

# 전자선 조사, 포장방법 및 저장기간이 우육의 콜레스테롤 산화에 미치는 영향

신태순\* · 이정일\*\*

밀양대학교 축산학과\*, 경상대학교 축산진흥연구소\*\*

## Effect of Irradiation, Packaging Methods and Storage Periods on the Oxidation of Cholesterol in Beef Meat

T. S. Shin\* and J. I. Lee\*\*

Department of Animal Science, Miryang National University\*,

Institute for Development of Livestock Production, Gyeongsang National University\*\*

### ABSTRACT

Beef loins that retailed in market were used as experimental samples. Some beef samples in raw state were packaged with PVDC as aerobic and vacuum condition. The other beef samples were cooked until core temperature arrived at 70°C and then packaged immediately in the same way of raw samples. After these samples were irradiated by electron beam 6kGy, irradiated samples were stored in refrigerator(2~4°C). Identify and quantity of cholesterol oxides were analysed stored at 0 and 7 days, respectively. During the early stage of storage, 7β-hydroxycholesterol and 7-ketocholesterol were respectively produced from the raw meat samples, and the production of these chemicals were significantly higher (P<0.05) from the meats with aerobic packaging than those with vacuum packaging. With the passage of storage time, 7α-hydroxycholesterol, 20α-hydroxycholesterol, β-epoxide, β-epoxide and some other chemicals, which were not produced during the early stage of storage, were produced. Also, the production of these chemicals were significantly increased (P<0.05) with the passage of storage time. Cooked meat after irradiation and irradiated meat after cooking produced cholesterol on the 7th day of storage, although this chemical was not produced during the early stage of storage. Production of cholesterol oxides was significantly increased (P<0.05) with the passage of storage time for all treatments, and showed significantly lower value (P<0.05) with the vacuum packaging than aerobic packaging.

Summarizing the aforementioned results, it was found that the production of cholesterol oxides was more easily affected by packaging condition than irradiation.

(Key words : Cholesterol oxides products, Irradiation, Beef)

### I. 서 론

콜레스테롤은 사람 및 동물조직의 주된 sterol 물질로서, free-radical 반응을 통하여 빛 및 산

소가 존재하는 상태에서 자동산화될 일으키며, 산화물질은 60가지 이상 발생한다고 보고하였다(Smith, 1981). 콜레스테롤 산화물질은 인간 질병과 관련하여 산화물질들의 생물학적 작용

본 연구는 밀양대학교 교내 학술연구비의 지원으로 수행되었음.

Corresponding author : T. S. Shin, Department of Animal Science, Miryang National University, Miryang 627-702, Korea.

때문에 상당한 주목을 받아왔다. 최근 연구자들은 어떤 종류의 산화물질들은 세포독성, 돌연 변이성, 죽종형성성, 발암성을 유발한다고 보고하였으며, 또한 관상동맥질환 및 특정 암을 유발하는 촉진작용을 한다고 보고하였다(Peng 등, 1992a b; Morin과 Peng, 1992; Morin 등, 1992; Addis, 1990; Addis와 Warner, 1991; Bosinger 등, 1993).

콜레스테롤 산화물질은 계란 및 건조계란 제품, 우유 및 유제품, 육 및 육제품, 수산식품 및 가공제품 등에서 발견되었다(Paniangvait 등, 1995). 콜레스테롤 산화의 형성은 지방산이 산화되는 것과 같은 화학적인 과정을 거친다. 그러므로 식품에서 콜레스테롤 산화의 형성은 콜레스테롤이나 지방의 양, 식품의 지방산 조성, 그리고 가공 및 저장변이와 같은 요인에 의하여 영향을 받는다. 저장기간이 증가할수록 콜레스테롤 산화물이 증가하며, 그리고 콜레스테롤이 포함된 식품이 열과 빛에 노출되거나 또는 방사선을 처리할 때 콜레스테롤 산화물 발생량을 증가시킨다고 보고하였다(Zunin 등, 1995; Li 등, 1996).

최근 들어 식품의 안정성에 대한 관심이 고조되면서 위생적인 식품생산을 위한 방법으로 감마선 및 전자선 조사를 실시하였으며, Grants (1996)는 생육에서 병원성 미생물을 통제하는 가장 효과적인 방법이 조사(irradiation)라고 하였다. 그러나 조사된 육에서의 주된 관심은 조사에 의한 불쾌취(off-odor)의 발생과 지질산화의 원인이 되는 hydroxyl radicals을 발생시켜 육 품질에 영향을 미친다. 조사된 생육 또는 가열 육에서의 지질산화의 발생 정도는 포장, 저장 그리고 조사 전·후의 가공조건에 의해 영향을 받는다고 보고하였다(Ahn 등, 1998).

따라서 본 연구에서는 전자선 조사, 가열 및 포장방법이 콜레스테롤 및 지방산화에 미치는 영향을 조사하고 또한, 저장기간이 산화물질에 미치는 영향을 조사하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 표준물질과 분석시약

콜레스테롤과 콜레스테롤 산화물질은 표준품으로 순도 99 % 이상의 정제된 시약을 사용하였다. 즉 cholesterol (cholest-5-en-3 $\beta$ -ol), 5 $\alpha$ -cholestane (5 $\alpha$ -cholestane), 19-hydroxycholesterol (cholest-5-en-3 $\beta$ -19-diol), 7 $\beta$ -hydroxycholesterol (cholest-5-en-3 $\beta$ , 7 $\beta$ -diol), 20 $\alpha$ -hydroxycholesterol (5-cholestene-3 $\beta$ , 20 $\alpha$ -diol),  $\alpha$ -epoxide (5 $\alpha$ , 6 $\alpha$ -epoxycholestane-3 $\beta$ -ol),  $\beta$ -epoxide (5 $\beta$ , 6 $\beta$ -epoxycholestane-3 $\beta$ -ol), cholestanetriol(cholestane-3 $\beta$ , 5 $\alpha$ , 6 $\beta$ -triol), 25-hydroxycholesterol (cholestene-5-en-3 $\beta$ -25-diol), 22-ketocholesterol (5-cholesten-3 $\beta$ -ol-22-one), 6-ketocholesterol (5 $\alpha$ -cholestane-3 $\beta$ -ol-6-one), 7-ketocholesterol (5-cholesten-3 $\beta$ -ol-7-one)은 Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO)로부터 구입하였다. Butylatde hydroxytoluene(BHT) 또한 Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO)로부터 구입하였다. Bis-[trimethylsilyl] trifluoroacetamide(BSTFA) + 1% trimethylchlorosilane (TMCS)는 Supelco Inc. (Bellefonte, PA)로부터 구입하였고, Celite 545와 calcium phosphate (CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O)는 Fisher Scientific Co. (Malvern, PA), 그리고 silicic acid (100-200 mesh)는 Aldrich Chemical Co. (Milwaukee, WI)로부터 구입하였다. Hexane, Ethyl acetate, Ethyl ether, Acetone과 Methanol은 Fisher Scientific Co. (Malvern, PA)로부터 HPLC 등급을 구입하였다. 그리고 다른 모든 용매들은 증류하여 사용하였다.

### 2. 조사선 처리방법과 저장

실험재료는 시중에서 판매되는 우육 등심 부위를 구입하여 1 cm 두께로 세절한 후 생육 시료는 호기적 조건에서 PVDC 필름 포장과 PVDC 필름 진공 포장하였다. 실험재료의 전자선 조사는 삼성중공업(주)중앙연구소 내 전자선 가속기를 이용하여 실온에서 1 MeV의 에너지 수준으로 총 흡수선량이 6 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였다. 전자선의 투과 깊이가 4 mm이기 때문에 위면과 아래면을 각각 1회씩 조사하였다. 전자선 조사 처리된 시료는 비조사 대조시료와 함께 2-4℃의 냉장실에 보관하

면서 저장기간 별(0, 7일)로 실험에 사용하였다. 전자선 조사 처리 후 가열처리는 시료를 포장하지 않고 200 g 내외로 균일하게 전단하여 oven에서 육 내부가 70°C(육내부온도 측정기 사용)가 될 때까지 가열한 다음 PVDC 필름을 이용하여 합기포장과 진공포장을 즉시 실시하였다. 또한 가열 후 전자선 조사를 실시한 모든 처리구는 생육 시료와 같은 조건으로 2~4 °C의 냉장실에서 보관하면서 생육 시료와 같은 저장기간별로 콜레스테롤 산화 생성물의 발생 종류와 발생량 및 지방산화 정도를 조사하였다.

### 3. 지질 추출

우육 시료의 지질 추출은 Folch 등(1957)의 방법에 따라 수행하였다. 육 sample 10 g 내외를 50 ml test tube에 넣고 Folch I 용액(CHCl<sub>3</sub> : CH<sub>3</sub>OH = 2:1) 30 ml와 BHT(7.2%) 50 µl를 첨가한 후 polytron(IKA labortechnik T25-B, Malaysia)를 이용하여 균질화 하였다. 균질화한 후 Folch I 용액 10 ml로 polytron을 세척하였으며, 뚜껑을 단단히 막고 냉장온도에서 2시간동안 방치하였다. 100 ml 메스실린더를 이용하여 균질액을 여과시키고 여과액의 25% 분량을 0.88% NaCl 용액을 첨가한 다음 마개를 막고 10회 이상 강하게 흔들어서 주었다. 메스실린더의 내부는 Folch II 용액(CHCl<sub>3</sub> : CH<sub>3</sub>OH : H<sub>2</sub>O = 3 : 47 : 48) 10 ml로 세척하였다. 층 분리가 완전히 이루어진 다음 상층을 제거하고, 하층인 CHCl<sub>3</sub>은 50°C인 hot plate 위에서 제거하였다. 제거시키는 동안 6-point mini-vap을 이용하여 N<sub>2</sub>로 flushing 하였다. 추출된 지질은 사용하기 전에 hexane으로 용해한 후 사용하였다.

### 4. 콜레스테롤 산화 생성물 분리

Column 준비 : Zubillaga과 maerkeret(1991) 그리고 Park과 Addis(1985)의 cholesterol oxides 분리를 위한 column chromatography 방법에 의하여 실시하였다. 즉, Silicic acid (100 mesh),

celite 545, 그리고 CaHPO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O를 10:9:1로 잘 섞고 chloroform을 첨가하여 혼합물을 만든 다음 glass column(12 mm × 30 cm)에 충전하였다. 지질을 column에 넣고 실험하기 이전에 10 ml hexane : ethyl acetate (9 : 1 v/v, solvent I)를 첨가하였다.

시료 준비 : Folch 등(1957)의 방법으로 추출된 지질을 column에 0.2 g 넣은 후, 중성지질과 콜레스테롤(인지질)을 제거시키기 위하여 50 ml solvent I과 60 ml solvent II (hexane : ethyl acetate = 4 : 1)를 column에 통과시켰다. Column 속에 있는 콜레스테롤 산화물을 추출하기 위하여 40 ml solvent III(acetone : ethyl acetate : methanol = 50 : 50 : 5)를 1 ml/min의 유속으로 흐르게 하여 회수하였다. 최종 회수한 solvent III는 질소 충진을 하면서 50 °C hot plate에서 건조시켰다. 최종 건조된 cholesterol oxides에 200 µl pyridine과 100 µl sylon BFT(Bis-[trimethylsilyl] trifluoroacetamide(BSTFA) + 1% trimethylchlorosilane (TMCS))를 첨가하여 80°C에서 1시간 동안 가열하여 BSTFA/TMCS 유도체를 만들었다.

### 5. 콜레스테롤 산화물 분석

콜레스테롤 산화물 분석은 capillary column injection과 FID detection이 설치된 Hewlett Packard (HP; #142 Avendia Felipe, Anaheim, CA. 92807. U.S.A) 6890으로 수행하였다. Column은 0.32 mm I.D. × 30 m length × 0.33 µm film thickness (Supelcowax 10 column)을 사용하였다. Carrier gas는 helium을 사용하였으며, 유속은 1.6 ml/min로 하였다. 그리고 head pressure는 14.0 psi, oven의 initial 온도는 70°C이며, 0.5분간 유지시킨 후, 분당 40°C씩 증가시켜 275°C까지 증가시킨 후 0.5분간 유지시킨 후 분당 2°C씩 증가시켜 280°C까지 온도를 상승시켰다. Injection과 detector 온도는 300°C로 설정하였고, 시료의 주입량은 0.5 µl 이었다.

### 6. 지질산화도 측정

신선육의 산화정도는 Beuge와 Aust(1978) 등의 방법으로 시료 5g에 butylated hydroxyanisole(BHA) 50  $\mu$ l와 증류수 15 ml를 가해 polytorn homogenizer(MSE, U. S. A)로 14,000 rpm에서 30초간 균질화시킨 후 균질액 1 ml를 시험관에 넣고 여기에 2 ml thiobarbituric acid (TBA)/trichloroacetic acid(TCA) 혼합용액을 넣어 완전히 혼합한 다음, 90℃의 항온수조에서 15분간 열처리한 후 냉각시켜 3,000 rpm에서 10분간 원심분리 시켰다. 원심분리한 sample의 상층을 회수하여 spectrophotometer 531 nm에서 흡광도를 측정했다.

$$TBARS = \text{흡광도 수치} \times 5.88$$

### 7. 통계분석

SAS(1995) 통계 프로그램을 이용하여 분산분

석과 Duncan의 다중검정을 수행하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 전자선 처리된 생육

(1) 포장조건이 콜레스테롤 산화물질 생성에 미치는 영향

가열하지 않은 우육 등심을 함기 및 진공 포장하여 전자선 조사를 실시한 후 저장기간의 경과에 따른 콜레스테롤 산화물질의 발생 종류와 발생량의 결과는 Table 1에 나타내었다. 저장 0일째에는 전 처리구에서 7 $\beta$ -hydroxycholesterol과 7-ketocholesterol 만이 검출되었으며, 7 $\beta$ -hydroxycholesterol 발생량은 처리구간에 유의적인 차이는 없었지만 함기포장하여 전자

Table 1. Effect of packaging conditions on cholesterol oxides products

COPs	Raw meat							
	0 day( $\mu$ g COPs/g lipid)				7 days( $\mu$ g COPs/g lipid)			
	C-A	A-IR	V-IR	SEM	C-A	A-IR	V-IR	SEM
7 $\alpha$ -hy	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	14.2 <sup>BX</sup>	30.3 <sup>AX</sup>	6.1 <sup>CX</sup>	1.385
19-hy	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-
7 $\beta$ -hy	3.6 <sup>Y</sup>	5.6 <sup>Y</sup>	3.6 <sup>X</sup>	0.562	15.0 <sup>BX</sup>	33.9 <sup>AX</sup>	2.7 <sup>CY</sup>	0.890
20 $\alpha$ -hy	0.0	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	0.0	TR <sup>X</sup>	TR <sup>X</sup>	-
$\beta$ -ep	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	7.1 <sup>BX</sup>	13.9 <sup>AX</sup>	TR <sup>CX</sup>	0.887
$\alpha$ -ep	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	TR <sup>X</sup>	TR <sup>X</sup>	TR <sup>X</sup>	-
triol	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-
25-hy	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-
22-keto	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-
6-keto	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-
7-keto	5.5 <sup>AY</sup>	5.1 <sup>AY</sup>	TR <sup>B1)</sup>	0.372	15.2 <sup>BX</sup>	35.7 <sup>AX</sup>	TR <sup>C</sup>	1.180
Total	9.1 <sup>AY</sup>	10.7 <sup>AY</sup>	3.6 <sup>BY</sup>	0.803	51.5 <sup>BX</sup>	113.8 <sup>AX</sup>	8.8 <sup>CX</sup>	3.960

<sup>1)</sup> TR, trace(below 0.5  $\mu$ g/g); A, aerobic packaging; V, vacuum packaging; C, nonirradiated; IR, irradiated at 6 kGy dose; SEM., standard error of the mean.

<sup>A,B,C</sup> Means  $\pm$  SD not sharing a common superscript in the same row in the same treatment are significantly different(P<0.05).

<sup>X,Y</sup> Means  $\pm$  SD not sharing a common superscript in the same row in the storage days are significantly different(P<0.05).

Abbreviation : 7  $\alpha$  -hy, 7  $\alpha$  -hydroxycholesterol; 19-hy, 19-hydroxycholesterol; 7  $\beta$  -hy, 7  $\beta$  -hydroxycholesterol; 20  $\alpha$  -hy, 20  $\alpha$  -hydroxycholesterol;  $\beta$  -ep,  $\beta$  -epoxide;  $\alpha$  -ep,  $\alpha$  -epoxide; triol, cholestanetriol; 25-hy, 25-hydroxycholesterol; 22-keto, 22-ketocholesterol; 6-keto, 6-ketocholesterol; 7-keto, 7-ketocholesterol.

선 조사한 처리구가 다른 처리구에 비하여 발생량이 많았다. 7-ketocholesterol의 발생량은 진공포장하여 전자선 조사를 실시한 처리구는 trace(0.5 µg/g 이하)였지만 합기포장 처리구와 합기포장하여 전자선 조사를 실시한 처리구는 각각 5.5와 5.1 µg/g 발생하였다. 전체 발생량은 진공포장한 후 전자선 조사를 실시한 처리구가 유의적으로 낮은 발생량을 보였다. 저장 7일째는 저장 0일째와 비교하여 많은 종류의 콜레스테롤 산화물질이 발생하였는데, 이와 같은 결과에 대해 Li 등(1996)은 분무-건조된 난황분말의 콜레스테롤 산화물의 초기 함량은 7-10 ppm 정도이며 저장기간이 경과함에 따라 증가한다고 보고하였다. 또한 Lai 등(1995)은 계란 분말에서 5가지 콜레스테롤 산화물질을 ( $\alpha$ -와  $\beta$ -epoxides,  $7\alpha$ -와  $7\beta$ -hydroxycholesterol, 그리고 7-ketocholesterol) 분리하였는데, 본 실험에서 발생된 종류와 일치하였다.

발생된 콜레스테롤 산화물질에서 처리구간의 차이를 비교하였을 때 합기포장하여 조사를 실시한 처리구가 타 처리구에 비하여 유의적으로 ( $P<0.05$ ) 많은 발생량을 보였다. 다음으로는 합기포장 처리구가 많은 발생량을 보였다. 1990년 이후 식품의 안정성에 대한 관심이 고조되면서 위생적인 식품생산을 위한 방법으로 감마선 및 전자선 조사를 실시하였으며, Grants (1996)는 생육에서 병원성 미생물을 통제하는 가장 효과적인 방법이 조사(irradiation)라고 하

였다. 그러나 조사된 육에서의 주된 관심은 조사 동안 불쾌취(off-odor)의 발생과 지질산화의 원인이 되는 hydroxyl radicals을 발생시켜 육 품질에 영향을 미친다. 조사된 생육 또는 가열 육에서의 지질산화의 발생 정도는 포장, 저장 그리고 조사 전·후의 가공조건에 의해 영향을 받는다고 보고하였다(Ahn 등, 1998). 본 연구의 결과 진공포장하여 조사를 실시하면 조사되지 않은 합기포장 육에 비하여 콜레스테롤 산화를 억제시킬 수 있다고 사료된다.

(2) 포장조건이 지방산화에 미치는 영향

합기 및 진공 포장하여 전자선 조사를 실시한 후 저장기간의 경과에 따른 지방산화 정도를 조사한 결과는 Table 2에 나타내었다. 저장 초기에는 진공포장하여 조사한 처리구가 타 처리구에 비하여 유의적으로( $P<0.05$ ) 낮은 지방산화를 보였으며, 모든 처리구가 저장기간이 경과함에 따라 지방산화가 유의적으로( $P<0.05$ ) 증가하는 결과를 보였다. 저장 7일째에는 저장초기와 마찬가지로 진공포장한 후 조사 처리구가 가장 낮은 지방산화를 보였다. 이와 같은 결과는 Table 1의 콜레스테롤 산화물량과 같이 증가하는 경향을 보였다. 2차 산화물(TBARS)은 조리된 돈육(Monahan 등, 1992)과 전유분말(Chan 등, 1993)에서도 저장기간 동안 TBARS 생성이 콜레스테롤 산화 생성물의 발생과 유사한 경향을 보인다고 보고하였다.

Table 2. Effect of packaging conditions on lipid oxidation(mg MDA/kg)

Treatment <sup>1)</sup>	Raw meat		
	0 day	7 days	SEM
C-A	0.87 <sup>A<sub>Y</sub></sup>	1.48 <sup>B<sub>X</sub></sup>	0.027
A-IR	0.75 <sup>A<sub>Y</sub></sup>	1.67 <sup>A<sub>X</sub></sup>	0.046
V-IR	0.34 <sup>B<sub>Y</sub></sup>	0.48 <sup>C<sub>X</sub></sup>	0.026
SEM	0.345	0.033	

<sup>1)</sup> A, aerobic packaging; V, vacuum packaging; C, nonirradiated; IR, irradiated at 6 kGy dose; SEM., standard error of the mean.

<sup>A,B,C</sup> Means  $\pm$  SD not sharing a common superscript in the same row in the same treatment are significantly different( $P<0.05$ ).

<sup>X,Y</sup> Means  $\pm$  SD not sharing a common superscript in the same row in the storage days are significantly different( $P<0.05$ ).

2. 전자선 조사 후 가열된 우육

(1) 조사시 포장조건과 저장시 포장조건이 콜레스테롤 산화물질 생성에 미치는 영향

전자선 조사 후 조리된 우육의 포장방법에 따른 콜레스테롤 산화물질의 발생 종류와 발생량의 변화는 Table 3에 나타내었다. 저장 0일에는 7β-hydroxycholesterol, β-epoxide 및 7-ketocholesterol이 검출되었다. 처리구간의 비교에서는 진공포장하여 조사 후 가열하여 즉시 진공포장한 처리구가 가장 낮은 콜레스테롤 산화물질 발생량을 보였으며, 발생 종류에 따른 발생량은 0.5μg/g 이하로 검출되었다. 유의적으로 가장 많은 콜레스테롤 산화물질이 생성된 처리구는 합기포장하여 조사를 실시한 후 가열하여 진공포장한 처리구가 전체 발생량이 21.1μg/g으로 가장 많았다. 저장기간이 경과함에 따라 저장초기에 발생한 산화물질들의 발생량은 급

격히 증가하였으며, 저장초기에는 발생되지 않았던 7α-hydroxycholesterol, 20α-hydroxycholesterol, α-epoxide 및 cholestanetriol 등이 발생되었다. Pie 등(1991)은 우육, 송아지, 돈육, 신선육, 3개월동안 조리 냉동된 육에 있어 콜레스테롤의 산화정도를 연구하였다. 산화는 냉동 저장과 조리과정중에 증가하였으며, 8가지 oxysterols을 분리하였다고 보고하였는데, 본 연구에서는 저장 7일에 7가지의 oxysterols을 검출하였다. Nourooz-Zadeh와 Appelqvist(1987)는 저장동안 동량 또는 5-10:1의 비율로 α-epoxide 보다 β-epoxide가 많이 발생한다고 보고하였는데, 본 연구에서도 같은 결과를 얻었다. Pie 등(1991)은 oxysterols 중에서 가장 인체에 해로운 것은 cholestanetriol, 25-hydroxycholesterol이며, 발생되지 않거나 또는 아주 적은 량이 산화로 인하여 발생된다고 하였는데, 저장 7일에 조사 후 가열처리하여 합기포장한 처리구들에서는 4.5~5.6μg/g의 범위로 검출되어 콜

Table 3. Effect of packaging conditions on cholesterol oxidation products in irradiated meat during storage

COPs	Cooking after irradiation														SEM
	0 day(μg COPs/g lipid)							7 days(μg COPs/g lipid)							
	A-C-V	A-C-A	A-IR-V	A-IR-A	V-IR-V	V-IR-A	A-C-V	A-C-A	A-IR-V	A-IR-A	V-IR-V	V-IR-A			
7α-hy	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	21.5 <sup>DX</sup>	82.1 <sup>AX</sup>	21.2 <sup>DX</sup>	66.7 <sup>BX</sup>	9.7 <sup>DX</sup>	52.0 <sup>CX</sup>	3.310	
19-hy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	
7β-hy	5.4 <sup>AY</sup>	6.3 <sup>AY</sup>	6.9 <sup>AY</sup>	5.5 <sup>AY</sup>	TR <sup>CY</sup>	2.5 <sup>BY</sup>	0.356	26.9 <sup>DX</sup>	86.2 <sup>AX</sup>	23.0 <sup>DX</sup>	64.1 <sup>BX</sup>	9.3 <sup>EX</sup>	53.5 <sup>CX</sup>	2.862	
20α-hy	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	TR <sup>X</sup>	TR <sup>X</sup>	TR <sup>X</sup>	TR <sup>X</sup>	TR <sup>X</sup>	TR <sup>X</sup>	-	
β-ep	3.9 <sup>BY</sup>	5.0 <sup>ABY</sup>	5.7 <sup>AY</sup>	4.1 <sup>BY</sup>	TR <sup>CY</sup>	TR <sup>CY</sup>	0.419	11.3 <sup>DX</sup>	50.7 <sup>AX</sup>	10.9 <sup>DX</sup>	39.5 <sup>BX</sup>	5.2 <sup>DX</sup>	30.6 <sup>CX</sup>	2.189	
α-ep	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	3.6 <sup>DX</sup>	14.2 <sup>AX</sup>	TR <sup>EX</sup>	12.1 <sup>BX</sup>	TR <sup>EX</sup>	9.3 <sup>CX</sup>	0.547	
triol	0.0	0.0 <sup>Y</sup>	0.0	0.0 <sup>Y</sup>	0.0	0.0 <sup>Y</sup>	-	0.0 <sup>B</sup>	5.3 <sup>AX</sup>	0.0 <sup>B</sup>	5.6 <sup>AX</sup>	0.0 <sup>B</sup>	4.5 <sup>AX</sup>	0.397	
25-hy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	
22-keto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	
6-keto	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-	
7-keto	5.8 <sup>BY</sup>	6.9 <sup>BY</sup>	8.5 <sup>AY</sup>	6.8 <sup>BY</sup>	TR <sup>CY</sup>	TR <sup>CY</sup>	0.437	27.3 <sup>CX</sup>	105.8 <sup>AX</sup>	23.4 <sup>CX</sup>	84.6 <sup>BX</sup>	9.5 <sup>DX</sup>	73.3 <sup>BX</sup>	4.031	
Total	15.0 <sup>BY</sup>	18.2 <sup>ABY</sup>	21.1 <sup>AY</sup>	16.4 <sup>BY</sup>	0.0 <sup>CY</sup>	2.5 <sup>CY</sup>	1.176	90.6 <sup>DX</sup>	344.3 <sup>AX</sup>	78.5 <sup>DX</sup>	272.6 <sup>BX</sup>	33.7 <sup>EX</sup>	223.2 <sup>CX</sup>	12.185	

<sup>11</sup> TR, trace(below 0.5 μg/g); A, aerobic packaging; V, vacuum packaging; C, nonirradiated; IR, irradiated at 6 kGy dose; SEM., standard error of the mean.

<sup>A,B,C,D</sup> Means±SD not sharing a common superscript in the same row in the same treatment are significantly different(P<0.05).

<sup>X,Y</sup> Means±SD not sharing a common superscript in the same row in the storage days are significantly different(P<0.05).

레스테롤 산화에 포장방법이 많은 영향을 미치는 것으로 사료된다.

(2) 조사시 포장조건과 저장시 포장조건이 지방산화에 미치는 영향

전자선 조사시 포장조건과 가열 후 포장조건이 지방산화에 미치는 영향을 나타낸 결과는 Table 4에 나타내었다. 저장 0일에 진공포장하여 전자선 조사한 두 처리구가 타 처리구에 비하여 유의적으로(P<0.05) 낮은 지방산화를 보였으며, 저장기간이 경과함에 따라 모든 처리구가 유의적으로(P<0.05) 지방산화가 증가하였다. 처리구간에는 진공포장하여 조사를 실시한 후 가열처리하여 즉시 진공포장한 처리구가 유의적으로(P<0.05) 가장 낮은 지방산화를 보였으며, 전체적으로 가열 후 진공포장하여 저장된 처리구가 함기포장 처리구에 비하여 유의적으로(P<0.05) 낮은 지방산화를 보여 전자선 조사 처리가 지방산화에 미치는 영향보다 포장조건이 지방산화에 더 많은 영향을 미치는 것으로 사료된다. Nam 등(2001)은 조사나 포장조건이 지방산화에 많은 영향을 미치며, 진공포장 보다 함기포장이 지방산화 정도가 심하다고 보고하였다.

3. 가열 후 전자선 조사된 우육

(1) 전자선 조사시 포장조건이 콜레스테롤 산화물질에 미치는 영향

가열 처리한 후 전자선 조사시 포장방법에 따른 콜레스테롤 산화물의 발생 종류와 발생량의 변화는 Table 5에 나타내었다. 가열 처리한 후 저장 0일에는 7 $\alpha$ -hydroxycholesterol, 7 $\beta$ -hydroxycholesterol, 20 $\alpha$ -hydroxycholesterol,  $\alpha$ ,  $\beta$ -epoxide 및 7-ketocholesterol 등 6가지 콜레스테롤이 검출되었으며, 처리구간의 비교에서는 가열처리한 후 함기포장한 처리구가 유의적으로(P<0.05) 가장 낮은 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 저장기간이 경과되지 않았기 때문에 다소 예상치와는 다른 결과를 보였다.

조사는 미생물 성장을 통제하기 위하여 식품 가공에서 사용되어 왔다. 그러나 수상 또는 오일 유화시스템에서 하이드록시 라디칼을 발생시키는 것으로 알려져 있다(O'Connell과 Garner, 1983). Lebovics 등(1992)은 이온화 조사는 콜레스테롤 자동산화에서 비슷한 화학적 반응을 야기시킨다. 그리고 조사에 의해 형성된 산화물의 양은 조사량에 의존한다. Katusin-Razem 등(1992)은 조사가 계란 생산품에서 산화적인 화학적인 변화를 야기시키는 것은 조사량에 의존

Table 4. Effect of packaging conditions on lipid oxidation in irradiated meat during storage(mg MDA/kg)

Treatment <sup>1)</sup>	Cooking after irradiation		SEM
	0 day	7 days	
A-C-V	0.89 <sup>AY</sup>	1.53 <sup>CX</sup>	0.065
A-C-A	0.92 <sup>AY</sup>	4.84 <sup>AX</sup>	0.095
A-IR-V	0.81 <sup>AY</sup>	1.39 <sup>CX</sup>	0.019
A-IR-A	0.85 <sup>AY</sup>	4.22 <sup>BX</sup>	0.116
V-IR-V	0.67 <sup>BY</sup>	0.86 <sup>DX</sup>	0.016
V-IR-A	0.67 <sup>BY</sup>	4.84 <sup>AX</sup>	0.030
SEM	0.035	0.090	

<sup>1)</sup> A, aerobic packaging; V, vacuum packaging; C, nonirradiated; IR, irradiated at 6 kGy dose; SEM., standard error of the mean.

<sup>A,B,C,D</sup> Means  $\pm$  SD not sharing a common superscript in the same row in the same treatment are significantly different(P<0.05).

<sup>X,Y</sup> Means  $\pm$  SD not sharing a common superscript in the same row in the storage days are significantly different(P<0.05).

Table 5. Effect of irradiation and packaging conditions on cholesterol oxidation products

COPs	Irradiation after cooking									
	0 day( $\mu\text{g COPs/g lipid}$ )					7 days( $\mu\text{g COPs/g lipid}$ )				
	A-IR	V-IR	A-C	V-C	SEM	A-IR	V-IR	A-C	V-C	SEM
7 $\alpha$ -hy	10.6 <sup>BY</sup>	12.6 <sup>AB</sup>	8.8 <sup>BY</sup>	15.6 <sup>A</sup>	1.078	57.7 <sup>AX</sup>	13.1 <sup>B</sup>	66.0 <sup>AX</sup>	17.0 <sup>B</sup>	4.082
19-hy	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-
7 $\beta$ -hy	7.7 <sup>BY</sup>	13.7 <sup>A</sup>	6.6 <sup>BY</sup>	16.1 <sup>A</sup>	1.159	59.9 <sup>BX</sup>	14.3 <sup>C</sup>	74.5 <sup>AX</sup>	16.7 <sup>C</sup>	4.120
20 $\alpha$ -hy	5.3 <sup>AX</sup>	TR <sup>B</sup>	0.0 <sup>BY</sup>	0.0 <sup>BY</sup>	0.175	3.3 <sup>BY</sup>	TR <sup>C</sup>	TR <sup>CX</sup>	5.6 <sup>AX</sup>	0.431
$\beta$ -ep	8.2 <sup>AY</sup>	9.5 <sup>A</sup>	4.7 <sup>B</sup>	8.6 <sup>AX</sup>	0.850	34.5 <sup>BX</sup>	9.7 <sup>C</sup>	43.5 <sup>AX</sup>	7.1 <sup>CY</sup>	2.364
$\alpha$ -ep	TR <sup>Y1)</sup>	TR	TR <sup>Y</sup>	TR	-	10.1 <sup>AX</sup>	TR <sup>B</sup>	11.7 <sup>AX</sup>	TR <sup>B</sup>	0.617
triol	0.0 <sup>Y</sup>	0.0	0.0 <sup>Y</sup>	0.0	-	4.6 <sup>AX</sup>	0.0 <sup>B</sup>	5.3 <sup>AX</sup>	0.0 <sup>B</sup>	0.482
25-hy	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-
22-keto	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-
6-keto	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-
7-keto	10.2 <sup>ABY</sup>	18.3 <sup>A</sup>	7.4 <sup>BY</sup>	16.6 <sup>A</sup>	2.104	82.1 <sup>BX</sup>	19.9 <sup>C</sup>	100.2 <sup>AX</sup>	17.9 <sup>C</sup>	4.585
Total	42.0 <sup>ABY</sup>	54.1 <sup>A</sup>	27.5 <sup>BY</sup>	56.9 <sup>AY</sup>	4.518	252.2 <sup>AX</sup>	57.2 <sup>B</sup>	301.2 <sup>AX</sup>	65.0 <sup>BX</sup>	15.747

<sup>1)</sup> TR, trace(below 0.5  $\mu\text{g/g}$ ); A, aerobic packaging; V, vacuum packaging; C, nonirradiated; IR, irradiated at 6 kGy dose; SEM., standard error of the mean.

<sup>A,B,C</sup> Means  $\pm$  SD not sharing a common superscript in the same row in the same treatment are significantly different( $P < 0.05$ ).

<sup>x,y</sup> Means  $\pm$  SD not sharing a common superscript in the same row in the storage days are significantly different( $P < 0.05$ ).

한다고 보고하였으며, 그리고 산소의 존재는 산화의 율(속도)에 유의적인 효과가 있다고 보고하였다.

저장초기에는 검출되지 않았던 cholestanetriol 이 저장 7일에는 함기포장하여 저장한 처리구에서 상당량이 검출되었는데, 이와 같은 결과는 Table 3에서 나타난 결과와 같은 경향이였다. 저장기간이 경과함에 따라 저장초기에 발생한 산화물질들의 발생량은 급격히 증가하였는데, oxysterols의 함량은 냉장과 동결저장 동안 증가한다고 보고하였다(Kesava Rao 등, 1996; Kowale 등, 1996). 중국식 소시지, 고온에서 건조된 제품, 자연적으로 발효된 돈육 제품 등의 콜레스테롤 산화는 저장 동안 증가하였지만, 그러나 25-hydroxycholesterol과 cholestanetriol은 검출되지 않았다(Wang 등, 1995)고 보고하였다. 저장 7일 후 처리구간 비교에서는 가열 처리한 후 진공포장한 처리구가 함기포장한 처리구에 비하여 유의적으로( $P < 0.05$ ) 낮은

콜레스테롤 산화물질이 발생하였다. 식품에서 지질 산화는 철과 구리 같은 금속이온, 산소, 조사, 열처리 그리고 저장 등에 의하여 촉매작용을 할 수 있으며, 그리고 산소 배제와 항산화제 등으로 산화를 막을 수 있다. 식품의 가공과 저장 동안 지질산화에 의해 형성된 지질 라디칼은 콜레스테롤과 생성된 콜레스테롤 산화물의 산화로 가속화 될 수 있다(Paniangvait 등, 1995). 그러므로 콜레스테롤의 산화에 항산화제, 가공, 포장 그리고 저장 방법 등의 효과는 생산품 품질을 개선하기 위해서 반드시 확립되어야 한다.

(2) 전자선 조사시 포장조건이 지방산화에 미치는 영향

가열 처리한 후 전자선 조사시 포장방법이 지방산화에 미치는 영향을 나타낸 결과는 Table 6에 나타내었다. 저장 0일째 처리구간의 비교에서 함기포장하여 조사한 처리구가 유의



Table 6. Effect of irradiation and packaging conditions on lipid oxidation(mg MDA/kg)

Treatment <sup>1)</sup>	Irradiation after cooking		SEM
	0 day	7 days	
A-IR	1.05 <sup>BY</sup>	3.97 <sup>BX</sup>	0.098
V-IR	1.22 <sup>A</sup>	1.31 <sup>C</sup>	0.032
A-C	1.12 <sup>ABY</sup>	5.16 <sup>AX</sup>	0.038
V-C	1.21 <sup>AY</sup>	1.43 <sup>CX</sup>	0.053
SEM	0.031	0.080	

<sup>1)</sup> A, aerobic packaging; V, vacuum packaging; C, nonirradiated; IR, irradiated at 6 kGy dose; SEM., standard error of the mean.

<sup>A,B,C</sup> Means  $\pm$  SD not sharing a common superscript in the same row in the same treatment are significantly different ( $P < 0.05$ ).

<sup>X,Y</sup> Means  $\pm$  SD not sharing a common superscript in the same row in the storage days are significantly different ( $P < 0.05$ ).

적으로 ( $P < 0.05$ ) 가장 높은 지방산화를 보였는데, 이 결과는 Table 5의 결과에서 보여준 콜레스테롤 산화와 유사한 결과였다. 저장기간이 경과함에 따라 모든 처리구의 지방산화가 증가하였다. 저장 7일째 처리구간의 비교에서 합기포장한 처리구가 진공포장한 처리구에 비하여 유의적으로 ( $P < 0.05$ ) 지방산화가 증가하였다. Nam 등(2001)은 콜레스테롤 산화물과 지방산화는 강하게 양의 상관관계를 가진다고 보고하였다.

#### IV. 요약

우육 등심부위를 1 cm 두께로 절단한 후 생육 시료는 PVDC 필름으로 호기적 포장과 진공포장을 하여 6 kGy 선량으로 전자선 조사를 실시한 후 2-4°C의 냉장실에서 보관하면서 저장기간 별(0, 7일) 실험에 사용하였다. 전자선 조사 후 가열시료와 가열 후 전자선 시료는 oven에서 육 내부 온도가 70°C 될 때까지 가열한 다음 합기 포장과 진공포장을 즉시 실시한 후 생육 시료와 같은 조건으로 냉장실에서 보관하면서 생육 시료와 같은 저장기간별 콜레스테롤 산화물의 발생 종류와 발생량을 조사한 결과는 다음과 같다. 생육 시료에서 저장초기에는 7 $\beta$ -hydroxycholesterol과 7-ketocholesterol이 검출되었으며, 처리구간에는 합기포장 처리구가 진공포장 처리구에 비하여 유의적으로

( $P < 0.05$ ) 많은 발생량을 보였다. 저장기간이 경과함에 따라 저장초기에는 발생되지 않았던 7 $\alpha$ -hydroxycholesterol, 20 $\alpha$ -hydroxycholesterol,  $\beta$ -epoxide 및  $\alpha$ -epoxide 등이 검출되었으며, 발생량도 저장기간이 경과함에 따라 유의적으로 ( $P < 0.05$ ) 증가하였다. 전자선 조사 후 가열 시료와 가열 후 전자선 조사 시료는 저장 초기에는 발생되지 않았던 cholestanetriol이 저장 7일에 검출되었으며, 전처리구가 저장기간이 경과함에 따라 콜레스테롤 산화물의 발생량이 유의적으로 ( $P < 0.05$ ) 증가하였으며, 처리구간에는 진공포장한 처리구가 합기포장한 처리구에 비하여 유의적으로 ( $P < 0.05$ ) 낮은 발생량을 보였다. 이상의 결과를 종합하면 콜레스테롤 산화물질의 발생량은 조사로 인하여 발생하는 량보다는 저장시 포장조건이 더 많은 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다.

#### V. 인용문헌

1. Addis, P. B. 1990. Conory heart disease: an update with emphasis on dietary lipid oxidation products. *Nutr. rev.* 62:7.
2. Addis, P. S. and Warner, G. J. 1991. The potential health aspects of lipid oxidation products in food. Ch. 5. In *Free Radical and Food Additives*, O.I. Aruoma and B. Halliwell (Ed.), p. 77-119. Taylor and Francis L.T.D. London, Great Britain.
3. Ahn, D. U., Olson, D. G., Lee, J. I., Jo, C., Wu,

- C. and Chen, X. 1998. Packaging and irradiation effects on lipid oxidation and volatiles in pork patties. *J. Food Sci.* 63:15.
4. Beuge, J. A. and Aust, S. D. 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Methods Enzymol.* 52:302.
  5. Bosinger, S., Luf, W. and Brandl, L. 1993. Oxysterol: their occurrence and biological effects. *Int. Dairy J.* 3:1.
  6. Chan, S. H., Gray, J. I. and Gomaa, E. A. 1993. Cholesterol oxidation in whole powders as influenced by processing and packaging. *Food Chem.* 47:321.
  7. Folch, J., Lees, M. and Sloan-Stanley, G. H. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Bio. Chem.* 226:497.
  8. Grants, R. 1996. Pathogen countdown. *Meat Poul. Dec.* p. S19-45.
  9. Katusin-Razem, B., Mihajevic, K. W. and Razem, D. 1992. Time-dependent post irradiation oxidative chemical changes on dehydrated egg products. *J. Agric. Food Chem.* 40:1948.
  10. Kesava Rao, V., Kowale, B. N., Babu, N. P. and Bisht, G. S. 1996. Effect of cooking and storage on lipid oxidation and development of cholesterol oxidation products in water buffalo meat. *Meat Sci.* 43:179.
  11. Kowale, B. N., Kesava Reo, V., Babu, N. P., Sharma, N. and Bisht, G. S. 1996. Lipid oxidation and cholesterol oxidation in mutton during cooking and storage. *Meat Sci.* 43:195.
  12. Lai, S. M., Gray, J. I. and Zabik, M. E. 1995. Evaluation of solid phase extraction and gas chromatography for determination of cholesterol oxidation products in spray-dried whole egg. *J. Agric. Food Chem.* 43:1122.
  13. Lebovics, V. K., Gaal, O., Somogyi, L. and Farkas, J. 1992. Cholesterol oxides in  $\gamma$ -irradiated spray-dried egg powder. *J. Sci. Food Agric.* 60: 251.
  14. Li, S. X., Cherian, G. and Sim, J. S. 1996. Cholesterol oxidation in egg yolk powder during storage and heating as affected by dietary oils and tocopherol. *J. Food Sci.* 61:721.
  15. Monahan, F. J., Gray, J. I., Booren, A. M., Miller, E. R., Buckley, D. J., Morrissey, P. A. and Gpmaa, E. A. 1992. Influence of dietary treatment on lipid and cholesterol oxidation in pork. *J. Agric. Food Chem.* 40:1310.
  16. Morin, R. J. and Peng, S. K. 1992. Cholesterol oxides in plasma and tissues. Ch. 5, in *Biological Effects of Cholesterol Oxides*, S. K. Peng and R. J. Morin(Ed.). CRC Press, Ann Arbor, MI.
  17. Morin, R. J., Hu, B., Peng, S. K. and Sevanian, A. 1992. Cholesterol oxidation and cancer. Ch. 10, in *Biological Effects of Cholesterol Oxides*, S.K. Peng and R.J. Morin(Ed.). CRC Press, Ann Arbor, MI.
  18. Nam, K. C., Du, M., Jo, C. and Ahn, D. U. 2001. Cholesterol oxidation products in irradiated raw meat with different packaging and storage time. *Meat Sci.* 58:431.
  19. Nourooz-Zadeh, J. and Appelqvist, L. A. 1987. Cholesterol in Swedish food ingredients: fresh eggs and dehydrated egg products. *J. Food Sci.* 52:57.
  20. O'Connell, M. J. and Garner, A. 1983. Radiation induced generation and the properties of lipid hydroxide in liposomes. *Int. J. Radiat. Biol.* 44: 615.
  21. Paniangvait, P., King, A. J., Jones, A. D. and German, B. G. 1995. Cholesterol oxides in foods of animal origin. *J. Food Sci.* 60:1159.
  22. Park, S. W. and Addis, P. B. 1985. HPLC determination of C-7 oxidized cholesterol oxidation derivatives in foods. *J. Food Sci.* 50:1437.
  23. Peng, S. K., Hu, B. and Morin, R. J. 1992a. Effects of cholesterol oxides on atherogenesis. In: *Biological Effects of Cholesterol Oxides*, ed Peng, S. K. and Moarin, R. J. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p.167.
  24. Peng, S. K., Sevanian, A. and Morin, R. J. 1992b. Cytotoxicity of cholesterol oxides. In: *Biological Effects of Cholesterol Oxides*, ed Peng, S. K. and Moarin, R. J. CRC Press, Boca Raton, FL, USA. p.147.
  25. Pie, J. E., Spahis, K. and Seillan, C. 1991. Cholesterol oxidation in meat products during cooking and frozen storage. *J. Agric. Food Chem.* 39:250.
  26. SAS. 1995. SAS/SATT Software for PC. Release 6.11, SAS Institute, Cray, NC, U.S.A.
  27. Smith, L. L. 1981. Cholesterol autoxidation. Plenum press. New York.
  28. Wang, F. S., Jiang, Y. N. and Lin, C. W. 1995. Lipid and cholesterol oxidation in cheese-style sausage using vacuum and modified atmosphere packaging. *Meat Sci.* 40:93.
  29. Zubillaga, M. P. and Maerker, G. 1991. Quantification of three cholesterol oxidation products in raw meat and chicken. *J. Food Sci.* 56:1194.
  30. Zunin, P., Evangelisti, F., Caboni, M. F., Penzazzi, G., Lercker, G. and Tiscornia, E. 1995. Cholesterol oxidation in baked foods containing fresh and powdered eggs. *J. Food Sci.* 60:913.
- (접수일자 : 2001. 12. 5 / 채택일자 : 2002. 1. 4)