

가열방법 및 온도가 전자선 조사한 한우 steak의 지질산화에 미치는 영향

박태선 · 신태순* · 이정일¹ · 박구부²

밀양산업대학교 동물자원학과, ¹경상남도 첨단양돈연구소, ²경상대학교 축산과학부

Received April 20, 2005 / Accepted October 14, 2005

Effects of Cooking Method and Temperature on the Lipid Oxidation of Electron-Beam Irradiated Hanwoo Steak. T. S. Park, T. S. Shin*, J. I. Lee¹ and G. B. Park². *Department of Animal Science, Miryang National University, ¹Advanced Swine Research Institute, GyeongNam Province, ²Division of Animal Science, Gyeongsang National University* – This study was carried out to investigate the effect of electron beam irradiation and cooking temperature on physico-chemical characteristics and lipid oxidation of beef. A total of six beef carcasses (280~300 kg) that were quality grade 1⁺ (marbling score No.7, meat color No.4, maturity No.1, texture No.1) was purchased at the commercial slaughter house. The carcasses were transported and washed using high pressure water, and pasteurized with 50% ethyl alcohol in the laboratory. After the carcasses were deboned and trimmed, loin and round were taken out to make steak (1.5 cm thickness) or ground beef respectively. Samples were wrap or vacuum packaged and irradiated with 0, 3, 4.5, 6 and 7.5 kGy using electron-beam accelerator at Samsung Heavy Industries Ltd. Co. (in Taejun). Irradiated samples were cooked with different methods (electronic pan and gas oven) and temperatures (60°C, 70°C and 80°C) and used to measure fatty acid composition, TBARS, cholesterol oxide products and panel test scores. The content of saturated fatty acids increased by increasing heating temperature in oven boiling steak (OBS) and pan boiling steak (PBS), and there was no difference by electron-beam irradiation. Both irradiated and non-irradiated treatment were high as the heating temperature increased in TBARS by heating temperature in PBS ($p < 0.05$) and the amount of Malonaldehyde (MA), standard of fat deterioration, was increased in OBS ($p < 0.05$). Non-irradiated and 3, 6 kGy treatment produced about 2 fold amount of MA at 60°C compared with 80°C. In comparison with PBS, OBS produced much amount of MA and a bit different from non-irradiated treatment but did not show no tendency. As irradiation levels and heating temperature increased, the amount of cholesterol oxides products was increased and also pan-heating method, direct heating method, significantly increased the degree of oxidation compared with oven-heating method, indirect heating method ($p < 0.05$).

Key words – Cooking Method, Cooking Temperature, Lipid Oxidation, Irradiation, Hanwoo

전자가속기에서 발생하는 전자선은 r선에 비해 투과력이 약하여 활용범위가 제한되나 곡류의 살충이나 식품의 표면살균 등의 분야에 이용이 가능하다. 특히 전자선은 에너지 발생이 전원외에 의해 조절되고 공정제어, 신속, 정확성, 에너지 효율성, 소비자 수용성 등의 측면에서 장점이 있으므로 선진국에서는 전자선의 이용에 대한 연구개발이 활발히 추진되고 있다.

조사를 통해서 얻을 수 있는 식품의 살균 및 저장성 증진 효과는 이미 그 우수성이 인정되고 있으나[3,9,17,30], 소비자들은 광선의 조사에 대해서 막연한 거부감을 가지고 있어서 조사된 식품을 쉽게 구매하지 않는 경향이 크다. 실제로 조사된 육류에서 미생물의 사멸등의 긍정적 효과 외에도 휘발성 물질의 변화[4,5], 연도의 변화[10], 색소의 변화[19,37], 이취의 발생[11]등이 보고 된 바 있다.

Groninger 등[14]은 조사로 인해서 지방의 산화가 촉진된다고 보고하였는데, 육류를 소비하기 위해서는 다양한 저장

방법과 열처리를 한 후 이용되고 있고, 이 과정 중에서도 많은 변화를 거치게 된다.

본 연구는 소비자들의 교육을 통한 전자선 조사에 대한 인식의 제고를 위해 기초자료를 제시코자 수행하였고, 다양한 조사량과 가열방법 및 온도를 적용하여 이 요인들이 지방산화에 미치는 영향을 조사하였다.

재료 및 방법

실험재료

원료지육

실험에 사용된 지육은 경상남도 김해소계(주)태강산업 도매시장에서 등급판정된 한우 암소중 육질등급 1+등급 판정(근내지방도 No. 7, 육색 No.4, 지방색 No.4, 성숙도 No. 1, 조적감 No.1)을 받은 도체중 280~300 kg의 지육(6두)을 구매하여 사용하였다.

원료육 처리

원료지육은 24시간 냉장시킨 냉도체로 초기오염을 최소화

*Corresponding author

Tel : +82-55-350-5514, Fax : +82-55-350-5519

E-mail : tsshin@mnu.ac.kr

하기 위하여 1차 수도물로 고압(100 kg/cm²)수세한 후 50% 에틸알콜로 2차 소독하였다. 소독한 지육은 분할 및 정형하여 진공포장(PVC nylon 3방)한 후 3일간 냉장보관(1±1℃) 하였다. 냉장보관된 등심근은 1.5 cm 두께의 steak로 재정형하고, PVDC 진공포장지(5 cc</24 hrs/1 atm)로 각각 포장하여 전자선 조사시료로 이용하였다.

전자선 조사는 (주)삼성중공업(대전소재)에서 전자선가속기(electron-beam accelerator)를 이용하여 실온(20±2℃)에서 조사하였다. 전자선 조사의 선량은 1 Mev의 에너지 수준으로 투과높이를 고려하여 각각 1회씩 뒤집어서 3, 4.5, 6, 7.5 kGy의 흡수선량을 조사하였다.

가열처리(cooking condition)

전자선 조사처리한 steak는 간접 열처리방법으로 Electronic Pan (ThermoLyne, USA)과 직접 열처리 방법으로 Gas Oven (매직가스오븐, 한국)을 사용하여 가열 처리하였다.

가열에 따른 중심온도는 rare (internal temperature 60℃), medium (internal temperature 70℃), well-done (internal temperature 80℃)으로 구분하였다. 이때 중심온도는 중심온도 측정기(Thermometer Gla-Col, USA)를 이용하여 측정하였다.

실험구 설정

PVDC 포장된 한우 냉장 steak를 0, 3, 4.5, 6, 7.5kGy의 선량으로 조사한 후 중심온도 60, 70 및 80℃로 가열하여 전자선 조사육의 가열처리에 따른 지방산화를 조사하였다.

실험방법

지방산 (Preparation of fatty acid methyl esters)

Folch 등[11]의 방법으로 추출한 지질 20 mg을 tefron-lined screw-capp tube에 넣고 N₂ 존재하에서 용매를 제거한 후 4% H₂SO₄ (in methanol) 1 ml를 넣고, 90℃ water bath 에서 20 분동안 methylation 시킨 다음 room temperature (20℃)에서 5분동안 냉각시킨다. Hexane 2 ml과 과포화 NaCl 용액 5 ml를 넣고 shacking 시킨 후 층을 분리시킨 후 상층에서 1 ml를 회수하여 GLC (gas liquid chromatography)로 분석하였다.

TBARS (Thiobarbituric acid reactive substances : 지방산화물)

지방산화물의 측정은 Buege와 Aust[6]의 방법으로 시료 5 g에 BHA 50 µl과 증류수 15 ml를 가해 homogenizer로 14,000 rpm에서 30초간 균질화시켰다. 균질액 1 ml와 TBA/TCA 혼합용액 2 ml를 완전히 섞은 후 90℃ water bath에서 15분간 열처리 하였다. 열처리된 TBA혼합물은 3,000 rpm에서 10분간 원심분리시킨 후 상층을 회수하여 spectrophotometer 531 nm에서 흡광도를 측정했다.

$TBARS = Absorbance\ O.D. \times 5.88$

콜레스테롤 산화물(Cholesterol oxide products)

Zubillaga와 Maerker[38]와 Park과 Addis[31]의 Column

chromatography 방법으로 실시하였다.

column

Glass column (12 mm × 30 cm)에 충전물질(silicic acid : celite 545 : CaHPO₄, 2H₂O = 10 : 9 : 1, w/w/w)을 15 cm 채우고 chloroform으로 packing한 후 solvent I (hexane : ethyl acetate = 9 : 1, v/v) 10 ml로 깨끗이 씻어내었다.

콜레스테롤 산화물

Folch 등[12]의 방법으로 추출한 지질 20 mg을 2 ml의 solvent I으로 희석한 후 column내로 주입하였다. solvent I 60 ml로 중성지질을 제거하고, solvent II (hexane : ethyl acetate = 4 : 1, v/v) 50 ml로 cholestrol을 제거하였다. 콜레스테롤 산화물은 solvent III (hexane : ethyl acetate : methanol = 10 : 10 : 1, v/v) 40 ml로 추출하였다. 추출된 solvent III 용액은 질소 존재하에서 완전 건조시켰다. 추출된 콜레스테롤 산화물의 산화를 방지하기 위하여 TMS 유도체(pyridine 200 µl + Sylon BFT 100 µl at 80℃ for 1hr)를 제조하여 GLC (Gas Liquid Chromatography)로 table 1의 조건으로 분석하였다.

GLC (Gas Liquid Chromatography)조건

GLC분석은 HP-5890 plus Gas Chromatography을 이용하여 HP-5 column(0.25 µm×30m bonded 5% pheny silicic capillary column with 0.25 i.d thickness)으로 분석하였다. 분석조건으로 Oven Temperature의 경우 initial temperature는 70℃(0.5min)에서 1차로 40℃/min으로 하여 275℃(0.5min holding)까지 승온 시켰으며, 2차 승온은 2℃/min으로 하여 280℃(5min holding)까지 승온하였다. Injector temperature와 detector temperature는 300℃로 하였다.

결과 및 고찰

지방산(Fatty acid)

Table 2는 가열방법 및 온도가 전자선 조사한 한우 냉장

Table 1. GLC conditions for analysis of fatty acid by using Schmadzu 14-A.

Item	Condition
Instrument	SCHMADZU 14-A Chromatography
Column	HP-Innowax fused silica capillary column 30 m×0.25 i.d
Temperature program	10℃/min
Detector	Flame Ionization Detector(FID)
Initial temperature	120℃
Initial time	1 min
Final temperature	250℃
Final time	5 min
Injector temperature	250℃
Detector temperature	270℃
Carrier gas	He
Split ratio	100 : 1

Table 2. Fatty acids composition¹⁾ of Hanwoo fresh steak treated with electron-beam irradiation by cooking conditions²⁾.

Heating method	Irradiation	Internal temperature	12:0	14:0	16:0	16:1	18:0	18:1	
pan broiling	0 kGy	rare (60°C)	8.3	3.6	30.9	tr ²⁾	18.8	38.4	
		medium (70°C)	9.6	3.3	28.1	2.2	19.1	37.7	
		well-done (80°C)	10.5	3.5	27.6	2.5	21.9	34.1	
	3 kGy	rare (60°C)	5.9	2.9	33.6	tr	20.5	37.1	
		medium (70°C)	7.3	3.6	31.9	1.6	19.5	36.2	
		well-done (80°C)	12.0	3.2	26.3	2.3	18.2	38.0	
	4.5 kGy	rare (60°C)	8.5	2.7	28.5	1.0	22.3	39.4	
		medium (70°C)	9.8	2.6	30.0	tr	21.8	35.9	
		well-done (80°C)	10.7	2.8	30.6	1.3	20.7	33.7	
	6 kGy	rare (60°C)	8.5	3.2	27.8	2.3	19.0	39.3	
		medium (70°C)	9.9	3.4	28.2	1.9	18.7	37.9	
		well-done (80°C)	11.4	3.6	28.9	1.9	17.9	36.6	
	7.5 kGy	rare (60°C)	6.3	3.3	30.5	2.0	21.5	42.5	
		medium (70°C)	6.1	3.5	31.5	tr	20.2	38.7	
		well-done (80°C)	6.8	3.8	29.6	2.3	19.7	37.7	
	oven broiling	0 kGy	rare (60°C)	8.1	3.5	25.7	2.3	23.0	37.5
			medium (70°C)	8.4	3.3	29.4	1.2	21.5	36.4
			well-done (80°C)	8.6	3.0	28.6	2.0	20.9	36.9
3 kGy		rare (60°C)	6.3	3.8	27.3	2.2	21.5	38.8	
		medium (70°C)	8.9	3.2	27.9	2.3	20.0	37.7	
		well-done (80°C)	7.9	3.4	27.7	2.4	19.5	39.1	
4.5 kGy		rare (60°C)	8.4	2.6	26.2	1.8	21.1	40.1	
		medium (70°C)	8.7	3.9	31.0	tr	17.7	38.7	
		well-done (80°C)	9.6	4.0	30.9	1.4	17.4	36.5	
6 kGy		rare (60°C)	7.3	3.2	35.8	1.6	20.5	33.1	
		medium (70°C)	9.0	3.7	34.7	1.4	18.0	33.6	
		well-done (80°C)	9.6	3.3	33.7	tr	16.7	38.5	
7.5 kGy		rare (60°C)	6.0	3.4	25.9	1.6	21.7	42.6	
		medium (70°C)	6.1	3.6	25.5	1.5	22.2	41.6	
		well-done (80°C)	6.5	3.6	26.0	2.14	21.1	40.6	

¹⁾Fatty acids composition was determined by gas-liquid chromatography and expressed as mean average weight percent composition on a fatty acid basis.

²⁾tr : trace (less than 0.1%)

³⁾Cooking condition is the same as table 8.

steak의 지방산 조성에 미치는 영향을 나타낸 표이다. 전자선 조사한 한우 냉장 steak를 가열방법 및 온도에 따른 가열육의 지방산 조성은 총 6종이 동정되었으며, 그 함량은 C_{18:1} > C_{16:0} > C_{18:0} > C_{12:0} > C_{14:0} > C_{16:1}의 순으로 나타났다. Pan-broiling의 경우 가열온도가 증가할수록 포화지방산의 함량은 증가하였고, 그 중 C_{12:0} (Lauric acid)의 증가가 가장 두드러졌다.

또한 C_{18:1} (oleic acid)도 가열온도가 증가할수록 감소하였으나, C_{16:1} (palmitic acid)은 두드러진 감소의 경향을 나타내지 않았다. 이에 대하여 Kilogore와 Bailey[18]는 각종 지질을 열처리 하였을 때 linoleic acid의 함량은 감소된다고 하였고, Terrell 등[36]은 가열한 비스킷에서 C_{16:0}과 C_{18:0}의 비율이 약간 증가한다고 보고하였다. 한편 Siedler 등[34]은 다양한 식육, Giam과 Dugan[13]은 동결건조 우육, Schiller 등[33]은

Cake나 egg yolk를 가열하였을 때 지방산 조성에 변화가 없다고 보고하였다.

본 실험의 가열방법별 차이는 총지방의 지방산 조성에 가열방법은 영향을 미치지 않았다는 보고[16]와 같은 경향이였다.

TBARS

전자선조사 steak의 가열에 따른 지방산패의 변화는 Fig. 1에 나타내었다.

PBS의 가열온도에 따른 지방산패의 변화는 전자선 비조사구와 조사구 모두 가열온도가 높을수록 높은 함량을 나타내었고(p < 0.05), OBS의 경우는 가열온도에 따라 지방산패의 척도인 MA (Malonaldehyde)량이 증가하였으며, 가열온도별로는 60°C에 비하여 80°C가 비조사구와 3, 6 kGy조사구는 약 2배정도의 MA량이 생성되었다. 가열육의 열에 의한 변성은

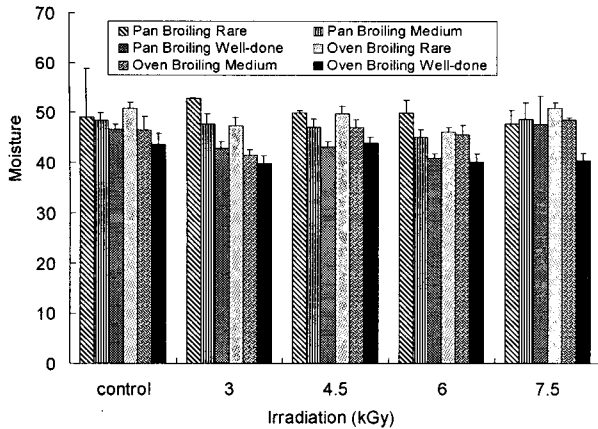


Fig. 1. TBARS of Hanwoo fresh steak treated with electron-beam irradiation by cooking condition.

산소에 노출되므로 heme-pigments의 반응 domain이 지질산화의 최초 catalyst로써 갖추어진다 그러므로 산소의 제거가 지질산화를 막는 중요한 과정이다[1]. 또한 Mattison 등[21]은 조사 후 가열육은 전 저장기간에 걸쳐 TBARS가 높게 나타났으나 0.1 kGy에서는 화학적 관능적 특징에 영향을 미치지 않았다고 보고하였다.

본 실험에서도 전자선 조사수준과 온도가 높을수록 높은 TBARS를 나타내었다.

Pan-broiling과 oven broiling의 차이에서는 직열전달방식인 oven broiling이 그 정도의 차이는 있었지만 많은 양의 MA가 생성되었다.

전자선 조사 수준의 차이에는 수준에 따라 비조사구와 조금의 차이는 있었지만 어떠한 경향을 보이지 않았다. 이는 가열 온도에 따른 차이가 전자선 조사에 비하여 높은 영향을 끼친 것으로 사료된다. Melton[24]은 가열과 산소가 지방산

화를 촉진하며, 조리방법에 따라서도 MA의 양이 다르게 나타난다고 보고하였다.

콜레스테롤 산화물(Cholesterol oxide products)

Fig. 2는 5 α -cholestane을 internal standard로 하여 11종의 cholesterol oxides standards를 TMCS 유도체로 만든 후 혼합하여 Gas-Chromatography에서 분석한 chromatogram이다.

전자선 조사수준과 가열조건 그리고 가열온도에 따른 한우육(steam)의 콜레스테롤 산화물질의 발생량을 조사한 결과는 Table 3, 4, 5에 나타내었다. 지질산화는 육질에 영향을 미치는 중요한 요인이며, 지질산화의 진행은 세포막의 고도로 불포화된 인지질층에서 시작되며, 그 결과 풍미, 육색 그리고 근육식품에서 기인하는 관능상의 손실을 가져온다. 최근 식육과 다른 식품에서 콜레스테롤의 산화는 상당한 주의를 받고 있다. 콜레스테롤은 사람 및 동물조직의 주된 sterol 물질이며, free-radical 반응을 통하여 빛 및 산소가 존재하는 상

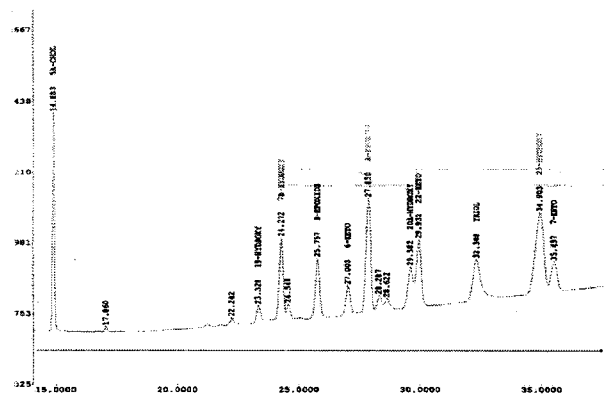


Fig. 2. Gas chromatogram of BSTFA/TMCS derivatives of cholesterol oxides standards.

Table 3. Cholesterol oxide products of Hanwoo fresh steak treated with electron-beam irradiation by cooking method at 60°C.

Irradiation	Cooking method	7- α	β -ep	7- β	α -ep	7-k	total
0	pan	2.22 ^{Ea} (0.34)	1.85 ^{Ea} (0.12)	44.18 ^{Ea} (3.84)	0.75 ^F (0.08)	10.17 ^{Fa} (0.29)	59.17
	oven	0.79 ^F (0.24)	1.12 ^F (0.19)	24.33 ^F (2.23)	1.06 ^{Fa} (0.15)	7.23 ^G (0.24)	34.52
3	pan	5.82 ^{BCD} (0.09)	2.36 ^D (0.05)	53.87 ^{Ca} (0.74)	1.92 ^E (0.30)	13.75 ^{Ea} (0.40)	77.72
	oven	5.55 ^D (0.31)	2.20 ^D (0.13)	44.32 ^D (0.82)	2.61 ^{Da} (0.18)	9.96 ^F (0.35)	64.64
4.5	pan	5.86 ^{BCD} (0.16)	2.39 ^D (0.15)	60.08 ^{Ba} (2.33)	3.33 ^C (0.25)	15.92 ^{Da} (0.22)	87.58
	oven	5.77 ^{CD} (0.27)	2.17 ^D (0.12)	49.06 ^D (0.45)	3.19 ^C (0.08)	11.29 ^F (0.86)	71.48
6	pan	6.20 ^{CB} (0.22)	4.23 ^C (0.06)	57.34 ^{Ba} (0.43)	3.98 ^B (0.10)	24.35 ^B (2.52)	96.09
	oven	5.96 ^{BCD} (0.17)	4.13 ^C (0.12)	54.06 ^C (0.63)	4.34 ^B (0.39)	20.71 ^C (1.07)	89.20
7.5	pan	7.56 ^{Aa} (0.27)	6.21 ^{Aa} (0.15)	70.99 ^{Aa} (1.12)	4.34 ^B (0.30)	27.30 ^A (1.22)	116.39
	oven	6.24 ^B (0.12)	5.31 ^B (0.12)	59.57 ^B (0.64)	5.11 ^{Aa} (0.18)	24.64 ^B (1.96)	100.86

¹⁾Results are expressed in micrograms per gram of oil for the cholesterol oxides products.

^{A-F}: Means with different superscript in the same column are significantly different (p<0.05).

^a: Mean values for irradiated unit followed by superscript is significantly different (p<0.05, tailed t-test).

Table 4. Cholesterol oxide products of Hanwoo fresh steak treated with electron-beam irradiation by cooking method at 70°C.

Irradiation	Cooking method	7-α	β-ep	7-β	α-ep	7-k	total
-----µg/g-----							
0	pan	2.93 ^{Fa} (0.28)	2.16 ^E (0.12)	43.95 ^{Ea} (2.62)	0.73 ^I (0.02)	11.69 ^G (0.76)	61.46
	oven	1.32 ^G (0.28)	2.28 ^E (0.09)	35.40 ^F (0.95)	1.33 ^{Ha} (0.23)	11.50 ^G (0.23)	51.84
3	pan	5.76 ^D (0.34)	3.22 ^D (0.19)	55.81 ^{Ca} (0.31)	2.85 ^G (0.06)	16.86 ^{Ea} (0.46)	85.5
	oven	5.49 ^E (0.33)	3.27 ^D (0.20)	48.72 ^D (0.87)	2.87 ^C (0.08)	12.49 ^G (0.93)	72.84
4.5	pan	6.45 ^B (0.36)	3.25 ^{Da} (0.18)	63.68 ^{Ba} (0.09)	3.75 ^{Ea} (0.11)	20.23 ^{Da} (0.75)	97.36
	oven	6.05 ^{CD} (0.09)	2.34 ^F (0.22)	50.09 ^D (1.35)	3.32 ^F (0.06)	14.04 ^F (0.55)	75.84
6	pan	6.27 ^C (0.28)	4.84 ^C (0.12)	64.14 ^{Ba} (2.50)	4.45 ^D (0.15)	27.02 ^{Ba} (1.03)	106.73
	oven	6.16 ^{CD} (0.14)	4.70 ^C (0.15)	57.78 ^C (0.39)	4.70 ^C (0.14)	21.76 ^C (0.57)	95.10
7.5	pan	7.69 ^{Aa} (0.20)	6.81 ^{Aa} (0.22)	75.75 ^{Aa} (2.71)	4.90 ^B (0.07)	33.48 ^{Aa} (0.94)	128.63
	oven	6.86 ^B (0.08)	5.32 ^B (0.08)	64.32 (3.36)	5.51 ^{Aa} (0.05)	26.82 ^B (0.63)	108.84

¹⁾Results are expressed in micrograms per gram of oil for the cholesterol oxides products.

^{A-F}: Means with different superscript in the same column are significantly different (p<0.05).

^a: Mean values for irradiated unit followed by superscript is significantly different (p<0.05, tailed t-test).

Table 5. Cholesterol oxide products of Hanwoo fresh steak treated with electron-beam irradiation by cooking methods at 80°C.

Irradiation	Cooking method	7-α	β-ep	7-β	α-ep	7-k	total
-----µg/g-----							
0	pan	3.27 ^{Ea} (0.28)	2.40 ^G (0.31)	48.28 ^{Fa} (0.56)	0.84 ^H (0.03)	14.97 ^{Fa} (1.20)	69.77
	oven	2.16 ^F (0.32)	2.33 ^G (0.09)	42.04 ^G (0.73)	2.70 ^{Ga} (0.11)	12.58 ^G (0.65)	61.81
3	pan	6.43 ^{CD} (0.42)	3.56 ^E (0.09)	56.98 ^{Da} (2.68)	2.93 ^F (0.11)	17.30 ^{Ea} (0.39)	87.20
	oven	6.01 ^{BC} (0.46)	3.40 ^E (0.22)	51.05 ^E (1.49)	3.87 ^{Ea} (0.08)	15.23 ^{EF} (0.90)	79.55
4.5	pan	7.36 ^B (0.21)	3.39 ^E (0.14)	67.71 ^{Ba} (1.62)	4.08 ^D (0.20)	23.26 ^{Da} (0.63)	105.81
	oven	7.03 ^{BC} (0.40)	3.06 ^F (0.19)	55.61 ^D (1.68)	3.77 ^E (0.10)	15.26 ^{EF} (0.36)	84.74
6	pan	6.46 ^{CD} (0.21)	4.81 ^{Ca} (0.11)	66.94 ^{Ba} (0.51)	4.85 ^C (0.15)	30.03 ^B (1.35)	113.09
	oven	6.84 ^{Bca} (0.05)	4.415 (0.05)	61.20 ^C (2.63)	4.81 ^C (0.05)	27.74 ^C (0.64)	105.01
7.5	pan	8.03 ^A (0.12)	7.43 ^{Aa} (0.08)	76.97 ^{Aa} (0.35)	5.72 ^B (0.15)	34.82 ^A (2.09)	132.96
	oven	8.37 ^A (0.54)	5.91 ^B (0.09)	67.74 ^B (1.69)	6.15 ^{Aa} (0.11)	34.40 ^A (1.98)	122.56

¹⁾Results are expressed in micrograms per gram of oil for the cholesterol oxides products.

^{A-F}: Means with different superscript in the same column are significantly different (p<0.05).

^a: Mean values for irradiated unit followed by superscript is significantly different (p<0.05, tailed t-test).

태에서 자동산화물 일으키며, 산화물질은 60가지 이상 발생한다고 보고되었다[35]. 이러한 산화물질들은 저장기간의 연장과 같은 일반적인 가공조건에서 콜레스테롤이 포함된 식품에서 형성되며, 저장기간, 빛, 공기의 접촉 및 조리온도와 같은 요인들은 식품에서 콜레스테롤 산화물질의 발생에 중요한 작용을 한다고 보고하였다[29]. 전자선 조사 실시 유·무와 60°C로 조절된 가열방법에 따라 전 처리구에서 7α-hydroxycholesterol, 7β-hydroxycholesterol, 7-ketocholesterol, α-epoxide와 β-epoxide가 검출되었다. 발생량은 7β-hydroxycholesterol, 7-ketocholesterol, 7α-hydroxycholesterol, β-epoxide, α-epoxide 순으로 발생하였다. Ohshima 등[28]은 콜레스테롤의 가장 대표적인 산화분해 산물은 7β-hydroxycholesterol

과 7-ketocholesterol 이라고 보고하였는데 본 연구의 결과와 일치하였다. PBS에서 7α-hydroxycholesterol이 0, 3, 4.5, 6, 7.5 kGy로 전자선 조사수준이 증가함에 각각 2.22, 5.82, 5.86, 6.20, 7.56 µg/g을 나타내어 유의적으로 증가하였으며(P<0.05), 그리고 발생량이 가장 많은 7β-hydroxycholesterol은 44.18, 53.87, 60.08, 57.34, 70.99 µg/g의 발생량을 보여 비조사구에 비하여 전자선 조사구가 발생량이 많으며, 조사수준이 증가할수록 발생량이 많았다. 이같은 결과는 전자선 조사가 지질산화의 원인이 되는 hydroxy radicals을 발생시켜 산화물이 증가한다는 보고[2]와 같은 결과이다. 전자선 조사처리 후 저장된 육의 콜레스테롤 산화물의 발생량은 무처리 육에 비하여 유의적으로 높다는 보고[15]와도 같은 결과이다.

가열방법에 따른 콜레스테롤 산화물의 발생량은 대조구와 전자선 조사구에서 α -epoxide를 제외한 나머지 7 α -hydroxycholesterol, 7 β -hydroxycholesterol, 7-ketocholesterol와 β -epoxide에서 공히 pan으로 가열하는 방법이 유의적으로 높은 콜레스테롤 산화물이 발생하였는데 이는 식육에 직접 열이 전달되는 방법이 간접으로 열이 전달되는 방법 보다 산화되는 정도가 더 심하다는 것을 의미한다. 이와 같은 결과에 대해 여러 연구자들이 콜레스테롤 산화물 발생량은 가공방법[6,20,23,26,27,39] 특히 가공조건[23], 가열[26] 등 가공과정 중에 많이 증가하는 것으로 보고하였다.

가열온도에 따른 콜레스테롤 산화물의 변화를 살펴보면, 전자선 비조사구의 pan 가열방법이 가열온도가 60, 70, 80 $^{\circ}$ C로 증가함에 따라 7 α -hydroxycholesterol이 2.22, 2.93, 3.27 μ g/g로 증가하였다. Oven 가열 방법에서도 각각 0.79, 1.32, 2.16 μ g/g으로 가열온도가 증가함에 따라 콜레스테롤 산화물의 발생량이 증가하였다. 전체 발생량의 비교에서 pan으로 가열한 비조사구의 경우 온도가 60, 70, 80 $^{\circ}$ C로 증가함에 따라 59.17, 61.46, 69.77 μ g/g 발생하였으며, 본 연구에서 조사량이 가장 높은 7.5 kGy 조사구는 116.39, 128.63, 132.96 μ g/g으로 가열온도가 증가하고 전자선 조사수준이 증가함으로 콜레스테롤 산화물의 발생량이 유의적으로 높았다($P < 0.05$). 여러 연구자들이 콜레스테롤 산화를 방지할 수 있는 방법으로 가공전에 항산화제의 첨가[25,32], 가공시간 및 온도의 최소화[7], 산소가 제거된 진공포장[1], 낮은 온도의 저장을 제시하였다[21].

본 결과를 종합해보면 전자선 조사수준과 가열온도가 증가함에 따라 콜레스테롤 산화물의 발생량이 증가하였고 가열방법 중 직접가열방법인 pan 가열방법이 간접방법인 oven 가열방법에 비하여 산화의 정도가 높아지는 것으로 나타났다.

요 약

본 연구는 식품의 안전성에 대한 관심이 고조되면서 위생적인 식육생산을 위한 방법으로 전자선을 조사하여 이화학적 특성 및 지방산화에 미치는 영향을 조사하고자 실시하였다. 공시재료는 한우암소 지육중 육질등급 1+판정(근내지방도 No.7, 육색 No.4, 성숙도 No.1, 조직감 No.1)을 받은 지육(280~300 kg) 6두를 구매하였다. 구매한 원료지육을 1차 수도물로 고압수세하고 2차 50% 에틸알콜로 소독한 후 발골 정형하여 실험재료로 사용하였다.

모든 처리에서 가열온도가 높아갈수록 포화지방산의 함량이 높아졌다. PBS는 가열온도에 따른 지방산패에서 전자선 비조사구와 조사구 모두 가열온도가 높을수록 높은 지방산패도를 나타내었고($P < 0.05$), OBS 또한 malonaldehyde양이 증가하였다($p < 0.05$). 가열온도별로는 60 $^{\circ}$ C에 비하여 80 $^{\circ}$ C가 비조사구와 3, 6 kGy 조사구는 약 2배정도의 MA양이 생성

되었다($p < 0.05$). OBS가 PBS보다 많은 양의 malonaldehyde가 생성되었으며, 전자선 조사 수준의 차이에는 수준에 따라 비조사구와 약간의 차이만 나타내었다. 전자선조사수준과 가열온도가 증가함에 따라 콜레스테롤 산화물의 발생량이 증가하였으며, 또한 가열방법 중 PBS가 OBS에 비하여 산화의 정도가 유의적으로 증가하였다($p < 0.05$).

참 고 문 헌

- Ahn, D. U., F. H. Wolfe, J. S. Sim and D. H. Kim. 1992. Packaging cooked turkey meat patties while hot reduces lipid oxidation. *J. Food Sci.* **57**(5), 1075.
- 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.
- Beuchat, L. R., Doyle, M. P., and Brackett, R. E. 1993. Irradiation inactivation of bacterial pathogens in ground beef. AMI Foundation, Arlington, VA.
- Buchalla, R., C. Schuttler and K. W. Bo'gl. 1993a. Effects of ionizing radiation on plastic food packaging materials : A review. Part 1. Chemical and physical changes. *J. Food Prot.* **56**(11), 991.
- Buchalla, R., C. Schuttler and K. W. Bo'gl. 1993b. Effects of ionizing radiation on plastic food packaging materials : A review. Part 2. Global migration, sensory changes and the fate of additives. *Food Prot.* **56**(11), 998.
- Buege, J. A. and Aust, J. D. 1978. Microsomal lipid peroxidation. *Methods Enzymol.* **52**, 302.
- Chan, S. H., Gray, J. I. and Goma, E. A. 1993. Cholesterol oxidation in whole powders as influenced by processing and packaging. *Food Chem.* **47**, 321-328.
- Cleveland, M. Z. and N. D. Harris, 1987. Oxidation of cholesterol in commercially processed cow's milk. *J. Food Prot.* **50**, 867-871.
- Dempster, J. F. 1985. Radiation preservation of meat and meat products : a review. *Meat Science*, **12**, 61-89.
- Dessouki, T. M., I. M. Soliman, Y. Afifi and S. X. Saied. 1978. Acceleration of fattening beef meat aging by means of antibiotics and ionizing irradiation. *Agric. Res. Review.* **56**, 115-126.
- Ehioba, R. M., A. A. Kraft, R. A. Molins, H. W. Walker, D. G. Olson, G. Subbaraman and R. P. Skowronski. 1987. Effect of low-dose (100 krad) gamma radiation on the microflora of vacuum-packaged ground pork with and without added sodium phosphates. *J. Food Sci.* **52**(6), 1477.
- Folch, J. M., M. Lees and G. H. S. Stanley. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Bio. Chem.* **226**, 497.
- Giam, I. and Dugan, Jr, L. R. 1965. The fatty acid composition of free and bound lipids in freeze dried meat. *J. Food Sci.* **30**, 262.
- Groninger, H. S, A. L. Tappel and F. W. Knapp. 1956. Some chemical and organoleptic changes in gamma-irradiated meats. *Food Res.* **21**, 555.

15. Hwang, K. T. and G. Maerker. 1993. Quantification of cholesterol oxidatin products in unirradiated and irradiated meats. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **70**, 371-375.
16. Janicki, L. J., and H. Appeldore. 1974. Effect of Broiling, Grill Frying and Microwave cooking on moisture, some lipid components and total Fatty acids of Ground Beef. *J. Food Sci.* **39**, 715.
17. Kampelmacher, E. H. 1983. Irradiation for control of salmonella and other pathogens in poultry and fresh meat. *Food Technol.* **37(4)**, 117-119, 169.
18. Kilgore, L., and M. Bailey. 1970. Degradation of linoleic acid during potato frying. *J. Amer. Diet. Assn.* **56**, 130.
19. Land, E. J. and A. J. Swallow. 1971. One electron reactions in biochemical systems as studied by pulse radiolysis. *Cytochrome. Arch. Biochem. Biophts.* **145**, 365.
20. Lai, S. M., J. I. Gray and M. E. Zabik. 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**, 1122-1126.
21. Luby, J. M., J. I. Gray and B. R. Harte. 1986. Effects of packaging and light sources on the oxidative stability of cholesterol in butter. *J. Food Sci.* **51**, 908-911.
22. Mattison, M. L., A. A. Kraft, D. G. Olson, H. W. Walker, R. E. Rust and D. B. James. 1986. Effect of low dose irradiation of pork loins on the microflora, sensory characteristics and fat stability. *J. Food Sci.* **51(2)**, 284-287.
23. Melton, S.L. 1983. Methodology for following lipid oxidation in muscle foods. *Food Technol.* **37**, 105.
24. Missler, S. R., B. A. Wasilchuck, C. Jr. Merritt. 1985. Separation and identification of cholesterol oxidation products in dried egg preparations. *J. Food Sci.* **50**, 595-598, 646.
25. Monahan, F. J., D. J. Buckley, J. I. Gray, P. A. Morrissey, A. Asgher, T. J. Hanrahan and P. B. Lynch. 1990. Effect of dietary vitamin E on the stability of raw and cooked pork. *Meat Sci.* **27**, 99-108.
26. Monahan, F. J., J. I. Gray, A. M. Booren, E. R. Miller, D. J. Buckley, P. A. Morrissey and E. A. Gpmaa. 1992. Influence of dietary treatment on lipid and cholesterol oxidation in pork. *J. Agric. Food Chem.* **40**, 1310-1315.
27. Naber, E. C., and M. D. Biggert, 1985. Analysis for and generation of cholesterol oxidation products in egg yolk by heat treatment. *Poultry Sci.* **64**, 341-347.
28. Ohshima, T., N. Li and C. Koizumi. 1993. Oxidative decomposition of cholesterol in fish products. *J. Am. Oil Chem. Soc.* **70**, 595-600.
29. Paniangvait, P., A. J. King, A. D. Jones and B. G. German. 1995. Cholesterol oxides in foods of animal origin. *J. Food Sci.* **60**, 1159-1174.
30. Patterson. M. F., A. P. Damoglou and R. K. Buick. 1993. Effects of irradiation dose and storage temperature on the growth of *Listeria monocytogenes* on poultry meat *Food Microbiol.* **10**, 197.
31. Park, S. W. and P. B. Addis. 1985. HPLC Determination of C-7 oxidized cholesterol derivatives in foods. *J. Food Sci.* **50**, 1437-1441,1444.
32. Park, S. W. and P. B. Addis. 1986. Identification and quantitative estimation of oxidized cholesterol derivatives in heated tallow. *J. Agri. Food Chem.* **34**, 653.
33. Schiller, E.A., D. E. Pratt and E. F. Reber. 1973. Lipid changes in egg yolks and cakes baked in microvave ovens. *J. Amer. Diet. Assn.* **62**, 529.
34. Siedler, A. J., D. Springer, H. T. Slover and L. Kizlaitis. 1964. Nutrient content of variety meats. 3. Fatty acid composition of lipids of certain raw and cooked variety meats. *J. Food Sci.* **29**, 877.
35. Smith, L. L. 1981. Cholesterol autoxidation. Plenum press. New York.
36. Terrell, R. N., R. W. Lewis, R. G. Cassens and R. W. Bray. 1967. Fatty acid composition of bovine subcutaneous fat depots determined by gas-liquid chromatography. *J. Food Sci.* **32**, 516.
37. Wilting, J., H. Nauta and R. Braams. 1971. The reaction rate constant of hydrated electron with some hemoproteins as a function of the pH. *FEBS Letters* **16**, 147.
38. Zubillaga, M. P. and G. Maerker. 1991. Quantification of three cholesterol oxidation products in raw meat and chicken. *J. Food Sci.* **56**, 1194-1196.
39. Zunin, P., F. Evangelisti, M. F. Caboni, G. Penzazzi, G. Lercker, and E. Tiscornia, 1995. Cholesterol oxidation in baked foods containing fresh and powdered eggs. *J. Food Sci.* **60**, 913-916.