pISSN 1229-1153 *J. Fd Hyg. Safety*
Vol. 29, No. 2, pp. 141~145 (2014)
http://dx.doi.org/10.13103/JFHS.2014.29.2.141

Journal of Food Hygiene and Safety
Available online at http://www.foodhygiene.or.kr

식용유지류 중 벤조피렌의 함량 분석 및 안전성 평가

장미라* · 홍미선 · 정소영 · 최부철 · 이경아 · 금진영 · 김일영 · 김정헌 · 채영주
서울시보건환경연구원

Analysis and Risk Assessment of Benzo(a)pyrene in Edible Oils

Mi-ra Jang*, Mi-sun Hong, So-young Jung, Bu-chuhl Choi, Kyeong-ah Lee, Jin-young Kum, Il-young Kim, Jung-hun Kim, and Young-zoo Chae
Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment
(Received February 19, 2014/Revised March 17, 2014/Accepted April 25, 2014)

ABSTRACT - To assess the health risk for benzo(a)pyrene by the intake of edible oils, 288 cases of edible oils collected from food markets were analysed using the high performance liquid chromatography with fluorescence detector. The levels of benzo(a)pyrene were from non-detection to 4.78 μg/kg, and the average was 0.11 μg/kg. The chronic daily exposures of benzo(a)pyrene for total population group and consumer-only group were estimated using the food consumption data in the fifth Korea National Health and Nutrition Examination Survey in 2011. The estimated daily intake of benzo(a)pyrene was 4.26×10^{-3} ng/kg b.w./day for total population group and 7.64×10^{-3} ng/kg b.w./day for consumer-only group. The MOE (margin of exposure) of benzo(a)pyrene for total population group and consumer-only group was 7.28×10^{7}~1.74×10^{8} and 3.95×10^{7}~9.42×10^{7}, respectively. Accordingly, the health risk from benzo(a)pyrene caused by the intake of edible oils was considered as a very low level.

Key words : benzo(a)pyrene, edible oils, risk assessment, margin of exposure

다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)는 2개 이상의 벤젠고리 구조로 이루어진 유기화합물로서 200여종의 유도체화합물이 알려져 있으며, 공장이나 화학연료, 담배, 숯불에 구운 육류와 같은 유기물의 불완전 연소로 생성된다[1,2]. 다양한 PAHs 중 벤조피렌(benzo(a)pyrene)은 황색의 결정성 고체로 300~600ºC의 온도에서 불완전연소 시 생성되어 유전독성과 발암성이 강한 것으로 알려져 2006년 국제 암연구소(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서 발암물질(Group 1)로 분류하였다[3]. 또한 벤조피렌은 PAHs 중 가장 많은 연구가 진행된 물질로 Scientific Committee on Food (SCF)에서는 식품에서 PAHs의 발암성을 판단하는 지표로 사용할 수 있다고 판단하였다[4]. 벤조피렌의 오염원은 매우 다양하여 환경오염 등으로 인해 가공하지 않는 농산물 및 수산물 등의 식품에도 존재하고 식품을 조리・가공할 때 식품의 주성분인 탄수화물, 단백질, 지방 등이 열분해되어 생성되는 것으로 알려져 있다[5]. Santodonato 등의 자료를 인용한 미국의 ATSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry)보고서에서는 일반인의 벤조피렌 인체노출 기여도가 공기 5.6%, 물 0.6%, 식품 93.8%로 식품을 벤조피렌의 주요노출기여 요인으로 보고하고 있다[6]. 특히, 식용유지류와 같은 지방성 식품은 친유성으로 PAHs에 가장 많이 오염될 수 있다[7].

우리나라에서도 2001년부터 식품 중의 PAHs 모니터링과 위해평가를 수행한 결과, 주로 육류, 식용유지류, 어류 등과 같은 지방성 식품을 통해 PAHs에 노출되는 것으로 나타났다. 특히 인위적인 가열작업과 건조작업을 필요로 하는 식용유지류에 대한 PAHs 오염은 다른 식품에 비해 높게 나타났다[8-11]. 이에 따라 우리나라도 벤조피렌에 대한 기준이 설정되어, 식용유지류에 대해 벤조피렌 함량을 2 μg/kg 이하로 규제하고 있다[12]. 이러한 식용유지류 중 콩기름과 참기름은 우리나라 에너지 섭취량의 주요 급원식품 중 하나로 섭취율이 높지는 않지만, 각각 섭취분율 1.8%와 0.8%를 차지하고 있다[13].

본 연구에서는 시중에 유통 중인 식용유지류의 벤조피렌 함량을 조사하고 식용유지 섭취로 인한 벤조피렌의 만성 1일 인체노출량을 산출하였다. 또한 인체노출량결과와

*Correspondence to: Mi-ra Jang, Seoul Metropolitan Government Research Institute of Public Health and Environment, Gwacheon-si 427-070, Korea
Tel: 82-2-570-3223, Fax:82-2-570-3229
E-mail: jangmr@seoul.go.kr

벤조피렌의 발암력을 고려한 Margin Of Exposure (MOE)를 산출하여 식용유지 섭취에 따른 벤조피렌의 안전성을 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약 · 기구

벤조피렌 함량 실험을 위해 2013년 시중 대형마트 및 재래시장에서 유통되고 있는 식용유지류 8종류 288건의 시료를 사용하였다.

이소옥탄, 사이클로헥산, 디클로로메탄, 아세토니트릴 등은 Fisher Scientific (USA)제품을 사용하였고, 표준물질인 벤조피렌과 내부 표준물질인 3-메틸콜란트렌(3-methylcholanthrene)은 SUPELCO (USA)에서 구입하여 사용하였다. 질소농축기는 EYELA MG-200 (ELYELA, USA)을 사용하였고 시료정제과정에는 Supelco의 Visiprep Solid Phase Extraction Vacuum Manifold를 사용하였으며, 카트리지는 Phenomenex (USA)의 SDB-L 1000 mg/ 6 mL를 사용하였다.

식용유지류 중 벤조피렌 추출 및 정제

시료의 전처리 과정은 Cortesi 등[14], Kim[15]과 Jung 등[16]의 방법을 적용하였다. 시료 2 g을 정밀히 달아 50 μg/kg의 내부표준용액 1 mL를 첨가한 후 이소옥탄:사이클로헥산(1:1)용액 10 mL로 정용하여 시험용액으로 하였다. SDB-L 카트리지는 미리 아세토니트릴 10 mL를 초당 2~3 방울의 속도로 활성화시킨 후 사용하였고, 이 카트리지에 시험용액 1 mL를 가하였다. 이어서 이소옥탄:사이클로헥산 (1:1) 용액 20 mL를 유출하여 버리고, 디클로로메탄 12 mL를 가하여 용출하였다. 이 용출액을 35°C이하에서 질소 농축한 후 잔류물을 아세토니트릴 1 mL에 용해시켜 0.45 μm 실린지 필터로 여과하여 기기분석에 사용하였다.

기기 분석 조건

벤조피렌 분석을 위해 사용된 액체크로마토그래프/형광검출기(HPLC/FLD)는 Agilent 1200 series (Agilent, USA)를 사용하였고, 컬럼은 Symmetry C_{18} (4.6 mm × 25 cm, i.d. particle size 5 μm, waters, Ireland)을 사용하였으며, 분석조건은 Table 1과 같다.

Table 1. Analytical conditions of HPLC/FLD

Parameter	Operating conditions					
Column	Symmetry C_{18} (4.6 mm × 25 cm)					
Mobile phase	A : 70% Acetonitrile B : 100% Acetonitrile					
Gradient	Time (min)	0	8	13	24	30
	Solvent A (%)	100	100	30	30	100
Column temp.	30°C					
Flow rate	1.2 mL/min					
Inj. volume	10 μL					
Detector	Fluorescence Detector (Ex/Em) 294 nm / 404 nm					

분석법 검증

본 실험의 유효성 검증은 직선성(linearity), 정확성(accuracy), 정밀성(precision), 검출한계(limit of detection), 정량한계(limit of quantification) 및 회수율(recovery)을 측정하여 하였다. 직선성은 표준용액을 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 μg/kg 농도가 되도록, 내부표준용액인 3-메틸콜란트렌은 5.0 μg/kg 농도가 되도록 아세토니트릴로 희석한 후 HPLC/FLD에 주입하여 얻어진 피크면적으로부터 검량선을 작성하였다. 정확성과 정밀성은 벤조피렌이 검출되지 않은 시료에 벤조피렌 최종농도가 1 μg/kg으로, 내부표준용액인 3-메틸콜란트렌 최종농도가 5 μg/kg가 되도록 첨가하여 회수율과 상대표준편차로 측정하였고, 검출한계와 정량한계는 ICH Q2B 가이드라인에 따라 다음과 같은 식으로 산출하였다[17].

$$\text{검출한계(LOD)} = 3.3 \times \sigma/S \quad (1)$$

$$\text{정량한계(LOQ)} = 10 \times \sigma/S \quad (2)$$

이때 σ는 절편의 평균표준편차이며 S는 기울기의 평균을 의미한다.

인체노출량 평가

식용유지류 섭취로 인한 벤조피렌의 인체 노출량 평가에 사용된 만성 1일 인체노출량 계산식은 다음과 같다.

$$\text{만성식이노출량(ng/kg/day)} = \sum_{i=1}^{n} \frac{Ci \times IRi}{BW} \quad (3)$$

Ci: 식품(i)중 benzo(a)pyrene 농도(ng/g)
IRi: 식품(i)중 1일 평균섭취량(ingestion rate, g/day)
BW: 체중(body weight, kg)

본 연구에서 벤조피렌 분석값이 검출한계 미만(< LOD)인 경우가 모두 ≤ 60%이었기 때문에 불검출 결과는 middle bound (MB, LOD/2)로 처리하였다[18]. 벤조피렌의 위해성 평가는 결정론적(deterministic) 방식에 따라 수행하였으며, 식용유지류별 벤조피렌의 평균 함량만을 사용하였다. 노출량 산출을 위한 식품섭취량은 질병관리본부에서 제공한 국민건강영양조사 5기 2차년도(2011) 자료를 활용하였으며[19], 원시자료로 부터 통계프로그램 SAS 9.2 (SAS Institute Inc, Cary, NC, USA)를 사용하여 전체인구집단의 식용유지류 섭취량과 섭취량의 과소평가를 피하기 위해서 식용유지 섭취군의 섭취량을 산출하였고, 평균체중은 55 kg을 사용하였다.

Margin of exposure 산출

식용유지류 섭취로 인한 벤조피렌의 인체노출로부터 발생할 수 있는 위해성 평가는 식품 중 유전독성 발암물질의 경우 사용되는 margin of exposure (MOE)를 이용하였으며 식 (4)와 같다.

$$MOE = \frac{Reference\ point(BMD)(mg/kg\ \ b.w./day)}{\text{인체노출량}(mg/kg\ \ b.w./day)} \quad (4)$$

위해도는 BMD와 산출된 노출량을 비교하여 MOE를 산출하여, MOE banding이 < 10,000 이면 possible concern, 10,000~1,000,000 이면 low concern, > 100,000 이면 negligible concern with action minimizing future exposure, > 1,000,000 이면 negligible concern으로 간주한다[20]. Reference point인 benchmark dose (BMD)는 mouse를 대상으로 한 실험에서 위상부암이 관찰된 자료를 근거로 한 benchmark dose lower limit ($BMDL_{10}$) 0.31~0.74 mg/kg b.w./day를 식용유지류 섭취에 의한 벤조피렌을 평가하기 위한 값으로 사용하였다[21].

결과 및 고찰

분석법 검증

내부표준물질이 5.0 μg/kg 수준으로 포함된 벤조피렌 표준용액 0.2, 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 μg/kg을 주입하여 내부표준법으로 검량선을 작성한 결과 상관계수(R^2)는 0.9999 이상의 우수한 직선성을 나타내었다. 검출한계(LOD)는 0.007 μg/kg, 정량한계(LOQ)는 0.02 μg/kg 이었다. 벤조피렌이 잔류하지 않는 것으로 확인된 시료를 통해 얻어진 회수율은 95.21 ± 0.94% 이었으며, 반복측정에 따른 C.V. (coefficient variation)는 10% 미만이었다(Table 2).

Table 2. Recovery, correlation coefficient, LOD and LOQ of benzo(a)pyrene

	Recovery ± SD[1] (%)	Correlation coefficient (R^2)	LOD (μg/kg)	LOQ (μg/kg)
Benzo(a)pyrene	95.21 ± 0.94	0.9999	0.007	0.02

[1]SD : Standard deviation

Table 3. Contents of benzo(a)pyrene in edible oils

Edible oil type	No. of samples	Benzo(a)pyrene contents (μg/kg)
Corn oil	7	ND[1]
Grape seed oil	9	ND
Olive oil	9	ND
Perilla oil	72	0.096 ± 0.37 (ND~1.79)[2]
Rice bran oil	6	ND
Sesame oil	179	0.134 ± 0.65 (ND~4.78)
Soybean oil	4	ND
Sunflower oil	2	ND

[1]ND : not detected
[2]The values indicate mean ± standard deviation (min~max) of data

식용유지류 중 벤조피렌 함량

시중에서 유통되고 있는 식용유지류 288건을 구입하여 벤조피렌 함량을 조사하였다. 사용된 식용유지류는 옥수수기름, 포도씨유, 올리브유, 들기름, 미강유, 참기름, 콩기름, 해바라기유 등 8종류이며 그 결과는 Table 3과 같다. 식용유지류 중 벤조피렌은 참기름과 들기름에서만 검출되었으며 검출범위는 불검출~4.78 μg/kg, 평균농도는 0.11 μg/kg이었다. 식품공전의 벤조피렌 기준규격인 2.0 μg/kg을 초과한 제품은 모두 참기름으로 총 4건이었고 들기름의 경우는 모두 기준이내이었다. 이는 대표적인 압착유인 참기름의 경우 다른 식용유지와 달리 제조가공시 착유를 위한 가열공정에 의해 PAHs가 생성될 가능성이 높기 때문인 것으로 보이며[22], Kim 등[23]은 참기름과 들기름에서 벤조피렌 생성의 근원적 해결을 위해서 볶음-압착과정 중 발생하는 연기를 강제 배기시켜 기름성분과 연기의 접촉을 막아주는 것이 효과적이라고 하였다. Lee 등[24]의 연구에서 참기름 중 벤조피렌 함량은 다른 식품에 비해 0.36 μg/kg으로 낮은 수준이었고, Hur 등[22]의 연구에서는 올리브유 중 벤조피렌의 검출수준이 불검출~1.9 μg/kg이었다. 또한 Sung 등[25]이 2007년과 2008년 2년에 걸쳐 국내 유통중인 총 110개의 식용유지제품에서 벤조피렌 함량을 측정한 결과, 모든 측정시료에서 국내 기준인 2.0 μg/kg 이하로 함유되어 있었다. 따라서 참기름을 제외하고는 2007년 벤조피렌의 규격이 고시된 이후 대부분의 식용유지제품에서 벤조피렌이 저감화되었음을 알 수 있었다.

인체노출량 평가

본 연구에서 조사된 8종류의 식용유지류 섭취로 인한 벤조피렌 노출 평가를 수행한 결과는 Table 4와 같다. 이때 전체인구집단의 섭취량뿐만 아니라 섭취량의 과소평가를 피하기 위해서 식용유지 섭취군의 섭취량을 이용하여 벤조피렌 노출평가를 수행하였다. 벤조피렌 함량이 가장 높았던 참기름의 경우 전체인구집단과 섭취자군의 평균 노출량은 각각 3.58×10^{-3} ng/kg b.w./day, 5.02×10^{-3} ng/kg b.w./day이었고, 들기름의 평균 노출량은 각각 3.65×10^{-4} ng/kg b.w./day과 1.76×10^{-3} ng/kg b.w./day이었다. 콩기름에서는 벤조피렌이 검출되지 않았으나 불검출 결과를 middle bound (MB, LOD/2)로 처리한 결과, 다른 식용유지류에 비해 섭취량이 많아 전체인구집단과 섭취자군의 평균 노출량은 각각 2.30×10^{-4} ng/kg b.w./day, 4.00×10^{-4} ng/kg b.w./day이었다. Lee 등[24]이 2001년 국민건강영양조사의 식품섭취량으로부터 산출한 참기름, 들기름 및 옥수수기름의 인체노출량은 각각 10.2×10^{-6} μg/kg b.w./d, 0.883 ×

Table 4. Estimated daily intake of benzo(a)pyrene from edible oils

Source of exposure	Con. Of b(a)P (ng/g)	Food intake (g/day) Mean ± SE[1)]		Estimated daily exposure to benzo(a)pyrene (ng/day)		Estimated daily intake (ng/kg b.w./day)	
		Total population	Consumer-only	Total population	Consumer-only	Total population	Consumer-only
Corn oil	ND	0.07 ± 0.01	3.31 ± 0.26	2.48×10^{-4}	1.20×10^{-2}	4.50×10^{-6}	2.18×10^{-4}
Grape seed oil	ND	0.13 ± 0.01	2.03 ± 0.14	4.82×10^{-4}	7.35×10^{-3}	8.77×10^{-6}	1.34×10^{-4}
Oliveoil	ND	0.08 ± 0.01	2.27 ± 0.30	3.04×10^{-4}	8.24×10^{-3}	5.52×10^{-6}	1.50×10^{-4}
Perilla oil	0.10	0.21 ± 0.01	1.01 ± 0.06	2.01×10^{-2}	9.70×10^{-2}	3.65×10^{-4}	1.76×10^{-3}
Rice bran oil	ND	0.02 ± 0.00	1.62 ± 0.32	5.73×10^{-5}	5.87×10^{-3}	1.04×10^{-6}	1.07×10^{-4}
Sesame oil	0.13	1.47 ± 0.04	2.06 ± 0.05	1.97×10^{-1}	2.76×10^{-1}	3.58×10^{-3}	5.02×10^{-3}
Soybean oil	ND	3.50 ± 0.08	6.06 ± 0.12	1.27×10^{-2}	2.20×10^{-2}	2.30×10^{-4}	4.00×10^{-4}
Sunflower oil	ND	0.04 ± 0.01	2.84 ± 0.78	3.63×10^{-3}	3.63×10^{-3}	6.59×10^{-5}	6.59×10^{-5}

[1)]SE : Standard error

10^{-6} μg/kg b.w./d, 6.867×10^{-6} μg/kg b.w./d 이었으며 다른 식품에 비해 들기름의 인체노출량이 가장 적은 것으로 나타났다.

MOE 산출

벤조피렌의 발암 위해도 추정을 위한 MOE는 reference point로 mouse의 위상부암에 대한 $BMDL_{10}$ 값인 0.31~0.74 mg/kg b.w./day를 설정하고, 전체인구집단과 섭취자군의 만성 1일 인체노출량 4.26×10^{-3} ng/kg b.w./day와 7.85×10^{-3} ng/kg b.w./day를 이용하여 구하였다. 산출된 MOE값은 전체인구집단에서는 7.28×10^{7}~1.74×10^{8} 수준으로, 섭취자군에서는 3.95×10^{7}~9.42×10^{7} 수준으로 나타났다. 따라서 식용유지류 섭취로 인해 벤조피렌 노출 시 인체위해 영향은 negligible concern으로 평가할 수 있어 위해가능성은 매우 낮은 것으로 나타났다. 그러나 정 등[26)]의 연구에서 이미 보고된 위해평가 결과 중 벤조피렌의 MOE는 2.48×10^{5}~8.91×10^{8} 수준이었다. 따라서 본 연구는 우리나라 국민이 섭취하는 모든 식품에 대한 위해성 평가가 이루어지지 않았기 때문에 실제 벤조피렌의 위해수준은 본 결과보다 다소 높을 가능성이 있으므로 식용유지에 함유된 벤조피렌에 대한 지속적인 모니터링를 통한 효과적인 위해성 평가 수행이 필요한 것으로 판단된다.

요 약

식용유지류의 섭취로 인해 발생하는 PAHs의 대표적인 발암물질인 벤조피렌의 안전성을 판단하기 위해 시중에 유통되는 288건의 식용유지제품에 함유된 벤조피렌 함량을 분석한 후 위해성을 평가하였다. 사용된 제품은 옥수수기름, 포도씨유, 올리브유, 들기름, 미강유, 참기름, 콩기름, 해바라기유 등이며 벤조피렌의 검출 범위는 불검출~4.78 μg/kg이었고 평균 농도는 0.11 μg/kg로 나타났다.

국민건강영양조사 5기 2차년도(2011) 자료를 이용하여 전체인구집단과 섭취군의 식용유지류 섭취량을 산출하여 만성 1일 인체노출량을 평가한 결과 식용유지류 섭취로 인한 벤조피렌 노출량은 전체인구집단의 경우 4.26×10^{-3} ng/kg b.w./day, 식용유지류 섭취군의 경우 7.64×10^{-3} ng/kg b.w./day로 나타났다. 인체 위해정도를 파악하기 위해 벤조피렌의 mouse 위상부암에 대한 $BMDL_{10}$값인 0.31~0.74 mg/kg b.w./day와 만성 1일 인체노출량을 이용하여 산출한 MOE 값은 전체인구집단에서는 7.28×10^{7}~1.74×10^{8}, 섭취자군에서는 3.95×10^{7}~9.42×10^{7} 수준이었다. 따라서 식용유지류 섭취로 인한 벤조피렌 인체노출의 위해정도는 매우 낮은 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Gunther FA and Buzzetti F.: Occurrence, isolation, and identification of polynuclear hydrocarbons as residues. *Residue Rev.*, **23**, 90-113 (1965).
2. Tilgner DJ and Daun H.: Polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked foods. *Residue Rev.*, **27**, 19-41 (1969).
3. IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 92 (2006).
4. Scientific Committee on Food.: Opinion of the scientific committee on food on the risks to human health of polycyclic aromatic in food. SCF/CS/CNTM /PAH/29 Final, Bussels, Belgium (2002).
5. Cho Y.H., Song K.Y., Baek M.K., Lee J.W., Lee G.W.: Study on extraction condition and analysis methods of benzo(a)pyrene in black ginseng. *Yakhak Hoeji,* **56**, 145-151 (2012).
6. Reports on tasks for scientific cooperation.: Report of participating in Task 3.2.12 October (2004).
7. Larsson B, Eriksson A, Cervenka M.: Polycyclic aromatic hydrocarbons in crude and deodorized vegetable oils. *J. Am. Oil Chem. Soc.,* **64**, 365-370 (1987).
8. Chung S.Y., Sho Y.S., Park S.K., Lee E.J., Suh J.H., Choi W.J., Kim J.S., Kim M.H., Kwon K.S., Lee J.O., Kim H.Y., Lee C.W.: Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils and fats. *Korean J. Food Sci. Technol.,* **36**, 668-691 (2004).

9. Hu S.J., Kim M.H., Oh N.S., Ha J., Choi K.S., Kwon K.S.: Levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish, shellfish and their processed products. *Korean J. Food Sci. Technol*., **37**, 866-872 (2005).
10. Hu S.J., Oh N.S., Kim S.Y., Lee H.M.: Determining of Levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in domestic vegetables and fruits. *Anal. Sci. Technol*., **19**, 415-421 (2006).
11. Kim H.Y., Chung S.Y., Sho Y.S., Park S.S., Lee E.J., Suh J.H., Lee Y.D., Choi W.J., Kim J.S., Eom J.Y., Park H.O., Jin M.S., Kim D.S., Ha S.C., Lee J.O.: Concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in cereals, pulses, potatoes and their products. Korean. *J. Food Sci. Technol.,* **37**, 537-541 (2005).
12. Korean Food Code : Korea Food & Drug Administration. pp. 2-1-21 (2012).
13. Korea Health Statistics 2012 : Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES V-3) pp. 492 (2012).
14. Cortesi. N. and Fusari. P.: Determinazione degli idrocarburi policilici aromatici:utilizzo di fasi eluenti la matrice lipidica a minor impatto ambientale. Riv. Ital. Sostanze Grasse 82 (LUGLIO/AGOSTO), 167-172 (2005).
15. Kim M.S.: Determination of benzo(a)pyrene in sesame oils using solid phase extraction. Master's thesis Dankook university (2009).
16. Jung S.Y., Park J.S., Chang M.S., Kim M.S., Lee S.M., Kim J.H., Chae Y.Z.: A simple method for the determination of polycyclic aromatic hydrocarbons(PAH) in edible oil employing solid phase extraction(SPE) cartridge purification. *Food Sci. Biotechnol*., **22(S)**, 241-248 (2013).
17. Rubert S, Soja P, Elke A.: Single-laboratory validation of a gas chromatography-mass spectrometry method for quantitation of 15 European priority polycyclic aromatic hydrocarbons in spiked smoked flavourings. *J. Chromatogr. A,* **1103**, 307-313 (2006).
18. GEMS/Food-Euro.: Report on a workshop in the frame of GEMS/Food-Euro. In: second workshop on reliable evaluation of low-level contamination of food. March 26-27, Kulmbach. Federal Republic of Germany (1995).
19. The Fifth Korea National Health and Nutrition Examination Survey(KNHANES V-II), Korea Centers for Disease Control & Prevention. (2011).
20. 이철호, 이효민, 박용호, 박경진, 김형진, 권중호 : 식품의 안정성 평가. 한국과학기술한림원출판부, pp. 60 (2009).
21. 식품의약품안전청: 유전독성 발암물질 위해평가 가이드. pp. 30 (2011).
22. Hur S., Woo G.J., Choi D.: Determination of benzo(a)pyrene in olive oils. *Analytical science &technology*, **20(2)**, 170-175 (2007).
23. Kim H.Y., Song D.S.: Minimizing benzo(a)pyrene contents in the manufacturing of sesame oil and perilla oil. *Korean J. Food Preserv.* **14(4)**, 556-561 (2008).
24. Lee BM and Shim GA.: Dietary exposure estimation of benzo(a)pyrene and cancer risk assessment. *J. Toxicol Environ Health A,* **70(15-16)**, 1391-1394 (2007).
25. Sung T., Lee J.S., Lee H.G.: Benzo(a)pyrene contents in commercial vegetables oils and changes during processing of vegetable oils. *Korean J. Food Sci. Technol*., **44(3)**, 269-273 (2012).
26. Jeong J.Y., Jung Y.K., Hwang M.S., Jung K.K., Yoon H.J.: Prioritizing management ranking for hazardous chemicals reflecting aggregate exposure. *J. Fd Hyg. Safety,* **27(4)**, 349-355 (2012).