

## 생난황, 삶은 난황 및 난황분에서 방사선 조사에 의해 유도된 2-Alkylcyclobutanone류의 정량적 비교 분석

서혜영 · 김경수<sup>†</sup>

조선대학교 식품영양학과

### Quantitative Comparison of 2-Alkylcyclobutanones from Raw Egg Yolk, Boiled Egg Yolk, and Egg Yolk Powder

Hye-Young Seo and Kyong-Su Kim<sup>†</sup>

Dept. of Food and Nutrition, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

#### Abstract

We investigated the usefulness of 2-alkylcyclobutanones as markers for irradiated eggs and egg products by comparing 2-alkylcyclobutanone concentrations in irradiated raw egg yolk, boiled egg yolk, and egg yolk powder. One method of detection radiation-induced 2-alkylcyclobutanones involves extraction fat from irradiated egg samples, separating 2-alkylcyclobutanones by florisil column chromatography, and identifying GC/MS. 2-(5'-Tetradecenyl)cyclobutanone of 2-alkylcyclobutanones was high relatively in boiled egg yolk, but 2-decylcyclobutanone was high in raw egg yolk and egg yolk powder. Concentrations of the radiation-induced 2-alkylcyclobutanones increased linearly with the irradiation dose. The radiation-induced 2-alkylcyclobutanones from egg samples at 0.5 kGy over and not detected at the non-irradiated samples. Therefore, these compounds could be used as marker of post-irradiation for egg products.

**Key words:** raw egg yolk, boiled egg yolk, egg yolk powder, 2-alkylcyclobutanones, irradiation

#### 서 론

식품산업에서 식품조사기술은 초기에 주로 발아/발근억제, 속도지연, 저곡해충 구제 등과 같은 저장성 향상을 목적으로 사용되어 왔으나 최근에 이르러서는 병원성 미생물 살균 기술의 목적으로 주로 사용되고 있다. 특히, O-157:H7, *Salmonella*, *Staphylococcus* 등과 같은 미생물에 의한 식중독 사고가 점차 대형화되고 있는 실정으로 미국과 캐나다를 비롯한 유럽의 여러 나라에서는 상당량의 닭고기나 육류에 대한 살균방법으로 식품조사기술을 도입하고 있으며 미국은 유·소아의 식중독을 방지하기 위해 이 기술을 권고하였고, 학교 단체급식에 조사된 식품의 공급을 예고하고 신선란(fresh eggs)에 대한 처리를 승인하였다(1). 이렇듯 방사선 식품조사가 식품의 위생화를 위해 사용되고 있으며, 그 중 계란 및 그 가공품의 경우 조사 허용국가 52개국 중 11개국에서 방사선 조사를 허가하고 있다(2).

그러나, 소비자들은 안전성과 건전성이 공식적으로 인정된 조사식품(3,4)임에도 불구하고 조사식품에 대한 정보가 부족하여 거부감을 느끼고 있으며, 방사선이 조사된 식품과 조사되지 않은 식품을 구별하여 자유롭게 선택할 수 있기를

바란다. 이를 위해서는 조사식품의 표시(labeling)가 그 정성을 확인하는데 필요하며 이러한 국내외적 규제사항을 제시하고 방사선 조사기술의 남용을 막기 위해 방사선 조사식품의 검지방법이 필요하다(5).

현재까지 연구된 검지방법으로는 electron spin resonance (ESR)방법, thermoluminescence(TL)법, DNA comet assay, hydrocarbon류와 2-alkylcyclobutanone류를 확인하는 GC와 GC/MS 분석방법 등(6,7)이 있으며, 이를 이용하여 국내에서도 다양한 식품군에 대한 적용 예를 보고하고 있다(8-13). 이런 검지방법 중 hydrocarbon류와 2-alkylcyclobutanone류를 분석하는 방법은 지방을 함유한 모든 식품에 적용할 수 있는 화학적 검지방법으로 Nawar group(14-17)에 의해 처음으로 시도되었으며, 그 이후로 이를 방사선 조사 식품의 검지방법으로 활용하기 위한 기술로 개발 발전시켜 왔다.

2-Alkylcyclobutanone류의 검출방법은 Stevenson 등(18-24)에 의해 개발되었으며, 조사식품으로부터 hexane을 이용하여 Soxhlet 추출법으로 지방을 추출한 뒤, 불활성화된 florisil을 사용한 흡착 chromatography에 의해 2-alkylcyclobutanone류를 분리하고 GC/MS로 분석하는 방법으로 닭고기, 계란(whole egg), 돼지고기, 소고기, Camembert cheese,

<sup>†</sup>Corresponding author. E-mail: kskim@mail.chosun.ac.kr  
Phone: 82-62-230-7724, Fax: 82-62-224-8880

salmon, mango, papaya 등 다양한 조사식품을 검출하는데 사용되었다.

계란 및 그 가공품은 식품산업에서 중요한 재료로 사용되며 계란 가공품의 국제무역이 증가하면서 상품에 의한 질병이 문제되어 위생화를 위해 방사선 조사를 이용하고 있다. 현재 국내에서도 입안 예고 중인 방사선 조사 허가품목에 허가선량 5 kGy 이하로 전란분, 난황분, 난백분이 포함되어 있다(25). 이렇듯 허가품목이 확대되고 국제무역이 증가하는 가운데 국내로 수입되는 무표시 조사식품의 유입을 차단할 검지기술로 2-alkylcyclobutanone류의 검출방법을 계란 및 그 가공품에 적용하고자 하였다. 계란에는 상당히 높은 양의 지질이 함유되어 있기 때문에 계란의 방사선 조사유무를 판별하기 위해서 방사선 조사에 의해 유도된 hydrocarbon류나 2-alkylcyclobutanone류를 검출하는 방법이 유용할 것이다.

이번 연구에서는 방사선 조사된 계란 및 그 가공품의 조사유무를 확인하기 위한 marker로서 2-alkylcyclobutanone류를 검출하였고, 이들 화합물의 검출을 표준화하기 위해 방사선 조사되기 전의 계란 상태가 방사선 조사 유도되는 2-alkylcyclobutanone류의 형성에 영향을 미치는지 생난황, 삶은 난황 및 난황분을 사용하여 확인하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용한 계란은 광주에 있는 대형시장에서 구입하여 생난황은 그대로 사용하였고, 삶은 난황은 끓는 물에 30분간 유지시켜 준비하였으며, 생난황을 동결건조하여 난황분을 준비하였다. 이들 시료는 한국원자력연구소 내에 있는 선원 10만 Ci의  $^{60}\text{Co}$  감마선 조사시설을 이용하여 시간당 2.5 kGy 선량률로 각각 0.5, 1, 3, 5 및 10 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 조사하였으며, 흡수선량의 오차는  $\pm 0.02$  kGy이었다. 이를 비조사 대조시료와 함께  $-18^\circ\text{C}$ 로 냉동저장하면서 실험에 사용하였다.

### 시약

본 연구에 사용한 모든 시약은 특급시약으로 미국 Sigma사에서 구입하였고, 지방분해산물인 2-alkylcyclobutanone류의 standard는 독일 TeLA사로부터 구입하였다. 지방추출 및 chromatography에 사용한 n-hexane, diethyl ether 등 유기용매는 Fisher Scientific(USA)에서 HPLC grade로 구입하여 이를 다시 Wire spiral packed double distilling 장치(Normschliff, Geratebau, Germany)로 재증류한 것을 사용하였다. Florisil(60~100 mesh)은 Fisher Scientific(USA) 제품을 구입하여  $550^\circ\text{C}$  회화로에서 하룻저녁 태워 오염물을 제거하고 밀봉 저장하였다가 사용 전 5시간 이상  $130^\circ\text{C}$ 에서 탈수하여 desiccator에서 방냉한 후 20% 물을 가하여 균질화하고 12시간 이상 방치한 후 불활성화시켜 충전제로 사용하였다.

### 방사선 시료의 지방추출

무수  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ 와 약 10 g의 시료를 혼합하여 추출 thimble에 담고 Soxhlet 장치에서 hexane을 이용하여 6시간 추출하였다. 추출용액은 rotary vacuum evaporator(Büchi, Flawil, Switzerland)와  $\text{N}_2$  gas를 이용하여 추출용매를 제거한 후 지방을 회수하여 실험시료로 사용하였다.

### 2-Alkylcyclobutanone류의 분리

불활성화시킨 florisil 30 g을  $200 \times 20$  mm chromatography column에 충전한 후, 추출한 지방시료 0.2 g에 internal standard인 1 mL 2-cyclohexylcyclohexanone( $1 \mu\text{g}/\text{mL}$  n-hexane)을 첨가하여 column에 가하였다. 3 mL/min 유속으로 150 mL n-hexane을 용리하여 제거한 후, 2% diethyl ether/n-hexane 혼합용매(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/MS 분석기기를 이용하여 분석하였다.

### 2-Alkylcyclobutanone류의 GC/MS 분석

질량분석에 사용한 GC/MS 분석기기는 Shimadzu GC/MS QP-5050(Japan)을 사용하였으며 시료의 이온화는 electron impact ionization(EI) 방법으로 행하였다. GC/MS 분석 조건은 ionization voltage를 70 eV로 하였고, ion source와 injector 온도는 각각  $250^\circ\text{C}$ 로 하였으며, carrier gas는 helium을 사용하였으며, 유속은 1.0 mL/min으로 하였다. 또한 분석할 분자량의 범위( $m/z$ )는 30~350으로 설정하였다. Capillary column은 DB-5( $30 \text{ m} \times 0.32 \text{ mm i.d.}, 0.25 \mu\text{m}$  film thickness, J&W Scientific, Folsom, USA)를 이용하였다. 온도 program은  $120^\circ\text{C}$ 에서 1분 동안 유지하고  $15^\circ\text{C}/\text{min}$  속도로  $160^\circ\text{C}$ 까지,  $0.5^\circ\text{C}/\text{min}$  속도로  $175^\circ\text{C}$ 까지,  $30^\circ\text{C}/\text{min}$  속도로  $290^\circ\text{C}$ 까지 승온시키고 10분간 유지하였다. 시료는 2  $\mu\text{L}$ 를 주입하고, split ratio는 1:20으로 하여 처음 1분 동안 splitless 하였다.

2-Alkylcyclobutanone류는 정량적으로 분석하기 위하여 selected ion monitoring(SIM) 방법을 이용하였다. 정량분석을 위하여 2-alkylcyclobutanone류의 standard인 2-dodecylcyclobutanone(DCB), 2-tetradecylcyclobutanone(TCB) 그리고 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone(TECB), internal standard인 2-cyclohexylcyclohexanone을 0.1~5 ppm 조제하여 이들 용액을 2-alkylcyclobutanone류를 분리하는 방법으로 동일하게 실험하였으며, SIM 방법으로 분석하여 표준 검량선을 작성하였다. 2-Alkylcyclobutanone류 생성량은 표준 검량선과 internal standard를 이용하여 정량하였다. DCB와 TCB는 ion  $m/z$  98, 112를, TECB는 ion  $m/z$  67, 81, 98, 109를 설정하여 시료에서 분리된 2-alkylcyclobutanone류와 standard 물질과의 retention time과 ion ratio를 비교, 확인하였다. 이들 2-alkylcyclobutanone류의 mass spectrum은

GC/MS의 full scan mode로 분석하여 확인하였다.

### 결과 및 고찰

난황유에는 oleic acid(43.6%), palmitic acid(28.2%), linoleic acid(11.2%), stearic acid(8.5%) 등의 지방산들이 많이 함유되어 있다(26). 지방에 방사선을 조사시키면 cyclic 화합물인 2-alkylcyclobutanone류가 지방산이나 triglyceride의 carbonyl기에 존재하는 산소로부터 전자 손실이 일어난 뒤, 또 지방산과 동일한 탄소수를 가지면서 C<sub>2</sub> 위치에 alkyl기를 가진 화합물로서 생성된다(27). 이런 원리를 토대로 하여, 난황유에 많이 함유되어 있는 oleic acid와 palmitic acid로부터 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone(TECB)과 2-dodecylcyclobutanone(DCB)이 생성되며, 소량 함유되어 있는 linoleic acid와 stearic acid로부터 2-(5',8'-tetradecadienyl)cyclobutanone과 2-tetradecylcyclobutanone(TCB)이 생성된다. 그러나 linoleic acid로부터 유도된 2-alkylcyclobutanone 화합물은 standard의 부재로 인하여 확인할 수 없었다. 시료는 지방을 추출한 후 냉동 저장하면서 2주안에 실험에 사용하였고, linoleic acid로부터 유도된 화합물을 제외한 2-alkylcyclobutanone류를 확인하기 위하여 GC/MS의 full scan mode의 total ion chromatogram(TIC)에서 얻은 mass spectrum을 비교하였으며, SIM mode에서 작성한 검량선을 이용하여 정량하여 비교하였다(Table 1).

방사선 조사된 생난황에서 가장 높은 함량을 나타낸 2-alkylcyclobutanone류는 palmitic acid로부터 유도된 2-dodecylcyclobutanone이었으며, oleic acid에서 유도된 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone, stearic acid에서 유도된 2-tetradecylcyclobutanone 순으로 나타났다. 이들의 함량은 조사선량에 따라 직선적으로 증가하였으며 2-dodecylcyclobutanone, 2-tetradecylcyclobutanone 및 2-(5-tetradecenyl)cyclobutanone의 linear regression 상수( $r^2$ )는 각각 0.992,

0.969 및 0.989이었다.

삶은 난황에서 방사선 조사에 의해 유도된 2-alkylcyclobutanone류 중 oleic acid로부터 형성된 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone은 삶은 난황에 함유된 전구체 지방산의 조성에 기인하여 많은 양이 검출되었다. 삶은 난황에 stearic acid보다 palmitic acid가 더 많이 함유된 것처럼 palmitic acid에서 유도된 2-dodecylcyclobutanone이 stearic acid에서 유도된 2-tetradecylcyclobutanone보다 많은 양이 검출되었다. 이들 2-dodecylcyclobutanone, 2-(5-tetradecenyl)cyclobutanone, 2-tetradecylcyclobutanone 함량의 ratio는 3.8:5.2:1이었으며 그들의 전구체 지방산의 ratio인 3.3:5.1:1를 반영하여 생성되었음을 확인할 수 있었다. 방사선 조사 유도된 2-alkylcyclobutanone류의 함량을 도식화하여 나타낸 결과(Fig. 2) 조사선량에 따라 직선적으로 증가하였으며 2-dodecylcyclobutanone, 2-tetradecylcyclobutanone 및 2-(5-tetradecenyl)cyclobutanone의 linear regression 상수( $r^2$ )는 각각 0.994, 0.974 및 0.964이었다.

방사선 조사된 난황분에서 가장 많은 함량을 차지한 2-alkylcyclobutanone류는 palmitic acid로부터 유도된 2-dodecylcyclobutanone이었으며, linear regression 상수( $r^2$ )는 0.978로 조사선량의 증가에 따라 직선적으로 증가하였다. Oleic acid로부터 형성된 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone은 난황분에 함유된 전구체 지방산에 비해 낮은 함량으로 검출되었다. 2-(5'-Tetradecenyl)cyclobutanone의 linear regression 상수( $r^2$ )는 0.957이었으며 조사선량이 증가함에 따라 직선적으로 증가하였다. Stearic acid로부터 유도된 2-tetradecylcyclobutanone 함량이 가장 낮게 검출되었고, linear regression 상수( $r^2$ )는 0.972로 조사선량의 증가에 따라 직선적으로 증가하였다. 이들 2-alkylcyclobutanone류의 생성량의 변화는 선량의 증가에 따라 비슷한 양상을 보이고 있으며, 생난황과 삶은 난황에서 확인된 2-alkylcyclobutanone류의 함량보다 현저히 낮게 검출되었다.

**Table 1. Concentration of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones in raw egg yolk, boiled egg yolk, and egg yolk powder ( $\mu\text{g/g fat}$ )**

Irradiation dose (kGy)	2-Dodecylcyclobutanone			2-Tetradecylcyclobutanone			2-(5'-Tetradecenyl)cyclobutanone		
	REY <sup>1)</sup>	BEY <sup>2)</sup>	EYP <sup>3)</sup>	REY	BEY	EYP	REY	BEY	EYP
0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.5	0.074 $\pm 0.001^{4)}$	0.144 $\pm 0.013$	0.022 $\pm 0.008$	0.020 $\pm 0.002$	0.035 $\pm 0.008$	0.004 $\pm 0.001$	0.053 $\pm 0.008$	0.188 $\pm 0.035$	0.010 $\pm 0.003$
1	0.226 $\pm 0.004$	0.236 $\pm 0.001$	0.063 $\pm 0.001$	0.050 $\pm 0.004$	0.041 $\pm 0.001$	0.013 $\pm 0.001$	0.105 $\pm 0.012$	0.510 $\pm 0.064$	0.028 $\pm 0.006$
3	0.719 $\pm 0.025$	0.483 $\pm 0.047$	0.178 $\pm 0.008$	0.18 $\pm 0.020$	0.117 $\pm 0.012$	0.039 $\pm 0.001$	0.231 $\pm 0.002$	1.137 $\pm 0.098$	0.045 $\pm 0.013$
5	1.545 $\pm 0.049$	0.988 $\pm 0.016$	0.556 $\pm 0.031$	0.446 $\pm 0.031$	0.235 $\pm 0.019$	0.148 $\pm 0.001$	1.024 $\pm 0.035$	2.047 $\pm 0.112$	0.241 $\pm 0.009$
10	3.459 $\pm 0.222$	2.611 $\pm 0.046$	0.972 $\pm 0.046$	0.961 $\pm 0.004$	0.692 $\pm 0.011$	0.268 $\pm 0.022$	1.967 $\pm 0.181$	3.593 $\pm 0.007$	0.461 $\pm 0.021$

<sup>1)</sup>REY: Raw egg yolk, <sup>2)</sup>BEY: Boiled egg yolk, <sup>3)</sup>EYP: Egg yolk powder, <sup>4)</sup>Mean  $\pm$  standard deviation.

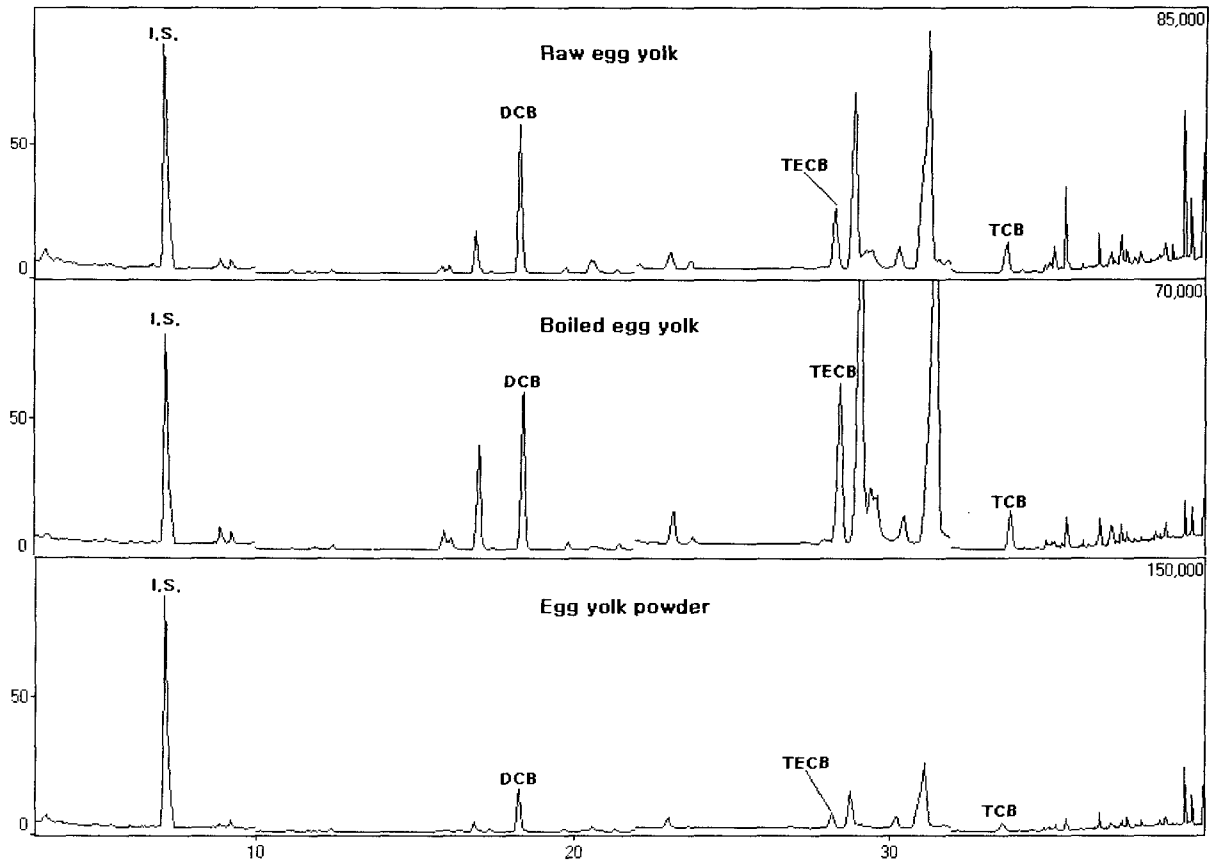


Fig. 1. Chromatograms of radiation-induced 2-alkylcyclobutanones in raw egg yolk, boiled egg yolk, and egg yolk powder at 10 kGy.

난황유에는 oleic acid가 palmitic acid보다 많은 부분을 차지하므로 2-dodecylcyclobutanone보다 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone이 높은 함량으로 존재할 것이라는 것을 예측할 수 있다. 예측한 대로 삶은 난황에서는 모지방산의 조성에 기인하여 2-(5'-tetradecenyl)cyclobutanone이 높은 함량으로 확인되었고, 모지방산의 비율을 반영하였으나, 생난황과 난황분에서는 2-dodecylcyclobutanone이 더 높은 함량으로 검출되었다. 이와 비슷한 결과는 Stevenson(28)에 의해 확인되었는데, 조사된 돼지고기에 존재하는 2-dodecylcyclobutanone류의 함량이 2-tetradecylcyclobutanone의 함량보다 예측된 것보다 상대적으로 적은 양으로 확인되었고, 돼지고기에서 palmitic acid와 stearic acid의 비율은 1.7:1인데 반하여 조사시료에서 2-dodecylcyclobutanone과 2-tetradecylcyclobutanone의 비율은 1:2.4로 나타났다고 보고하였다. 또한 Stewart 등(24)도 방사선 조사된 mango seed의 2-alkylcyclobutanone류의 검출에서 지방산의 비율이 반영되지 않은 결과를 확인하였다. 이러한 결과의 이유는 알려지지 않았지만 glycerol에서 모지방산의 위치가 2-alkylcyclobutanone류의 형성에 영향을 미칠 수 있다고 제안되었다(28).

각 시료에서 방사선 조사에 의해 생성된 2-alkylcyclobutanone류의 함량을 살펴보면, chromatogram상의 peak의

높이로도 알 수 있듯이 2-dodecylcyclobutanone의 경우 생난황에서 높게 검출되었고, 삶은 난황, 난황분 순으로 나타났다(Fig. 1). 2-Tetradecylcyclobutanone의 함량도 생난황에서 다른 시료보다 많은 양으로 확인되었다. 2-(5'-Tetradecenyl)cyclobutanone의 함량은 삶은 난황에서 높게 나타났으며 다음으로 생난황에서 많이 검출되었고, 조사된 난황분에서 삶은 난황에 비해 상대적으로 낮은 함량으로 검출되었다. 전체적으로 살펴볼 때, 생난황과 삶은 난황에서 방사선 조사에 의해 유도된 2-alkylcyclobutanone류의 함량은 비슷하였으나 난황분에서 상대적으로 낮은 함량으로 검출되었다. 이는 수분함량이 조사에 의해 유도되는 2-alkylcyclobutanone류의 형성에 영향을 미칠 수 있다는 것을 나타낸다. 또한 방사선 조사선량 추정에 있어 생란과 난황분을 같은 자료로 적용시킬 수 없다는 것을 나타내며 식품의 원재료 상태에 대한 분석결과가 필요하다는 것을 암시한다.

방사선 조사된 시료에서 생성된 2-alkylcyclobutanone류는 0.5 kGy이상 조사된 시료에서 검출가능하였고, 비조사시료에서는 확인되지 않았다. 닭고기, 돼지고기, 쇠고기 그리고 육가공품에 대한 조사 marker로써 2-alkylcyclobutanone류의 유용성(22,23,28-30)이 잘 알려져 있는 것처럼 계란에서 이들 화합물 또한 방사선 조사 marker로서 유용하게 활용될

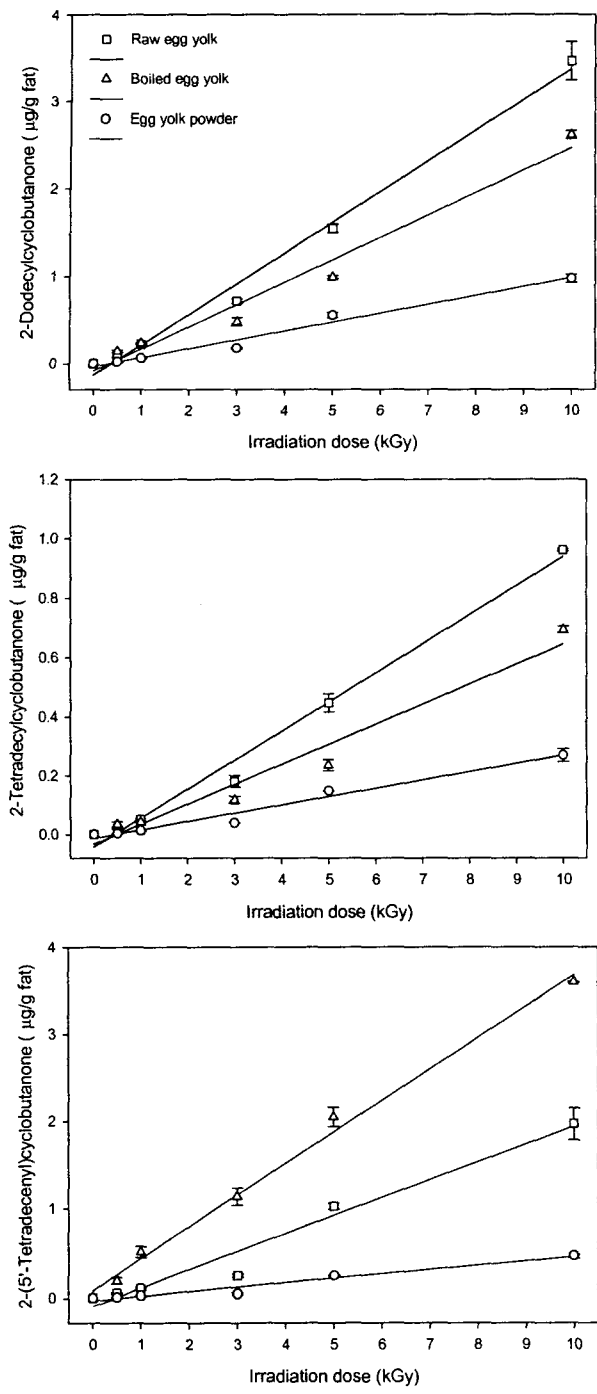


Fig. 2. Effect on radiation doses on radiation-induced 2-alkylcyclobutanones in raw egg yolk, boiled egg yolk, and egg yolk powder.

수 있을 것이다.

요 약

생난황, 삶은 난황 및 난황분을 방사선 조사시켜 생성된 2-alkylcyclobutanone류를 분리하기 위하여 Soxhlet 장치를 이용하여 지방을 추출한 뒤, florisil column chromatography

하였으며, GC/MS 분석기기로 성분을 확인하였다. 0.5~10 kGy의 선량별로 조사된 시료에서 방사선 조사에 의해 생성된 각각의 2-alkylcyclobutanone류 함량이 조사선량에 따라 증가하였으며, 동일한 선량으로 조사된 시료임에도 불구하고 방사선 조사에 의해 생성된 2-alkylcyclobutanone류의 함량이 각각 다르게 정량되었고, 생난황, 삶은 난황, 난황분의 순서로 2-alkylcyclobutanone류의 생성량을 확인하였다. 생난황, 삶은 난황 및 난황분의 방사선 조사에 의해 생성되는 2-alkylcyclobutanone류는 0.5 kGy 이상 조사시료에서 모두 검출되었으며, 비조사 시료에서는 검출되지 않았다.

문 헌

1. Shea KM, Balk SJ, Gitterman BA, Miller MD, Shannon MW, Weil WB, Galson SK, Linet M, Miller RW, Rogan W, Coven B, Bearer CF, Etzel RA, Goldman L, Halbrook B, Kaferstein F, Keener K, Thayer DW, Hall LA. 2000. Technical report: Irradiation of food. *Pediatrics* 106: 1505-1510.
2. ICGFI. 2003. Clearance database, International Consultative Group on Food Irradiation, Available at: <http://www.iaea.org/icgfi/>; updated on July 2003.
3. WHO. 1994. *Food irradiation. In Safety and Nutritional Adequacy of Irradiated Food*. World Health Organization, Geneva, Swiss. Ch 2, p 5-13.
4. WHO. 1999. High-dose irradiation: Wholesomeness of food irradiated with dose above 10 kGy. Report of a Joint FAO/IAEA/WHO Study Group. WHO Technical Report Series 890, Geneva, Swiss.
5. Yang JS. 1997. General survey of detection methods for irradiated foods. *J Korean Nutr Soc* 29: 425-429.
6. Haire DL, Chen G, Janzen EG, Fraser L, Lynch JA. 1997. Identification of irradiated foodstuffs: a review of the recent literature. *Food Res Int* 30: 249-264.
7. Delincée H. 1998. Detection of food treated with ionizing radiation. *Trends Food Sci Technol* 9: 73-82.
8. Nam HS, Woo SH, Ly SY, Yang JS. 2000. Identification of irradiated fishes by ESR spectroscopy. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 29: 425-429.
9. Jeong SK, Park JH, Ji ST, Park KJ, Kim HH, Hyun CK, Shin HK. 2000. Discrimination of irradiated beef using Comet assay. *Korean J Food Sci Technol* 32: 747-754.
10. Woo SH, Yi SD, Yang JS. 2000. Detection of irradiated agricultural products by thermoluminescence (TL). *Korean J Food Sci Technol* 32: 525-530.
11. Lee HJ, Kim KY. 2001. Analysis of radiolytically produced hydrocarbons and 2-alkylcyclobutanones from irradiated pinenut. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 37-42.
12. Lee EY, Kim MO, Lee HJ, Kim KS, Kwon JH. 2001. Detection characteristics of hydrocarbons from irradiated legumes of Korean and Chinese origins. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 30: 770-776.
13. Lee HJ, Yun IN, Seo HY, Song HP, Hong CH, Kim KS. 2002. Analysis of radiolytic compounds of lipids for the detection of irradiation in dried *Mytilus coruscus*. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 599-603.
14. Champagne JR, Nawar WW. 1969. The volatile components of irradiated beef and pork fats. *J Food Sci* 34: 335-339.
15. Dubravcic MF, Nawar WW. 1969. Effects of high-energy radiation on the lipids of fish. *J Agric Food Chem* 17: 639-644.

16. LeTellier PR, Nawar WW. 1972. 2-Alkylcyclobutanones from the radiolysis of triglycerides. *Lipids* 7: 75-763.
17. Kavalam JR, Nawar WW. 1969. Effects of ionizing radiation on some vegetable fats. *JAOCs* 54: 1501.
18. Stevenson MH, Corne AVJ, Hamilton JTG. 1990. Irradiation detection. *Nature* 344: 202-203.
19. Boyd DR, Crone AVJ, Hamilton JTG, Hand MV. 1991. Synthesis, characterization and potential use of 2-dodecylcyclobutanone as a marker for irradiated chicken. *J Agric Food Chem* 39: 789-792.
20. Stevenson MH. 1992. Progress in the identification of irradiated food. *Trends Food Sci Technol* 3: 257-262.
21. Crone AVJ, Hamilton JTG, Stevenson MH. 1992. The detection of 2-dodecylcyclobutanone in radiation-sterilized chicken stored for several years. *Int J Food Sci Technol* 27: 691-696.
22. Crone AVJ, Hand MV, Hamilton JTG, Sharma ND, Boyd DR, Stevenson MH. 1993. 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.
22. Stevenson MH, Crone AVJ, Hamilton JTG, McMurray CH. 1993. The use of 2-dodecylcyclobutanone for the identification of irradiated chicken meat and eggs. *Radiat Phys Chem* 42: 363-366.
23. Stevenson MH. 1996. Validation of the cyclobutanone protocol for detection of irradiated lipid containing foods by interlaboratory trials. In *Detection methods for irradiated foods, current status*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, UK. p 269-284.
24. Stewart EM, Moore S, Grahm WD, McRoberts WC, Hamilton JTG. 2000. 2-Alkylcyclobutanones as markers for the detection of irradiated mango, papaya, camembert cheese and salmon meat. *J Sci Food Agric* 80: 121-130.
25. Byun MW, Lee JW. 2003. Application of irradiation technology for food safety and security. *Food Sci Ind* 36: 25-33.
26. Koh MS, Kim JS, Choi OJ, Kim YD. 1997. Studies on the fatty acid composition of egg yolk oil. *Korean J Soc Food Sci* 13: 87-91.
27. LeTellier PR, Nawar WW. 1972. 2-Alkylcyclobutanones from the radiolysis of triglycerides. *Lipids* 7: 75-76.
28. Stevenson MH. 1994. Identification of irradiated foods using electron spin resonance spectroscopy and by detection of 2-alkylcyclobutanones. *Food Technol* 48: 141-144.
29. Crone AVJ. 1993. The use of 2-alkylcyclobutanones as markers for the identification of irradiated lipid containing foods. *PhD Thesis*. The Queen's University of Belfast, UK.
30. Crone AVJ, Hamilton JTG, Stevenson MH. 1993. 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.

(2003년 7월 24일 접수; 2003년 11월 18일 채택)