

국산 및 중국산 두류의 감마선 조사에 따른 Hydrocarbon류의 검출 특성

이은영 · 김미옥 · 이해정* · 김경수* · 권중호†

경북대학교 식품공학과
*조선대학교 식품영양학과

Detection Characteristics of Hydrocarbons from Irradiated Legumes of Korean and Chinese Origins

Eunyoung Lee, Mi Ok Kim, Hae-Jung Lee*, Kyong-Su Kim* and Joong-Ho Kwon†

Dept. of Food Science and Technology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

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

Abstract

To compare chemical properties of irradiated legumes (soybean, peanut, red bean, mung bean) produced in Korea and China, radiation-induced hydrocarbons from the samples were investigated. The legumes were gamma-irradiated at 0.5, 1, 2 and 4 kGy, from which lipid was extracted with hexane. Hydrocarbons were separated by florasil column chromatography and then analyzed with GC-MS method. The chromatograms of irradiated samples showed several radiation-induced hydrocarbons, which were affected by the fatty acid compositions of legumes. Hydrocarbons, such as 1,7,10-hexadecatriene (16 : 3), 6,9-heptadecadiene (17 : 2), 1,7-hexadecadiene (16 : 2) and 8-heptadecene (17 : 1), were predominantly detected in soybean, peanut and red bean irradiated at 0.5 kGy or above, whereas 17 : 1 was not found in mung bean. The detected amount of hydrocarbons increased with irradiation doses. There is no apparent difference in qualitative and quantitative profiles of the corresponding hydrocarbons depending on the origin of legumes.

Key words: legumes, origin, irradiation detection, hydrocarbons

서 론

방사선 조사식품의 안전성과 기술적 타당성이 국제적으로 인정됨에 따라 식품조사기술(food irradiation technology)의 적용 연구와 실용화 확대를 위한 기술적 인프라 구축 연구가 국내외적으로 활발하게 진행되고 있다(1,2). 이러한 시점에서 국내에서 생산되는 방사선 조사 식품의 유통관리와 수입농산물의 방사선 조사 여부 판별기술이 필요한 실정이다. 특히, 중국산 농산물의 수입량이 크게 증가하고 있는 실정에서 방사선 처리 여부를 검지할 수 있는 분석방법의 확보는 농산물의 무분별한 수입을 어느 정도 규제하고, 우리 농산물 시장을 보호할 수 있는 기술적 방안이 될 것으로 생각된다.

방사선조사에 의해서 피조사체 식품에서 발생될 수 있는 변화는 대개 free radical의 생성, 혼입된 미네랄의 열발광 특성, 점도저하, hydrocarbon류 생성, DNA 이중쇄 염기의 변화, 미생물수 감소, 발아력 저하 등이 알려지고 있다(3). 따라서 방사선조사에 의해서 야기되는 이와 같은 변화를 선택적으로 확인·검지하기 위하여 electron spin resonance (ESR) spectroscopy(4), thermoluminescence(TL) 분석(5), GC/MS

를 이용한 hydrocarbon 및 alkylcyclobutanone 검출(6), viscosity 측정(7), DNA comet assay(8) 등의 방법들이 활발히 연구 개발되고 있다. 이 중 지방질을 다량 함유한 식품은 hydrocarbon류의 검출이 방사선 조사 여부 판별을 위한 가장 유망한 방법으로 고려되고 있으며, 주로 동물성 식품을 대상으로 연구가 진행되었고, 일부 지방질이 다량 함유된 식물성 식품인 경우에도 제한적으로 연구가 수행되고 있다. 즉, 최근 대두(9), 땅콩(10), 잣(11) 등을 대상으로 방사선 조사 후 hydrocarbon류를 분석하였을 때 방사선조사 여부의 판별 가능성이 보고되고 있다.

두류는 수확 후 저장 유통 중 해충 발생이 빈번한 농산물이며, 장기저장이나 수출을 위해서는 해충관리가 필요하다. 본 연구는 국내산 및 중국산 두류의 방사선 조사에 따른 hydrocarbon류의 검출 특성을 비교·검토하여 방사선 처리 농산물의 수입관리에 필요한 검지기술 자료를 마련하고자 하였다.

재료 및 방법

시료

본 실험에 사용된 두류 시료는 교역량이 비교적 많은 대두,

†Corresponding author. E-mail: jhkwon@knu.ac.kr
Phone: 82-53-950-5775. Fax: 82-53-950-6772

땅콩, 적두 및 녹두를 선정하고 국산과 중국산으로 구분하여 구입하였다. 국산 두류는 경북 상주 및 문경지역에서 1999년에 수확된 것을 사용하였고, 중국산은 같은 시기에 농수산부 유통공사 유통망을 통하여 구입하여 검지시험용 시료로 사용하였다.

지방산 분석

검지시험에 사용된 두류의 지방산 조성을 비교하기 위하여 분쇄된 시료 20 g을 원통여지(Whatman, 26 mm×10 mm)에 넣고 diethyl ether를 가하여 Soxhlet 추출법으로 16시간 연속 추출한 후 추출물을 감압 농축하였다. 추출된 조지방질을 Metcalf 등(12)의 방법에 준하여 1 N KOH/EtOH로 검화한 후 14% BF₃ soln/MeOH을 가하여 methyl ester화시킨 다음 gas chromatograph(GC)로 분석하였다. 분석조건은 모델, Varian star 3400 CX; column, DB-FFAP 122-3232(30 m×0.25 mm I.D.); column temperature, 150°C(2 min)에서 180°C(5 min)까지 5°C/min 승온; detector, FID; carrier gas, N₂; flow rate, 30 mL/min; injector temperature, 240°C; detector temperature, 250°C; injection volume, 1 µL 등이었다.

방사선 조사

시료의 방사선 조사는 ⁶⁰Co 감마선 조사시설(한국원자력연구소)을 이용하여 실온에서 시간당 일정한 선량률로 0.5, 1, 2 및 4 kGy의 총 흡수선량을 얻도록 하였으며, 흡수선량의 오차는 ±5% 미만이었다. 감마선 조사 시료는 대조시료와 함께 실온에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

지방질 추출 및 hydrocarbon 분리

시료로부터의 지방질 추출은 Choi & Hwang의 방법(13)에 준하여 Na₂SO₄와 n-hexane을 사용하여 추출하였으며, 원심분리(3400 rpm, 4°C, 20 min)하여 상층액을 취해 rotary vacuum evaporator(Buchi Rotavapor R110, Germany)를 사용하여 40°C 이하에서 용매를 휘발시켜 지방질을 얻었다. Hydrocarbon 분석시 사용된 hexane은 모두 HPLC용(Merck, Germany)이었다. Hydrocarbon 분리에 사용된 chromatography용 florisil(Fisher Scientific, USA, 60~100 mesh)은 휘발성 유기오염물질을 제거하기 위하여 550°C 회화로에서 하루 밤 태워 상온으로 식힌 후 3% 물을 가한 뒤 균질화하고, 이를 12시간 이상 방치 후 불활성화시켜 충전제로 사용하였다. Teflon stopcock가 부착된 유리 column(2.3×20 cm)을 n-hexane으로 씻은 후 25 g의 불활성화시킨 florisil을 충전하였다. 정량분석을 위하여 추출 지방질 1 g에 n-eicosane(4 µg/mL n-hexane)을 internal standard로 첨가하고 florisil column에 가한 뒤 1.5 mL/min 속도로 60 mL를 받아 내용물이 약 5 mL 될 때까지 rotary evaporator(40°C, 355 mbar)로 농축한 후 0.5 mL까지 고순도 질소(99.99%)로 농축하여 GC/MS 분석용 시료로 하였다(14-16).

GC-MS 분석

분리된 hydrocarbon류의 질량분석용 GC/MS 분석기기는

Hewlett-Packard 6890(USA)를 사용하였으며, 시료의 이온화는 electron impact ionization(EI) 방법으로 하였다. 분석 조건은 ionization voltage 70 eV, ion source temperature 230°C로 각각 하였다. Column은 DB-5(J&W, 30 m×0.32 mm i.d., 0.25 µm film thickness; J&W Scientific, Folsom, CA, USA)를 사용하였고, carrier gas는 helium을 1.0 mL/min 조건으로 사용하여 실험하였다. Injector와 detector의 온도는 각각 250°C로 하였다. Oven 온도는 60°C에서 170°C까지 25°C/min 속도로, 205°C까지는 2°C/min 속도로 승온하였고, 다시 10°C/min 속도로 270°C까지 승온시켰다. 분석 시료는 2 µL를 주입하였으며, 초기에는 splitless, 2분 후에는 split(1:20)로 하였다. 분리된 성분의 확인은 준비된 표준품[1-tetradecene(14:1), pentadecane(15:0), 1-hexadecene(16:1), 1,7-hexadecadiene(16:2), heptadecane(17:0), 8-heptadecene(17:1) 등, TeLA GmbH Berlin, Germany]과의 retention time 비교와 mass spectrum 대조로써 실시하였으며, internal standard를 사용하여 hydrocarbon류의 생성량을 정량하였다.

이상의 hydrocarbon 분석은 2회 반복으로 실시하여 평균값으로 나타내었다.

결과 및 고찰

두류의 지방산 조성

식품에 함유되어 있는 지방질은 고에너지의 방사선에 의해 지방질 분자 내 탄소 사이의 결합이 끊어짐과 동시에 re-arrangement와 같은 반응, 즉 carboxylic group이 제거되면서 모 지방산보다 탄소수가 한 개 적은 것(C_{n-1}), 그리고 carboxylic group과 이것에 인접한 탄소가 제거되면서 1번 탄소에 이중결합이 형성되는 것(C_{n-2}) 등을 수반하여 여러 종류의 방사선 분해산물(radiolytic product)이 생성된다고 보고되어 있다(14,17). 이 때 생성되는 주요 hydrocarbon류로서는 linoleic acid로부터 생성되는 6,9-heptadecadiene(17:2)과 1,7,10-hexadecatriene(16:3), oleic acid로부터 생성되는 8-heptadecene(17:1)과 1,7-hexadecadiene(16:2), 그리고 palmitic acid로부터 생성되는 pentadecane(15:0)과 1-tetradecene(14:1) 등을 기대할 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 대두, 땅콩, 적두 및 녹두를 대상으로 방사선 조사시 생성되는 hydrocarbon류의 검출특성을 검토하기 위하여 국산 및 중국산 각 시료의 지방산 조성을 분석하여 Table 1에 나타내었다.

대두의 경우 palmitic acid를 비롯한 8종의 지방산이, 땅콩은 7종, 적두는 6종, 녹두는 7종의 지방산이 각각 확인되었다. 대두유에 함유된 지방산 조성을 살펴보면 국산과 중국산 모두 거의 유사한 패턴을 나타내었다. 구성지방산으로는 linoleic acid와 oleic acid가 전체 지방산의 약 78%를 차지하였으며, 포화지방산이 전체 지방산의 13%, 불포화지방산은 약 87%를 차지하였다. 땅콩에 함유된 지방산 조성을 살펴보면 국산 및 중국산 모두 거의 같은 패턴으로 oleic acid와 linoleic

Table 1. Composition of fatty acid in legume of Korean and Chinese origins

(unit : %)

Fatty acid	Sample	Soybean		Peanut		Red bean		Mung bean	
		Korea	China	Korea	China	Korea	China	Korea	China
Palmitic acid (16:0)		9.83	10.16	9.04	8.34	21.46	21.45	24.35	24.34
Palmitoleic acid (16:1)		0.05	0.04	-	-	-	-	-	-
Heptadecanoic acid (17:0)		0.09	0.07	-	-	-	-	-	-
Stearic acid (18:0)		2.86	2.57	1.24	1.54	4.67	4.88	6.75	6.74
Oleic acid (18:1)		23.32	22.57	50.97	49.76	11.46	12.34	3.45	3.44
Linoleic acid (18:2)		54.26	54.67	26.95	27.34	38.08	38.45	38.56	37.45
Linolenic acid (18:3)		9.23	9.45	8.29	7.34	21.00	21.02	21.45	22.34
Arachidic acid (20:0)		0.27	0.26	0.31	0.42	-	-	2.04	2.07
Behenic acid (22:0)		-	-	0.23	0.12	2.16	2.34	3.01	2.98
Unk ¹⁾		-	-	-	-	2.19	2.17	-	-
TSFA ²⁾		13.05	13.06	10.82	10.42	28.29	28.67	36.15	35.13
TUSFA ³⁾		86.86	86.73	86.21	84.44	70.54	71.81	63.46	63.23

¹⁾Unknown compound.²⁾Total saturated fatty acid.³⁾Total unsaturated fatty acid.

acid가 전체 지방산의 약 78%를 차지하였고, 포화지방산 11%, 불포화지방산 약 84~87%의 함량을 나타내었다. 적두 중에 함유된 지방산 조성은 국산 및 중국산 모두 거의 유사한 경향으로 linoleic acid, palmitic acid, linolenic acid 및 oleic acid가 90% 이상을 차지하였다. 그리고 포화지방산은 전체 지방산의 28%를, 불포화지방산은 약 72%를 각각 차지하였다. 녹두의 지방산 조성을 살펴보면 국산 및 중국산 모두 거의 유사한 경향을 나타내었고 linoleic acid, palmitic acid 및 linolenic acid가 전체 지방산의 84% 이상을 차지하였다. 전체 지방산 중 포화지방산은 34~38%를, 불포화지방산은 62~70%를 나타내었다. 이상의 결과에서 볼 때 두류의 지방산 조성은 국산과 중국산 시료에서 유의적인 차이($p > 0.05$)를 확인할 수 없었으며, 이들의 지방산 패턴은 한국산 두류의 지방질 성분에 대한 보고(18)를 뒷받침하는 수준이었다.

Hydrocarbon류의 검출특성

대두 시료로부터 분리된 주요 hydrocarbon류의 분석 결과, 국산 및 중국산 모두 방사선 조사 시료와 비조사 시료 간의 차이가 명확하게 나타났다. 조사선량이 증가함에 따라 주요 hydrocarbon의 검출량이 뚜렷하게 증가되었다. 이러한 국산 대

두의 결과는 Hwang 등 (9)의 국산 대두에 대한 보고와 유사하였다. 또한, 대두에는 linoleic acid(약 55%), oleic acid(23%), palmitic acid(10%)가 각각 구성되어 있어서 linoleic acid 유래의 17:2과 16:3, oleic acid 유래의 17:1과 16:2, palmitic acid 유래의 15:0과 14:1이 각각 예상대로 검출되었다(14,17). 이와 같이 비조사 시료에서는 14:0, 15:0, 16:0 및 17:0을 제외하고는 뚜렷한 hydrocarbon류의 검출이 없었다. 그러나 감마선 조사구에서는 방사선 조사 유래의 주요 hydrocarbon류가 유의적인 수준으로 검출되었으므로 대두의 hydrocarbon류 분석은 방사선 조사 여부 검지를 위한 marker로서 활용이 기대된다. 그리고 14:1과 같은 hydrocarbon도 조사 시료에서 검출되었으나 아주 미량이었다. 이상의 결과는 방사선 조사 대두 및 땅콩의 hydrocarbon류 생성 특성에 대한 보고(9,10)를 잘 뒷받침하였다.

검출된 hydrocarbon류의 함량을 비교해 보면, 대두의 지방질에는 linoleic acid가 가장 많이 함유되어 있어서 예상대로 16:3와 17:2이 가장 많이 검출되었고, 다음으로 oleic acid가 많이 함유되어 있기 때문에 16:2와 17:1이 많이 검출되었다(Fig. 1). 이와 같이 대두에서 검출된 상위 주요 hydro-

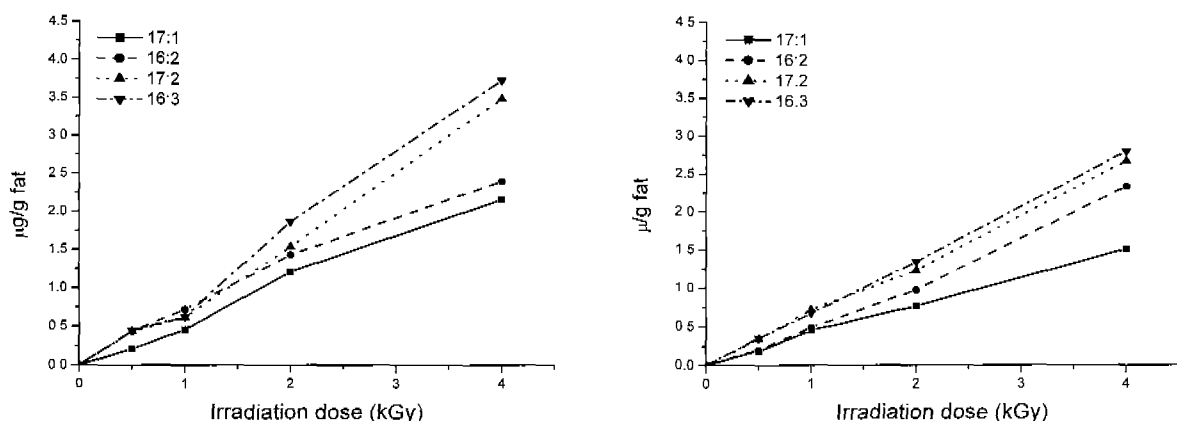


Fig. 1. Prominent hydrocarbons detected in gamma-irradiated soybean (left: Korean, right: Chinese).

carbon류에 대하여 국산 및 중국산 시료 모두에서 방사선 조사 시료와 비조사 시료 간에 차이가 명확히 나타났으며, 조사 선량의 증가에 따라 주요 hydrocarbon 검출량이 매우 뚜렷하게 증가되었다. 그러나 국산 및 중국산 시료에서 검출되는 hydrocarbon류의 종류와 양에는 큰 차이를 보이지 않음을 확인할 수 있었다.

중국에서는 땅콩의 해충구제를 목적으로 0.4 kGy까지의 방사선 조사를 허용하고 있다(19). 땅콩의 원산지별 hydrocarbon류 검출 특성을 확인하기 위하여 땅콩의 지방산 조성을 확인하였고(Table 1), 방사선 조사 땅콩에서 지방산 조성 중 아주 높은 함량을 보인 oleic acid (49.76~50.97%) 유래의 16:2와 17:1, linoleic acid (27.34~26.95%) 유래의 16:3과 17:2이 각각 높은 수준으로 검출되었다. 이들의 생성량은 조사선량과 비례하여 증가하였으며, 이러한 결과는 0.1~10 kGy 조사시킨 국산 땅콩에 대한 보고(10)와 일치하였다. 이 같이 국산 및 중국산 땅콩 모두에서 비조사구에서는 검출되지 않던 16:2, 17:1, 16:3 및 17:2의 피크가 0.5 kGy 이상의

선량으로 조사시킨 땅콩에서는 정량적으로 검출되었으므로 (Fig. 2), hydrocarbon류 분석은 땅콩의 방사선 조사 여부 검지에 이용 가능성이 있음이 확인되었다. 본 연구의 결과로 미루어 볼 때 국산 및 중국산 땅콩 간의 hydrocarbon류 생성에는 큰 차이가 없었으나, 비교적 낮은 선량에서도 비조사구와 조사구간의 판별은 아주 용이하였다.

한편, 적두의 방사선 조사에 따른 hydrocarbon류 검출에 대해서는 아직 보고된 바가 없다. Fig. 3과 4는 국산 및 중국산 적두의 감마선 조사 여부에 따른 hydrocarbon류 분석 chromatogram을 각각 나타내었다. 적두의 지방산 조성은 Table 1과 같이 linoleic acid, palmitic acid, linolenic acid, oleic acid 등의 순으로 높은 함량을 나타내었다. 이들 결과에서 보면 linoleic acid로부터 생성되는 17:2와 16:3의 피크가 가장 크게 나타났으며, 소량이긴 하지만 heptadecatriene(17:3)로 추정되는 피크를 국산 및 중국산 적두 모두에서 확인할 수 있었다. 본 실험에서 16:3과 17:3은 표준품의 확보가 곤란하여 직접적인 확인은 어려웠으나 GC-MS 확인 결과, 각각 16:3과

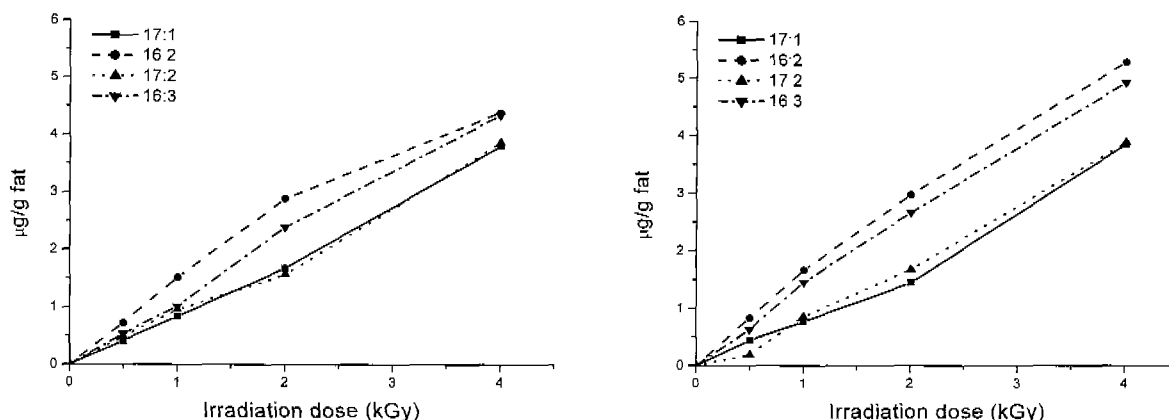


Fig. 2. Prominent hydrocarbons detected in gamma-irradiated peanut (left: Korean, right: Chinese).

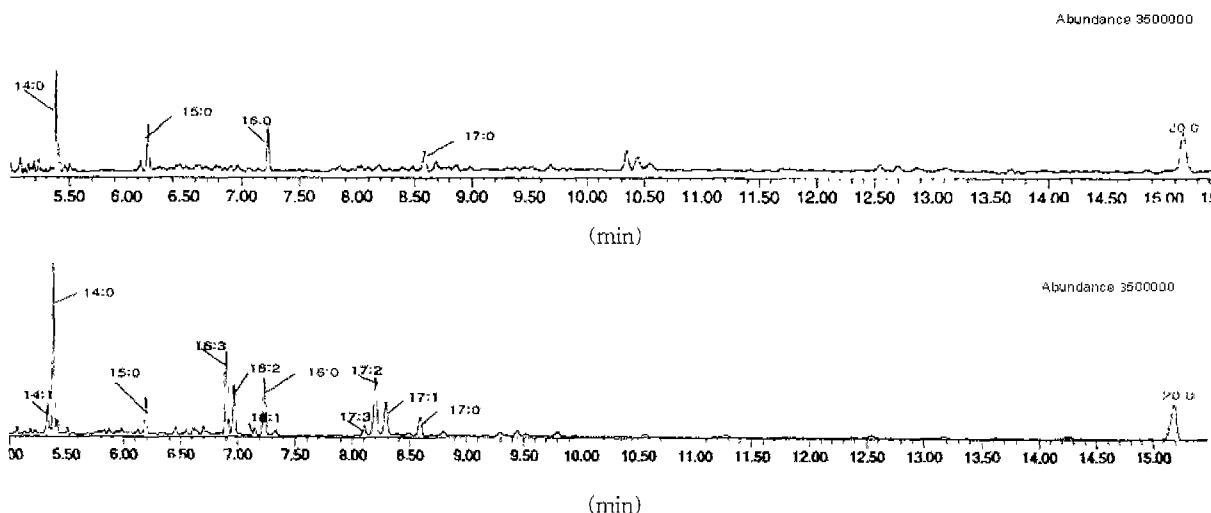


Fig. 3. GC/MS chromatogram of radiation-induced hydrocarbons in gamma-irradiated red bean produced in Korea (top: non-irradiated, bottom: 4 kGy-irradiated).

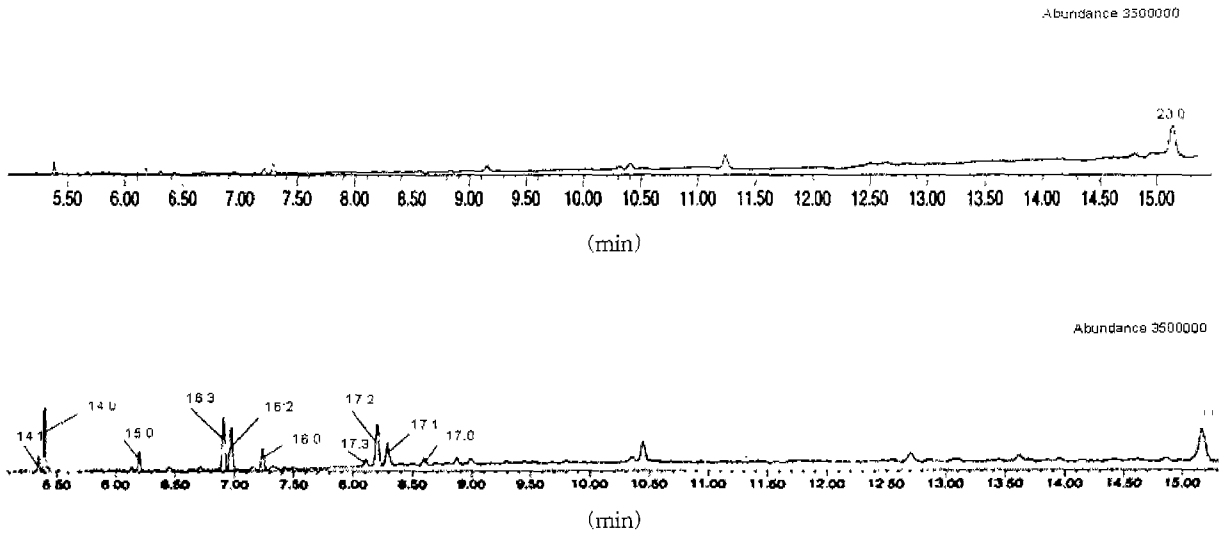


Fig. 4. GC/MS chromatogram of radiation-induced hydrocarbons in gamma-irradiated red bean produced in China (top: non-irradiated, bottom: 4 kGy-irradiated).

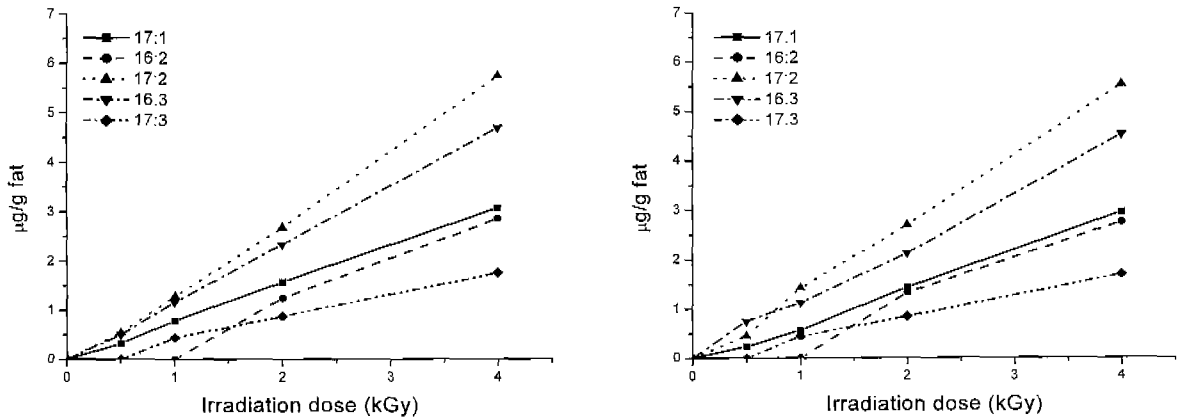


Fig. 5. Prominent hydrocarbons detected in gamma-irradiated red bean (left: Korean, right: Chinese).

17:3인 것으로 확인되었다. 이외에도 적두에서는 17:1과 16:2에 해당되는 피크가 확인되었으며, 이들의 선량의존성은 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 국산 및 중국산 적두에서 0.5 kGy 이상 조사시킨 시료에서 17:2, 16:3, 17:1, 16:2 및 17:3의 피크가 정량적으로 검출되었으며, 원산지별 hydrocarbon류의 종류와 함량에는 큰 차이가 없었다.

한편, 방사선 조사된 국산 및 중국산 녹두의 hydrocarbon류 생성특성은 Fig. 6 및 7의 chromatogram과 같다. 녹두의 지방산 조성을 보면(Table 1) linoleic acid가 약 38%로, 이로부터 생성되는 17:2와 16:3의 함량이 가장 많을 것으로 예상되었으며, 국산 및 중국산 녹두 모두에서 17:2와 16:3에 해당하는 피크가 가장 두드러지게 나타났다. 그리고 linolenic acid도 21%를 차지하여 이로부터 생성되는 hydrocarbon류를 기대할 수 있었으나 17:3과 16:4는 4 kGy 조사된 시료에서도 생성되지 않았다. Palmitic acid 유래의 15:0과 14:1은 비조사 시료에서도 검출되어 방사선 조사여부 확인을 위한 marker로서는 적당하지 않은 것으로 판단된다. 또

한, stearic acid로부터 생성되는 17:1은 4 kGy 조사된 시료에서도 상당히 미량으로 검출되어 marker로서는 적당하지 않은 것으로 여겨진다. 그러나 국산 및 중국산 녹두 모두에서 oleic acid로부터 유래되는 16:2는 1 kGy 이상 조사된 시료에서 조사선량에 비례하여 증가됨을 알 수 있었다(Fig. 8). 녹두의 경우에도 다른 두류의 경우와 마찬가지로 국산과 중국산 시료간에 hydrocarbon류의 종류와 함량에는 거의 차이를 나타내지 않았으며, 조사 선량이 증가함에 따라서 hydrocarbon류의 생성량이 비례적으로 증가되는 것을 확인할 수 있었다.

요 약

방사선 조사 식품의 검지방법을 연구하기 위하여 국산 및 중국산 두류(대두, 땅콩, 적두, 녹두)를 대상으로 0.5~4 kGy의 감마선을 조사하여 hydrocarbon류의 생성특성을 비교하였다. Hexane을 이용하여 추출한 지방질을 florisisil column

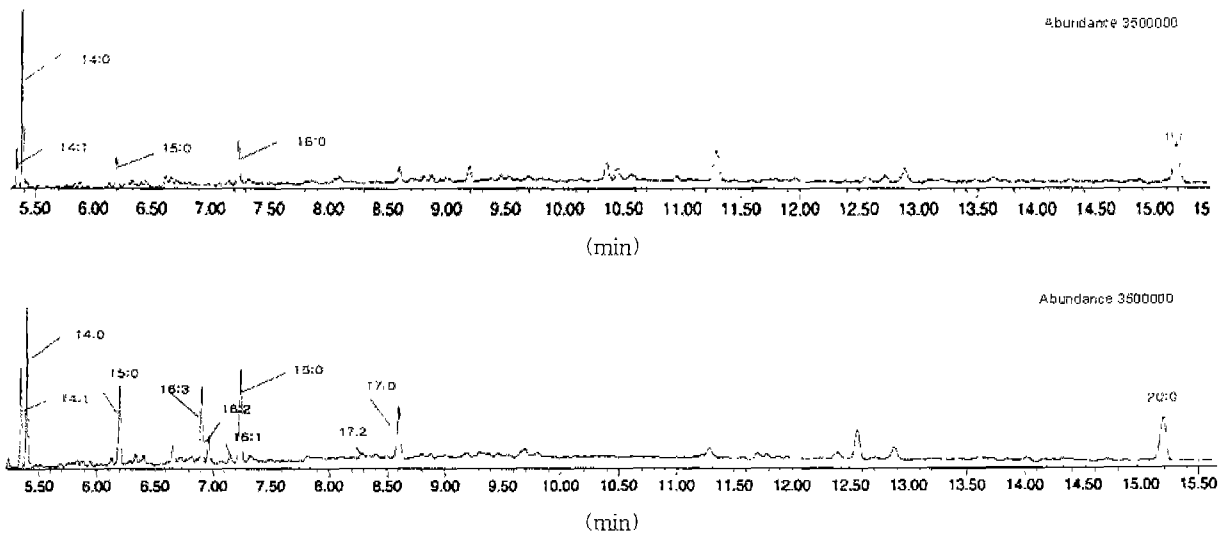


Fig. 6. GC/MS chromatogram of radiation-induced hydrocarbons in gamma-irradiated mung bean produced in Korea (top: non-irradiated, bottom: 4 kGy-irradiated).

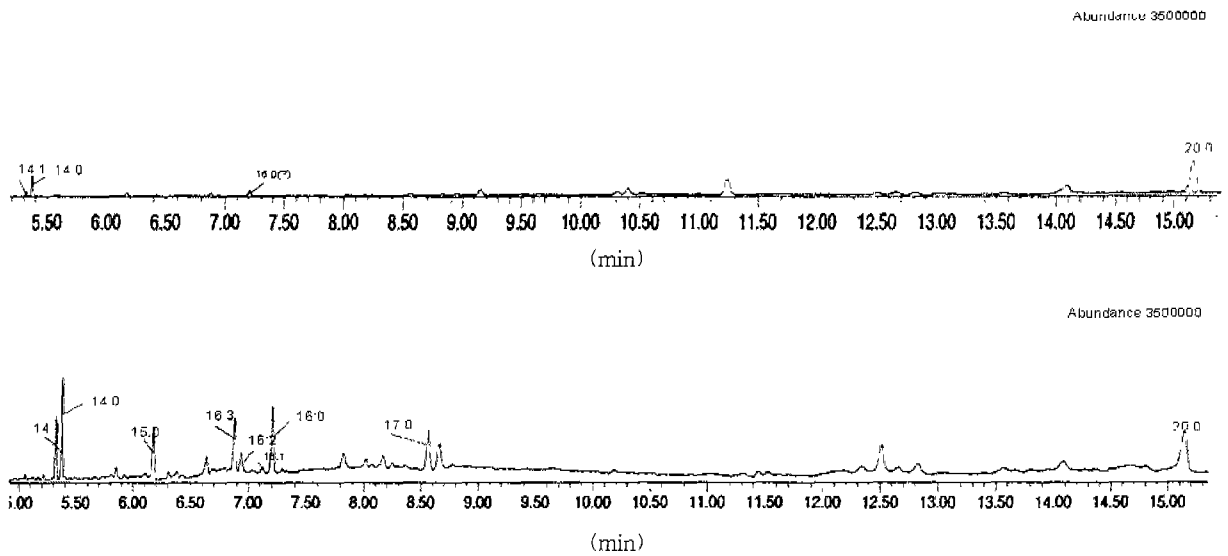


Fig. 7. GC/MS chromatogram of radiation-induced hydrocarbons in gamma-irradiated mung bean produced in China (top: non-irradiated, bottom: 4 kGy-irradiated).

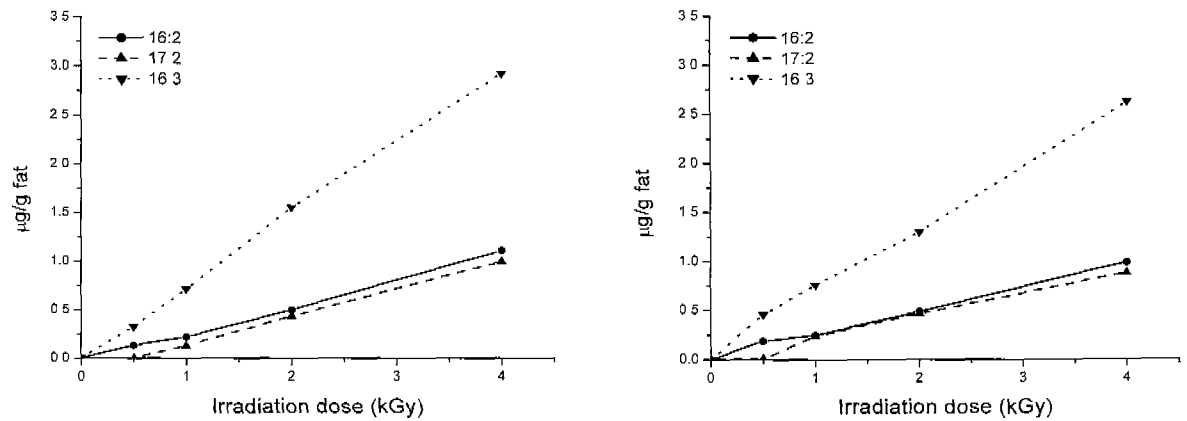


Fig. 8. Prominent hydrocarbons detected in gamma-irradiated mung bean (left: Korean, right: Chinese).

chromatography에 의해 hydrocarbon류를 분리시키고 GC-MS에 의해 분석하였다. 방사선 조사된 각종 두류의 hydrocarbon 생성특성은 다소 상이하였고, 두류의 지방산 조성에 영향을 받았다. 대두, 땅콩 및 적두에서는 0.5 kGy 혹은 그 이상으로 조사시켰을 때 16:3, 17:2, 16:2 및 17:1을 각각 확인할 수 있었으나, 녹두에서는 17:1이 검출되지 않았다. 국산 및 중국산 두류에서 방사선 조사 유래의 hydrocarbon류 생성량은 조사선량에 비례하였다. 그러나, 방사선 조사 유래 hydrocarbon류의 종류와 양에는 원산지별 차이가 나타나지 않았다.

감사의 글

본 연구는 농림부에서 시행하는 농림기술개발사업의 일환으로 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

문헌

- Codex Alimentarius Commission : Codex General Standard for Irradiated Foods and Recommended International Code of Practice for the Operation of Radiation Facilities Used for the Treatment of Foods. CAC/VOL.XV, FAO, Rome (1984)
- Kwon, J.H., Chung, H.W. and Kwon, Y.J. : Infrastructure of quarantine procedures for promoting the trade of irradiated foods. Paper presented at Symposium of The Korean Society of Postharvest Science and Technology of Agricultural Products on Irradiation Technology for the Safety of Food and Public Health Industries and Quality Assurance, Daejeon, 13 October, p.209-254 (2000)
- IAEA : Analytical detection methods for irradiated foods. A review of current literature. *IAEA-TECDOC-587*, p.172 (1991)
- Desrosiers, M.F. and Eclaughlin, W.L. : Examination of gamma-irradiated fruits and vegetables by electron spin resonance spectroscopy. *Radiat. Phys. Chem.*, **34**, 895-898 (1989)
- Mammon, A., Abdul-Fattah, A.A. and Abulfaraj, W.H. : Thermoluminescence of irradiated herbs and spices. *Radiat. Phys. Chem.*, **44**, 203-206 (1994)
- Stevenson, M.H., Meier, W. and Kilpatrick, D.J. : A blind trial using volatile hydrocarbons and 2-dodecylcyclobutanone to detect irradiated chicken meat. CEC, Luxembourg (1997)
- Hayashi, T., Todoriki, S., Okadome, H. and Kohyama, K. : Conditions of viscosity measurement for detecting irradiated peppers. *Radiat. Phys. Chem.*, **45**, 665-669 (1995)
- Jabir, A.W., Deeble, D.J., Wheatley, P.A., Smith, C.J. and Parsons, B.J. : DNA modification as a means of detecting the irradiation of wheat. *Radiat. Phys. Chem.*, **4**, 935-940 (1989)
- Hwang, K.T., Park, J.Y. and Kwon, Y.J. : Hydrocarbons detected in irradiated soybeans. *J. Food Sci. Technol.*, **30**, 517-522 (1998)
- Lee, H.J., Lee, M.Y. and Kim, K.S. : Detection of radiation-induced hydrocarbons and 2-alkylcyclobutanones from peanuts. *J. Food Sci. Nutr.*, **4**, 270-275 (1999)
- Lee, H.J. and Kim, K.S. : Analysis of radiolytically produced hydrocarbons and 2-alkylcyclobutanones from irradiated pinenut. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **30**, 37-42 (2001)
- Metcalf, L.D., Schmitz, A.A. and Pelka, J.R. : Rapid preparation of fatty acid esters from lipid for gas chromatographic analysis. *Anal. Chem.*, **38**, 514-519 (1996)
- Choi, C.R. and Hwang, K.T. : Detection of hydrocarbons in irradiated and roasted sesame seeds. *JAOCS*, **74**, 469-472 (1997)
- Nawar, W.W., Zhu, Z.R. and YOO, Y.J. : Radiolytic products of lipids as marker for the detection of irradiated meat. In *Food Irradiation and the Chemist*, Johnston, D.E. and Stevenson, M.H. (ed.), The Royal Society of Chemistry, London, p.13-24 (1990)
- Lawrence, D.H., Guoman, C., Edward, G.J., Luke, F. and Jhon, A.L. : Identification of irradiated foodstuffs : A review of the recent literature. *Food Research International*, **30**, 249-264 (1997)
- Lesgards, G., Raffi, J., Pouliquen, I., Chaouch, A., Giamarchi, P. and Prost, M. : Use of radiation-induced alkanes and alkenes to detect irradiated food containing lipids. *JAOCS*, **70**, 170-185 (1993)
- Kavalam, J.R. and Nawar, W.W. : Effects of ionizing radiation on some vegetable fats. *JAOCS*, **46**, 387-390 (1969)
- KOSFOST : Bibliography of references on Korean food research. Korean Society of Food Science and Technology, Seoul (1982-1986)
- IAEA : Clearance of item by country. Supplement to *Food and Environmental Protection Newsletter*, **1**(2), 1-17 (1998)

(2001년 6월 13일 접수)