

# 방사선 조사식품의 안전성 평가

강 일 준  
한림대학교 생명과학부

## Safety Evaluations of Irradiated Foods

Il-Jun Kang  
Division of Life Sciences, Hallym University, Chunchon 200-702, Korea

### I. 머리말

현재 많은 국가들이 조사식품을 그들의 시장에 공급하고 있으며, 조사식품의 사용에 소비자의 신뢰를 단계적으로 쌓아가고 있는 동시에 정부차원에서 조사식품 품목을 추가시키는 사업을 활발히 진행시켜 나가고 있다. 또한 조사기술을 더욱 유효하고 효율적으로 개발하기 위한 대규모 연구계획의 추진활동도 적극적으로 이루어질 전망에 있으며, 더욱이 방사선 조사는 다양한 크기나 형태의 식품 보존에 이용될 수 있는 이점 때문에 향후 식품업계에서의 감마선 조사 활용은 점차 늘어날 것으로 기대된다.

그러나, 식품조사는 다양한 선량의 범위에서 몇몇 식품에서 관찰된 특정 성분의 함유량 감소나 특유한 방사선분해물(unique radiolytic products: URP)의 생성 유무로, 조사식품을 일반식품으로 사용하는 것에 대한 찬반의 논란이 끊임없이 이어져왔다. 이에 따라 조사식품의 안전성에 대해 과거 40년 이상 수백 건의 안전성시험이 이루어져 왔으며, 모든 독성학적인 영향을 평가하기 위해 다양한 선량을 조사한 많은 종류의 식품이 rat, mouse, 개, 원숭이, hamster, 돼지에 투여되었다. 지금까지 실시된 상당수의 연구 결과 막대한 database가 만들어졌다. Database의 분석결과, 조사식품은 안전성에 문제가 없다고 하는 결론에 도달하였음에도 불구하고 일부 소비자들은 조사 식품에 대해 아직까지도 의구심을 지니고 있는 실정이다. 방사선 조사식품에 대한 소비자들의 부정적인 선입견을 불식시킬 수 있는 방법은 실험상으로 그 안전성을 검증하여 그 결과를 토대로 소비자들을 교육, 홍보하는 것이다. 이를 위해서는 방사선 조사 식품에 대해 유독성 물질의 유발, 영양소의 파괴, 유전변이 물질의 유발, 발암성 물질의 유발, 방사선 물질의 유발, 잔류 내성세균에

의한 유해 등과 같은 문제점에 주안을 두어 다각도로 검토되어야 한다.

따라서 본고에서는 현재까지 이루어진 국제적 평가와 다양한 독성시험을 중심으로 방사선 조사 식품의 안전성을 다각적인 측면에서 살펴봄으로써 조사 식품의 안전성에 대한 이해증진을 도모하고자 한다.

### II. 본 론

#### 1. 조사식품의 건전성에 대한 국제적 평가

1921년 미국에서 육류 기생충사멸을 위한 방사선 조사처리가 최초로 사용된 이래 조사식품의 건전성에 관한 연구가 활발히 이루어지기 시작하였다. 이에 따라 1961년 FAO/IAEA/WHO 공동으로 식품조사의 안전성 평가에 관한 최초의회의를 소집하여 "식품조사공동전문위원회(JECFI: Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee on the Wholesomeness of Irradiated Food)"를 설치하였으며, 1970년 FAO/IAEA 및 OECD는 WHO의 권유에 따라 24개국이 참여한 식품조사분야 국제과제를 신설하였다. 1980년 스위스 제네바에서 JECFI는 과거 40년 동안의 조사식품의 건전성 시험에 대한 결과를 종합적으로 평가하여 "평균 10 kGy까지 감마선 조사된 어떠한 식품도 독성학적 장해를 전혀 일으키지 않으며, 독성 실험은 더 이상 필요가 없다고 결론을 내렸으며, 모든 식품에 대하여 10 kGy까지 조사한 것은 영양학적 및 미생물학적 문제를 일으키지 않는다고 발표하였다. 1982년 식품미생물 국제위원회 및 미생물협회 식품미생물 국제연맹은 조사 식품의 안전성에 관한 증거를 재확인하여, 1980년 JECFI의 결정을 인정하면서 식품조사는 건강에 어떠한 장해도 일으키지 않는다고 결론지었다.

1984년에는 FAO/IAEA/WHO 후원 하에 20여개국 이상이 국제식품조사자문기구(ICGFI: International Consultative Group on Food Irradiation)를 조직하여 국제교역, 경제, 법제화, 규

Corresponding author : Il-Jun Kang, Division of Life Sciences, Hallym University, Chunchon 200-702, Korea  
E-mail : ijkang@hallym.ac.kr

제 및 홍보에 관한 사항을 다루기로 결정하였으며, 1986년 EC 과학분과위원회는 동물실험은 더 이상 필요 없다는 평가를 인정하여, 조사식품의 안전성을 확인하고 1980년 JECFI의 결론을 인준하였다. 그후, WHO/FAO/IAEA 및 국제 교역센터 UNCTAD/GATT 공동으로 스위스 제네바에서 개최된 조사식품에 대한 수용성, 규제 및 교역에 관한 국제회의(1988)에 약 80개국의 대표가 참석해 조사식품에 대해 소비자와 교역의 전망에 관한 결의문을 채택하게 되었다. 1992년 WHO에서는 조사식품의 안전성을 재평가하면서 적정제조기준에 따라 감마선 조사기술이 이용된다면 영양학적으로나 미생물학적으로 전혀 문제가 없다고 발표하였으며, 안전한 식품의 조리를 위한 WHO의 황금률(The WHO Golden Rule for Safe Food Preparation)에서 “가능하면 이온화 감마선으로 처리된 신선하고 냉동된 가금육을 선택하여야 한다.”라고 발표하였다.

한편, 국내에서도 1995년부터 특산품인 인산제품에 대한 조사식품의 안전성 연구가 4개 연구기관(서울대학교 천연물과학연구소, 국립보건원 안전연구원, 한국원자력연구소, 원광대학교)에서 공동으로 5년간 수행되어 영양학적, 미생물학적, 약리효능 및 유전독성학적 안전성을 입증한바 있으며, 방사선 조사축산물(우육, 돈육, 계육)의 안전성 평가도 3개 대학(한림대학교, 서울여자대학교)이 1997년부터 체계인 동물 실험을 수행하여 30 kGy까지의 고 선량조사도 안전성에 문제가 없는 것으로 판명되었다.

1997년에는 FAO/LAEA/WHO 합동회의로 열린 『고 선량(10 kGy~70 kGy) 조사식품의 안전성에 관한 전문가 연구회의』에서 “기존 허용 기준보다 10배 이상 높여도 아무런 건강상의 위험은 없으며, 특히 불을 너무 가하면 타서 못 먹게 되는 것처럼 감마선도 과량 조사하면 유해물질이 생성되기 이전에 맛과 품질이 변하므로 최대선량을 제한할 필요가 없다”는 결론을 내리고 각국에 이 사실을 WHO press로 발표하였다.

1998서울에서 IAEA/WHO 주관으로 『감마선 조사식품에 관한 범규와 절차의 조화를 위한 워크숍』을 개최하고, 조사식품의 무역을 위한 아시아·태평양 지역의 국가간 법률 조화(Harmonization)를 합의하였으며, 1999년에는 FAO/LAEA/WHO 전문가 합동으로 『10 kGy이상 고 선량 조사식품의 안전성과 건전성에 관한 기술보고서』를 각국의 정부기관에 배포하기에 이르렀다.

2. Database를 통한 FDA의 안전성 평가

1981년에 JECFI의 보고서가 공표된 이후, FDA는 1982년까지 입수 가능한 400건 이상의 독성시험에 대해 통계적인 검토를 개시했다. 이중 250건 이상이 채용되었으며, 나머지 약 150건은 data의 결함으로 채용되지 못하였다. 채용된 연구논문들은 FDA나 WHO가 식품의 안전성에 대해 판단할 때 사용하는 것과 마찬가지로, 여러 종류의 동물에 대한 아

만성독성시험, 만성독성시험, 번식시험, 일련의 변이원성시험 등이 폭넓게 포함되어 있다. 이들 시험 결과를 간단히 소개하면 다음과 같다.

① 아만성 독성시험

Rat를 사용한 총 26건의 아만성독성시험이 이루어졌다. 이들 시험에서는 양파, 생선, 돈육, 빵, 콩, 과일, 감자, 새우, 우육, 베이컨, 버섯 등의 많은 식품이 검토되었으며, 선량은 0.1~55.8 kGy이었다. 방사선 조사의 영향이 있다는 보고는 약간 있었으나, 대부분의 시험에서 영향이 관찰되지 않아 조사식품을 섭취함에 따른 독성학적인 영향은 없다는 사실이 시사되었다(표 1).

Brin등(1961)의 시험에서 55.8 kGy의 선량으로 조사한 돈육은 rat에 84일간 투여 하였을때, 혈장 alanine aminotransferase (plasma transaminase)와 체중의 감소가 관찰되었다.

표 1. Rat, 마우스 및 개를 사용한 아만성독성시험

| 시험 동물  | 식품           | 기간 (일)           | 선량 (kGy) | 영향  |
|--------|--------------|------------------|----------|---|
| Rat    | 생선(고등어)      | 90               | 2        | 없음  |
|        | 커피, 검정콩      | 84               | 1        | 없음  |
|        | 돈육           | 84               | 55.8     | 체중, plasma transaminase의 감소               |
|        | 돈육, 빵, 콩, 새우 | 84               | 55.8     | 없음  |
|        | 당근           | 90               | 1        | 없음  |
|        | 계육           | 90               | 6        | 없음  |
|        | 생선(가자미)      | 90               | 3.4      | 없음  |
|        | 생선(대구)       | 84               | 3.4      | 없음  |
|        | 망고           | 90               | 0.8      | 없음  |
|        | 양파           | 90               | 0.25     | 없음  |
|        | 생선           | 90               | 6        | 없음  |
|        | 생선(대구)       | 90               | 6        | 없음  |
|        | 감자           | 90               | 2        | 없음  |
|        | 우육           | 90               | 55.8     | 출혈사                                       |
|        | 우육           | 98               | 55.8     | 혈액응고시간의 증가                                |
|        | 계육           | 90               | 47       | 없음  |
|        | 사료           | 120              | 45       | 혈장 asparatic acid aminotransferase 활성의 감소 |
|        | 생선(고등어)      | 90               | 1.5      | 없음  |
|        | 우육, 돈육       | 84               | 55.8     | 간효소의 증가                                   |
|        | 마우스          | 우육, 생선, 베이컨의 혼합물 | 84       | 60  |
| 카카오콩   |              | 126              | 0.5      | 없음  |
| 밀      |              | 105              | 2        | 없음  |
| 버섯     |              | 90               | 5        | 없음  |
| 새우     |              | 90               | 3        | 없음  |
| 사료     |              | 90               | 50       | 없음  |
| 딸기     |              | 90               | 50       | 성장의 저하                                    |
| 양파     |              | 90               | 0.1      | 없음  |
| 잉어, 새우 |              | 90               | 2.5      | 없음  |
| 양파     |              | 90               | 0.25     | 빈혈  |
| 개      | 과실(체리)       | 90               | 4        | 없음  |
|        | 우육           | 188              | 55.8     | 없음  |
|        | 밀가루          | 168              | 0.74     | 없음  |
|        | 우육, 양고기      | 130              | 0.07     | 없음  |
|        | 감자           | 90               | 2        | 없음  |

저자가 지적하고 있는 것처럼, 이러한 영향은 아마 피리독신의 감소 때문인 것으로 추정되었다. FDA는 이 연구가 영향학적인 실험으로 독성학적으로는 의미가 없다고 판단하였다.

Malhotra와 Reber(1963)은 55.8 kGy의 선량으로 조사한 우유를 투여한 rat에서 출혈을 관찰했으나 이 선량에서는 비타민 K가 파괴된다. 우유는 비타민 K의 중요한 공급원이 아니므로 조사에 의한 비타민 K의 손실은 인간에게 중요한 것이 아니며, 본 실험에서 rat에 투여한 사료자체에 처음부터 비타민 K가 부족 되어 있어 출혈이 일어난 것이었다. 즉, 조사우유중의 독성물질에 의해 야기된 것이 아니었다.

Merwalli(1977)는 25~45 kGy로 조사한 사료를 투여한 자성 rat의 혈장중의 aspartic acid aminotransferase 활성의 저하를 보고하였다. FAD는 이 현상은 선량 의존성이 없었으며 시험의 결과에 의문의 여지가 있다고 하였다. 통계적으로는 유의 차가 있었으나 대조군의 효소활성이 통상보다도 높았다는 것이 원인이었다. Luckey등(1973)도 54 kGy조사사료를 투여한 마우스의 성장이 느리고, 빈혈증상을 나타낸다고 보고하였으나 FDA는 실험설계의 문제점 등을 이유로 이 시험 결과를 부정하였다.

한편, 개를 사용한 6건의 시험주에서 5건은 조사에 의한 악영향이 없는 것으로 나타났다.(표 1). 개에게 투여한 사료는 4 kGy 로 조사한 우유과 양고기, 55.8 kGy로 조사한 우유, 0.74 kGy로 조사한 밀가루, 0.07 kGy로 조사한 우유과 양고기, 2 kGy로 조사한 감자이었다. Gabriel과 Edmonds(1976)는 조사 양과를 10%(건조중량) 첨가한 사료를 투여한 개에서의 여러 가지 영향을 보고하였다. FDA는 이러한 영향은 방사선조사와 관계가 없다고 결론지었으며, 각 시험군의 동물수가 너무 적어서 적절한 평가가 불가능하다는 사실도 지적하였다. 개를 통한 전반적인 실험결과 고 선량의 방사선을 조사한 사료를 섭취시켜도 나쁜 악영향이 관찰되지 않았다는 점은 주목할 만 하다. 마찬가지로 마우스를 사용한 아만성 독성시험에서도 악영향은 관찰되지 않았다(표 1).

② 번식시험 및 최기형성시험

Rat를 사용한 총 11건의 번식시험이 검토되었다. 이들 시험에서는 55.8 kGy로 조사한 돈육, 59 kGy 조사계육, 6 kGy 조사생선, 1 kGy 조사양과, 0.4 kGy 조사감자, 56 kGy 조사녹두, 2 kGy 조사 밀, 2.79 kGy 조사 오렌지가 대상이 되었다. 이들 시험의 대부분에서 조사에 의한 영향은 관찰되지 않았다(표 2).

Shillinger와 Osipova(1970)의 조사 생선(6 kGy)에 관한 시험에서는 고환의 위축과 발정기와 장기화가 관찰됨과 동시에 혈액중의 choline esterase활성이 42%저하되고, 단백질의 결핍이 시사되었다. 원인으로서는 생선 섭취량의 저하 또는 생선의 건전성의 저하로 여겨졌다. 사료가 부적절하고, 비타민이나 미네랄의 보급도 제대로 이루어지지 않는 것으로 판

명되었다. 번식기능의 지표선택이 부적절하였고, 참고문헌을 인용하고는 있으나 자손, 출산, 사산의 수, 생존율, 기관의 무게에 관한 data가 기록되어 있지 않았다. 그 결과 이 시험 data는 의문의 여지가 있다고 결론지어졌다. Phillips(1960)가 관찰한 체중 증가율의 저하는 방사선 조사와 관계가 없었고 부적절한 사료가 원인이었다.

표 2. 방사선 조사식품을 투여한 시험동물의 번식시험과 최기형성 시험

| 시험 동물   | 식품          | 기간 (日) | 선량 (kGy) | 영향              |
|---------|-------------|--------|----------|-----------------|
| Rat     | 돈육          | 730    | 55.8     | 없음              |
|         | 감자          | 730    | 0.4      | 없음              |
|         | 향신료의 혼합물    | 10     | 15       | 없음              |
|         | 밀           | 160    | 2        | 없음              |
|         | 생선          | 40     | 6        | 없음              |
|         | 오렌지         | 160    | 2.79     | 체중증가율의 감소       |
|         | 계육, 녹두      | 120    | 59       | 없음              |
|         | 새선          | 120    | 6        | 고환 위축, 발정주기의 연장 |
|         | 양과          | 120    | 1        | 없음              |
|         | 생선          | 다양     | 2        | 없음              |
| 마우스     | 옥수수, 호두, 자두 | 240    | 2        | 없음              |
|         | 사료          | 200    | 25       | 새끼수의 감소         |
|         | 계육          | 20     | 59       | 없음              |
|         | 계육          | 다양     | 45       | 없음              |
|         | 계육          | 18     | 45       | 없음              |
|         | 생선(대구)      | 120    | 1.75     | 없음              |
| 개       | 우유          | 다양     | 55.8     | 없음              |
|         | 우유          | 900    | 56       | 없음              |
|         | 감자          | 다양     | 0.15     | 없음              |
| hamster | 계육          | 5      | 45       | 없음              |
| 토끼      | 계육          | 14     | 45       | 없음              |

마우스를 사용한 번식시험이 5건 이루어졌으며, 계육(45 kGy), 생선(1.75 kGy), 옥수수, 호두, 서양자두(2 kGy), 사료(25 kGy)가 각각 투여되었다. 보고된 유일한 악영향은 조사한 사료에 관한 시험에서 새끼의 수가 감소되었다는 것이었으나(Porter 와 Festing, 1970), 유의 차가 없었다. 56 kGy 조사 우유를 개에 투여한 시험이 2건 있었으며, 이들 모두 조사에 의한 악영향은 관찰되지 않았다. 0.15 kGy를 조사한 감자를 개에 투여한 시험에서도 조사의 영향은 확인되지 않았다. 45 kGy로 조사한 계육을 hamster와 토끼에게 투여한 시험도 이루어졌으나 이들 모두 조사의 영향은 없었다(표 2). 결론적으로 번식시험 및 최기형성 시험에서는 조사에 의한 영향은 음성이었다. 보고된 영향은 통계적으로 유의성이 없었으며 다른 요인으로 설명 가능한 것이었다.

③ 만성독성시험

Rat를 사용한 총 32건의 만성독성시험이 수행되었으며,

그중 6건의 시험은 시험기간이 600일 이내이었으나, 나머지 26건의 시험은 시험기간이 충분히 길어 발암성을 평가하는 것이 가능하였다. 대부분의 실험에서 극단적으로 높은 선량을 조사한 식품이 투여되었으나 어느 쪽 시험에서도 조사와 관련된 종양의 증가는 관찰되지 않았다(표 3). 3건의 시험에서 돈육이 단독 또는 다른 식품과 함께 투여되었다. 이들 돈육은 27.9~55.8 kGy로 조사한 것이었으며 방사선조사에 의한 나쁜 영향은 관찰되지 않았다. 27.9~55.8 kGy로 조사한 우육을 투여한 3건의 시험에서도 나쁜 약 영향을 관찰되지 않았다. 조사 계속에 대해서는 2건의 시험이 수행되었다. 그중 Phillips등(1961)의 시험에서 어린 rat의 십이지장 조직의 alkaline phosphatase가 저하되었다. 그러나 한가지의 선량에 대한 동물수가 겨우 5마리여서 data를 적절히 평가하기에는 너무 부족하였다. 조사된 닭고기 스투와 양배추를 투여한 rat에서는 생애 및 그 다음 2세대에서 독성학적으로 유일한 결과가 관찰되지 않았다.

표 3. 방사선 조사식품을 투여한 rat의 만성독성시험

| 식품               | 기간 (日) | 선량 (kGy) | 영향                               |
|------------------|--------|----------|----------------------------------|
| 바나나              | 730    | 0.4      | 없음                               |
| 고등어              | 730    | 2        | 없음                               |
| 사료               | 728    | 25       | 없음                               |
| 우육               | 730    | 55.8     | 없음                               |
| 돈육, 복숭아, 밀가루, 당근 | 730    | 55.6     | 없음                               |
| 감자               | 730    | 0.4      | 없음                               |
| 닭고기              | 730    | 6        | 없음                               |
| 망고               | 730    | 0.8      | 없음                               |
| 밀                | 750    | 2        | 없음                               |
| 생선               | 730    | 6        | 없음                               |
| 말고기              | 630    | 6.5      | 없음                               |
| 밀                | 730    | 2        | 없음                               |
| 감자               | 730    | 0.6      | 없음                               |
| 감자               | 455    | 2        | 없음                               |
| 딸기               | 730    | 3        | 없음                               |
| 감자               | 728    | 0.15     | 없음                               |
| 옥수수, 참치          | 728    | 55.8     | 없음                               |
| 닭고기 스투, 양배추      | 730    | 56       | 십이지장세포의 alkaline phosphatase의 저하 |
| 분유, 쇠고기 스투       | 730    | 55.8     | 없음                               |
| 베이컨, 햄, 생선의 혼합물  | 721    | 55.8     | 제3세대에 있어 체중 증가율의 감소              |
| 분유               | 400    | 45       | 없음                               |
| 감자               | 800    | 0.3      | 없음                               |
| 우육, 돈육, 생선의 혼합물  | 365    | 27.9     | 없음                               |
| 돈육, 뇌, 우육의 혼합물   | 365    | 93       | 없음                               |
| 옥수수기름, 면실유       | 365    | 55.8     | 없음                               |
| 베이컨, 우육, 생선의 혼합물 | 960    | 58       | 없음                               |
| 전분               | 742    | 6        | 없음                               |
| 밀가루              | 999    | 2        | 없음                               |
| 새우               | 999    | 2.5      | 없음                               |
| 돈육               | 900    | 74       | 없음                               |
| 버섯분말             | 365    | 5        | 없음                               |
| 생선               | 880    | 2        | 없음                               |

만성독성시험이 조사식품의 혼합물 또는 사료를 사용하여도 수행되어졌다. 베이컨, 햄, 생선을 혼합해서 55.8 kGy로 조사한 Read(1961)의 실험에서 제3세대에서 체중 증가율의 저하가 관찰되었으며, 제2세대와 제3세대 부모의 2회째 번식에서 새끼의 체중이 유의적으로 저하되었다. 그러나 관찰된 방사선조사의 영향은 적었다.

더구나, 탄생시의 체중이나 모친의 체중이 기재되어 있지 않았기 때문에 체중의 감소가 수유기간이나 자궁 내에서 일어난 것인지 아닌지를 판단할 수 없었다. 그러나 수유후에는 체중이 동일하게 되었기 때문에, 영향은 수유에 의한 것이었다고 시사되었다.

대조군 및 시험군에서는 2회째의 번식에 관한 번식력의 저하는 아마도 번식과 번식의 사이에 자성(암컷)이 회복하는데 필요한 충분한 시간이 주어지지 않았기 때문인 것으로 결론지어졌다.

마우스에 대해서는 18건의 만성독성시험이 이루어졌다(표 4). 돈육과 계육, 돈육과 우육, 우육, 돈육과 생선, 참치와 우육을 27.9~93 kGy까지 조사한 다음 시험을 수행하였으나 이들 모두 조사에 의한 나쁜 영향을 나타나지 않았다. 베이컨 및 베이컨 지방을 55.8 kGy, 계육을 7 kGy(2건의 시험), 전분을 6 kGy, 밀가루를 2 kGy로 조사한 다음 마우스에 일생동안 투여하였으나 약 영향은 관찰되지 않았다. 나쁜 영향이 관찰된 것은 60 kGy조사사료, 50 kGy조사 밀가루, 59 kGy조사 계육, 55.8 kGy로 조사한 계육과 돈육의 혼합물을 마우스에 투여한 4건의 시험이었다. 약 영향은 각각의 시험에서 다르게 나타났으며, 개개의 약 영향은 18건의 시험에서 1회씩만 관찰되었다. Biagini등(1967)은 60 kGy조사 사료를 투여한 마우스에서 성장과 번식력의 저하를 보고하고 있으나, 성장의 저하는 10%이하였으며, 번식력의 문제는 영양과 관계하고 있었다. 나아가 이들의 시험에서는 웅성 마우스를 임신하고 있지 않은 자성마우스에 접촉시키는 기술이 부족하였고, 사료의 시호성에도 문제점이 있었다고 한다. Monsen(1960)은 55.8 kGy조사 돈육, 계육을 base로 한 조사식품을 사료로 사용해 마우스에 투여한 결과 심장에 심이(心耳)의 확장을 일으킨다고 지적하였다. 그러나 Monsen의 연구실에서 Thompson(1963)이 동일 계통의 마우스 약 5,000마리를 사용해 대규모의 실험을 실시하여 80만개 이상의 심장 절편을 상세히 조직병리학적으로 조사해본 결과, 보고되었던 장애를 전혀 관찰되지 못하였다. 따라서 방사선 조사가 심장장애의 원인이 아님이 명확하게 밝혀지게 되었다. 마우스를 이용한 18건의 만성 독성시험의 결과는 고 선량 조사한 사료를 비롯해 각종 조사식품을 일생동안 마우스에 투여해도 나쁜 약 영향이 없다는 사실을 나타내고 있다.

한편, 개를 이용한 11건의 만성독성시험이 이루어졌다(표 4). Rat나 마우스를 이용한 시험과는 달리 시험기간이 발암성을 정확하게 평가하기에는 부적절하였다. 3건의 시험에서 6~59 kGy로 조사한 계육, 2건의 시험에서는 55.8 kGy조사

우육, 1건의 시험에서는 55.8 kGy조사 베이컨과 양배추가 각각 개에게 투여되었다. 나아가 8 kGy조사 대합조개, 1 kGy이하 조사양파, 4 kGy조사 바나나, 3 kGy조사 딸기, 0.74 kGy조사 밀가루를 투여한 시험이 각각1회씩 수행되었다. Reber(1961)는 0.74 kGy조사 밀가루를 개에게 투여하면 갑상선 염이 일어난다고 보고하였다. 그러나 설탕당 암수 각각의 개가 2마리만 사용되었으며, 결과도 통계학적인 유의 차가 없었다. 또한 대조군과 저선량 조사 군에서 각각 새끼가 사망하는 등 출산에 난점이 있었다. 나아가 대부분의 강아지가 이유 전에 사망하여 수유에도 문제가 있었다는 사실이 시사되었다. 이러한 영향은 방사선조사와는 관계가 없었다.

표 4. 마우스, 개, 원숭이, 돼지를 이용한 방사선 조사식품의 만성독성시험

| 시험 동물     | 식품            | 기간 (日) | 선량 (kGy) | 영향           |    |
|-----------|---------------|--------|----------|--------------|----|
| 마우스       | 사료            | 730    | 60       | 성장과 수정능력의 저하 |    |
|           | 밀가루           | 800    | 50       | 증양, 생존력의 저하  |    |
|           | 생선            | 560    | 1.75     | 없음           |    |
|           | 닭고기           | 730    | 59       | 없음           |    |
|           | 베이컨           | 750    | 55.8     | 없음           |    |
|           | 생선(대구, 농어)    | 560    | 1.75     | 없음           |    |
|           | 감자            | 730    | 0.6      | 없음           |    |
|           | 베이컨 기름        | 500    | 55.8     | 없음           |    |
|           | 돈육, 계육의 혼합물   | 800    | 55.8     | 심이(心耳)확장     |    |
|           | 계육            | 560    | 7        | 없음           |    |
|           | 계육            | 580    | 7        | 없음           |    |
|           | 참치, 우육의 혼합물   | 730    | 55.8     | 없음           |    |
|           | 우육,돈육,생선의 혼합물 | 365    | 27.9     | 없음           |    |
|           | 돈육,뇌,우육의 혼합물  | 365    | 93       | 없음           |    |
|           | 옥수수기름,면실유     | 365    | 55.8     | 없음           |    |
|           | 돈육, 계육의 혼합물   | 600    | 55.8     | 없음           |    |
|           | 전분            | 742    | 6        | 없음           |    |
|           | 밀가루           | 999    | 2        | 없음           |    |
|           | 개             | 바나나    | 730      | 4            | 없음 |
|           |               | 계육     | 999      | 59           | 없음 |
| 계육, 우육, 쟈 |               | 730    | 55.8     | 없음           |    |
| 대합조개      |               | 728    | 8        | 혈중 요소태질소의 감소 |    |
| 베이컨, 양배추  |               | 730    | 55.8     | 없음           |    |
| 양파        |               | 540    | 0.2      | 없음           |    |
| 양파        |               | 540    | 1        | 없음           |    |
| 딸기        |               | 730    | 3        | 없음           |    |
| 소맥분       |               | 730    | 0.74     | 갑상선염         |    |
| 우육        |               | 728    | 55.8     | 없음           |    |
| 돼지        | 계육            | 365    | 6        | 없음           |    |
|           | 감자            | 300    | 0.15     | 없음           |    |
| 원숭이       | 쌀             | 730    | 1        | 없음           |    |

갑상선 염은 사냥개에서 비교적 잘 일어나기 때문에 갑상선 염이 방사선 조사와 관계가 있는 것인지는 판단을 할 수 없었다. 전체적으로 개를 이용한 11건의 시험에서 방사선조

사의 영향에 대해 부정적이었으며, 항상 야기된다던가 일정한 경향을 나타내는 영향은 아무 것도 없었다. 0.15 kGy로 조사된 감자를 돼지에게 300일간 투여한 시험과, 1 kGy로 조사한 쌀을 원숭이에게 730일간 투여한 시험이 1건씩 있었으며, 이들 모두 방사선조사에 의한 나쁜 영향은 관찰되지 않았다(표 4).

이상 살펴본 바와 같이, rat를 사용한 30건 이상, 마우스를 사용한 18건, 개를 사용한 11건의 만성독성시험이 이루어졌다. 대부분의 경우 고 선량 조사한 식품이 일생동안 또는 적어도 1년간 동물에게 투여되었다. 일정한 pattern이나 경향을 나타내는 영향은 전혀 관찰되지 않았으며 시험결과도 압도적으로 영향이 없었다는 것이어서 동물의 일생 또는 중요한 기간에 조사식품을 섭취해도 나쁜 영향이 없다는 사실을 입증하고 있다.

### 3. Raltech(Raltech Scientific Services, Inc.)에서의 안전성시험

Raltech에서 수행된 시험이 식품조사에 관한 모든 시험 중에서 통계적으로 가장 뛰어난 것이라고 생각되고 있다. 조사 계육을 대상으로 실시된 Raltech의 시험은 최초미국육군, 그 후 미국 농무성이 지원해 실시되었다. 이 보고서는 미국 기술정보서비스(National Technical Information Service)에서 입수 가능하다. 이 시험에서 약 25만 마리의 닭, 즉 134톤의 닭고기가 소요되었다. 시험의 하나로 마우스를 사용한 시험이 있었으며, 발암성 시험, 만성독성시험, 다세대의 번식시험이 동시에 이루어졌다. 전체적으로 Raltech의 시험은 지금까지 실시된 시험 중에서 가장 광범위한 것으로 마우스를 이용한 만성독성시험 이외에도 개를 사용한 만성독성시험, 4종류의 동물을 이용한 최기형성시험, 마우스를 이용한 우성치사시험, 초파리를 사용한 반성열성시험(伴星劣性), Ames 시험이 수행되었다. 모든 동물실험에는 (a)전자선을 조사한 계육, (b)감마선을 조사한 계육, (c)가열 살균한 계육, (d)열탕 처리한 계육, (e)쥐나 개용 사료, 즉, 총 5종류의 시료를 투여한 동물을 대상으로 검토가 이루어졌다. (a) 및 (b)의 그룹에 공급된 계육은 혐기조건하, -25℃에서 평균 58 kGy까지 조사된 것이었다.

최기형성 시험에서 조사한 계육을 hamster, 토끼, rat, 마우스에 투여하여도 자손에 기형학적인 영향은 나타나지 않았다. 이들 시험 중 hamster, 토끼, rat를 사용한 시험은 FDA가 수준 높은 시험으로 평가하였다. 마우스를 사용한 시험결과도 조사계육이 기형학적으로 영향을 미치지 않았다는 것이었으나 data의 기록방법에 문제가 있어 FDA는 제한된 가치 밖에 없다고 평가하였다(H. Irausquin, 1988). 우성치사시험에서도 조사계육을 투여한 동물에서 방사선 조사에 의한 영향은 검지 되지 않았으며, Ames시험에서도 실시된 조사계육은 변이원성을 나타내지 않았다. 마우스를 사용한 만성독성, 발

암성 시험에서는 고환 종양과 사구체 신장증의 증가 및 생존율의 저하가 관찰되었다. 그러나 FDA의 병리학자와 미국 화합물질 독성시험 프로그램 (US National Toxicology Program)의 과학위원회가 공동으로 철저히 검토한 결과, 고환종양의 증가와 방사선조사와의 관계를 확증할 수 없다고 결론지었다. 나아가 FDA의 과학자는 마우스의 사구체 신장증의 증가와 생존율의 저하는 조사에 의한 것이 아니라고 결론지었다.

전체적으로, 방사선 조사 선량은 높았지만 조사가 낮은 온도(-25℃)와 공기가 없는 상태에 이루어졌기 때문에 계속 냉동시키지 않고 공기 중에서 조사할 때 보다 방사선 분해 생성물이 적게 생성되었을 것이다. 그렇지만 많은 시험에서 방사선에 의한 영향이 나타나지 않았다는 사실로부터, 조사식품을 섭취해도 안전성에 문제가 없다는 것이 입증되었다.

#### 4. 사람을 대상으로 한 안전성시험

철저히 계획하고 관리된 가운데 임상시험이 이루어졌다. 건강한 지원자에 대해 35종류의 조사식품이 제공되었고 (Anon, 1987, Shao and Feng, 1988), 대조 group에는 비조사와 동일한 식품이 공급되었다. 즉 곡물(2종류), 콩 및 그 제품(10종류), 야채, 과일(20종류), 식육, 생선, 계란, 계육(30종류), 조미료(10종류)를 재료로 한 음식이 제공되었다. 육류는 8 kGy, 그 밖의 식품은 1~1.5 kGy로 조사되었고, 하루 평균 섭취량은 육류 40g, 야채, 과실이 300g, 곡류가 270g으로 전체식사의 60.3%가 방사선 조사되었다. 남성 36명, 여성 34명의 의대생으로 구성된 인원이 조사식품 group과 대조 group으로 무작위 하계 분류되어 90일간의 시험이 이루어졌다. 하루 식사량으로 권장되고 있는 칼로리 및 영양이 공급되도록 식사가 준비되었으며, 섭취하기 전후에 완벽한 건강진단도 수행되었다. 염색체의 수와 구조의 이상, 자매염색체교환, 림프세포의 소핵이 기록되었고, 소변의 Ames시험도 실시되었다.

시험결과, 조사식품은 일상생활, 학습, 운동에 어떠한 악영향을 미치지 않았으며, 건강진단에서도 조사식품을 90일간 섭취함에 따른 영향이 인지되지 않았다. 한사람 당 100개의 분열중기의 염색체를 관찰한 결과, 조사식품을 섭취한 사람과 대조군간의 염색체의 gap이나 절단, 염색체 단면 등에 유의한 차이가 나타나지 않았다. 조사식품을 섭취한 group은 대조군과 비교해 배수세포가 유의적으로 증가하지 않았다. 림프세포의 소핵도 양쪽 group간에 유의 차가 없었으며, 자매염색체교환시험에서도 조사의 영향은 나타나지 않았다. 시험 종료 직전과 종료 후에 각각의 그룹에서 6명의 소변을 24시간동안 수집하여 S9의 존재 및 비존재하에서 *Salmonella typhimurium* TA98과 TA100을 사용한 Ames시험을 실시한 결과에서도 양 group간에 차이가 나타나지 않았다.

#### 5. 방사선분해 생성물의 안전성문제

식품분자가 전리방사선을 흡수하면, 화학결합의 절단과 free radical(유리기) 및 하전된 이온을 발생시키며, 그 결과 방사선분해생성물이 생성된다. 이에 따라 방사선 분해생성물의 동정과 안전성에 관한 많은 연구가 수행되었다. 식품의 3대 영양소, 즉, 탄수화물, 단백질, 지질은 전리방사선이 조사되면 각각 다른 type의 방사선분해생성물을 생성한다. 탄수화물은 물의 존재 하에서 주로 수산기 radical과 반응해 케톤, 알데히드와 산을 생성하며, 전분으로부터는 유리당도 생성된다. 아미노산의 경우에는 수소이탈반응, 환원성의 탈아미노반응, 부정합반응, 탈탄산반응 등이 일어나며, 이들 반응 중간생성물은 매우 반응성이 높아 물의 방사선 분해 생성물과 반응하게 된다. 단백질을 물의 존재 하에서 조사하면, 아미노산이 앞선 반응들을 일으키게 된다. 그 결과 각종 방사선분해생성물이 생성된다. 나아가 단백질의 polypeptide로의 분해 또는 단백질 응고의 가능성도 있다. 식품이라고 하는 복잡한 계에서는 단백질을 구성하는 아미노산이 상대적으로 보호되기 때문에 순수한 용액중의 아미노산보다는 방사선 조사의 영향을 받기 어렵게 된다. 탄수화물이나 단백질과는 대조적으로 지질의 방사선화학반응에서는 지질이 물에 용해되지 않기 때문에 물이 관여하지 않는다. 지방산 ester나 diester, 알데히드, 케톤, 알칸, 알켄, diglyceride와 짧은 사슬의 triglyceride 등 광범위한 방사선분해물이 생성된다. 육류에서는 단백질의 항산화작용 때문에 선량의 증가에 따른 지질의 산화적 변화가 비교적 적다. 많은 종류의 방사선분해생성물이 3대 영양소로부터 생성되지만 적정제조기준(good manufacturing practice: GMP)에 맞추어 조사한다면, 방사선은 식품중의 주요 영양소에 1~2%이하의 영향밖에 미치지 않는다고 알려져 있다.

식품조사의 결과, 특유한 방사선분해생성물(unique radiolytic products: URP) 즉, 자연상태 또는 일반적인 식품가공 처리 후에 검출되지 않는 화합물이 생성되는지에 관한 의문이 많이 제기되었다. 그러나 이러한 생성물의 존재를 증명하는 것은 매우 어렵기 때문에 이들의 독성학적 가능성에 많은 연구가 이루어졌다. 미국육군은 조사 쇠고기 중에서 검출된 65종류의 휘발성화합물에 대해 상세하게 분석하였다. 미국식품의약품(FDA)은 그중 6종류의 화합물은 비조사 식품중의 휘발성성분에는 존재하지 않는다고 보고하여 이것들이 URP일지도 모른다고 시사하였다. 그후의 연구 결과 6종류 중 3종류(undecyne, pentadecadiene, hexadecadiene)는 비조사식품중에는 검출되지 않는 것이 밝혀졌다. 그러나 이들 화합물은 비조사 식품중에서도 검출되는 것이었다.

위에서 이용한 예는 휘발성의 반응생성물과 관련된 사항이지만, 아마 비휘발성의 방사선분해생성물과 비조사 식품의 비휘발성화합물과의 관계에 있어서도 마찬가지라고 말할 수 있겠다. 모든 식품은 통상 매우 낮은 수준이긴 하지만

방사능을 함유하고 있다. 방사선조사가 식품에 방사능을 유도할지라도 모른다는 염려도 있으나, 최악의 경우를 생각해 도 예측되는 방사능은 식품 중에 통상 존재하는 수준이하일 것이다. 상업적으로 사용되는 범위에서의 선량이 식품 중에 측정 가능한 유도방사능을 발생시킨다고는 생각할 수 없다.

## 6. 영양학적, 미생물학적 안전성 평가

조사식품의 수용성을 평가하기 위해 고려할만한 중요한 논점중의 하나가 조사식품이 통상의 방법으로 처리한 식품과 영양학적으로 동등할 것인지에 관한 사항이다. 식품조사는 주요 영양소 및 미량영양소 양쪽에 변화를 일으킬 수 있으나 그 변화량은 적으며, 일반적으로 대부분의 식품처리 특히 조리나 가열은 조사식품에 비해 더 많은 영양소의 손실을 가져올 수 있다. 식품의 칼로리 양은 식품중의 단백질, 탄수화물, 지질에 의존한다. 10 kGy까지의 선량에서는 이들 주요 영양소의 현저한 파괴는 관찰되지 않았으며, 살균선량(50 kGy)이하의 선량에서는 화학분석의 결과, 어떤 영향이 검출되었으나, 그것은 적어도 조사에 특유한 것은 아니었다.

조사식품이 일반적인 처리를 한 비조사식품과 영양학적으로 동등하다는 견해는 통상 많은 종류의 고 단백질 식품이 갖는 단백질 효율성의 측정을 비롯한 수많은 동물실험으로 실증되고 있다. 식품중의 단백질은 신체에 필요한 단백질을 합성하기 위해 불가결한 필수 아미노산을 공급하기 때문에 특히 많은 관심이 모아졌다. 필수 아미노산이 식품조사로 현저한 영향을 받지 않는다는 사실이 육류나 어류를 비롯한 많은 식품의 실험결과 알려지게 되었다.

비타민에 대한 방사선조사의 영향은 주로 영양소의 손실과 관련한 연구가 중점적으로 이루어졌다. 방사선조사에 의해 순수 용액중의 비타민 파괴는 상당히 크지만, 식품중에서는 파괴가 비교적 적어, 식품전체의 영양가에 거의 영향을 미치지 않는다. 방사선조사로 비타민이 손실되는 정도는 식품의 종류, 대상으로 하는 비타민의 종류, 처리나 저장조건에 따라 변화된다. 몇몇 비타민은 방사선에 대한 감수성이 상당히 낮지만 그 밖의 비타민은 방사선에 의해 보다 쉽게 파괴된다. 식품에서 비타민 손실의 중요성은 전체 식사에 대한 그 식품의 기여율에 의존하고 있다. 예를 들면, 향신료의 비타민 손실은 우려할 필요가 없으나 돼지고기중의 비타민 B<sub>1</sub>의 손실은 돼지고기가 식사에 중요한 부분을 차지하는 주민들에 있어서는 문제가 될 수 있다. 무기질이나 미량성분은 방사선 감수성이 낮기 때문에 방사선 조사에 의한 손실은 일어나지 않는다. 조사시의 온도, 공기의 존재, 저장조건 등은 영양소의 함량에 영향을 미칠 수 있다. 대부분의 경우, 무산소 상태, 저온에서 식품을 조사하면 식품중의 비타민 손실 등을 최소화시킬 수 있을 것이다. 또한 조사식품을 저온에서 밀봉된 상태로 저장하는 것은 더 이상 영양소의 분해를 방지하는데 효과적일 것이다.

방사선조사가 병원성이나 독성 또는 방사선 저항성이 증가된 돌연변이 균주를 유도할 수 있을 것이라는 염려가 지적되었다. 그러나 이러한 유발이 이루어진다는 과학적인 증거는 없었다. 돌연변이 율을 증가시키는 가능성에 대해 방사선조사는 그렇지 않으며, 일반적인 식품처리 기술도 돌연변이 율을 증가시킬 수 있는 가능성은 가지고 있으나 이들이 병원성 미생물의 병원성 또는 독성을 증대시킨다는 것에 대한 증거는 하나도 없다. 조사처리 결과 아플라톡신의 생성 능력이 증가될 가능성에 대해 관심이 모아졌으나, 과학적인 견지에서 종합적으로 평가한 결과, 적절한 조건에서 저장한 조사식품에서는 아플라톡신 수준이 증가하지 않았다.

## III. 맺음말

조사식품 중에는 일부 다른 화합물질이 생성되지만, 이들의 대부분은 조사전의 식품 중에 이미 소량 함유되어 있는 것이거나 다른 종류의 식품에 함유되어 있는 것들이며, 가열이나 건조 등의 처리에 의해서도 생성되는 것이었다. 각각의 식품의 주요영양소 조성이 최종적으로 어떠한 화학물질을 생성하느냐가 중요한 결정요인이 되며, 개개의 생성물에 대해 독성시험이나 독성평가를 하는 것은 불가능할 것이다.

지금까지 화학분석이나 실험독성학을 기초로한 시험방법이 수십 년 동안 진보를 거듭해왔다. 조사한 식품이나 주요 영양소의 동물실험, 조사한 화학물질이나 특수성분의 *in vitro*변이원성시험, 나아가 화학물질의 구조, 생성, 반응성에 관한 지식이 현재 조사식품의 안전성평가의 기본이 되고 있다. 「어떤 식품도 총 평균선량 10 kGy이하의 조사를 한다면 독성학적으로 문제가 없으며, 10 kGy이하로 조사한 식품의 독성시험은 더 이상 실시할 필요가 없다」는 JECFI의 결론(WHO, 1980)이 내려졌다. JECFI의 최종결론에서 모든 식품에 대해 수많은 동물실험뿐만 아니라 단백질, 지질, 탄수화물의 주요 식품성분의 조사에서 생성되는 화학물질의 평가에도 기초를 두고 있다.

지금까지 얻어진 data는 조사식품의 독성을 정성적으로 평가하는데 충분하며, 정량적으로는 다음과 같은 결론을 내릴 수 있겠다.

- 식품조사는 독성학적인 견지에서 가장 철저하게 검토된 식품기술이다.
- 조성이 유사한 식품 군은 유사한 방사선 분해 생성물을 생성하므로 한쪽의 식품 data를 다른 식품에 적용시키는 것이 가능하다.
- 독성시험의 database는 시험된 선량범위에서 조사식품이 독성학적인 악 영향을 나타내지 않았다는 사실을 입증하고 있다.
- 많은 시험에서, 인간의 식사에 함유될 것으로 예상되

는 양보다 훨씬 많은 양의 방사선분해 생성물이 동물에 투여되었기 때문에, 독성시험의 database는 인간에 안전성을 논하기에 적절할 것이다.

식품조사는 저장기간을 연장하고 유해동물이나 병원균을 불활성화 시킴으로써 보다 안전하고 풍부한 식품의 공급을 보증할 수 있다. GMP에 규정된 필요조건이 충족되는 한, 조사식품은 안전하고 효과적이라고 말할 수 있다. GMP의 무시에 기인한 식품조사의 위험성은 본질적으로 통조림, 냉동, 가열살균과 같은 다른 처리 방법의 오용에 의한 위험성과 동일할 것이다. 끝으로 조사식품의 안전성에 대한 많은 논문 중에서 *American Journal of Public Health* 89권(1999)에 실린 글을 인용하면서 방사선 조사 식품의 안전성에 대한 이해를 돕고자 한다. “식중독을 예방하는 적절한 HACCP의 한 방법으로서 방사선 식품조사기술의 이용이 고려될 수 있다. 방사선 조사는 어떠한 방사능물질을 생성시키지 않으며, 독성학적으로도 문제가 없다.

## 참고문헌

1. Anon: Safety evaluation of 35 kinds of irradiated human foods. *Chinese medical Journal*, 100(9), 715-718(1987)
2. Biagini, C. et al.: Growth and fertility of mice fed an irradiated diet for two years. *Giornale de medicina militae*, 117, 347-368(1967)
3. Brin, M. et al.: Effects of feeding X-irradiated pork to rats on their pyridoxine nutrition as reflected in the activity of plasma transaminase. *Journal of nutrition*, 75, 35-38(1961)
4. Brin, M. et al.: Effects of feeding X-irradiated pork to rats on their thiamine nutrition as reflected in the activity of erythrocyte transketolase. *Journal of nutrition*, 75, 29-34(1961)
5. Diehl, J.F.: *Safety of Irradiated Foods*. Marcel Dekker, Inc., New York (1990)
6. FAO/WHO. Codex General Standard for Irradiated Foods. Codex Alimentarius Commission. Rome, Italy(1984)
7. Gabriel, K.L. and Edmonds, R.S.: To study the effects of radurized onions when fed to beagle dogs. *Food irradiation information*, 6, 116(1976)
8. Gabriel, K.L. and Edmonds, R.S.: To study the effects of radurized onions when fed to albino rats. *Food irradiation information*, 6, 118(1976)
9. IAEA.: Clearance of item by country. Intl Atomic Energy Agency, Vienna, Austria(1997)
10. ICGFI.: Summary report on eleventh meeting of the international consultative group on food irradiation. Denpasar, Bali, Indonesia, 2-4 November(1994)
11. Malhotra, O.P. and Reber, E.F.: Methionine and testosterone affect occurrence of hemorrhagic diathesis in rats. *American journal of physiology*, 205, 1089-1092(1963).
12. Mittle, S.: Failure of irradiated beef and ham to induce genetic aberrations in Drosophila. *International journal of radiation biology*, 35, 583-588(1979)
13. Monsen, H.: Heart lesions in mice induced by feeding irradiated foods. *Federation proceedings*, 19, 1031-1034(1960)
14. Phillips, A.W. et al.: Long-term feeding studies: Irradiated chicken stew and cabbage. US Army unpublished contract report No. DA-49-007-MD-788(1961)
15. Porter, G. and Festing Festing, M.: A comparison between irradiated and autoclaved diets for breeding mice with observations on palatability. *Laboratory animals*, 4, 203-213(1970)
16. Raltech Scientific Services: Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes. Karlsruhe, International Project in the Field of Food Irradiation, (IFIP Technical Report IFIP-R51)(1979)
17. Raltech Scientific Services: Toxicology studies on rats fed a diet containing 15% irradiated Kent mangoes. Two-year feeding study. Karlsruhe, International Project in the Field of Food Irradiation, Federal Research Centre for Nutrition(IFIP Technical Report IFIP-R51)(1981)
18. Raltech Scientific Services: Irradiated sterilized chicken meat; a chronic toxicity and reproductive performance study in beagle dogs. Unpublished document (FDA docket No. 84F-0230)(1982)
19. Raltech Scientific Services: Mouse bioassay of irradiated chicken. (Unpublished document; available on microfiche from National Technical Information Service, 5285 Port Royal Road, Springfield, VA 22161, USA)(1983)
20. Renner, H.W.: Chromosome studies on bone marrow cells of Chinese hamsters fed a radiosterilized diet. *Toxicology*, 8, 213-222 (1977)
21. Shillinger, I. and Osipova, I.N.: The effect of fresh fish, exposed to gamma radiation on the organism of albino rats. *Voprosy pitaniya*, 29(5), 45-50(1970)
22. Taub, I.A., Halliday, J.W. and Sevilla, M.D.: Chemical reactions in proteins irradiated at subfreezing temperatures. *Adv. Chem. Ser.*, 180, 109-140 (1979)
23. Thayer, D.W. et al.: Toxicology studies of irradiated-sterilized chicken. *Journal of food protection*, 50, 278-288(1987)
24. Thayer, D.W.: wholesomeness of irradiated foods. *Food technology*, May(1994)
25. Urbain, W.M.: *Food irradiation*. Academic Press, Inc., New York (1986)



26. Use of Food Irradiation as an Adjunct to Sanitation and HACCP: Procedures to Improve the Safety of the Food Supply. *American Journal of Public Health*, 89, 9805(1999)
27. van Logten M.J. et al.: Long-term wholesomeness study of autoclaved or irradiated pork in rats. Bilthoven, National Institute of Public Health (Report No. 17401001)(1983)
28. WHO: *Food irradiation*. A technique for preserving and improving the safety of food. Geneva, World Health Organization (1988).

---

(접수 2003년 3월 6일, 채택 2003년 4월 18일)