

방사선 조사가 쇠고기 및 돼지고기의 물리화학적 특성에 미치는 영향

Physico-chemical changes in irradiated beef and pork loins

이경애* · 이윤진
순천향대학교 식품영양전공

Kyong-Ae Lee* · Yoon-Jin Lee
Food Science and Nutrition, Soonchunhyang University

Abstract

Effects of irradiation on physico-chemical properties of beef and pork loins were examined. Beef and pork were irradiated at dose levels of 0, 0.5, 1, 2, 3, and 5 kGy with a use of Co-60 source. The drip loss of beef increased from 0 kGy to 5 kGy, whereas that of pork remained unchanged. TBA values of beef and pork increased due to irradiation. Irradiation caused a decrease in the lightness, redness, and yellowness of beef, whereas it did an increase in the same properties of pork. Irradiation also contributed to an increase in the solubility of salt soluble protein.

Key Words : irradiation, beef, pork, color, salt-soluble protein

I. 서론

식품조사는 1950년대에 미국과 소련을 중심으로 산업화되기 시작하였다. 1999년 IAEA보고에 의하면 선진국과 개발도상국을 포함한 40여 개국에서 230여종의 식품군에 대한 상업적 방사선 조사가 허용되어 있다(Loecharanu, 1994a; Loecharanu, 1998). 국내에서도 감자, 양파, 마늘과 같은 신선 식품류, 건조 식육, 어패류 분말 등 총 13개 식품 또는 식품군에 대한 상업적 조사가 허가되어 있다(변명우, 1997). 1991년 훈증제인 에틸렌옥사이드가 식품에 잔류하는 강력한 발암물질임이 알려지면서 WHO는 에틸렌옥사이드의 사용을 금지하는 대신 방사선 조사기술의 이용을 적극 권장하였다. 최근 무역 자유화에 따라 국가간 식품 교역이 증가되면서 세계 각국의 화학제 사용에 대한 규제가 강화되고 있다(Loecharanu, 1994b). 이에 따라 식품조사는 기존의 화학제를 대신하여 엄격한 위생관리를 통과할 수 있는 효과적 방법으로 향후 식품조사기술의 이용이 확대될 전망이다.

E. coli O157:H7에 오염된 햄버거 섭취에 의한 식중독

발생에 따라 육류와 육류 가공품의 미생물학적 안전성에 대한 관심이 높아지게 되었다(Crawford 등 1996). 육류에 의한 식중독은 대부분 생고기의 취급에 의해 일어나는데 식품의 방사선 조사는 생고기에 존재하는 미생물의 감소 또는 파괴에 효과적인 방법으로 알려져 있다. 1981년 FAO, IAEA 및 WHO의 합동회의가 조사식품의 안전성과 영양학적 타당성을 국제적으로 공인한 후(WHO, 1981), 방사선 조사에 의한 육류제품의 미생물학적 안전성 확보와 신선도 유지를 위한 연구가 활발히 진행되었다. Dogbevi 등(1999)과 Dempster(1985)는 돼지고기에 1 kGy 이하의 방사선 조사가 *Trichinella*와 기생충균 사멸에 효과적이라고 하였고, Fu 등(1995a)과 Fu 등(1995b)은 육류에 10 kGy 이하의 방사선이 *Listeria*, *Salmonella*, *E. coli* O157:H7, *Yersinia* 등과 같은 병원성 세균과 부패 원인균에 대해 우수한 생육 억제 효과를 나타냈다고 보고하였다. 현재 육류는 국제적으로 실용화되고 있는 대표적 조사 식품의 하나로, FDA가 허용하고 있는 최대 조사량은 신선육 4.5 kGy, 냉동육 7 kGy이며, 육류에 최대 조사량의 방사선을 조사하면 *Salmonella*, *E. coli* O157:H7과 같은 식중독균의 99.9% 이상을 파괴할 수 있다고 한다(FDA, 1997).

* 본 연구는 2003년도 순천향대학교 자체연구비에 의해 수행된 연구 결과임.

Corresponding author: Kyong-Ae Lee
Tel: 041) 530-1262, Fax: 041) 530- 1264
E-mail: kaelee@sch.ac.kr

육류에 방사선을 조사하면 육류 중의 수분이 이온화되어 자유 라디칼이 생성되고, 이 자유 라디칼들은 육류 성분과 반응하여 육류의 물리화학적 특성에 영향을 준다. 소비자들은 색깔, 냄새, 외관 등에 의해 육류의 질을 판단하여 구매여부를 결정하므로 방사선 조사에 의한 육류의 품질 특성 변화는 조사육의 소비에 많은 영향을 미칠 것으로 생각된다.

따라서 본 연구는 쇠고기와 돼지고기에 0.5~5 kGy의 방사선 조사를 실시하여, 방사선 조사가 신선육의 물리화학적 특성에 미치는 영향을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

1. 방사선 조사

쇠고기와 돼지고기의 등심 부위를 구입하여 방사선 조사용 시료로 사용하였다. 쇠고기와 돼지고기를 각각 2 cm 두께로 잘라 폴리에틸렌 필름으로 합기포장하였으며 실험군별 시료 수는 5개이었다. 한국원자력연구소의 10만 Ci Co-60 감마선 조사시설을 이용하여 흡수선량 0.5 kGy, 1 kGy, 3 kGy, 5 kGy가 되도록 일정한 선량율로 25℃에서 방사선을 조사하였다. 방사선 조사를 실시한 쇠고기와 돼지고기는 분석하기 전 까지 시료의 변질 및 변화를 최소화하기 위하여 4℃에 보관하였다.

2. 드립손실

방사선 조사육의 드립손실은 조사 전과 조사 후의 무게를 측정하였으며 다음과 같이 드립손실을 산출하였다.

$$\text{드립손실(\%)} = \frac{\text{조사 전 무게} - \text{조사 후 무게}}{\text{조사 전 무게}} \times 100$$

3. pH

쇠고기와 돼지고기의 pH는 Hunt 등의 방법 (1999)에 따라 다음과 같이 측정하였다. 곱게 갈은 쇠고기와 돼지고기를 각각 3배의 증류수와 혼합하여 균질기(ESGE, M133/1282-0, Switzerland)로 1분간 균질화한 후 pH 미터로 pH를 측정하였다.

4. TBA가

TBA가는 Turner 등의 방법(1954)을 일부 수정하여 측정하였다. 마쇄한 고기 4 g과 20% TCA 용액 10 ml를 혼합하여 균질화한 다음 증류수를 첨가하여 총 부피를 20 ml가 되도록 정용하였다. 이 용액을 여과하여 얻은 여액 5 ml과 5mM TBA(thiobarbituric acid) 용액 5ml를 혼합하여 15시간 동안 냉암소에 방치한 후 530 nm에서 흡광도를 측정하였다.

5. 색도

방사선 조사육의 색도는 분광색차계(color techno system, JS-555, Japan)을 이용하여 L, a, b 값을 측정하였다.

6. 단백질의 분리

수용성 단백질과 염용성 단백질은 Choi 등의 방법 (1987)에 따라 분리하였다. 쇠고기 및 돼지고기에 각각 10배의 30mM 인산나트륨을 넣고 혼합, 마쇄한 다음 원심분리하여 수용성 단백질이 함유된 상등액(1)을 분리하였다. 침전물에는 10배의 3% NaCl을 첨가하여 잘 혼합한 다음 원심분리하여 염용성 단백질이 함유된 상등액(2)를 분리하였다. 상등액(1)과 상등액(2)의 단백질 함량은 단백질 정량 kit (Bio-Rad Co., Hercules, USA)를 사용하여 측정하였다.

7. 통계처리

실험은 3회 반복 실시하여 그 결과를 SPSS 통계프로그램을 사용하여 분석하였다. 조사선량별 측정치들간의 차이에 대한 유의성은 분산분석과 Duncan의 다중검정법 (Duncan's multiple range test)을 이용하여 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 드립손실, pH 및 TBA

방사선 조사육의 드립손실, pH를 Table 1에 나타내었다. 쇠고기에 방사선을 조사하면 비조사 쇠고기에 비해

<Table 1> Drip losses and pH of irradiated beef and pork with different doses

Irradiation dose (kGy)	Beef		Pork	
	Drip losses(%)	pH	Drip loss(%)	pH
0	1.2±0.03 ^{ac}	5.59±0.01	9.0±0.87	5.56±0.01 ^a
0.5	1.9±0.04 ^b	5.58±0.01	8.9±0.46	5.54±0.01 ^b
1	4.3±0.05 ^a	5.58±0.01	8.7±0.66	5.53±0.01 ^b
3	4.5±0.06 ^a	5.56±0.01	9.4±0.29	5.53±0.01 ^b
5	4.8±0.02 ^a	5.56±0.01	10.9±0.29	5.53±0.01 ^b

^{ac} Means in the same column followed by different letters represents significant difference (p<.05).

* mean±S.D.

드립손실이 유의적으로 증가되었다 (p<.05). 특히 1 kGy 이상의 방사선을 조사했을 때 드립손실이 크게 증가되었으나 1 kGy 이상의 방사선을 조사한 쇠고기 간에는 유의적 차이가 나타나지 않았다. 한편 돼지고기의 드립손실은 3 kGy 이상의 방사선을 조사했을 때 비조사 돼지고기에 비해 조금 증가하였으나 유의적 차이는 보이지 않았다. 따라서 돼지고기는 쇠고기와 달리 5 kGy 이하의 방사선 조사가 보수력에 영향을 주지 않는 것으로 생각된다. Shay 등(1988)은 고기에 방사선을 조사하면 드립손실이 증가한다고 하였다. 육류의 방사선 조사는 육류 단백질의 2, 3차 구조를 변화시켜 보수력에 영향을 준다. 쇠고기와 돼지고기의 pH는 방사선 조사에 의해 조금 감소하는 경향을 보였으나 유의적 차이를 보이지 않았으므로, 5 kGy 이하의 방사선 조사는 pH 변화에 영향을 주지 않는 것으로 생각된다.

방사선 조사에 따른 쇠고기와 돼지고기의 TBA가 변화는 Table 2에 나타난 것과 같이 각각 0.5 kGy 이상의 방사선을 조사했을 때 비조사육에 비해 유의적으로 높은 수치를 나타내었다. 조사선량이 높아지면 조사육의 TBA 값이 증가하였으나 3 kGy 이상 조사했을 때 조사육간에 큰 차이를 보이지 않았다. 방사선 조사육이 비조사육에 비해 높은 TBA를 보이는 것은 방사선 조사가 쇠고기와 돼지고기의 지방산화를 촉진하였기 때문이다. Ehioba 등(1987)은 돼지고기에 2 ~ 4 kGy를 조사했을 때 방사선을 조사하지 않은 대조군에 비해 높은 TBA를 나타냈다고 하였다. Mattison 등(1986)에 의하면 신선육의 TBA 값이 1.0 mg MA/kg 이상일 때 산패취를 느낄 수 있다고 한다. 본 연구에서 0.5 ~ 5 kGy의 방사선 조사한 쇠고기와 돼지고기의 TBA는 각각 0.088 ~ 0.104 mg MA/kg, 0.067 ~ 0.094 mg MA/kg이었으므로, 5 kGy

이하를 조사한 쇠고기와 돼지고기에서 지방 산패취는 이들의 품질에 큰 영향을 주지 않을 것으로 생각된다.

2. 색도

방사선을 조사한 쇠고기와 돼지고기의 표면 색도를 Table 2에 나타내었다. 방사선을 조사한 쇠고기의 L값 (명도), a값 (적색도), b값 (황색도)은 비조사 쇠고기에 비해 유의적으로 낮았다 (p<.05). 방사선을 조사한 쇠고기의 명도는 조사선량이 증가함에 따라 더욱 낮아져, 5 kGy의 방사선을 조사한 쇠고기의 명도가 가장 낮았다. 방사선을 조사한 쇠고기의 적색도와 황색도도 조사선량이 높아짐에 따라 더욱 낮아져, 5 kGy의 방사선을 조사한 쇠고기가 가장 낮은 적색도와 황색도를 나타내었다. Luchsinger 등(1997a)은 합기 포장한 쇠고기 패티에 2 kGy의 방사선을 조사한 결과 비조사 쇠고기에 비해 적색도가 낮아졌다고 보고하였으며, Nanke 등(1998)은 진공 포장한 쇠고기에 방사선을 조사하면 적색도가 감소된다고 하였다. 따라서 방사선 조사한 쇠고기의 적색도 변화는 산소존재 여부와 무관하게 일어나는 것으로 생각된다. Nanke 등(1999)은 쇠고기에 0 ~ 4.5 kGy의 방사선을 조사하였을 때 황색도는 조사선량이 증가함에 따라 감소된다고 보고하여 본 결과와 일치하였다. 그러나 Luchsinger 등(1997b)은 방사선 조사가 쇠고기의 황색도에 영향을 주지 않았다고 하였다. 한편 방사선을 조사한 돼지고기의 명도와 적색도는 비조사 돼지고기에 비해 유의적으로 높게 나타났(p<.05). 방사선을 조사한 돼지고기의 명도는 조사선량이 증가함에 따라 더욱 증가하여, 5 kGy의 방사선을 조사한 돼지고기가 가장 높은 명도를 나타내었다. 방사선을 조사한 돼지고기의 적색도도 조사선량이 높아짐에 따라 더욱 증가되어, 5 kGy의 방사선을 조사한 돼지고기가 가장 높은 적색도를 나타내었다. 5 kGy의 방사선을 조사한 돼지고기의

<Table 2> TBA values of irradiated beef and pork with different doses

Irradiation dose (kGy)	Beef (MA mg/kg)	Pork (MA mg/kg)
0	0.072±0.003 ^{ad}	0.062±0.005± ^c
0.5	0.088±0.003 ^c	0.067±0.005 ^b
1	0.099±0.003 ^b	0.065±0.005 ^b
3	0.104±0.003 ^a	0.066±0.005 ^b
5	0.104±0.005 ^a	0.094±0.005 ^a

^{ad} Means in the same column followed by different letters represents significant difference (p<.05).

* mean±S.D.

<Table 3> Color values of irradiated beef and pork with different doses

Irradiation dose (kGy)	Beef			Pork		
	L*	a**	b***	L	a	b
0	28.5±0.38 ^{1)a}	25.3±0.67 ^a	30.7±0.63 ^a	46.2±0.16 ^c	8.7±0.10 ^d	10.1±0.34 ^b
0.5	27.5±0.35 ^b	16.3±0.15 ^b	23.2±0.50 ^b	47.8±0.12 ^b	9.6±0.53 ^c	10.5±0.11 ^b
1	25.5±0.19 ^c	16.0±0.17 ^{bc}	22.1±0.50 ^c	49.1±0.16 ^a	10.4±0.08 ^b	10.2±0.14 ^b
3	24.3±0.15 ^d	15.7±0.21 ^c	21.1±0.34 ^d	49.1±0.12 ^a	10.4±0.43 ^b	10.4±0.09 ^b
5	24.8±0.51 ^e	11.5±0.39 ^d	20.2±0.72 ^e	49.2±0.56 ^a	12.4±0.31 ^a	11.1±0.06 ^a

^{a-c} Means in the same column followed by different letters represents significant difference (p<.05).

* lightness; ** redness; *** yellowness

¹⁾ mean±S.D.

황색도는 비조사 돼지고기에 비해 유의적으로 높았으나, 0.5 ~ 3 kGy의 방사선을 조사한 돼지고기의 황색도는 비조사 돼지고기와 유의적 차이를 보이지 않았다. Nanke 등(1998)과 Nam 등(2001)은 방사선 조사가 돼지고기의 적색도를 증가시킨다고 하였다. 방사선 조사가 쇠고기와 돼지고기의 색깔에 미치는 영향이 다른 것은 미오글로빈 함량 차이 때문으로 생각된다.

3. 단백질의 용해도

방사선 조사에 의한 쇠고기 및 돼지고기에서 분리된 수용성 단백질, 염용성 단백질 및 총 단백질의 양을 Table 4에 나타내었다. 방사선을 조사하지 않은 대조군 쇠고기에서 분리된 총 단백질량은 103.1 mg/g 이었으며, 0.5 ~ 5 kGy의 방사선을 조사한 쇠고기에서 분리된 총 단백질량은 104.5 ~ 107.8 mg/g 으로 쇠고기에 방사선을 조사했을 때 총 단백질 추출량이 증가하였다. 쇠고기에서 분리한 수용성 단백질의 양은 방사선 조사의 영향을 받지 않았으나 염용성 단백질의 추출량은 방사선 조사에 따라 증가되었다. 비조사 쇠고기 및 조사 쇠고기에서 분리된 염용성 단백질의 양은 각각 46.9 mg/g, 48.2

~ 51.6 mg/g이었으며, 조사선량을 증가시킴에 따라 염용성 단백질의 추출량이 증가하여, 5 kGy의 방사선을 조사한 쇠고기에서 가장 많은 염용성 단백질이 분리되었다. 따라서 방사선 조사에 의한 쇠고기의 단백질 용해도 증가는 염용성 단백질의 용해도 증가에 의한 것으로 생각된다. 한편 대조군 돼지고기의 총 단백질 추출량은 118.5 mg/g 이었으며, 0.5 ~ 5 kGy의 방사선을 조사한 쇠고기의 총 단백질 추출량은 119.3 ~ 120.3 mg/g 으로, 돼지고기에서 분리된 총 단백질량은 방사선 조사에 의해 증가하였다. 비조사 돼지고기 및 조사 돼지고기에서 분리된 염용성 단백질의 양은 각각 57.1 mg/g, 57.8 ~ 58.9 mg/g이었으며, 조사선량이 증가되면 더 많은 염용성 단백질이 추출되어 5 kGy의 방사선을 조사한 돼지고기에서 가장 많은 염용성 단백질이 분리되었다. 돼지고기의 방사선 조사는 수용성 단백질의 추출량에 영향을 주지 않았다. 따라서 방사선 조사에 의한 돼지고기의 단백질 용해도 증가는 쇠고기와 같이 염용성 단백질의 용해도가 증가되었기 때문으로 생각된다. Fox 등 (1995)은 방사선 조사에 의한 용해도 증가는 탈 아미노반응에 의한 단백질 변화에 의한 것이라고 보고하였다. 방사선 조사에 의한 육 단백질의 용해도 증가에 미치는 영향에 대하여는 향후 자세히 검토되어야 할 것으로 생각된다.

<Table 4> Protein extractability of irradiated beef and pork with different doses

Irradiation dose (kGy)	Beef (mg/g)			Pork (mg/g)		
	SSP*	WSP**	TEP***	SSP	WSP	TEP
0	46.9±0.21 ^{1)e}	56.2±0.10	103.1±0.31 ^e	57.1±0.21 ^d	61.4±0.17	118.5±0.38 ^d
0.5	48.2±0.16 ^d	56.3±0.06	104.5±0.22 ^d	57.8±0.13 ^c	61.5±0.07	119.3±0.20 ^c
1	50.2±0.22 ^c	56.2±0.08	106.4±0.30 ^c	58.0±0.13 ^c	61.6±0.13	119.6±0.26 ^c
3	51.1±0.15 ^b	56.3±0.10	107.4±0.25 ^b	58.3±0.13 ^b	61.4±0.18	119.7±0.31 ^b
5	51.6±0.14 ^a	56.2±0.15	107.8±0.29 ^a	58.9±0.16 ^a	61.4±0.16	120.3±0.32 ^a

^{a-c} Means in the same column followed by different letters represents significant difference (p<.05).

* salt soluble protein; ** water soluble protein; *** total extractable protein

¹⁾ mean±S.D.

IV. 요약 및 결론

쇠고기 등심과 돼지고기 등심에 0.5 ~ 5 kGy의 방사선을 조사하여, 방사선 조사가 쇠고기 및 돼지고기의 물리화학적 특성에 미치는 영향을 검토하였다.

쇠고기에 0.5 kGy 이상의 방사선을 조사하면, 비조사 쇠고기에 비해 드립손실이 유의적으로 증가하였으나, 돼지고기의 드립손실은 방사선 조사의 영향을 받지 않았다 ($p < .05$). TBA가는 쇠고기와 돼지고기에 0.5 kGy 이상의 방사선을 조사했을 때 비조사 쇠고기 및 돼지고기에 비해 유의적으로 높은 값을 나타내었다 ($p < .05$). 방사선 조사한 쇠고기는 비조사 쇠고기에 비해 명도, 적색도, 황색도가 낮았으나, 돼지고기는 방사선 조사에 의해 명도, 적색도, 황색도가 증가하였다. 또한 쇠고기와 돼지고기에 방사선을 조사하면 염용성 단백질의 용해도가 높아졌다. 향후 방사선 조사에 의한 물리화학적 변화를 일으키는 메카니즘에 관한 자세한 검토가 필요하다고 생각된다.

주제어 : 방사선조사, 쇠고기, 돼지고기, 색도, 염용성 단백질

참 고 문 헌

- 변명우 (1997) 식품산업에서 방사선 조사 기술의 이용과 전망, *식품과학과 산업*, 30(1), 91-96
- Choi, Y.I., Kastner, C.L., & Kropf, D.H. (1987) Effect of hot boning and various levels of salt and phosphate on protein solubility, functionality and storage characteristics of preblended pork used in frankfurters, *Journal of food protection*, 50(12), 1025-1036
- Crawford, L.M. & Ruff, E.H. (1996) A review of the safety of cold pasteurization through irradiation, *Food Control*, 7, 87-97
- Dempster, J.F. (1985) Radiation preservation of meat and meat products : a review, *Meat Science*, 52, 1477-1480
- Dogevi, M.K., Vachon, C. & Larcroix, M. (1999) Physicochemical and microbiological changes in irradiated fresh pork loins, *Meat Science*, 51, 349-354
- Ehioba, R.M., Kraft, A.A., Molins, R.A., Walker H.W., Olson, D.G., Subaraman, G. & FDA (1997) Irradiation in the production, processing and handling of food : Final rule, *Federal Register* 62, 64107-64121
- Fox Jr., J.B., Lakritz, L., Hampson, J., Richardson, R., Ward, K. & Thayer, D.W. (1995) Gamma irradiation effects on thiamin and riboflavin in beef, pork and turkey, *Journal of Food Science*, 60, 596-598
- Fu, A.H., Sebranek, J.G. & Murano, E.A. (1995a) Survival of *Listeria monocytogenes*, *Yersinia enterocolitica*, and *Escherichia coli* O157:H7 and quality changes after irradiation of beef steaks and ground beef, *Journal of Food Science*, 60, 972-977
- Fu, A.H., Sebranek, J.G. & Murano, E.A. (1995b) Survival of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella typhimurium* and quality attributes of cooked pork chops and cured ham after irradiation, *Journal of Food Science*, 60, 1001-1005, 1008
- Hunt, M.C., Sorheim, O. & Slinde, E. (1999) Color and heat denaturation of myoglobin forms in round beef, *Journal of Food Science*, 64(5), 837-851
- Loecharanu, P. (1994a) Status and prospects of food irradiation, *Food Technology*, 48(5), 124-131
- Loecharanu, P. (1994b) Cost/benefit aspects of food irradiation, *Food Technology*, Jan, 104-108
- Loecharanu, P. (1998) Acceptance and trading on irradiated foods-international developments of food irradiation and consumer acceptance of irradiated food, paper presentation at the 4th CAFST seminar, Korea University, Seoul, Korea
- Luchsinger, S.E., Kropf, D.H., Garcia Zepeda, C.M., Hunt, M.C., Marsden, J.L., Rubio Canas, E.J., Kastner, C.L. Keucker, W.G. and Mata, T. (1996) Color and oxidative rancidity of gamma and electron beam irradiated boneless pork chops, *Journal of Food Science*, 61, 1000-1005, 1093
- Luchsinger, S.E., Kropf, D.H., Garcia Zepeda, C.M., Hunt, M.C., Sroda, S.L., Marsden, J.L., & Kastner, C.L. (1997) Color and oxidative properties of irradiated whole muscle beef, *Journal of Muscle Foods*, 8, 427-423
- Luchsinger, S.E., Kropf, D.H., Garcia Zepeda, C.M., Hunt, M.C., Sroda, S.L., Marsden, J.L., & Kastner, C.L. (1997) Color and oxidative properties of irradiated ground beef patties, *Journal of Muscle Foods*, 8, 445-464
- Mattison, M.L., Kraft, A.A., Olson, D.G., Walker, H.W., Rust, R.E. & James, D.B. (1986) Effect of low

- dose irradiation of pork loins on the microflora, *Sensory characteristics and fat stability*, 51(2), 284-287
- Nam, K.C., Ahn, D.U., Du, M. & Jo, C. (2001) Lipid peroxidation, color, volatiles, and sensory characteristics of aerobically packaged and irradiated pork with different ultimate pH, *Journal of Food Science*, 66(8), 1225-1229
- Nanke, K.E., Sebranek, J.G., & Olson, D.G. (1998) Color characteristics of irradiated vacuum-packaged pork, beef and turkey, *Journal of Food Science*, 63(6), 1001-1006
- Nanke, K.E., Sebranek, J.G., & Olson, D.G. (1999) Color characteristics of irradiated aerobically packaged pork, beef and turkey, *Journal of Food Science*, 64(2), 272-278
- Shay, B.J., Egan, A.F. & Wills, P.A. (1988) The use of irradiation for extending the storage life of fresh and processed meats, *Food Technology Australia*, 40, 310-311
- Skorwronski, R.P. (1987) Effect of low-dose (100 krad) gamma irradiation on the microflora of vacuum-packaged ground pork with and without added sodium phosphates, *Journal of Food Science*, 52, 1477-1480, 1505
- Turner, E.W., Paynter, W.D., Montie, E.J., Bessert, M.W., Struck, G.M. & Olson, F.C. (1954) Use of the 2-thiobarbituric acid reagent to measure rancidity in frozen pork, *Food Technology*, 8, 326-330
- WHO (1981) Wholesomeness of irradiated food report of a joint FAO/IAEA/WHO expert committee, Geneva, 1980 world health organization technical report series, No. 659, Geneva, Switzerland

(2004. 09. 03 접수; 2004. 11. 23 채택)