



## 돈육 등심의 콜레스테롤 및 지질 산화에 전자선 조사, 포장 및 저장기간이 미치는 영향

신 택 순 · 이 정 일\*

밀양대학교 축산학과, \*경상남도 첨단양돈연구소

### Effect of Irradiation, Packaging and Storage on the Oxidation of Cholesterol and Lipid in Pork Longissimus Meat

Teak-Soon Shin and Jeong-III Lee\*

Department of Animal Science, Miryang National University, Technique Application Division,  
\*Advanced Swine Research Institute

#### Abstract

Pork loins that retailed in market were used as experimental samples. Some pork samples in raw state were packaged with PVDC in either aerobic or vacuum condition. The other pork samples were cooked until core temperature reached at 70°C and then packaged immediately in the same way with the raw samples. After these samples were irradiated by electron beam 6 kGy, the samples were stored in a refrigerator (2~4°C). Identification and quantification of cholesterol oxides were performed at 0 and 7 days. The results were following. During the early stage of storage, cholesterol oxides were not produced from the raw meat samples, but with the passage of storage time, 7 $\alpha$ -hydroxycholesterol, 7 $\beta$ -hydroxycholesterol, 7-ketocholesterol, 20 $\alpha$ -hydroxycholesterol,  $\beta$ -epoxide and  $\alpha$ -epoxide, which were not produced during the early stage of storage, were produced. The production of cholesterol and lipid oxidation products were significantly higher (P<0.05) in the meats with aerobic packaging than those with vacuum packaging. Cooked meat after irradiation showed 7 $\alpha$ -hydroxycholesterol, 7 $\beta$ -hydroxycholesterol,  $\alpha$ -epoxide and cholestanetriol on the 7th day of storage, although those chemicals were 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 these for aerobic packaging. Species of cholesterol oxides from irradiated meat after cooking were similar to those from cooked meat after irradiation. Collectively, it was found that the production of cholesterol oxides was more easily affected by packaging condition than irradiation.

Key words : cholesterol oxidation products, irradiation, pork.

#### 서 론

콜레스테롤은 동물성 식품에서 주된 스테롤 화합물이다. 콜레스테롤의 함량은 혈청 콜레스테롤 함량에 영향을 미치며, 심장혈관 질병에 대한 위험적인 요소를 가지고 있다. 최근에 이런 질병에 대한 주의를 콜레스테롤이 산화되면서 발

생되는 산화물에 대하여 초점이 맞춰지고 있다(Guardiola et al., 1996; Kumar and Singhal, 1991).

콜레스테롤 산화는 육을 포함한 다양한 식품에서 쉽게 발생되며, 그리고 콜레스테롤이 산화됨으로써 발생하는 그들의 산화물은 다중불포화지방산이 산화되는 것과 비슷한 화학적 과정을 통하여 발생된다. 그러므로 식품에서 콜레스테롤의 산화는 콜레스테롤 주변환경에 의해 영향을 받으며, 특히 불포화 지질 가까이에 있을 때 쉽게 산화를 받는다(Gray et al., 1996). 따라서, 저장상태, 열처리, 빛에 노출 및 전자선 조사처리 등은 콜레스테롤 산화를 촉진한다(Paniangvait et

Corresponding author : Jeong-III Lee, Advanced Swine Research Institute, Shinan-Meon, Sanchung-Gun, GyeongNam 666-962, Korea. Tel: 82-55-970-3670, Fax: 82-55-970-3669, E-mail: lee1079@empal.com

al., 1995). 식품안전성에 대한 관심이 증가됨으로써, 전자선 조사는 안전한 육을 유통하기 위한 최상의 방법으로 이용되어 왔다(Lee et al., 1996). 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 가열육에서의 지질산화의 발생 정도는 포장, 저장 그리고 조사 전·후의 가공조건에 의해 영향을 받는다고 보고하였다(Ahn et al., 1998).

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

## 재료 및 방법

### 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), cholestane-triol (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, U.S.A)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, U.S.A)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, U.S.A)로부터 HPLC 등급을 구입하였다. 그리고 다른 모든 용매들은 증류하여 사용하였다.

### 전자선 처리방법과 저장

실험재료는 시중에서 판매되는 돈육 등심 부위를 구입(도축후 1일이 경과)하여 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 °C의 냉장실에 보관하면서 처리 후 0, 7일로 실험에 사용하였다. 전자선 조사 처리 후 가열처리는 시료를 포장하지 않고 200 g 내외로 균일하게 절단하여 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.

### 지질추출

돈육 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  $\mu$ l를 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 흔들어주었다. 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 flushing하였다. 추출된 지질은 사용하기 전에 hexane으로 용해한 후 사용하였다.

### 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 충전을 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.

**콜레스테롤 산화물 분석**

콜레스테롤 산화물 분석은 capillary column injection과 FID detector가 설치된 Hewlett Packard 6890(HP; #142 Avendia Felipe, Anaheim, CA. 92807. U.S.A)으로 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 증가시키고 0.5분간 유지시킨 후 분당 2°C씩 증가시켜 280°C까지 온도를 상승시켰다. Injection과 detector 온도는 300°C로 설정하였고, 시료의 주입량은 0.5 µl 이었다.

**지질산화도 측정**

시료들의 산화정도는 Beuge와 Aust(1978)등의 방법으로 시료 5 g에 butylated hydroxyanisole(BHA) 50 µl와 증류수 15 ml를 가해 polytron homogenizer(IKA labortechnik T25-B, Malaysia)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°C의 항온수조에서 15분간 열처리한 후 냉각시켜 3,000 rpm에서 10분간 원심분리시켰다. 원심분리한 sample의 상층을 회수하여 spectrophotometer 531 nm에서 흡광도를 측정했다.

$$TBARS = \text{흡광도 수치} \times 5.88$$

**통계분석**

실험에서 얻어진 성적은 SAS/PC(1995) 통계 프로그램을 이용하여 분산분석과 Duncan의 다중검정을 통하여 검증하였다.

**결과 및 고찰**

**Table 1. Effect of packaging conditions on cholesterol oxides products**

COPs	Raw meat							
	0 day(µg COPs/g lipid)				7 days(µg COPs/g lipid)			
	A-C	A-IR	V-IR	SEM	A-C	A-IR	V-IR	SEM
7 α-hy	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	TR <sup>BX1)</sup>	7.2 <sup>AX</sup>	6.1 <sup>AX</sup>	1.210
19-hy	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-
7 β-hy	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	7.5 <sup>BX</sup>	14.6 <sup>AX</sup>	TR <sup>CX</sup>	1.139
20 α-hy	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	-
β-ep	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	TR <sup>BX</sup>	5.1 <sup>AX</sup>	TR <sup>BX</sup>	0.667
α-ep	0.0	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	0.0 <sup>B</sup>	TR <sup>AX</sup>	TR <sup>AX</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	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	TR <sup>BX</sup>	10.8 <sup>AX</sup>	TR <sup>BX</sup>	1.012
Total	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	7.5 <sup>BX</sup>	37.7 <sup>AX</sup>	6.1 <sup>BX</sup>	2.575

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

Abbreviation : 7 α-hy, 7 α-hydroxycholesterol; 19-hy, 19-hydroxycholesterol; 7 β-hy, 7 β-hydroxycholesterol; 20 α-hy, 20 α-hydroxycholesterol; β-ep, β-epoxide; α-ep, α-epoxide; triol, cholestanetriol; 25-hy, 25-hydroxycholesterol; 22-keto, 22-ketocholesterol; 6-keto, 6-ketocholesterol; 7-keto, 7-ketocholesterol.

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

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

## 전자선 처리된 생육

## 1) 포장조건이 콜레스테롤 산화물질 생성에 미치는 영향

가열하지 않은 돈육 등심을 합기 및 진공 포장하여 전자선 조사를 실시한 후 저장기간의 경과에 따른 콜레스테롤 산화물질의 발생 종류와 발생량의 결과는 Table 1에 나타내었다. 저장 0일에는 전 처리구에서 콜레스테롤 산화물이 전혀 발생되지 않았다. 저장기간이 경과한 7일에는 콜레스테롤 산화물 발생종류와 발생량에 많은 변화가 있었는데, 0일에는 검출되지 않았던 7 $\alpha$ -hydroxycholesterol, 7 $\beta$ -hydroxycholesterol,  $\beta$ -epoxide,  $\alpha$ -epoxide 및 7-ketocholesterol이 저장 7일에는 검출되었다. 7 $\alpha$ -hydroxycholesterol 함량은 조사 처리구에 비하여 비조사 처리구가 유의적으로 낮은(P<0.05) 함량을 보였으며, 조사 처리구 간에는 진공포장한 처리구가 합기포장 처리구에 비하여 통계적으로 차이가 없었다. 전체발생량은 합기포장한 조사처리구(37.7  $\mu$ g/g lipid), 합기포장 비조사 처리구(7.5  $\mu$ g/g lipid), 진공포장 조사 처리구(6.1  $\mu$ g/g lipid) 순으로 콜레스테롤 산화물이 발생하였다. 조사된 육에서는 지질산화의 원인이 되는 hydroxyl radicals을 발생시켜 지질산화를 가속화시키는데 지질산화의 발생 정도는 포장, 저장 그리고 조사 전·후의 가공조건에 의해 영향을 받는다고 보고하였다(Ahn et al., 1998). Nam 등(2001)도 조사된 육을 합기포장하여 보관할 경우 상승적인 작용으로 콜레스테롤 산화물이 증가한다고 보고하였다. 그러나 조사는 합기포장의 효과와 비교하였을 때 콜레스테롤의 산화에 작은 영향을 미친다고 하였다. 본 연구의 결과 조사 처리가 콜레스테롤 산화물의 발생에 미치는 영향보다는 포장방법이 더욱 더 많은 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다.

## 2) 포장조건이 지방산화에 미치는 영향

포장방법을 달리하여 조사를 실시한 후 저장기간의 경과에 따른 지방산화 정도를 조사한 결과는 Table 2에 나타내었다. 저장초기에는 합기포장하여 조사한 처리구가 합기포장 비조사구와 진공포장 조사구에 비하여 유의적으로(P<0.05) 높은 지방산화를 보였으며, 전처리구가 저장기간이 경과함에 따라 지방산화가 유의적으로(P<0.05) 증가하는 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 Table 1에서 콜레스테롤 산화되어 생성된 산화물의 함량과 유사한 경향이였다. 콜레스테롤 산화물질과 지질산화물(TBARS)의 발생량은 거의 유사한 경향을 보이며, 육에 있어 산화물질의 발생량은 불포화지방산의 비율과 밀접한 관련이 있다고 하였다(Ahn et al., 2001).

Nam 등(2001)은 가열하지 않고 합기포장한 칠면조 육이 진공포장한 육에 비하여 TBARS 값이 매우 높다고 보고하였

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

Treatment <sup>1)</sup>	Raw meat		
	0 day	7 days	SEM
A-C	0.22 <sup>BY</sup>	0.75 <sup>BX</sup>	0.054
A-IR	0.31 <sup>AY</sup>	1.31 <sup>AX</sup>	0.028
V-IR	0.22 <sup>BY</sup>	0.39 <sup>CX</sup>	0.020
SEM	0.014	0.051	

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

<sup>A,B,C</sup> Means sharing a common superscript within each storage day are not significantly different(P<0.05).

<sup>X,Y</sup> Means sharing a common superscript within each treatment are not significantly different(P<0.05).

다. 그리고 조사와 포장에 관계없이 저장기간이 경과함에 따라 TBARS와 콜레스테롤 산화물의 함량이 증가한다고 보고하였다. 본 연구결과 육의 포장은 저장 동안 지질산화의 발생에 조사처리 보다 더 많은 영향을 미치는 요인으로 작용하였다.

## 전자선 조사 후 가열된 돈육

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

포장방법을 달리하여 전자선 조사 후 조리된 돈육의 포장방법에 따른 콜레스테롤 산화물의 발생 종류와 발생량의 변화는 Table 3에 나타내었다. 여러 연구자들이 처리를 하지 않은 신선한 생육에서는 콜레스테롤 산화물이 없거나 거의 흔적(trace) 정도만 존재한다고 보고하였다(Addis and Warner, 1991; Pie et al., 1991). 그러나 Nam 등(2001)은 조사 처리 후 7 $\alpha$ -hydroxycholesterol, 7 $\beta$ -hydroxycholesterol 그리고 7-ketocholesterol과 같은 콜레스테롤 산화물질이 저장 0일에 생육상태에서 발생하였다고 보고하였다. 본 연구에서는 조사 처리 후 가열한 시료에서 7-ketocholesterol과  $\beta$ -epoxide가 발생하여 Nam 등(2001)과는 다소 다른 결과를 보였다. 저장기간이 경과함에 따라 저장 초기에는 검출되지 않았던 7 $\alpha$ -hydroxycholesterol, 7 $\beta$ -hydroxycholesterol,  $\alpha$ -epoxide 및 cholestanetriol 등 콜레스테롤 산화물이 검출되었다.  $\alpha$ ,  $\beta$ -epoxide 발생량은 Nourooz-Zadeh와 Appelqvist(1987)가 저장동안 동량 또는 5~10:1의 비율로  $\alpha$ -epoxide보다  $\beta$ -epoxide가 많이 발생한다고 보고하였는데, 본 실험의 결과도 일치하였다. 콜레스테롤 산화물 전체 발생량은 합기포장하여 조사를 실시한 후 가열하여 합기포장한 처리구(761.2  $\mu$ g/g lipid)가 가장 많이 발생하였으며, 다음으로는 합기포장

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

COPs	Cooked meat after irradiation													
	0 day ( $\mu\text{g}$ COPs/g lipid)							7 days ( $\mu\text{g}$ COPs/g lipid)						
	A-C-V	A-C-A	A-IR-V	A-IR-A	V-IR-V	V-IR-A	SEM	A-C-V	A-C-A	A-IR-V	A-IR-A	V-IR-V	V-IR-A	SEM
7 $\alpha$ -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>DX</sup>	96.7 <sup>BX</sup>	TR <sup>X</sup>	140.7 <sup>AX</sup>	TR <sup>DX</sup>	76.4 <sup>CX</sup>	6.320
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	-
7 $\beta$ -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>	-	2.4 <sup>DX</sup>	147.8 <sup>BX</sup>	3.5 <sup>DX</sup>	186.1 <sup>AX</sup>	4.9 <sup>DX</sup>	107.1 <sup>CX</sup>	8.590
20 $\alpha$ -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	-
$\beta$ -ep	0.0 <sup>C</sup>	8.1 <sup>AY</sup>	TR <sup>C</sup>	5.8 <sup>BY</sup>	0.0 <sup>CY</sup>	0.0 <sup>CY</sup>	0.281	0.0 <sup>C</sup>	48.7 <sup>BX</sup>	TR <sup>C</sup>	81.7 <sup>AX</sup>	TR <sup>CX</sup>	43.9 <sup>BX</sup>	3.165
$\alpha$ -ep	0.0	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>C</sup>	14.7 <sup>BX</sup>	TR <sup>CX</sup>	22.7 <sup>AX</sup>	TR <sup>CX</sup>	12.9 <sup>BX</sup>	0.942
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>C</sup>	9.1 <sup>BX</sup>	0.0 <sup>C</sup>	15.3 <sup>AX</sup>	0.0 <sup>C</sup>	TR <sup>CX</sup>	0.964
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	0.0 <sup>DY</sup>	17.8 <sup>AY</sup>	9.6 <sup>B</sup>	13.0 <sup>BY</sup>	4.8 <sup>C</sup>	11.9 <sup>BY</sup>	1.100	7.3 <sup>CX</sup>	187.0 <sup>BX</sup>	9.9 <sup>C</sup>	314.7 <sup>AX</sup>	8.4 <sup>C</sup>	152.8 <sup>BX</sup>	13.230
Total	0.0 <sup>EY</sup>	25.9 <sup>AY</sup>	9.6 <sup>C</sup>	18.8 <sup>BY</sup>	4.8 <sup>DY</sup>	11.9 <sup>CY</sup>	1.153	9.7 <sup>DX</sup>	504.0 <sup>BX</sup>	13.4 <sup>D</sup>	761.2 <sup>AX</sup>	13.3 <sup>DX</sup>	393.1 <sup>CX</sup>	31.389

<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., mean standard error.

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

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

하여 조사를 실시하지 않고 가열한 후 합기포장한 처리구가 (504  $\mu\text{g/g}$  lipid) 많은 콜레스테롤 산화물 발생을 보였다. Nam 등(2001)은 조사된 육을 합기포장하여 보관할 경우 상승적인 작용으로 콜레스테롤 산화물이 증가한다고 보고하였다. 그러나 조사는 합기포장의 효과와 비교하였을 때 콜레스테롤의 산화에 작은 영향을 미친다고 하였다. 본 연구의 결과를 종합하여 보면 전자선 조사처리구 저장기간 동안 콜레스테롤 산화에 미치는 영향보다는 최종 포장방법이 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. Pie 등(15)은 저장기간이 경과함에 따라 콜레스테롤 산화물질 함량이 증가하며, 그리고 C-7 산화물질 중에는 7-ketocholesterol 함량이 가장 높다고 보고하였다. Ahn 등(2001)은 가열육의 포장은 저장기간 동안 COPs와 지질산화 발생에 조사보다도 더 중요하게 작용하며, 7  $\alpha$ -hydroxycholesterol, 7  $\beta$ -hydroxycholesterol,  $\beta$ -epoxide와 7-ketocholesterol은 저장 후 조리된 육에서 발생하는 주요한 콜레스테롤 산화물질들이며, 그리고 이러한 산화물질들의 발생량은 호기적인 조건에서 저장기간 동안 직선적으로 증가한다고 하였다.

**2) 조사시 포장조건과 저장시 포장조건이 지방산화에 미치는 영향**

전자선 조사시 포장조건과 가열 후 포장조건이 지방산화에 미치는 영향을 나타낸 결과는 Table 4에 나타내었다. 저장 0일에 조사 처리를 하지 않고 가열한 후 합기포장한 처리

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

Treatment <sup>1)</sup>	Cooked meat after irradiation		
	0 day	7 days	SEM
A-C-V	0.52 <sup>DY</sup>	1.23 <sup>CX</sup>	0.018
A-C-A	0.89 <sup>AY</sup>	6.12 <sup>BX</sup>	0.155
A-IR-V	0.61 <sup>CY</sup>	0.87 <sup>CX</sup>	0.004
A-IR-A	0.77 <sup>BY</sup>	6.93 <sup>AX</sup>	0.064
V-IR-V	0.47 <sup>EY</sup>	0.97 <sup>CX</sup>	0.011
V-IR-A	0.81 <sup>BY</sup>	6.91 <sup>AX</sup>	0.221
SEM	0.024	0.159	

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

<sup>A,B,C,D,E</sup> Means not sharing a common superscript in the same column with in the same storage time are significantly different ( $P < 0.05$ ).

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

구(A-C-A)가 타 처리구에 비하여 유의적으로( $P < 0.05$ ) 높은 지방산화를 보였으며, 반면에 조사 처리를 하지 않고 가열한 후 진공포장한 처리구(A-C-V)가 타 처리구에 비하여 유의적으로( $P < 0.05$ ) 낮은 지방산화를 보였다. 모든 처리구가 저장기간이 경과함에 따라 지방산화가 유의적으로( $P < 0.05$ ) 증가하였다. Ahn 등(2001)은 가열된 육에서의 지질산화는 저장 동안 호기적인 조건하에서 가속화된다고 하였다. 처리구간

에는 조사를 실시한 후 가열처리하여 즉시 진공포장한 처리구가 합기포장한 처리구에 비하여 유의적으로( $P<0.05$ ) 낮은 지방산화를 보였으며, 전체적으로 가열 후 진공포장하여 저장된 처리구가 합기포장 처리구에 비하여 유의적으로( $P<0.05$ ) 낮은 지방산화를 보여 전자선 조사처리가 지방산화에 미치는 영향보다 포장조건이 지방산화에 더 많은 영향을 미치는 것으로 사료된다. Nam 등(2001)은 조사나 포장조건이 지방산화에 많은 영향을 미치며, 진공포장 보다 합기포장이 지방산화 정도가 심하다고 보고하였다.

### 가열 후 전자선 조사된 돈육

#### 1) 전자선 조사시 포장조건이 콜레스테롤 산화물질에 미치는 영향

가열 처리한 후 전자선 조사시 포장방법에 따른 콜레스테롤 산화물질의 발생 종류와 발생량의 변화는 Table 5에 나타내었다. 가열 처리한 후 저장 0일에는  $7\alpha$ -hydroxycholesterol,  $7\beta$ -hydroxycholesterol,  $\beta$ -epoxide 및 7-ketocholesterol 등 4가지 콜레스테롤 산화물질이 검출되었으며, 처리구간의 비교에서는 가열처리한 후 합기포장한 처리구가 진공포장한 처리구보다 유의적으로( $P<0.05$ ) 높은 함량을 보였다. 저장 7일에는 저장 0일에 검출되지 않았던  $\alpha$ -epoxide, cholestanetriol 및 6-ketocholesterol이 검출되었다. Nam 등(2001)도 저장초기에는 발생하지 않았던 epoxides,  $20\alpha$ -hydroxycholesterol

그리고 cholestanetriol과 같은 산화물질들이 호기적으로 포장된 육과 조사된 육에서 저장기간이 경과함에 따라 발생하며, 콜레스테롤 산화물질의 발생량은 조사 처리보다 포장방법이 콜레스테롤 및 지방산화에 결정적인 역할을 한다고 보고하였다. 콜레스테롤 산화물질 전체 발생량은 가열한 후 조사를 실시하지 않고 합기포장한 처리구가  $781.6 \mu\text{g/g lipid}$ 로 가장 많은 발생량을 보였으며, 다음으로 조사를 실시하고 합기포장한 처리구가  $533.3 \mu\text{g/g lipid}$ 로 많은 발생량을 보였다. 조사 처리 유·무에 상관없이 진공 포장한 처리구는 낮은 함량을 보여 콜레스테롤 산화물질의 발생량은 조사 처리 효과보다는 포장방법이 더 큰 것으로 밝혀졌다. 조리와 저장 동안 육에서 발생되는 대부분의 산화물질은  $7\alpha$ -hydroxycholesterol,  $7\beta$ -hydroxycholesterol 및 7-ketocholesterol이며, 이러한 콜레스테롤 산화물질은 장에서 흡수될 수 있으며, 그리고 동물에서 동맥경화증의 발생과 직접적인 관련이 있기 때문에 중요한 건강상의 문제로 강조되고 있다(Lyons et al., 1999; Vine et al., 1998).

#### 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 합기포장 조사구와 합기포장 비조사구가 다른 처리구에 비하여 유의적으로( $P<0.05$ ) 높은 지

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

COPs	Irradiated meat 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	12.6 <sup>AY</sup>	0.0 <sup>BY</sup>	10.8 <sup>AY</sup>	0.0 <sup>BY</sup>	0.722	94.0 <sup>BX</sup>	7.3 <sup>CX</sup>	143.2 <sup>AX</sup>	4.0 <sup>CX</sup>	1.742
19-hy	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-
$7\beta$ -hy	19.9 <sup>AY</sup>	0.0 <sup>BY</sup>	13.5 <sup>AY</sup>	0.0 <sup>BY</sup>	1.452	134.5 <sup>BX</sup>	8.6 <sup>CX</sup>	202.5 <sup>AX</sup>	7.5 <sup>CX</sup>	7.195
$20\alpha$ -hy	0.0	0.0	0.0	0.0	-	0.0	0.0	0.0	0.0	-
$\beta$ -ep	4.4 <sup>BY</sup>	TR <sup>C</sup>	8.1 <sup>AY</sup>	0.0 <sup>CY</sup>	0.226	27.1 <sup>BX</sup>	TR <sup>C</sup>	79.1 <sup>AX</sup>	TR <sup>CX</sup>	3.124
$\alpha$ -ep	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	0.0 <sup>Y</sup>	-	15.6 <sup>BX</sup>	TR <sup>CX</sup>	24.4 <sup>AX</sup>	TR <sup>CX</sup>	0.920
triol	0.0 <sup>Y</sup>	0.0	0.0 <sup>Y</sup>	0.0	-	13.4 <sup>AX</sup>	0.0 <sup>B</sup>	12.7 <sup>AX</sup>	0.0 <sup>B</sup>	1.026
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 <sup>Y</sup>	0.0	0.0	0.0	-	14.7 <sup>AX</sup>	0.0 <sup>B</sup>	0.0 <sup>B</sup>	0.0 <sup>B</sup>	0.889
7-keto	26.5 <sup>AY</sup>	TR <sup>BY</sup>	24.3 <sup>AY</sup>	0.0 <sup>BY</sup>	2.921	234.2 <sup>BX</sup>	10.3 <sup>CX</sup>	319.7 <sup>AX</sup>	10.5 <sup>CX</sup>	16.047
Total	63.4 <sup>AY</sup>	0.0 <sup>BY</sup>	56.7 <sup>AY</sup>	0.0 <sup>BY</sup>	4.550	533.3 <sup>BX</sup>	26.4 <sup>CX</sup>	781.6 <sup>AX</sup>	22.0 <sup>CX</sup>	25.299

<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., mean standard error.

<sup>A,B,C</sup> Means not sharing a common superscript in the same row within the same storage time are significantly different( $P<0.05$ ).

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

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

Treatment <sup>1)</sup>	Irradiated meat after cooking		
	0 day	7 days	SEM
A-IR	1.10 <sup>AY</sup>	6.26 <sup>BX</sup>	0.150
V-IR	0.47 <sup>B</sup>	0.76 <sup>C</sup>	0.072
A-C	1.36 <sup>AY</sup>	7.47 <sup>AX</sup>	0.200
V-C	0.26 <sup>BY</sup>	1.00 <sup>CX</sup>	0.048
SEM	0.081	0.169	

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

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

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

방산화를 보였는데, 이 결과는 Table 5의 결과에서 보여준 콜레스테롤 산화물질 발생량과 거의 유사한 패턴을 보였다. 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. 육의 지방 조성은 지질과 콜레스테롤의 산화율에 중요하게 작용하며, 그리고 포장은 조리된 육에서 콜레스테롤과 지질산화물의 형성에 있어 조사보다도 더 중요한 역할을 한다.

## 요 약

돈육 등심부위를 1cm 두께로 세절한 후 생육 시료는 PVDC 필름으로 호기적 포장과 진공포장을 하여 6 kGy 선량으로 전자선 조사를 실시한 후 2~4℃의 냉장실에서 보관하면서 저장기간별(0, 7일) 실험에 사용하였다. 전자선 조사 후 가열시료와 가열 후 전자선 조사한 시료는 oven에서 육 내부 온도가 70℃ 될 때까지 가열한 다음 합기 포장과 진공포장을 즉시 실시한 후 생육 시료와 같은 조건으로 냉장실에서 보관하면서 생육 시료와 같은 저장기간별 콜레스테롤 산화물의 발생 종류와 발생량 및 지질 산화정도를 조사한 결과는 다음과 같다. 생육 시료에서 저장초기에는 콜레스테롤 산화물이 전혀 검출되지 않았으나 저장기간이 경과함에 따라 저장초기에는 발생되지 않았던 7 $\alpha$ -hydroxycholesterol, 7 $\beta$ -hydroxycholesterol, 7-ketocholesterol, 20 $\alpha$ -hydroxycholesterol,  $\beta$ -epoxide 및  $\alpha$ -epoxide 등이 검출되었으며, 콜레스테롤과 지질산화물의 발생량은 진공포장에 비하여 합기포장 처리구가 유의적으로(P<0.05) 높은 함량을 보였다. 전자선 조사 후

가열 시료는 저장 초기에는 발생되지 않았던 7 $\alpha$ -hydroxycholesterol, 7 $\beta$ -hydroxycholesterol,  $\alpha$ -epoxide 및 cholestanetriol 이 처리 후 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. 가열 후 전자선 조사 시료에서 발생된 콜레스테롤 산화물질의 종류는 전자선 조사 후 가열 시료와 유사한 경향을 보였으며, 특히 합기포장 조사 처리구에서 6-ketocholesterol이 검출되었다. 이상의 결과를 종합하면 콜레스테롤과 지질 산화물질의 발생량은 조사로 인하여 발생하는 량보다는 저장시 포장조건이 더 많은 영향을 미치는 것으로 밝혀졌다.

## 참고문헌

- Addis, P. S. and Warner, G. J. (1991) The potential health aspects of lipid oxidation products in food. Ch. 5. *Free Radical and Food Additives*, Aruoma, O. I. and Halliwell B. (Ed.), pp. 77-119. Taylor and Francis L.T.D. London, Great Britain.
- Ahn, D. U., Nam, K. C., Du, M., and Jo, C. (2001) Effect of irradiation and packaging conditions after cooking on the formation of cholesterol and lipid oxidation products in meats during storage. *Meat Sci.* **57**, 413-318.
- 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**, 15-19.
- Beuge, J. A. and Aust, S. D. (1978) Microsomal lipid peroxidation. *Methods Enzymol.* **52**, 302.
- 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**, 497-507.
- Gray, J. I., Gomaa, E. A., and Buckley, D. J. (1996) Oxidative quality and shelf life of meats. *Meat Sci.* **43**, 111-123.
- Guardiola, F., Codony, R., Addis, P. B., Rafecas, M., and Boatella, J. (1996) Biological effects of oxysterols: Current status. *Food Chem. Toxicol.* **34**, 193-211.
- Kumar, N. and Singhal, O. P. (1991) Cholesterol oxides and atherosclerosis. A review. *J. Sci. Food Agric.* **55**, 497-510.
- Lee, M., Sebranek, J. G., Olson, D. G., and Dickson, J. S. (1996) Irradiation and packaging of fresh meat and poultry. *J. Food Prot.* **59**, 62-72.
- Lyons, M. A., Samman, S., Gatto, L., and Brown, A. J. (1999) Rapid hepatic metabolism of 7-ketocholesterol *in vivo*: Implications for dietary oxysterols. *J. Lipid Research*, **40**, 1846-1857.
- 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**, 431-435.
- Nourooz-Zadeh, J. and Appelqvist, L. A. (1987) Cholesterol in Swedish food ingredients: Fresh eggs and dehydrated egg products. *J. Food Sci.* **52**, 57-67.

13. Paniangvait, P., King, A. J., Jones, A. D., and German, B. G. (1995) Cholesterol oxides in foods of animal origin. *J. Food Sci.* **60**, 1159-1174.
  14. Park, S. W. and Addis, P. B. (1985) HPLC determination of C-7 oxidized cholesterol oxidation derivatives in foods. *J. Food Sci.* **50**, 1437-1441.
  15. Pie, J. E., Spahis, K., and Seillan, C. (1991) Cholesterol oxidation in meat products during cooking and frozen storage. *J. Agric. Food Chem.* **39**, 250-254.
  16. SAS (1995) SAS/SATT Software for PC. Release 6.11, SAS Institute, Cary, NC, U.S.A.
  17. Vine, D. F., Mamo, C. L., Beilin, L. J., Mori, T. A., and Croft, K. D. (1998) Dietary oxysterols are incorporated in plasma triglyceride rich lipoproteins, increase their susceptibility to oxidation and increase aortic cholesterol concentration of rabbits. *J. Lipid Res.* **39**, 1995-2004.
  18. Zubillaga, M. P. and Maerker, G. (1991) Quantification of three cholesterol oxidation products in raw meat and chicken. *J. Food Sci.* **56**, 1194-1196.
- 

(2002년 3월 21일 접수)