.12	0.08±0.07	0.02±0.02

Values are expressed as mean±SEM (n=8). ^{NS}Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test (column).

마우스의 혈액학적 검사를 Table 4에 나타내었다. 총 백혈구 수, 호중구, 림프구, 단핵구, 호산구 및 호염구는 대조군과 비교해 비조사 시료 투여군 및 30 kGy 조사 시료 투여군 모두 유의적 차이를 나타내지 않았다(p<0.05). 또한 총 적혈

구수, 헤모글로빈, 혈중 적혈구 비율, 평균 적혈구 용적, 평균 헤모글로빈 함유량, 평균 헤모글로빈 농도, 적혈구 크기 분포폭 및 혈소판도 모두 정상치를 나타내었다(Table 5).

Table 5. Erythrocyte and thrombocyte values in the male and female ICR mouse administered orally with freeze dried *bibimbap* irradiated at 30 kGy for 3 months

Sex	Group	RBC (M/ μ L)	Hb (g/dL)	HCT (%)	MCV (fL)	MCH (pg)	MCHC (g/dL)	RDW (%)	PLT (K/ μ L)
Physiological range		6.36~9.42	11.0~15.1	35.1~55.4	45.4~60.3	12.1~19.3	20.2~34.2	12.4~27.0	592~2972
Male	Control	8.69±0.54 ^{NS}	11.02±0.79 ^{NS}	51.26±6.35 ^{NS}	58.98±6.62 ^{NS}	12.62±0.03 ^{NS}	21.85±2.19 ^{NS}	19.12±0.71 ^{NS}	1302.2±239.3 ^{NS}
	0 kGy	10.49±3.65	11.85±1.05	61.81±17.11	59.95±7.63	12.07±2.69	20.04±3.81	18.82±1.04	1344.5±224.7
	30 kGy	9.91±0.94	11.97±0.79	54.42±6.99	55.05±6.08	12.26±0.47	22.47±2.10	18.65±1.05	1120.0±369.6
Female	Control	9.39±0.49 ^{NS}	11.81±0.69 ^{NS}	54.80±5.28 ^{NS}	58.35±5.43 ^{NS}	12.57±0.48 ^{NS}	21.68±1.87 ^{NS}	18.36±0.37 ^{NS}	1263.0±407.8 ^{NS}
	0 kGy	10.14±0.63	12.48±0.76	53.82±6.50	53.08±5.86	12.43±0.67	23.57±1.81	17.77±0.74	1149.1±118.9
	30 kGy	9.54±1.28	11.95±1.69	53.05±9.24	55.65±6.80	12.51±0.65	22.67±2.04	17.85±0.66	1079.2±266.8

RBC, red blood cell; Hb, hemoglobin; HCT, hematocrit; MCV, mean corpuscular volume; MCH, mean corpuscular hemoglobin; MCHC, mean corpuscular hemoglobin concentration; RDW, red blood cell distribution width; PLT, platelet; MPV, mean plasma volume. Values are expressed as mean±SEM (n=8). ^{NS}Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test (column).

Table 6. Serum biochemical values in the male and female ICR mouse administered orally with freeze dried *bibimbap* irradiated at 30 kGy for 3 months

Sex	Group	ALB (g/dL)	ALP (U/L)	ALT (U/L)	AST (U/L)	BUN (mg/dL)	CHOL (mg/dL)
Male	Physiological range	—	44±13.5	120±106.7	191±133.7	34±9.7	124±33.7
	Control	3.66±0.14 ^{NS}	46.087±16.53 ^{NS}	65.26±23.34 ^{NS}	162.38±59.84 ^{NS}	25.14±3.33 ^{NS}	197.02±67.50 ^{NS}
	0 kGy	3.75±0.20	36.71±14.29	106.29±97.24	141.81±60.78	27.47±3.94	186.67±31.78
	30 kGy	3.73±0.19	52.57±13.57	169.00±138.17	194.07±52.10	30.43±6.82	163.03±15.64
Female	Physiological range	—	56±17.8	62±54.8	134±65.6	25±9.1	92±26.1
	Control	3.96±0.35 ^{NS}	91.85±40.55 ^{NS}	34.47±8.65 ^{NS}	181.49±92.59 ^{NS}	23.08±2.14 ^{NS}	133.65±43.35 ^{NS}
	0 kGy	3.90±0.18	111.51±37.06	34.71±10.31	149.60±37.52	24.10±1.52	117.42±29.21
	30 kGy	3.91±0.31	123.94±39.89	34.08±11.85	181.59±71.87	22.24±1.99	101.41±19.49
Male	Physiological range	1.0±2.19	—	31.4±92.2	0.4±0.29	104±37.9	5.2±0.63
	Control	0.49±0.04 ^{NS}	0.72±0.14 ^{NS}	26.92±11.26 ^{NS}	0.73±0.14 ^{NS}	134.93±67.55 ^{NS}	5.11±0.13 ^{NS}
	0 kGy	0.54±0.05	0.65±0.08	37.82±18.52	0.63±0.08	142.54±24.55	5.39±0.28
	30 kGy	0.53±0.04	0.74±0.16	38.72±17.63	0.67±0.15	117.35±43.43	5.29±0.29
Female	Physiological range	0.8±1.85	—	106±38.1	0.4±0.26	71±27.6	5.2±0.55
	Control	0.63±0.07 ^{NS}	0.58±0.11 ^{NS}	44.02±27.66 ^{NS}	0.56±0.13 ^{NS}	149.71±74.98 ^{NS}	5.60±0.57 ^{NS}
	0 kGy	0.61±0.04	0.51±0.08	66.89±13.83	0.47±0.08	99.48±19.36	5.53±0.38
	30 kGy	0.59±0.05	0.52±0.07	60.87±30.94	0.45±0.09	130.31±15.0 ^a	5.40±0.39

ALB, albumin; ALP, alkaline phosphatase; ALT, alanine transferase; AST, aspartate aminotransferase; BUN, blood urea nitrogen; CHOL, cholesterol; CREA, creatinine; D-BIL, bilirubin direct, GLUC, glucose; T-BIL, bilirubin total; TG, triglycerides; TP, total protein.

Values are expressed as mean±SEM (n=8). ^{NS}Not significant at 5% level by Duncan's multiple range test (column).

혈청 생화학적 검사

30 kGy로 감마선 조사된 비빔밥을 90일간 투여한 후 혈액 생화학 측정기기를 이용하여 혈청을 분석한 결과를 Table 6에 나타내었다. 그 결과 알부민, ALP, ALT, AST, BUN, 콜레스테롤, creatinine, bilirubin direct, 포도당, 총 빌리루빈, 중성지방, 총 단백질 모두 암수 대조군 및 30 kGy 감마선 조사 비빔밥 투여군 모두 정상 수치를 나타내어 혈청 생화학적인 측면에서도 문제를 야기하지 않음을 관찰할 수 있었다.

조직학적 검사

30 kGy로 감마선 조사된 비빔밥을 투여한 암수 마우스의 병리학적 조직검사 결과를 Fig. 1과 2에 나타내었다. 병리학적 조직검사를 위해 우선 장기를 육안으로 관찰한 결과 모든 동물에서 장기의 형태, 크기, 색조, 경도 및 기타 병변 등의

육안적 이상 소견을 관찰할 수 없었다. 이에 따라 간장 및 신장을 채취하여 4% 포르말린에 고정 후 조직을 관찰하였다. 간의 경우 대조군, 비조사 시료 투여군 및 30 kGy 조사 시료 투여군 모두에서 염증, 괴사, bilirubin 침착 및 iron 침착 등의 병적인 변화를 보이지 않았고, 간세포의 구조도 모두 정상이었다. 신장에서도 염증 및 괴사 등의 병적인 변화를 보이지 않았고, 면역학적 요인이나 독성 물질에 기인하는 괴사도 관찰되지 않았다.

이상의 결과를 종합하여 볼 때 30 kGy로 조사된 건조우주 비빔밥을 3개월간 암수 마우스에 섭취시켜도 독성이 없는 것으로 판단되며, 이는 감마선 조사가 돌연변이, 만성독성 및 우성 치사 등을 유발하지 않는다는 여러 연구와 잘 일치하는 결과였다(12-15).

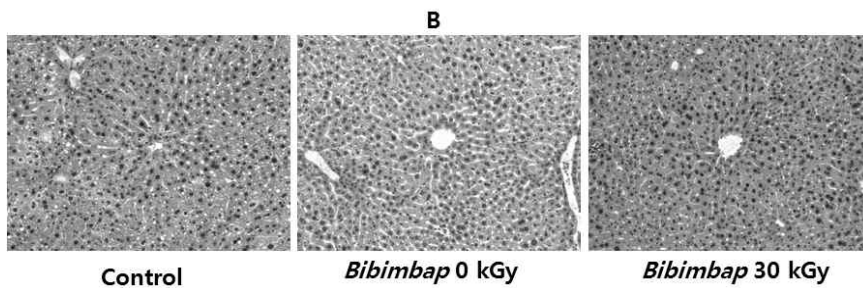
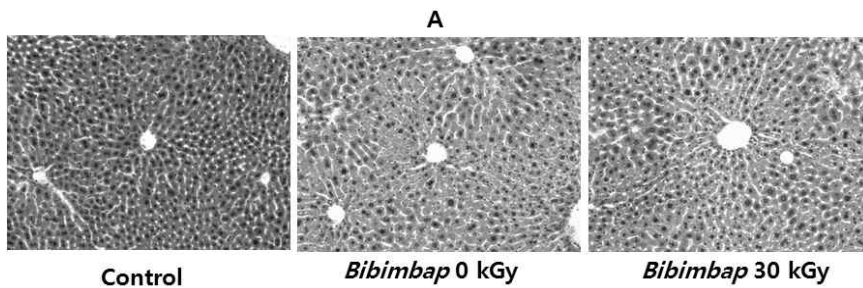


Fig. 1. Histopathological examination of the liver of ICR mouse administered with freeze dried *bibimbap* irradiated at 30 kGy for 3 months, ×20. (A) male, (B) female.

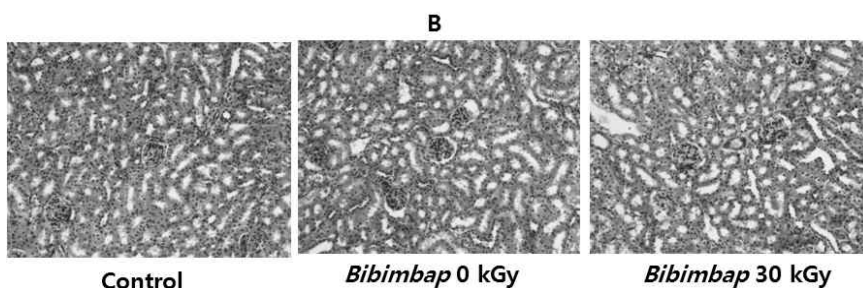
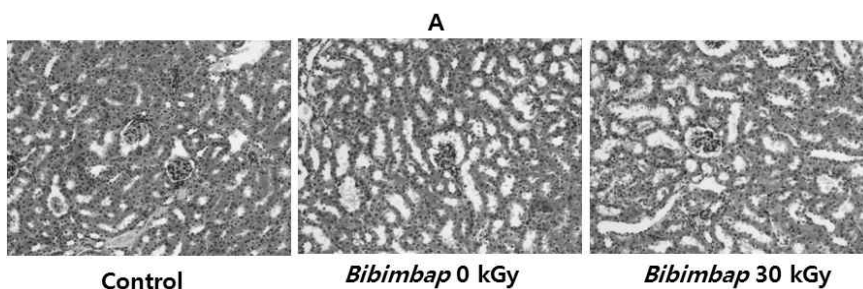


Fig. 2. Histopathological examination of the kidney of ICR mouse administered with freeze dried *bibimbap* irradiated at 30 kGy for 3 months, ×20. (A) male, (B) female.

요 약

본 연구는 건조우주비빔밥의 안전성을 확보하기 위해서 고선량(30 kGy) 조사된 건조우주비빔밥을 ICR 마우스에 3개월간 섭취시킨 다음 독성평가를 수행하였다. 비조사 시료 및 30 kGy 조사 비빔밥을 암수 마우스에 투여를 한 결과 시험기간 동안 시험물질에 의한 임상증상이나 폐사 동물은 나타나지 않았으며, 체중 변화, 사료섭취량 및 주요 장기 무게도 대조군에 비해 차이를 보이지 않았다. 혈액학적 검사 및 혈청학적 검사 모두 정상적인 수치를 나타냈다. 병리조직학적 검사 역시 간 및 신장 모두 정상적인 구조를 유지하고 있었으며 염증, 괴사 등의 유의할 만한 병적 변화도 관찰되지 않았다. 따라서 30 kGy로 감마선 조사된 건조우주비빔밥은 암수 마우스에 3개월간 섭취시켜도 본 시험조건에서는 독성이 없는 것으로 판명되었다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부 및 한국과학재단의 연구비 지원을 받아 원자력연구개발사업과 한국원자력연구원 기본사업을 통해 수행되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

문 헌

- Han KS, Pyo SH, Lee EJ, Lee HA. 2008. Standardization of the recipe for the large-scale production of Korean cooked rice varieties—Bibimbap, bean sprout bab, and fried rice. *Korean Soc Food & Cookery Sci* 24: 580-592.
- Ju JJ, Shin MG, Kwon GS, Yoon GS. 1998. Recipe standardization and nutrient analysis of local foods of Cheollabuk-do province (The first report). *Korean J Community Nutr* 3: 630-641.
- Han YS, Park JY. 2001. The microbiological and sensorial properties of frozen bibimbap namul during storage. *Korean J Soc Food & Cookery Sci* 17: 149-155.
- Kim JH, Oh SH, Lee JW, Lee CY, Myun MW. 2004. Effect of glucono delta-lactone on the quality of cooked rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 33: 1698-1702.
- Mun SI, Ryu HS, Lee HJ, Choi JS. 1994. Further screening for antioxidant activity of vegetable plants and its active principles from zatho-xylum schinifolium. *J Korean Soc Food Nutr* 23: 466-471.
- Kang MY, Kim S, Yun HJ, Nam SH. 2004. Antioxidative activity of the extracts from browned oak mushroom (*Lentinus edodes*) with unmarketable quality. *Korean J Food Sci Technol* 36: 648-652.
- Park JM, Lee JW, Kim JH, Kim KS, Han KJ, Sul MS, Lee HJ, Byun MW. 2007. Studies on manufacturing of Su-jeonggwa (Korean traditional cinnamon flavored persimmon punch) edible in severe environment by gamma irradiation. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 36: 609-615.
- Song BS, Park JG, Park JN, Han IJ, Jong JI, Kim JH, Byun MW, Kang SW, Choi GH, Lee JW. 2009. High-dose processing and application to Korean space foods. *Radiat Phys Chem* 78: 671-674.
- WHO. 1981. Wholesomeness of irradiation food (Report of a joint FAO/IAEA/WHO Export Committee), Technical Report Series, No. 659.
- Bruhn C. 1995. Consumer attitudes and market response to irradiated food. *J Food Protect* 58: 715-718.
- ICGFI. 1994. Summary report on eleventh meeting of the international consultative group on food irradiation. Denpasar, Bali, Indonesia. 2-4 November.
- 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 DW. 1987. Toxicology studies of irradiated-sterilized chicken. *J Food Protect* 50: 278-288.
- Kang IJ, Kwak HJ, Lee BH, Kim Byun MW, Yook HS. 1998. Genotoxicological and acute toxicological safeties of gamma irradiated beef. *Korean J Food Sci Technol* 30: 775-780.
- 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.

(2010년 11월 18일 접수; 2011년 1월 18일 채택)