

쇠고기와 닭고기로부터 방사선 조사에 의해 유도된 2-Alkylcyclobutanone류의 정량적 비교 분석

김경수 · 김은아 · 이해정 · 박은령 · 양재승* · 변명우* · 김선민** · 이명렬
조선대학교 식품영양학과, *한국원자력연구소, **동신대학교 식품생물공학과

Quantitative Comparison of Radiation-induced 2-Alkylcyclobutanones from Irradiated Beef and Chicken

Kyong-Su Kim, Eun-Ah Kim, Hae-Jung Lee, Jae-Seung Yang*,
Myung-Woo Byun*, Sun-Min Kim** and Myung-Yul Lee

Department of Food and Nutrition, Chosun University, *Korea Atomic Energy Research Institute,
**Department of Food and Biotechnology, Dongshin University

Abstract

Gamma-irradiated beef and chicken at the dose levels of 0.5 to 10 kGy were subjected to the detection of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones whether irradiated or not. Radiation-induced 2-alkylcyclobutanones were extracted from beef and chicken fats, separated by florisil column chromatography and identified with GC/MS method by selected ion monitoring(SIM). When beef and chicken were irradiated, 2-dodecylcyclobutanone, 2-tetradecylcyclobutanone and 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone were formed from palmitic, stearic and oleic acids. Concentrations of 2-alkylcyclobutanones were linearly increased with the dose levels of irradiation and depended upon the composition of fatty acids in beef and chicken. Radiation-induced 2-alkylcyclobutanones in irradiated beef and chicken were remarkably detected at 1 kGy and over, while these compounds were not detected in non-irradiated samples. The concentrations of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones were relatively constant during 6 months.

Key words : beef, chicken, 2-alkylcyclobutanones, GC/MS, SIM

서 론

식품의 방사선 조사는 발아나 숙도를 조절하고 부패를 감소시켜 저장기간을 늘리고 병원성 및 부패 미생물을 감소시키거나 살균함으로써 식품의 안전성과 품질을 향상시키는데 이용되고 있다⁽¹⁾. 1980년대에 “평균 10 kGy 이하로 조사된 모든 식품은 독성학적으로 안전하며 영양학적, 미생물학적으로도 문제가 되지 않는다”⁽²⁾ 고 하여 세계적으로 식품조사의 실용화에 대한 관심이 높아졌으며, 조사식품의 검지기술 개발의 필요성이 재인식되게 되었다. 따라서 방사선 조사식품을 검지하기 위한 수많은 연구들이 FAO, IAEA, WHO 등의 여러 국제기구에 의해 공동으로 광범위하게 시도 되어 왔다.

지금까지 연구된 방사선 조사식품에 대한 검지방법으로는 뼈를 함유하거나 섬유소를 포함하고 있는 식품에서 방사선 조사에 의해 생성되는 radical 분석을 위한 electron spin resonance(ESR)⁽³⁾ 방법이나, 향신료, 전조야채류 등에 함유된 무기질을 이용한 thermoluminescence(TL) 분석기기⁽⁴⁾에 의한 물리적인 방법, 그리고 DNA⁽⁵⁾, limulus amoebocytes lysate(LAL)⁽⁶⁾, direct epifluorescent filter technique/aerobic plate count (DEFT/APC)⁽⁷⁾에 의한 생물학적 방법, 지방을 함유하고 있는 식품에서 생성된 지방분해산물인 hydrocarbon 류나 2-alkylcyclobutanone류를 GC 및 GC/MS 분석기기를 이용한 화학적 방법⁽⁸⁻¹⁵⁾ 등이 있다.

방사선 조사에 의해 생성된 2-alkylcyclobutanone류인 2-dodecylcyclobutanone, 2-tetradecylcyclobutanone, 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone 등은 대부분의 식품에 함유되어 있는 주요 지방산인 palmitic, stearic, oleic acid로부터 생성된다. 이들 화합물은 지방산이나 triglyceride

Corresponding authors : Kyong-Su Kim, Department of Food and Nutrition, Chosun University, Seosuk-dong, Kwangju 501-759, Korea

의 carbonyl기에 존재하는 산소로부터 전자 손실이 일어난 뒤, 모지방산과 동일한 탄소수를 가지면서 C_2 위치에 alkyl기를 가진 cyclic 화합물⁽¹⁶⁾로서 60 kGy로 조사시킨 triglycerides를 이용해서 처음으로 LeTellier와 Nawar⁽¹⁷⁾에 의해 밝혀졌으며, 그후 Handel과 Nawar⁽¹⁸⁾가 500 kGy 선량으로 조사된 합성 phospholipid로부터 2-dodecylcyclobutanone을 분리하였다. 이렇게 2-alkylcyclobutanone류가 지방 함유 식품의 방사선 조사에 의해 생성된다고 보고된 이후, 닭고기의 방사선 조사유무를 확인하기 위한 검지 marker로서 2-dodecylcyclobutanone⁽¹⁹⁾, 방사선 조사된 달걀의 검지 marker로서 2-tetradecylcyclobutanone⁽²⁰⁾의 이용 등, 이에 대한 연구들이 계속 진행되고 있으나 아직까지 각 시료마다 적용할 수 있는 체계화된 분석 data는 부족한 실정이다. 국내에서는 현재 육류 및 가공육에 대한 방사선 조사가 허가되어 있지 않으나, FDA는 1997년 육류의 경우, *E. coli* O158:H7과 같은 병원성 미생물을 제거할 목적으로 신선육 4.5 kGy까지, 냉동육 7 kGy까지 허용하였으며⁽²¹⁾, 가공육의 경우, 1990년에 *Salmonella*, *Yersinia*, *Campylobacter*와 같은 미생물에 의해 야기되는 질병을 방지하기 위해 3 kGy까지의 방사선 조사를 허용⁽²²⁾하고 있으므로 이를 효율적으로 규제하기 위한 검지방법이 필요하다.

주요 육류인 쇠고기, 돼지고기, 닭고기로부터 방사선 조사에 의해 유도된 hydrocarbon류는 김 등⁽²³⁾에 의해 보고된 바 있으나 2-alkylcyclobutanone류에 대한 연구는 수행되지 않고 있다. 따라서 본 연구는 쇠고기와 닭고기로부터 방사선 조사에 의해 유도된 2-alkylcyclobutanone류를 동정하여 각 시료마다 그 양을 비교·분석하였다. 이로써 방사선 조사 검지를 위한 기초자료로 활용하고, 더 나아가 식품에 대한 방사선 조사 공정이 식품관련법규에 의한 적정선량으로 이루어졌는지 확인하고, 조사표시 준수를 유도하여 소비자의 신뢰성을 높이고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용된 시료는 쇠고기와 닭고기를 구입하여 한국원자력연구소 내 선원 10만 Ci의 ⁶⁰Co 감마선 조사시설을 이용하여 시간당 2.5 kGy 선량율로 각각 0.5, 1, 3, 5 및 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 조사하였으며, 흡수선량의 오차는 ± 0.02 kGy이었다. 이를 비조사 대조시료와 함께 -18°C 로 냉동 저장하면서 실험에 사용하였다.

시약

본 연구에 사용한 2-alkylcyclobutanone류의 standard는 독일 TeLA사로부터 구입하였으며, 지방추출 및 chromatography에 사용한 n-pentane, n-hexane, isopropanol 등 유기용매는 Fisher Scientific사에서 HPLC grade용으로 구입하여, 이를 다시 wire spiral packed double distilling 장치로 재증류한 것을 사용하였다. Florisil(60~100 mesh)은 Fisher Scientific 제품을 구입하여 550°C 회화로에서 하룻저녁 태운 뒤 저장하였다가 사용전 5시간 이상 130°C 에서 탈수하여 상온에서 식힌 후 20% 물을 가하여 균질화하고 12시간 이상 방치후 불활성화시켜 충전제로 사용하였다.

방사선 조사시료의 지방추출

지방추출 및 2-alkylcyclobutanone류의 분리는 Schreiber 등⁽²⁴⁾의 방법에 준하였다. 비교적 지방함량이 적은 쇠고기와 닭고기는 30 g씩 재어 이를 작게 자른 후 비이커에 담아 재증류된 n-pentane과 isopropanol 혼합용매(3:2, v/v) 30 mL를 첨가하고 ultra turrax(Janke & Kunkel, Germany)로 여러번 균질화하였다. 균질화된 시료는 $1500 \times \text{g}$ 로 20분간 원심분리시켜 투명한 상층액을 분리한 후 잔존물에 처음 사용한 혼합 유기용매 양의 1/3을 다시 첨가하여 재추출하고 이를 원심분리하여 상층액을 첫 번째 상층액과 합한 후 rotary vacuum evaporator(Büchi, Switzerland)를 사용하여 유기용매를 제거하고 질소를 사용하여 잔존유기용매를 휘발시킨 뒤 지방만을 취하여 냉동 저장하여 시료로 사용하였다.

2-Alkylcyclobutanone류의 분리

불활성화시킨 florisil 30 g을 200×20 mm chromatography column에 충전시키고, 재증류한 n-hexane을 3 mL/min의 유속으로 conditioning 한 후 추출한 지방시료 0.2 g에 1 mL n-hexane을 첨가하여 column에 가하였다. 3 mL/min 유속으로 150 mL n-hexane을 용리한 후, diethylether/n-hexane 혼합용매(2:98, v/v) 120 mL을 용리용매로 하여 2-alkylcyclobutanone류를 분리하였다. 이 용리용매는 rotary vacuum evaporator를 이용하여 2 mL까지 농축하고 질소가스를 이용하여 0.2 mL까지 농축한 후 GC-FID 및 GC/MS 분석기기를 이용하여 분석하였다.

GC에 의한 분석

분리한 2-alkylcyclobutanone류의 GC분석은 FID가 부착된 Hewlett-Packard 5890 II Plus 분석기기를 사용하

였으며, column은 DB-5(J&W Scientific, 30 m×0.32 mm i.d., 0.25 μm film thickness, Folsom, CA)를 이용하였다. 온도 program은 120°C에서 1분 동안 유지하고 15°C/min 속도로 160°C까지, 0.5°C/min 속도로 175°C까지, 30°C/min 속도로 290°C까지 승온시키고 10분간 유지하였다. Injector와 detector 온도는 각각 250°C, 300°C이며, carrier gas는 helium을 사용하였으며, 유속은 1.0 mL/min로 하였다. 시료는 2 μL를 주입하였고 split ratio는 1:20으로 하여 처음 1분 동안 splitless 하였다.

GC/MS에 의한 확인

질량분석에 사용한 GC/MS 분석기기는 Shimadzu GC/MS QP-5050을 사용하였으며 시료의 이온화는 electron impact ionization(EI) 방법으로 행하였다. GC/MS 분석조건은 ionization voltage를 70 eV, ion source temperature는 290°C, 분석할 분자량의 범위(*m/z*)는 40~350으로 설정하였다. Capillary column 및 분석온도 등 다른 분석조건들은 GC의 분석조건과 동일하게 분석하였다. 지방분해산물인 2-alkylcyclobutanone류를 정량적으로 분석하기 위하여 selected ion monitoring(SIM) 방법을 이용하였다. 2-Dodecylcyclobutanone, 2-tetradecylcyclobutanone, 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone과 같은 표준물질들 0.1-5 ppm(μg/mL)으로 조제한 후 표준 검량선을 작성하였고, SIM mode에서 2-dodecylcyclobutanone과 2-tetradecylcyclobutanone은 ion *m/z* 98, 112, 69, 84를, 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone은 ion *m/z* 67, 81, 98, 109를 설정하여 standard 물질과의

retention time과 ion ratio를 비교, 확인하여 정량하였다. 이들 2-alkylcyclobutanone류의 mass spectrum은 GC/MS의 full scan mode로 분석하여 확인하였다

결과 및 고찰

방사선 조사된 지방의 화학적 분해에 의해 생성되는 2-alkylcyclobutanone류는 지방산이나 triglyceride의 carbony기에 존재하는 산소로부터 전자 손실이 일어난 뒤, 모 지방산과 동일한 탄소수를 가지면서 C₂ 위치에 alkyl기를 가진 cyclic 화합물이다⁽¹⁶⁾. 육류의 지방에 많이 함유되어 있는 palmitic acid, stearic acid, oleic acid 등에 방사선을 조사시키면, palmitic acid로

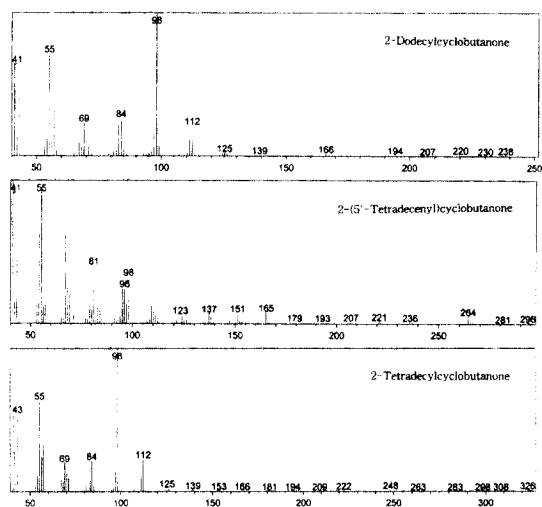


Fig. 1. Mass spectrum of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones.

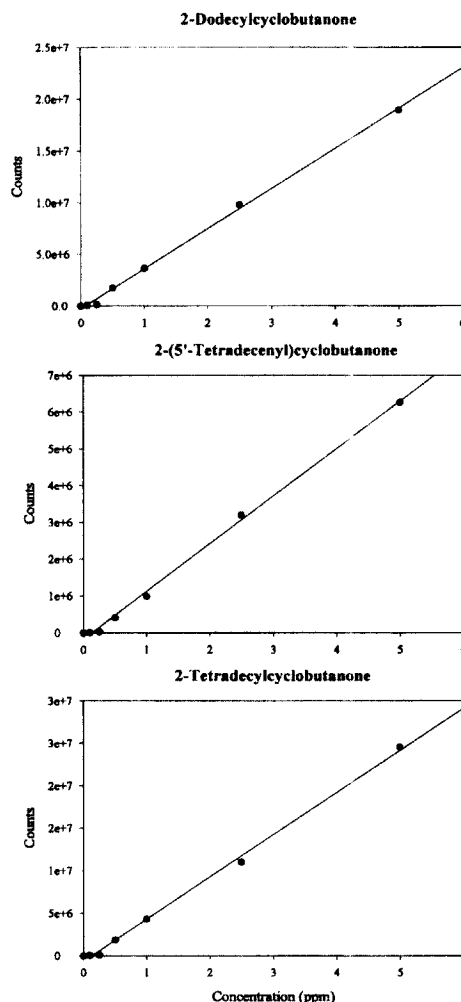


Fig. 2. Standard curves of 2-dodecylcyclobutanone, 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone and 2-tetradecylcyclobutanone.

Table 1. Concentrations of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones in beef and chicken

(μg/g fat)

Irradiation dose(kGy)	Palmitic acid		Oleic acid		Stearic acid	
	2-Dodecylcyclobutanone		2-(5'-Tetradecenyl) cyclobutanone		2-Tetradecylcyclobutanone	
	Beef	Chicken	Beef	Chicken	Beef	Chicken
0	-	-	-	-	-	-
0.5	t ¹⁾	0.09(±0.04) ²⁾	0.25(±0.04)	0.38(±0.04)	t	t
1	0.29(±0.06)	0.37(±0.09)	0.89(±0.11)	1.02(±0.08)	0.32(±0.05)	0.16(±0.04)
3	0.67(±0.11)	0.81(±0.10)	2.05(±0.19)	2.14(±0.13)	0.71(±0.11)	0.53(±0.06)
5	1.61(±0.22)	1.73(±0.15)	3.41(±0.36)	3.57(±0.21)	0.93(±0.17)	0.75(±0.11)
10	2.95(±0.47)	3.74(±0.33)	8.29(±0.51)	6.89(±0.48)	2.90(±0.32)	1.13(±0.15)

¹⁾Trace²⁾Mean ± standard deviation

부터 2-dodecylcyclobutanone, stearic acid로부터 2-tetradecylcyclobutanone, oleic acid로부터 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone이 생성된다. 이렇게 방사선 조사된 쇠고기와 닭고기로부터 유도된 2-alkylcyclobutanone 류를 확인하기 위하여 GC/MS의 full scan mode의 total ion chromatogram(TIC)에서 얻은 mass spectrum은 Fig. 1에, SIM mode에서 정량분석을 위해 작성한 검량선은 Fig. 2에 나타내었다.

방사선 조사된 쇠고기에서 생성된 2-alkylcyclobutanone류

방사선 조사된 쇠고기로부터 유도된 2-alkylcyclobutanone류를 SIM 방법에 의해 정량분석한 결과는 Table 1과 같고, 10 kGy로 조사된 쇠고기의 chromatogram은 Fig. 3에 나타내었다.

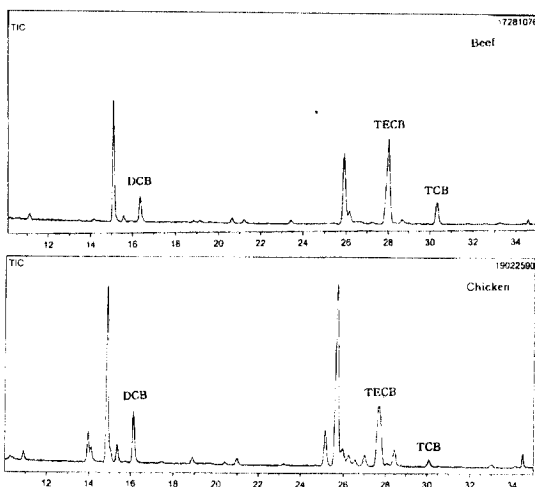


Fig. 3. Chromatograms of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones of 10 kGy irradiated beef and chicken.

DCB: 2-dodecylcyclobutanone, TECB: 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone, TCB: 2-tetradecylcyclobutanone.

쇠고기의 지방산 조성을 살펴보면 palmitic acid가 stearic acid보다 높은 함량으로 존재하는데 이로부터 유도된 2-dodecylcyclobutanone과 2-tetradecylcyclobutanone의 경우 3 kGy까지는 2-tetradecylcyclobutanone이 더 많이 검출되었고 5 kGy이상 조사시킨 시료에서는 2-dodecylcyclobutanone이 더 높은 함량을 보였다. 이는 돼지고기와 닭고기를 방사선 조사시켜 생성된 2-dodecylcyclobutanone과 2-tetradecylcyclobutanone를 실험한 Stevenson⁽¹⁶⁾의 결과와 일치하였다. 쇠고기의 지방산 조성 중 가장 많은 함량을 차지하고 있는 oleic acid로부터 유도된 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone이 방사선 조사에 의해 생성된 2-alkylcyclobutanone류 중 가장 많은 함량을 나타내었다. 조사선량에 따라 2-dodecylcyclobutanone과 2-tetradecylcyclobutanone은 1 kGy 이상 조사한 시료에서 검출이 가능하였지만, 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone은 0.5 kGy 이상 조사시킨 시료에서 정량 가능하였다. 6개월 동안의 저장기간에 따라 생성된 2-alkylcyclobutanone류의 함량은 저장 전과 후에 거의 차이가 없고 조사선량에 따라 비례적으로 증가하였다(Table 2, Fig. 4, 5). 이는 방사선 조사에 의해 유도된 2-alkylcyclobutanone류의 함량이 저장기간에 영향을 받지 않는 것으로 사료된다.

방사선 조사된 닭고기에서 생성된 2-alkylcyclobutanone류

방사선 조사된 닭고기로부터 유도된 2-alkylcyclobutanone류를 SIM 방법에 의한 정량분석 결과는 Table 1과 같고, 10 kGy로 조사된 닭고기의 chromatogram은 Fig. 3에 나타내었다.

닭고기로부터 생성된 2-alkylcyclobutanone류의 함량은 쇠고기와 같이 닭고기 역시 oleic acid로부터 유도된 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone이 가장 많이 정량되었고 그 뒤 2-dodecylcyclobutanone, 2-tetradecylcyclobutanone 순으로 나타났다. 2-Tetradecylcyclo-

Table 2. Changes in concentrations of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones in beef during storage ($\mu\text{g/g}$ fat)

Compounds	Irradiation dose (kGy)	Storage period (month)				
		0	1	2	4	6
2-Dodecyl cyclobutanone	0	-	-	-	-	-
	0.5	t ¹⁾	t	t	t	t
	1	0.29(±0.06) ²⁾	0.28(±0.07)	0.27(±0.05)	0.28(±0.09)	0.26(±0.08)
	3	0.67(±0.11)	0.65(±0.09)	0.66(±0.08)	0.64(±0.12)	0.63(±0.10)
	5	1.61(±0.22)	1.60(±0.16)	1.59(±0.18)	1.61(±0.21)	1.58(±0.23)
	10	2.95(±0.47)	2.96(±0.42)	2.94(±0.39)	2.93(±0.50)	2.93(±0.45)
2-(5'-Tetra decenyl) cyclobutanone	0	-	-	-	-	-
	0.5	0.25(±0.04)	0.24(±0.06)	0.23(±0.05)	0.26(±0.07)	0.24(±0.06)
	1	0.89(±0.11)	0.91(±0.10)	0.88(±0.16)	0.87(±0.09)	0.87(±0.10)
	3	2.05(±0.19)	2.06(±0.17)	2.05(±0.16)	2.04(±0.21)	2.03(±0.19)
	5	3.41(±0.36)	3.40(±0.26)	3.39(±0.32)	3.40(±0.33)	3.39(±0.37)
	10	8.29(±0.51)	8.29(±0.46)	8.27(±0.53)	8.26(±0.49)	8.27(±0.44)
2-Tetradecyl cyclobutanone	0	-	-	-	-	-
	0.5	t	t	t	t	t
	1	0.32(±0.05)	0.33(±0.06)	0.31(±0.09)	0.32(±0.04)	0.30(±0.07)
	3	0.71(±0.11)	0.70(±0.12)	0.72(±0.16)	0.69(±0.09)	0.70(±0.11)
	5	0.93(±0.17)	0.94(±0.14)	0.92(±0.20)	0.93(±0.19)	0.91(±0.22)
	10	2.90(±0.32)	2.90(±0.36)	2.91(±0.28)	2.89(±0.33)	2.88(±0.27)

¹⁾Trace

²⁾Mean ± standard deviation

Table 3. Changes in concentrations of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones in chicken during storage ($\mu\text{g/g}$ fat)

Compounds	Irradiation dose (kGy)	Storage period (month)				
		0	1	2	4	6
2-Dodecyl cyclobutanone	0	-	-	-	-	-
	0.5	0.09(±0.04) ¹⁾	0.09(±0.07)	0.08(±0.08)	0.09(±0.05)	0.08(±0.06)
	1	0.37(±0.09)	0.39(±0.07)	0.38(±0.11)	0.36(±0.10)	0.37(±0.08)
	3	0.81(±0.10)	0.82(±0.11)	0.81(±0.13)	0.83(±0.09)	0.80(±0.08)
	5	1.73(±0.15)	1.72(±0.17)	1.74(±0.14)	1.70(±0.09)	1.71(±0.13)
	10	3.74(±0.33)	3.74(±0.30)	3.72(±0.35)	3.71(±0.29)	3.73(±0.33)
2-(5'-Tetra decenyl) cyclobutanone	0	-	-	-	-	-
	0.5	0.38(±0.04)	0.39(±0.04)	0.40(±0.06)	0.37(±0.05)	0.36(±0.07)
	1	1.02(±0.08)	1.01(±0.09)	1.00(±0.11)	1.02(±0.09)	1.01(±0.10)
	3	2.14(±0.13)	2.15(±0.12)	2.13(±0.14)	2.11(±0.09)	2.12(±0.11)
	5	3.57(±0.21)	3.58(±0.19)	3.56(±0.23)	3.55(±0.22)	3.56(±0.25)
	10	6.89(±0.48)	6.88(±0.44)	6.86(±0.50)	6.86(±0.46)	6.85(±0.47)
2-Tetradecyl cyclobutanone	0	-	-	-	-	-
	0.5	t ²⁾	t	t	t	t
	1	0.16(±0.04)	0.15(±0.06)	0.14(±0.05)	0.87(±0.07)	0.13(±0.08)
	3	0.53(±0.06)	0.52(±0.10)	0.50(±0.09)	2.04(±0.08)	0.52(±0.11)
	5	0.75(±0.11)	0.74(±0.14)	0.76(±0.13)	3.40(±0.09)	0.72(±0.12)
	10	1.13(±0.15)	1.12(±0.16)	1.14(±0.11)	8.26(±0.20)	1.12(±0.14)

¹⁾Mean ± standard deviation

²⁾Trace

butanone을 제외한 2-dodecylcyclobutanone과 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone은 0.5 kGy 이상 조사된 시료에서 검출 가능하였다. 6개월 동안 저장기간별로 생성된 2-alkylcyclobutanone류의 함량 또한 쇠고기의 경우와 마찬가지로 저장 전과 후에 큰 변화를 보이지 않았으며, 조사선량별로 생성된 2-alkylcyclobutanone류의 함량은 거의 직선상을 나타내었다(Table 3, Fig. 4,6).

Crone 등⁽¹⁴⁾은 방사선 조사된 닭고기를 4°C에서 18일 동안 저장하였을 때 생성된 2-alkylcyclobutanone류 중 2-dodecylcyclobutanone의 함량을 비교한 결과, 저장에 따라 감소하였지만 조사선량에 따라 생성된 함량은 거의 직선상을 나타내었다고 하였으며, Stevenson 등⁽²⁵⁾은 방사선 조사된 닭고기를 4주간 냉동 저장하여 실험한 결과, 생성된 2-dodecylcyclobutanone의 함량이 저장기

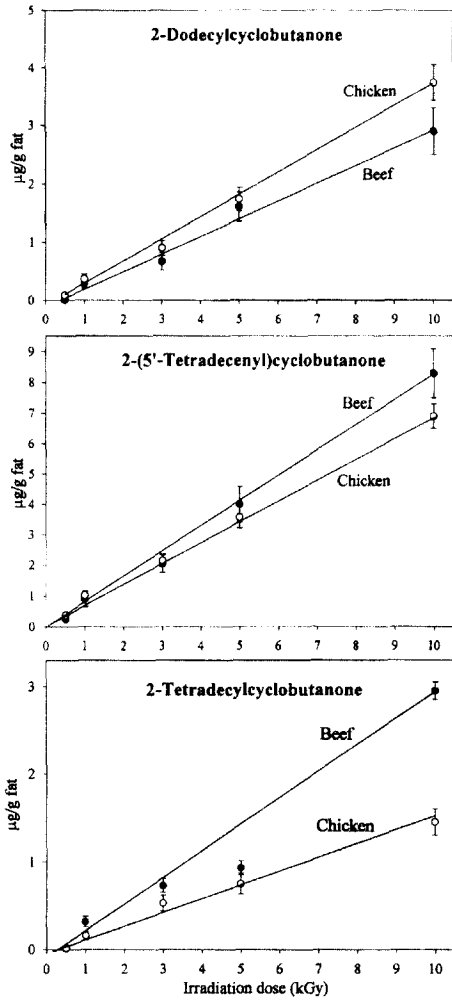


Fig. 4. Effect of irradiation dose on radiation-induced 2-alkylcyclobutanones of beef and chicken.

간 동안 큰 변화를 보이지 않았다고 보고하였다. 이처럼 방사선 조사에 의해 유도된 2-alkylcyclobutanone류의 함량은 저장기간에 큰 영향을 받지 않는 것으로 사료된다.

쇠고기와 닭고기로부터 생성된 2-alkylcyclobutanone류의 함량비교

동일한 선량으로 조사된 쇠고기와 닭고기로부터 생성된 2-alkylcyclobutanone류의 함량이 각각 다르게 정량되었다. Palmitic acid로부터 유도된 2-dodecylcyclobutanone의 경우, 쇠고기와 닭고기에서는 비슷한 함량을 보이다가 10 kGy로 조사하였을 때 닭고기에서 더 많은 양이 생성되었다. Stearic acid로부터 유도된 2-

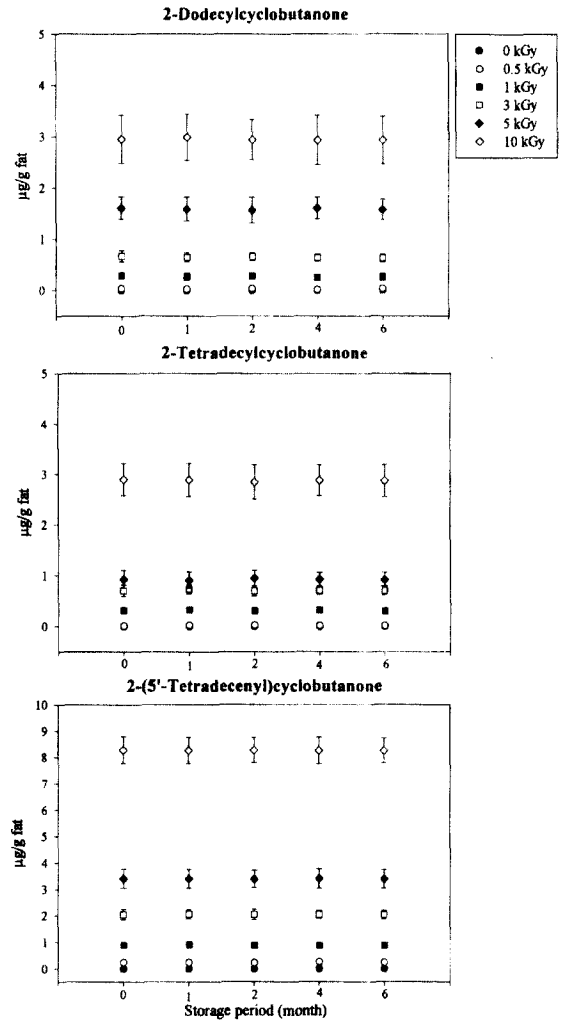


Fig. 5. Changes in concentrations of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones in beef during storage.

tetradecylcyclobutanone은 조사선량이 증가함에 따라 서로 비슷한 함량으로 증가하지만, 쇠고기에서 닭고기보다 더 많이 생성되었다. 방사선 조사에 의해 유도된 2-alkylcyclobutanone류 중 가장 많이 생성된 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone은 2-dodecylcyclobutanone과 같이 5 kGy까지는 쇠고기와 닭고기에서 비슷한 함량을 보였으나 10 kGy에서는 쇠고기가 월등히 많은 함량을 나타내었다(Table 1). 이는 쇠고기에 oleic acid 함량이 높기 때문이라 사료된다. 각 시료별로 조사선량에 따라 생성된 2-alkylcyclobutanone류는 조사선량이 증가함에 따라 비례적으로 증가하였고(Fig. 4), 6개월의 저장기간 동안 생성된 2-alkylcyclobutanone류의 함량을 거의 차이가 없었다(Fig. 5.6). 또한 1 kGy 이상

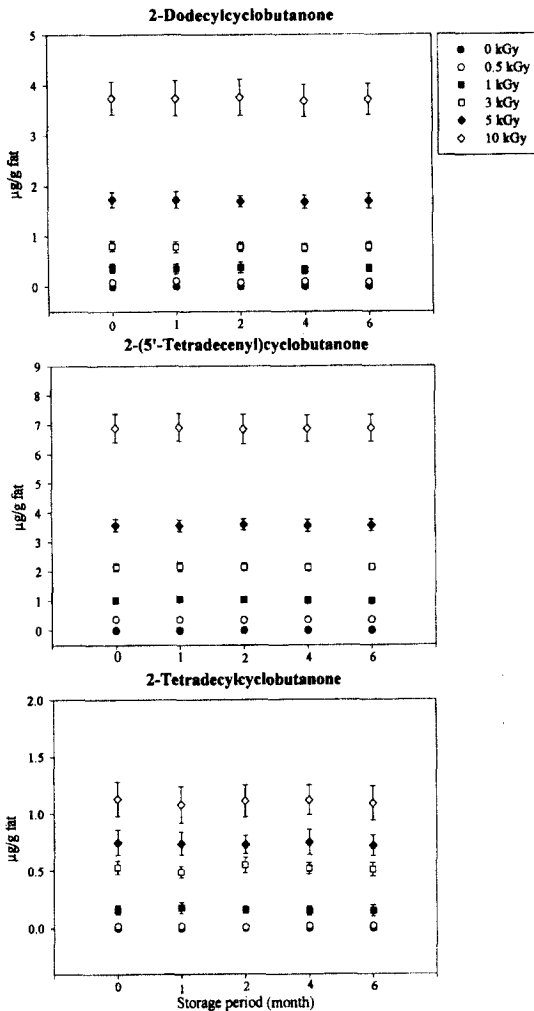


Fig. 6. Changes in concentrations of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones in chicken during storage.

조사된 모든 시료에서 2-dodecylcyclobutanone, 2-tetradecylcyclobutanone, 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone을 뚜렷하게 검출할 수 있었으며, 비조사 시료에서는 위에 언급된 2-alkylcyclobutanone류가 확인되지 않았다.

요 약

쇠고기와 닭고기를 방사선 조사시켜 생성된 2-alkylcyclobutanone류의 함량을 비교 분석하였다. 지방은 n-pentane과 isopropanol 혼합용매(3:2, v/v)를 사용하여 추출한 뒤 florisil로 충전한 column을 이용하여 2-alkylcyclobutanone류를 분리하였으며, GC-FID 및 GC/MS 분석으로 성분을 확인하였다. 0.5-10 kGy 선량

범위로 조사된 쇠고기와 닭고기에서 생성된 각각의 2-alkylcyclobutanone류 함량은 조사선량에 따라 비례적으로 증가하였으며, 동일선량으로 조사된 각 시료의 2-alkylcyclobutanone류 함량은 각각 다르게 정량되었다. Palmitic acid로부터 유도된 2-dodecylcyclobutanone은 쇠고기와 닭고기에서 비슷한 함량을 보였다. Stearic acid로부터 유도된 2-tetradecylcyclobutanone은 쇠고기가 닭고기보다 높은 함량이 나타났으며, 방사선 조사에 의해 유도된 2-alkylcyclobutanone류 중 가장 많이 생성된 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone 또한 쇠고기가 닭고기보다 높게 나타났다. 각 시료별 조사선량에 따라 생성된 2-alkylcyclobutanone류는 1 kGy 이상 조사된 모든 시료에서 명확하게 검출할 수 있었으며, 6개월 동안의 저장기간 중에 함량 변화를 거의 보이지 않았다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 원자력 연구개발사업의 일환으로 수행되었으며 그 지원에 감사드립니다.

문 헌

- Diehl, J.F. Potential and current applications of food irradiation, pp.291-338. In: Safety of Irradiated Foods. 2nd ed. Marcel Dekker Inc., New York, USA (1995)
- WHO. Wholesomeness of irradiated food, Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Expert Committee. Technical Report Series 659, Geneva, Switzerland (1981)
- Morehouse, K.M. and Ku, Y. Gas chromatographic and electron spin resonance investigations of irradiated shrimp. J. Agric. Food Chem. 40: 1963-1971 (1992)
- Pinnioja, S., Autio, T., Niemi, E. and Pensala, O. Import control of irradiated foods by the thermoluminescence method. Z. Lebensm. Unters. Forsch. 196: 111-115 (1993)
- Jabir, A.W., Deeble, D.J., Wheatley, P.A., Smitt, C.J. Parsons, B.J., Beaumont, P.C. and Swallow, A.J. DNA modifications as a means of detecting the irradiation of wheat. Radiat. Phys. Chem. 34: 935-940 (1989)
- Scotter, S.L., Bearwood, K. and Wood, R. Limulus amoebocyte lysate test/gram negative bacteria count method for the detection of irradiated poultry: results of two interlaboratory studies. J. Sci. Technol. Today 8: 106-107 (1994)
- Betts, R.D., Farr, L., Bankers, P. and Stringer, M.F. The detection of irradiated foods using the direct epifluorescent filter technique. J. Appl. Bacteriol. 64: 329-335 (1988)
- Morehouse, K.M. and Ku, Y. Identification of irradiated foods by monitoring radiolytically produced hydrocarbons. Radiat. Phys. Chem. 42: 359-362 (1993)

9. Schulzki, G. and Spiegelberg, A. Identification of radiation-induced volatiles in meat: comparison of two methods: high vacuum cold finger distillation and floril chromatography, pp.261-274. In: BCR Information; Recent Advances on Detection of Irradiated Food, EUR/14315/EN. Commission of the European Communities, Brussels · Luxemburg, Belgium (1993)
10. Nawar, W.W., Champagne, J.R., Dubravic, M.F. and LeTellier, P.R. Recovery and measurement of volatiles from lipids; hydrocarbons in irradiated fats. *J. Agric. Food Chem.* 17: 645-648 (1969)
11. Spiegelberg, A., Schulzki, G.M., Helle, N., Bögl, K.W. and Schreiber, G.A. Methods for routine control of irradiated food: optimization of a method for detection of radiation-induced hydrocarbons and its application to various foods. *Radiation Phys. Chem.* 43: 433-444 (1994)
12. Meier, W., Artbo, A. and Nögeli, P. Detection of irradiation of fat-containing foods by on-line LC-GC-MS of alkylcyclobutanones. *Mitt. Gebiere Lebensm. yg.* 87: 118-122 (1996)
13. Boyd, D.R., Crone, A.V.J., Hamilton, J.T.G. and Hand, M.V. Synthesis, characterization and potential use of 2-dodecylcyclobutanone as a marker for irradiated chicken. *J. Agric. Food Chem.* 39: 789-792 (1991)
14. Crone, A.V.J., Hamilton, J.T.G. and Stevenson, M.H. Effect of storage and cooking on the dose response of 2-dodecylcyclobutanone, a potential marker for irradiated chicken. *J. Sci. Food Agric.* 58: 249-252 (1992)
15. Spiegelberg, A. Nachweis von fluechtigen Kohlenwasserstoffen und 2-Dodecyl cyclobutanon in bestrahltem Camembert. *Bundesgesundheitsblatt.* 9: 380-381 (1993)
16. Stevenson, M.H. Validation of the cyclobutanone protocol for detection of irradiated lipid containing foods by interlaboratory trials, pp.269-284. In: *Detection Methods for Irradiated Foods: Current Status.* McMurray, C.H., Stewart, E.M., Gray, R. and Pearce, J. (eds.). Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK (1996)
17. LeTellier, P.R. and Nawar, W.W. 2-Alkylcyclobutanones from the radiolysis of triglycerides. *Lipids.* 7: 75-76 (1972)
18. Handel, A.P. and Nawar, W.W. Radiolysis of saturated phospholipids. *Radiat. Res.* 86: 437-444 (1981)
19. Stevenson, M.H., Crone, A.V.J. and Hamilton, J.T.G. Irradiation detection, *Nature.* 334: 202-203 (1990)
20. Crone, A.V.J., Hand, M.V., Hamilton, J.T.G., Sharma, N.D., Boyd, D.R. and Stevenson, M.H. Synthesis, characterisation and use of 2-tetradecylcyclobutanone together with other cyclobutanones as markers for irradiated liquid whole egg. *J. Sci. Food Agric.* 62: 361-367 (1993)
21. FDA. Irradiation in the production, processing and handling of food. *Federal Register.* 62(232): 64017-64121 (1997)
22. FDA. Poultry irradiation to control food-borne illness. *HHS New Release.* P90-27 (1990)
23. Kim, K.S., Kim, E.A., Yang, J.S. and Byun, M.W. Quantitative comparison of radiation-induced hydrocarbons from irradiated beef, pork and chicken. *Kor. J. Food Sci. Technol.* 31: 301-307 (1999)
24. Schreiber, G.A., Schulzki, G., Spiegelberg, A., Helle, N. and Bögl, K.W. Evaluation of a gas chromatographic method to identify irradiated chicken, pork and beef by detection of volatile hydrocarbons. *JAOCS Int.* 77: 1202-1217 (1994)
25. Stevenson, M.H., Crone, A.V.J. and Hamilton, J.T.G. The use of 2-alkylcyclobutanones for the detection of irradiated lipid containing foods, pp.333-341. In: *BCR Information: Recent Advances on the Detection of Irradiated Food, EUR/14315/EN.* Commission of the European Communities, Brussels · Luxemburg, Belgium (1993)

(1999년 10월 8일 접수)