Food Engineering Progress
Vol. 13, No. 3. pp. 211~215 (2009.8)

산업식품공학
Food Engineering Progress

시중에 유통되는 식용유지 중 benzo[*a*]pyrene 함량 분석

남혜정 · 서일원 · 이규은 · 이송영 · 신한승*
동국대학교 식품공학과 및 Lotus기능성식품소재연구소

Analysis of Benzo[*a*]pyrene Content in Edible Oils from Korean Market

Hejung Nam, Ilwon Seo, Kyueun Lee, Songyoung Lee, and Han-Seung Shin*
Department of food Science and Technology and Institute of Lotus Functional Food Ingredient, Dongguk University, Korea

Abstract

Concentrations of benzo[*a*]pyrene in edible oils from Korean market were evaluated by high performance liquid chromatography. Benzo[*a*]pyrene known of the carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs), has been found at variable concentrations in several foods. This is associated with several factors during the process including contaminated raw materials, exposure of environment, and procedure of process or cooking. The levels of benzo[*a*]pyrene were ranged from 0.5 to 1.4 μg/kg in virgin olive oil. Benzo[*a*]pyrene contents in refined and virgin olive oil, sesame oil, soybean oil, corn oil, sunflower oil, safflower oil, and processed oil were 0.6-1.0 μg/kg, 0.9-1.3 μg/kg, 0.6-3.3 μg/kg, 0.5-1.1 μg/kg, 1.2-1.7 μg/kg, 1.0-2.1 μg/kg, and 1.0-1.4 μg/kg, respectively.

Key words: benzo[*a*]pyrene, olive oil, sesame oil, soybean oil, corn oil, sunflower oil, safflower oil, processed oil

서 론

다환족방향탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons; PAHs)는 2개 이상의 벤젠고리 구조를 가진 화합물로서 유기물의 불완전 연소나 열분해에 의해 생성된다고 알려져 있다(Pelkonene et al., 1982; Gelboin, 1980; Yang et al., 1977). 이는 공기, 음용수, 토양 등을 통해 조리, 가공하지 않은 식품에도 존재하며, 대체로 지방 함량이 높은 식품에 많이 생성되고, 축적되며, 주로 육류, 어류, 유지류 등의 섭취를 통해 인간이 PAHs에 노출된다. 다수의 PAHs가 발암성을 가지고 있다고 알려져 있으며, 이에 US EPA(United States Environmental Protection Agency)에서 PAHs 중 우선대상 물질로 16종의 PAHs를 선정하였고, Codex 및 JECFA(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)의 위해평가에 발암가능물질로 우선순위목록에 포함되어 있다. 또한, 국제 암 연구소 International Agency for Research on Cancer(IARC)의 경우 2009년 1월 재평가된 PAHs의 독성 평가 결과 benzo[*a*]pyrene은 group 1(인체발암물질), dibenzo[*a,h*]anthrathene 등 3종은 group 2A (인체발암유력물질), benzo[*a*]anthracene 등 11종은 group 2B(인체발암가능물질), benzo[*g,h,i*]perylene 등 45종은 group 3(인체발암물질로 분류할 수 없는 물질)으로 분류하고 있다(Smith et al., 2000; IARC, 2009).

이러한 다양한 PAHs 중 인체발암물질로 가장 잘 알려진 benzo[*a*]pyrene(CAS No. 50-32-8)은 연황색의 결정체로 체내에 유입되면 산화되어 독성을 나타내는 물질(Gelboin, 1980)로 장기 노출 시 폐암(Hecht, 1999), 위암, 피부암, 췌장암, 대장암, 유방암(Bekim & David, 2006)등을 유발하며, 돌연변이와 생식장애, 내분비 장애를 초래할 수 있다. 이에 식품중의 benzo[*a*]pyrene에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있는데, Lee et al.(2004)는 육류 및 육가공품과 옥수수유, 대두유, 올리브유의 PAHs의 위해성 평가를 실시하였고, 그 밖에도 어패류 및 가공품의 PAHs 함량(Hu et al., 2005), 채소류 및 과일류, 홍삼음료 등에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있다.

PAHs는 지용성의 성상을 띄고 있어 육류, 어류, 유지류 등에 오염되기 쉬우며, 원료를 제조 · 가공하는 과정 중 고온처리 및 건조과정에서 오염도가 증가할 수 있다. 이에 세계 여러 나라에서 식용유지의 benzo[*a*]pyrene 함량을 법적으로 규제하고 있다.

식품 중의 benzo[*a*]pyrene을 분석하기 위해서는 비누화나 초음파 추출, 또는 Soxhlet 장치, liquid-liquid 추출방법을 이용하여 시료를 전처리 한 후 HPLC 또는 GC를 이용하여

Corresponding author: Han-Seung Shin, Department of Food Science and Technology, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea
Tel: +82-2-2260-8590; Fax: +82-2-2260-8740
E-mail: spartan@dongguk.edu
Received May 20, 2009; revised August 12, 2009; accepted August 14, 2009

정량 분석할 수 있다. Simko(2002)의 연구에 의하면 HPLC로 분석하여 얻은 retention time이 GC 분석 시보다 짧아 대부분의 compound 분리에서 HPLC가 더 유리하였다. 이에 본 실험에서는 HPLC를 사용하여 형광검출하였다.

Hu et al.(2007)은 식품의약품안전청의 추출방법을 사용하여 올리브유 중 벤조피렌을 분석하여 불검출-1.9 μg/kg의 수준으로 검출되어 benzo[*a*]pyrene 기준치인 2.0 μg/kg 이하로 검출되었으며, Antonio & Maria(1996)은 브라질에서 유통되고 있는 올리브유 중 benzo[*a*]pyrene을 cyclohexane으로 추출하여, silica cartridge로 clean up하여 HPLC-FLD로 분석한 결과, 유럽산 올리브유에서 0.6-1.2 μg/kg, 유럽산 브라질에서 포장한 올리브유에서 0.9-9.7 μg/kg, 아르헨티나산 올리브유에서 0.5-164.4 μg/kg, 그 외 혼합올리브유에서 2.2-9.2 μg/kg로 검출되었다. 본 연구에서는 시중에 유통되고 있는 식용유지 중 benzo[*a*]pyrene을 분석하여 오염도를 파악하고, 식품의 안전성을 향상시키고자 실행하였다.

재료 및 방법

실험재료 및 기기

본 실험에 사용된 시료는 시중에 유통되고 있는 식용유지(올리브유, 대두유, 옥수수유, 홍화유, 해바라기유, 참기름 등)로 총 33종류를 선정하여 분석시료로 사용하였다.

분석에 사용된 시약(*n*-hexane, dichloromethane, acetonitrile, *N,N*-dimethylformamide, water)은 HPLC용(Burdick & Jackson, Muskegon, MI, USA)을 사용하였다. 수분제거목적으로 사용된 anhydrous sodium sulfate는 Merck(Merck, Darmstadt, Germany)사 제품을 사용하였으며, 정제 과정에 사용된 cartridge는 Sep-Pak florisil cartridge (Waters, Milford, MA, USA)를 사용하였다. Benzo[*a*]pyrene 검출을 위해 사용된 HPLC는 Waters 2695 series HPLC (Waters, Milford, MA, USA)를 FLD는 Waters 474 scanning fluorescence detector(Waters, Milford, MA, USA)를 사용하였고, 컬럼은 Supelguard LC-18(Supelco, Bellefonte, PA, USA)을 장착한 Supelcosil LC-PAH column(Supelco, Bellefonte, PA, USA)을 사용하여 분석하였다. 분석 조건은 Table 1와 같다(Hu et al., 2007).

분석물질 및 표준검량선 작성

분석대상물질은 IARC(International Agency for Research on Cancer)에서 group 1인 인체발암물질로 분류되어 있는 benzo[*a*]pyrene으로 선정하였다. 표준물질은 Supelco (Supelco, Bellefonte, PA, USA)사 제품을 사용하여 acetonitrile로 정용하여 500 μg/kg 농도로 조제한 후 이를 희석하여 5, 10, 20, 50, 100 μg/kg의 표준용액을 제조하여 농도별로 분석하여 검량선을 작성하였다.

시료 전처리

시료 약 10 g을 정밀히 달아 표준용액 10 μg/kg을 1 mL 첨가하고 *n*-hexane 100 mL을 넣어 분액깔때기(I)에 옮겼다. 분액깔때기(I)에 *N,N*-dimethylformamide(DMF) : water(9:1) 50 mL를 넣어 진탕 · 혼합 후 정치하여 DMF : water(9:1)층을 분리하여 다른 분액깔때기(II)에 옮겼다. 분액깔때기(I)에 있는 *n*-hexane층에 DMF : water(9:1) 25 mL씩 넣어 추출하는 과정을 2회 반복하여 DMF : water(9:1)층을 모두 분액깔때기(II)에 합쳤다. 여기에 1% sodium sulfate 용액 100 mL를 넣고 *n*-hexane 50 mL를 넣어 진탕 · 혼합 후 정치하여 *n*-hexane층을 분액깔때기(III)에 옮겼다. 분액깔때기(III)의 DMF : water(9:1)층에 *n*-hexane 35 mL씩 넣어 추출하는 과정을 2회 반복하여 *n*-hexane층을 위의 분액깔때기(III)에 합쳤다. 증류수 40 mL씩 넣고 진탕 · 혼합 후 정치하여 물층을 버리는 조작을 2회 반복하였다. *n*-Hexane층과 물층의 분리가 잘 되지 않을 경우 1시간 정도 방치한 후에 층을 분리하였다. *n*-Hexane층은 무수황산나트륨 약 15 g을 넣은 여과지를 사용하여 탈수 · 여과한 후 40°C 이하의 수욕상에서 감압하여 약 2 mL로 농축하였다. Sep-Pak florisil cartridge는 dichloromethane 10 mL과 *n*-hexane 20 mL를 초당 2-3방울의 속도로 유출시켜 활성화시킨 후 사용하였다. 활성화된 cartridge에 농축액을 1 mL/min의 속도로 가하여 유출시킨 후 *n*-hexane 10 mL와 *n*-hexane : dichloromethane (3:1) 8 mL로 각각 용출시켰다. 용출액은 40°C 이하의 수욕 상에서 질소농축하여 잔류물은 acetonitrile에 녹여 전량이 1 mL이 되도록 하고 이를 0.45 μm membrane filter로 여과하여 시험용액으로 사용하였다(Hu et al., 2005).

Table 1. Operating condition of HPLC/FLD for benzo[*a*]pyrene analysis in edible oil

Instrument	Waters 2695 series HPLC
Column	Supelcosil LC-PAH column (25 cm×4.6 mm, I.D. particle size 5 μm)
Flow rate	1 mL/min
Solvent system	ACN H_2O 80 20
Injection volume	50 μL
Instrument	Waters 474 scanning Fluorescence Detector
Wavelength (Ex/Em) 0-40 min	290 nm / 410 nm

Table 2. Recovery, Linearity, limits of detection (LOD) and limits of quantification (LOQ) of the proposed analytical procedure

	Recovery (%)			R^2	LOD (μg/kg)	LOQ (μg/kg)
	1 μg/kg	10 μg/kg	100 μg/kg			
Benzo[*a*]pyrene	73.35	66.72	87.54	0.9989	0.066	0.212

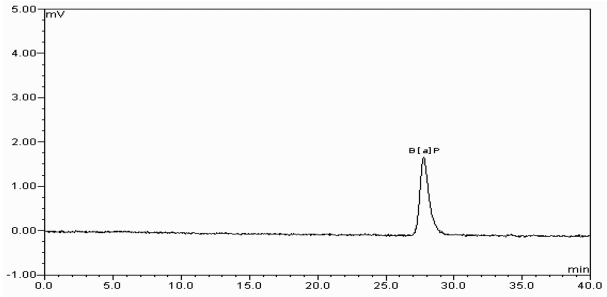

Fig. 1. HPLC/FLD chromatograms of benzo[*a*]pyrene standard.

결과 및 고찰

표준물질의 회수율은 66.72-87.54%로 나타났으며, LOD (검출한계)는 0.066 μg/kg 수준으로 검출되었다. HPLC-FLD를 이용한 표준물질의 크로마토그램은 Fig. 1에 나타내었으며, 검량선 작성시에 0.9989의 상관계수를 나타내었다(Table 2). 종자로 제조된 식용유지의 경우 원재료가 이미 benzo[*a*]pyrene에 노출되었거나, 수확 당시에는 benzo[*a*] pyrene의 함량이 낮았으나, 수송이나 저장, 가공과정 중에 오염도가 증가될 수도 있으며(Dennis et al., 1991), 정제과정을 거치는 정제유의 경우는 deodorizing 과정이나, bleaching 과정에 의해 benzo[*a*]pyrene의 함량이 감소될 수 있다(Larsson et al., 1987; Cejpek et al., 1998).

올리브유의 벤조피렌 함량

올리브유는 물리적 또는 기계적인 압착 · 여과방법에 따라 압착올리브유, 정제올리브유, 혼합올리브유로 분류되며, 혼합올리브유는 압착올리브유와 정제올리브유를 일정 비율로 혼합한 것이다. 사용된 시료는 압착올리브유(virgin olive oil)와 혼합올리브유(refine and virgin olive oil)로 총 13종류의 제품을 대상으로 하였다. 분석결과는 Table 3에 나타내었으며, 압착올리브유에서는 0.5-1.4 μg/kg, 혼합올리브유는 0.6-1.0 μg/kg으로 모든 시료에서 benzo[*a*]pyrene 기준치인 2.0 μg/kg이하의 수준으로 검출되었다. 터키산 압착올리브유와 혼합올리브유에서는 각각 0.7, 1.0 μg/kg 수준으로 검출되었으며, 스페인산 압착올리브유에서는 0.6-1.4 μg/kg, 혼합올리브유는 0.6 μg/kg 검출되었고, 이탈리아산 압착올리브유에서는 0.6 μg/kg, 혼합올리브유에서는 0.6, 0.7 μg/kg 검출되었다. 혼합올리브유의 경우 정제과정 중 열처리나 산도조절 등과 같은 과정을 거치며 정제올리브유에서 benzo[*a*]pyrene이 일정량 생성되어 압착올리브유와 비교하였을 때 benzo[*a*]pyrene의 검출량이 더 많을 것으로 추정하였으나, 시료 중 스페인산 압착올리브유에서 1.4 μg/kg로 가장 많이 검출되었다. 이러한 결과를 보면 원산지에 따라 원재료가 이미 식용유지로 생산되기 전에 benzo[*a*]pyrene에 노출되었거나, 또는 정제과정인 deodorizing 과정이나, bleaching 과정에 의해 정제올리브유 중 benzo[*a*]pyrene의 함량이 감소된 것으로 생각된다(Larsson et al., 1987; Cejpek et al., 1998).

참기름의 벤조피렌 함량

Benzo[*a*]pyrene은 제조공정에서 원료의 건조과정이나, 볶는 과정, 압착하는 과정 중 발생하는 열에 의해 생성되거나, 원재료인 참깨도 환경에 영향을 받아 일부 함유되어 있는 것으로 나타났으며, 참깨의 볶음온도가 benzo[*a*]pyrene 생성에 영향을 미치며, 볶음시간은 큰 영향을 주지 않는 것으로 보고하였으며, 밀폐식 볶음 · 압착방법에 의한 참기름을 규조토, 활성탄소, 규조토 · 활성탄소 등으로 여과하는 감소화 방안 중에 활성탄소 여과법을 이용한 처리가 감소화에 가장 효과를 나타내었다고 보고하였다(Kim & Song, 2008). 본 실험에서는 시중에 유통되고 있는 3종류의 수입산 참기름을 대상으로 하였으며, 결과는 Table 3에 나타내었다. 3종류의 시료에서 benzo[*a*]pyrene의 함량은 각각 1.2, 1.3, 0.9 μg/kg으로 기준치인 2.0 μg/kg를 초과한 제품은 없었다. Seo et al.(2009)은 인도산, 중국산, 국내산

Table 3. Concentration of benzo[*a*]pyrene in olive oil and sesame oil[1)]

	Brand	Origin	Benzo[*a*]pyrene levels (μg/kg)
Virgin olive oil	1	Turkey	0.7
	2	Spain	0.6
	3	Italy	0.6
	4	Spain	1.1
	5	Spain	1.4
	6	Spain	1.2
	7	Spain	0.5
	8	Spain	1.4
	9	Spain	1.0
Refined and virgin olive oil	10	Turkey	1.0
	11	Italy	0.7
	12	Spain	0.6
	13	Italy	0.6
Sesame oil	1	China	1.2
	2	China	1.3
	3	China	0.9

[1)]All values are expressed as mean of triplicate determinate.

Table 4. Concentration of benzo[*a*]pyrene in soybean oil, corn oil, sunflower oil and processed oil[1)]

	Brand	Origin	Benzo[*a*]pyrene levels (μg/kg)
Soybean oil	1	USA	0.7
	2	USA	0.6
	3	USA	0.8
	4	USA	3.3
	5	USA	0.6
Corn oil	1	USA	0.6
	2	USA	1.1
	3	USA	0.7
	4	USA	1.0
	5	USA	0.5
	6	USA	1.0
Sunflower oil	1	Malaysia	1.2
	2	Malaysia	1.7
	1	USA	2.1
	2	USA	1.0
Processed oil	1	USA	1.4
	2	USA	1.0

[1)]All values are expressed as mean of triplicate determinate.

참기름을 이용하여 원산지별 PAHs 함량을 분석하고, 시중에 유통되는 참기름을 모니터링하였다. 결과는 볶지 않은 참기름의 경우 인도산에서 가장 많이 검출되어 환경으로부터 영향을 받아 참깨가 이미 PAHs에 노출되었음을 확인하였고, 볶은 참기름의 경우 중국산에서 8가지 총 PAHs의 함량이 3.97 μg/kg로 가장 많이 검출되었으며, 국내에서 유통되는 참기름의 모니터링 결과 총 PAHs 함량이 0.79-2.15 μg/kg으로 나타났으며, benzo[*a*]pyrene은 0-0.19 μg/kg로 기준치인 2.0 μg/kg 이하로 검출되었다.

대두유의 벤조피렌 함량

시중에 유통되고 있는 대두유의 benzo[*a*]pyrene 함량 분석결과는 Table 4에 나타내었다. 5종류의 대두유를 대상으로 한 benzo[*a*]pyrene 함량은 0.6-3.3 μg/kg 수준으로 나타났으며, 한 종류에서 3.3 μg/kg으로 기준치인 2.0 μg/kg 이상으로 검출되었다. 원산지는 모두 미국으로 같았으나, 생산공정의 환경적인 요인이나, 원재료가 이미 benzo[*a*]pyrene에 노출되었을 가능성을 가지고 있다. 스웨덴(Larsson et al., 1987)의 실험결과를 보면 정제대두유 중 총 PAHs의 함량이 5.0-17.0 μg/kg으로 압착대두유에 비하여 낮게 나타났으며, benzo[*a*]pyrene의 함량도 압착대두유에서 0.4-1.2 μg/kg, 정제대두유에서 0.3-1.1 μg/kg으로 정제된 대두유에서 낮게 나타났다. 정제과정 중에 벤젠고리가 2-4개인 light PAHs는 deodorizing 과정에서, 5개 이상인 heavy PAHs의 경우 charcoal treatment를 통해 일부 제거되었음이 보고되었다(Dennis et al., 1991; Moret & Conte, 2000). 이러한 정제과정은 benzo[*a*]pyrene과 같은 발암성물질의 양을 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

옥수수유의 벤조피렌 함량

옥수수유 중의 benzo[*a*]pyrene 함량에 영향을 미치는 것은 옥수수유의 원료가 되는 옥수수배아에 약 80% 이상 분포하고 있음이 밝혀졌으며, 추출원유(extracted crued oil)보다 착유원유(expressed crued oil)에 benzo[*a*]pyrene이 더 많이 이행되었으며, 또한 수화탈검, 산탈검, 알카리, 탈산공정 중에는 일부가 생성되며, 수세, 진공건조 공정에서는 일부가 제거되는 것으로 보고되었다(Kim & Lee, 2009). 시중에 유통중인 옥수수유의 benzo[*a*]pyrene 함량을 측정한 결과는 Table 5에 나타내었다. 원산지는 모두 미국으로 6종류의 옥수수유 중 benzo[*a*]pyrene 함량을 측정한 결과 0.5-1.1 μg/kg로 모두 benzo[*a*]pyrene 기준치인 2.0 μg/kg 이하로 검출되었다. Kim & Lee(2009)은 옥수수유의 제조공정별 benzo[*a*]pyrene의 함량을 조사한 결과 탈색유 2.35 μg/kg, 탈납유 2.28 μg/kg, 최종적인 탈취유에서 2.15 μg/kg으로 정제단계를 거치며 함량이 점점 감소하였으나, 우리나라 식용유지 중 benzo[*a*]pyrene의 기준치인 2.0 μg/kg을 초과하였음을 확인하였다.

그 외의 유지류의 벤조피렌 함량

해바라기유, 홍화유, 유지가공품의 benzo[*a*]pyrene의 분석결과는 Table 4에 나타내었다.

해바라기유의 경우 해바라기 씨눈을 압착하여 제조한 압착유와 추출수율을 증가시키기 위해 압착 후 남은 찌꺼기로 용매 추출한 추출유를 혼합하여 정제(탈검, 탈취, 탈색, 탈산)과정을 거쳐 제조된다. 사용된 2종류의 해바라기유는 말레이시아에서 제조된 것으로 각각 1.2, 1.7 μg/kg으로 benzo[*a*]pyrene 기준치 이하로 검출되었다. Barranco et al.(2003)은 해바라기유에서 PAHs를 분석한 결과 benzo[*a*]pyrene이 3.6 μg/kg 수준으로 보고되었으며, Speer et al.(1990)은 해바라기유 중 benzo[a]pyrene의 함량이 0.7 μg/kg 검출되었다고 보고하였다.

홍화유는 모두 미국산으로 2종류의 시료에서 각각 2.1, 1.0 μg/kg로 한 종류의 홍화유에서 기준치인 2.0 μg/kg 이상으로 검출되었다. Chung et al.(2004)은 국내에서 생산·유통되고 있는 식용유지 중 PAHs 함량을 실험한 결과 홍화유에서 총 PAHs의 평균함량이 0.22 μg/kg으로 가장 낮았고, 코코넛유에서 13.45 μg/kg로 가장 높게 나타났으며, 홍화유에서 benzo[*a*]pyrene은 0.01 μg/kg 검출되었음을 보고하였다. 독일(Speer et al., 1990)에서는 홍화유 중 benzo[*a*]pyrene 함량이 0.3 μg/kg 수준으로 검출되었다고 보고하였다.

유지가공유는 튀김이나 부침에 주로 사용되는 것으로 대두유에 유화제를 첨가한 제품이다. 시중에 유통되는 2종류의 유지가공유에서 검출된 benzo[*a*]pyrene의 함량은 각각 1.4, 1.0 μg/kg이었다. 유지가공유는 압착으로만 얻어지는 원유나 정제유와 달리 정제과정이나 가공과정을 더 거치게

되면서 과정에 따라 benzo[*a*]pyrene의 함량이 감소 또는 증가하게 될 것으로 판단된다. Chung et al.(2004)은 processed fat and oil에서 0.11 μg/kg 수준으로 검출되었다고 보고하였다.

요 약

시중에 유통되고 있는 33종류의 식용유지를 대상으로 하여 benzo[*a*]pyrene의 함량을 모니터링한 결과 압착올리브유 0.5-1.4 μg/kg, 혼합올리브유 0.6-1.0 μg/kg, 참기름 0.9-1.3 μg/kg, 대두유 0.6-3.3 μg/kg, 옥수수유 0.5-1.1 μg/kg, 해바라기유 1.2, 1.7 μg/kg, 홍화유 1.0, 2.1 μg/kg, 유지가공품 1.0, 1.4 μg/kg 수준으로 검출되었다. 대부분의 시료에는 benzo[*a*]pyrene 기준치인 2.0 μg/kg를 초과하지 않았지만, 미국산 대두유와 미국산 홍화유에서 각각 3.3 μg/kg, 2.1 μg/kg로 두 종류에서 기준치 이상 검출되었다. Benzo[*a*]pyrene은 식용유지로 제조되기 이전에 원재료가 오염되었거나, 가공공정, 환경으로부터 노출되는 등 노출경로는 다양하다. 정제과정인 deodorizing 과정이나, bleaching 과정에 의해서 benzo[*a*]pyrene의 함량이 감소되며, 압착올리브유와 혼합올리브유의 실험결과에서 정제올리브유가 혼합되어 있는 혼합올리브유의 benzo[*a*]pyrene의 함량이 낮게 나타났음을 확인할 수 있었다. Benzo[*a*]pyrene의 함량은 연기성분에서도 영향을 받을 수 있으므로 원재료를 건조시키거나, 볶는 과정에서 밀폐된 상태로 진행하는 것보다 개방된 상태에서 진행하는 것이 benzo[*a*]pyrene의 생성을 억제할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

Antonio MP, Maria CFT. 1996. Benzo(a)pyrene in olive oils on the Brazilian market. Food Chem. 55: 185-188.

Barranco A, Alonso-Salces RM, Bakkali A, Berrueta LA, Gallo B, Vicente F, Sarobe M. 2003. Solid-phase clean-up in the liquid chromatographic determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in edible oils. J. Chromatogr. A. 988: 33-40.

Bekim S, David IR. 2006. Benzopyrene exposure disrupts DNA methylation and growth dynamics in breast cancer cells. Toxicol. Appl. Pharm. 216: 458-468.

Cejpek K, Hajslova J, Kocourek V, Tomaniova M, Cmolik J. 1998. Changes in PAH levels during production of rapeseed oil. Food Addit. Contam. 15: 563-574.

Chung SY, Sho YS, Park SK, Lee EJ, Suh JH, Choi WJ, Kim JS, Kwon KS, Lee JO, Kim HY, Lee CW. 2004. Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils and fats. Korean J. Food Sci. Technol. 36: 688-691.

Dennis M, Massey R, Cripps G, Venn I, Howarth N, Lee G. 1991. Factors affecting the polycyclic aromatic hydrocarbon content of cereals, fats and other food products. Food Addit. Contam. 8: 517-530.

Gelboin HV. 1980. Benzo(a)pyrene metabolism, activation, and carcinogenesis: Role and regulation of mixed-function oxidases and related enzymes. Physiol. Rev. 60: 1107-1166.

Hecht SS. 1999. Tobacco smoke carcinogens and lung cancer. J. Natl, Cancer I. 91: 1194-1210.

Hu SJ, Kim MH, Oh NS, Ha J, Choi KS, Kwon KS. 2005. Levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish, shellfish and their processed products. Korean J. Food Sci. Technol. 37: 866-872.

Hu SJ, Woo GJ, Choi DM. 2007. Determination of benzo(a)pyrene in olive oils. Korean J. Food Sci. Technol. 20: 170-175.

IARC. 2009. Overall evaluations of carcinogenicity to humans: List of all agents, mixtures and exposures evaluated to date. As evaluated in IARC Monographs Vol. 1-100A. Lyon, France.

Kim DS, Lee KB. 2009. Changes in benzo(a)pyrene content during processing of corn oil. Korean J. Food Preserv. 16: 75-81.

Kim HY, Song DS. 2008. Minimizing benzo(a)pyrene content in the manufacturing of sesame oil and perilla oil. Korean J. Food Preserv.15: 556-561.

Larsson B, Eriksson A, Cervenka M. 1987. Polycycilc aromatic hydrocarbons in crude and deodorized vegetable oils. J. Am. Oil Chem. Soc. 64: 365-370.

Lee HM, Yoon EK, Park KA, Kim YH, Jung SY, Kwon KS, Kim MC, Song IS, Lee CH, Yang JS, Yang KH. 2004. Dietary risk assessment for polycyclic aromatic hydrocarbons in foods. J. Food Hyg. Safety 19: 1.

Moret S, Conte LS. 2000. Polycyclic aromatic hydrocarbons in edible fat and oils: occurrence and analytical methods. J. Chromatogr. A. 882: 245-253.

Pelkonene O, Nebert DW. 1982. Metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons. Etiological role in carcinogenesis. Pharmacol. Rev. 43: 189-222.

Seo IW, Nam HJ, Shin HS. 2009. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in sesame oils from different places of origin of sesame. Korean J. Food Sci. Technol. 36: 688-691.

Simko P. 2002. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives. J. Chromatogr. B. 770: 3-18.

Smith CJ, Perfetti TA, Rumple MA, Rodgman A, Doolittle DJ. 2000. “IARC Group 2A Carcinogens” reported in cigarette mainstream smoke. Food Chem. Toxicol. 38: 371-383.

Speer K, Steeg E, Horstmann P, Kuhn T, Montag A. 1990. Determination and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in native vegetable oils, smoked fish products, mussels and oysters and bream from the river Elbe. J. High Res. Chromatog. 13: 104-111.

Yang SK, McCourt DW, Leutz JC, Gelboin HV. 1977. Benzo(a)pyrene diolepoxides Mechanism of enzymatic formation and optically active intermediates. Science 196: 1199-1201.