

국내 유통 식용유지 및 식용유지 종류별 제조 공정에 따른 벤조피렌 함량

성태경^{1,2} · 이지수¹ · 이현규^{1*}

¹한양대학교 식품영양학과, ²사조해표(주) 연구소

Benzo(a)pyrene Contents in Commercial Vegetable Oils and Changes during Processing of Vegetable Oils

Taekyung Sung^{1,2}, Ji-Soo Lee¹, and Hyeon Gyu Lee^{1*}

¹Department of Food and Nutrition, Hanyang University

²R&D Institute, Sajo Haepyo Coporation

Abstract The principal objective of this study was to estimate the benzo(a)pyrene contents in commercial vegetable oils available in the Korean market and to assess the effects of various processing steps for vegetable oils on the contents of benzo(a)pyrene. Benzo(a)pyrene content in the studied commercial vegetable oils, crude oils, and raw materials were found to be lower than the maximum levels of 2 ppb. In both refined and pressed oil, the benzo(a)pyrene contents can be reduced through refining steps. However, an evident increase of benzo(a)pyrene contents during both the expeller process for corn oil and the roasting process for sesame oil was observed. This result indicates that the processing procedure, particularly heat treatment and refining steps would be critical in managing the benzo(a)pyrene contents in vegetable oils.

Keywords: polycyclic aromatic hydrocarbon, benzo(a)pyrene, vegetable oils

서 론

다환방향족탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbon, PAH)는 2 개 이상의 방향족 고리가 융합된 유기화합물로 모든 탄수화합물의 연소 과정에서 나타날 수 있으나, 주로 석탄, 석유 등과 같은 화석연료의 사용, 유기물질의 불완전 연소 및 자동차 매연 등에 의해 생성된다(1-3). PAH는 열을 이용한 조리 및 가공과정에서 식품의 주성분인 탄수화물, 단백질, 지질 등이 분해되어 생성되며, 육류, 어류 및 유지류 등 지방 함량이 높은 식품에 특히 많이 축적된다(2,4). 또한 생식품에는 일반적으로 PAH 함량이 낮은 반면, 굽기, 튀김, 볶음 등의 조리 및 가공과정에 의해 PAH 함량이 증가된다고 보고되었다(2). 여러 식품 급원 중에서도 개별 PAH 함량이 가장 높은 것은 식물성 식용유지로 조사되었다(2,4).

다수의 PAH는 발암성 및 돌연변이성을 지니고 있다고 알려져 있는데(5), 특히 벤조피렌(benzo(a)pyrene)은 잔류기간이 길고 강력한 독성으로 인하여 더욱 문제가 되고 있다. 벤조피렌은 내분비계장애물질인 동시에 발암성을 나타내는 대표적 물질의 하나로, 거의 모든 실험동물에서 가능한 모든 경로를 통해 암을 유발시키는 것으로 확인되었다(2,6). 벤조피렌은 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서 발암물질(Group 1)로 분류되었으며(7) 발암성에 근거하여 캐나다 및 미국 등에서는 PAH 중 우선순위에대상으로 선정 관리되고 있다(8).

식품 중 PAH 및 벤조피렌에 대한 세계 각국의 관리현황을 보면, EU는 식용유지에 대하여 벤조피렌 2.0 ppb 이하(9), 독일의 GSFS(German Society for Fat Science)는 자체기준으로 식용 유지 중 총 PAH로 25 ppb, heavy PAH로 5.0 ppb 이하로 관리하고 있다(10). 또한 캐나다에서는 총 PAH로 3TEQ(Toxic Equivalent Quotient)로 기준치를 설정하여 관리하고 있으며(11), 스페인은 일종의 저급 올리브유인 올리브포마스유에 대하여 벤조피렌으로 2.0 ppb, 총 PAH로 5.0 ppb 이하로(12) 관리하고 있다. 우리나라는 2006년 7월 올리브유에 대하여 벤조피렌 2.0 ppb로 기준을 설정한 이후, 2007년 2월에는 모든 식용유지에 그 대상을 확대하였다(13). 또한 어육을 혼연한 제품(수산물가공품, 건어포류, 어육소시지, 기타어육가공품)의 경우는 5.0 ppb 이하로 2008년부터 권장규격을 설정하였으며(14), 2009년에는 원료농산물인 숙지황과 건지황 역시 5.0 ppb 이하로 벤조피렌 기준이 규정되었다(13,15).

2007년 식품의약품안전청에서 국내 유통중인 식용유지의 벤조피렌 함량을 측정된 결과, 식용유지 섭취량 및 독성 등을 고려한 위해평가 시 인체 위해 발생이 우려되지 않는 상황이라고 발표하였다. 그러나 30개사 45개 제품이 권장규격인 2.0 ppb를 초과하였으며 초과제품의 벤조피렌 검출수준은 2.09-15.92 ppb 범위에 달하였다(16). 따라서 벤조피렌에 대한 인체 노출위험에 근본적으로 대처하기 위해서는 식용유지 생산단계에서의 벤조피렌 저감화 방안에 대한 연구가 시급하다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 유통중인 식용유지의 벤조피렌 현황을 파악하고 식용유지 종류별 제조 공정에 따른 저감화 방안을 강구하고자 한다. 이를 위하여 우리나라에서 유통되고 있는 식용유지 110여 제품의 벤조피렌 함량을 2007년과 2008년 2년에 걸쳐 조사하였다. 또한 식용유지 종류별 벤조피렌의 발생원인을 파악하고 제조 공정에 따른 벤조피렌 저감화 방안을 강구하기 위하여 유지의 종류 및 제조 방법에 따라 원재료 및 공정

*Corresponding author: Hyeon Gyu Lee, Department of Food and Nutrition, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea
Tel: 82-2-2220-1202
Fax: 82-2-2292-1226
E-mail: hyeonlee@hanyang.ac.kr
Received October 12, 2011; revised January 12, 2012; accepted March 7, 2012

별 벤조피렌의 함량변화를 조사하였다.

재료 및 방법

재료 및 시약

시중에서 생산, 유통되고 있는 식용유지(대두유, 옥수수유, 채종유, 미강유, 참기름, 들기름, 해바라기유, 올리브유)와 유종별 원재료 및 공정별 시료는 사조해표(Incheon, Korea)와 영미산업(Yongin, Korea)에서 시료를 취하여 분석 대상으로 하였다. 정량 분석을 위한 표준물질인 벤조피렌과 내부표준물질인 3-메틸콜란트렌(3-methylcholanthrene)은 Sigma-Aldrich Chemical Co.(St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 조제 및 희석하여 사용하였다. n-Hexane, dichloromethane, *N,N*-dimethylformamide(DMF), acetonitrile 등은 HPLC용 또는 잔류농약용으로 Merck사(Darmstadt, Germany)에서 구입하였고, sodium sulfide nonhydrate는 Sigma-Aldrich Chemical Co.에서 구입하였다. 또한 Sep-Pak Florisil Vac Cartridge 3 cc/500 mg(Waters, MA, USA)를 사용하였다.

벤조피렌 정량을 위한 표준검량 곡선 작성

벤조피렌 정량분석을 위한 검량선 작성에 사용된 표준용액을 조제하기 위하여, 200 mL 정용 플라스크에 벤조피렌을 취하여 acetonitrile로 정용하여 1.0 mg/L 농도로 제조하였다. 이를 단계별로 희석하여 0.5, 1.0, 5.0, 10.0 및 30.0 ppb의 표준용액을 제조하고 농도별로 분석하여 검량식을 $Y=aX+b$ (X 와 Y 는 각각 시료 함량의 로그값과 피크면적)의 형태로 작성하였다. 작성된 검량선에서 R^2 의 값을 통하여 직선성을 확인하였으며 R^2 의 값이 0.999 이상인 경우 성분의 함량을 평가하는 검량선으로 사용하였다. 검출한계(Limit of Detection, LOD) 및 정량한계(Limit of Quantification, LOQ)는 표준용액을 크로마토그래피의 피크면적비로 구한 후 크로마토그래피의 신호 대 잡음의 비가 3.3의 경우를 검출한계로, 10 이상의 경우를 정량한계로 각각 설정하였다(17).

식용유지 중 벤조피렌 함량 분석

시료 중 벤조피렌 추출 및 정제 조건은 벤조피렌 시험법을 수정 보완하여 실시하였다(13). 비이커에 10 g의 시료를 칭량하여 넣고 내부표준용액을 첨가하고 n-hexane 100 mL에 녹인 후 분액깔때기(I)에 옮겨 완전히 용해시킨다. 분액깔때기(I)에 50 mL의 90%(v/v) DMF를 넣어 흔들어 섞은 후 정치하고 DMF층을 분리하여 분액깔때기(II)에 옮긴다. n-hexane 층에 90% DMF 25 mL을 넣고 위와 동일한 방법으로 2회 되풀이하여 DMF 층을 분액깔때기(II)에 옮긴다. 모아진 DMF층에 1%(w/v) sodium sulfate 용액 100 mL과 n-hexane 50 mL를 넣어 흔들어 섞은 후 정치하여 n-hexane층을 분액깔때기(III)에 옮긴다. 90% DMF 35 mL을 분액깔때기(II)에 넣고 위와 동일한 방법으로 2회 되풀이하여 n-hexane 층을 분액깔때기(III)에 회수한 후, 증류수로 2회 세척하였다. N-hexane층에 무수황산나트륨 15 g을 넣은 후 Whatman IPS여과지로 탈수 여과하고 회전감압농축기(40°C, BUCHI R-124, BUCHI, Flawil, Switzerland)를 사용하여 농축하였다. Sep-Pak Florisil cartridge에 시료 농축액을 1 mL/min의 속도로 가한 후 n-hexane 5 mL와 n-hexane/dichloromethane(3:1, v/v) 15 mL로 각각 용출시킨 후 이 용출액을 40°C 이하의 수용상에서 질소 가스로 휘발시킨 후 잔류물을 acetonitrile로 녹여 전량을 1 mL로 하고 이를 0.45 µm membrane filter로 여과하여 시험용액으로 사용하였다. 벤조피렌 함량은 HPLC(Shimadzu, Kyoto, Japan)로 분석하였다. 사용한 column은 Supelcosil LC-PAH(25 cm×4.6 mm, Supelco

Inc., Bellefonte, PA, USA)이었고 fluorescence detector(Shimadzu)를 사용하여 여기파장 294 nm, 형광파장 404 nm(Ex/Em)에서 분석하였으며, 이동상은 80% acetonitrile, 유속은 1.0 mL/min이었다. 검량곡선에서 얻어진 표준물질과 내부표준물질의 피크에 대한 면적비를 통해 검량선을 작성하여 벤조피렌의 함량을 산출하였다.

원재료의 벤조피렌 함량분석

각 식용유지 원재료의 벤조피렌 함량을 조사하기 위해 유종별 원재료인 대두, 옥수수 배아, 참깨, 들깨 등 벤조피렌의 함량을 분석하였다. 각 원재료로부터 n-hexane을 이용하여 지방성분을 추출한 후 n-hexane을 완전히 제거하여 시료로 사용하였다. 이후 벤조피렌 분석은 식용유지 분석방법과 동일한 방법으로 실시하였다.

결과 및 고찰

벤조피렌의 함량 분석

벤조피렌에 대한 표준물질 및 내부표준물질인 3-메틸콜란트렌 혼합 표준용액의 크로마토그램, 공시료에 혼합 표준용액을 첨가하여 전처리 후 HPLC로 분석하여 얻은 크로마토그램 및 벤조피렌이 검출된 시료의 크로마토그램은 Fig. 1과 같다. 검량선 작성을 위하여 0.5-30.0 ppb 범위의 5개 농도에서 측정 분석한 결과 $Y=1.2475X-0.0475$ 의 검량선을 나타냈으며 0.999 이상의 높은 상관계수를 나타냈다. 검출한계(LOD)는 0.014 ppb로 산출되었는데, 이러한 검출한계값은 Kim 등(2)과 Hu 등(3)에 의한 0.013-0.02 ppb와 유사한 정도였으며, Chen(18)에 의한 0.0042 ppb보다는 다소 높고, Hendrikse와 Dieffenbacher(19)와 Purcaro 등(20)에 의한 0.1-0.17 ppb보다는 낮은 범위로 관측되었다. 정량한계(LOQ)는 0.043 ppb로 산출되었으며, 이러한 결과는 Purcaro 등(20)에 의한 정량한계인 0.46 ppb보다 다소 낮은 수준이었다. 분석의 재현성

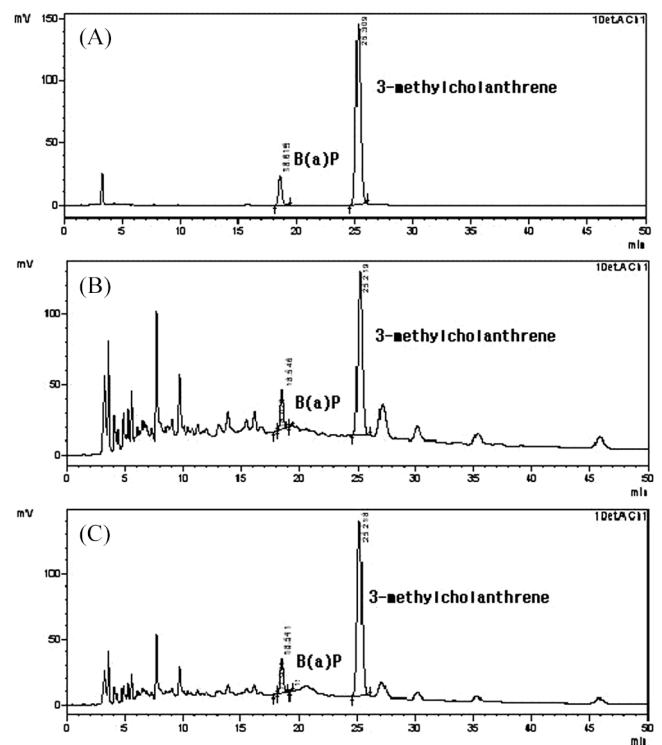


Fig. 1. Typical chromatogram of benzo(a)pyrene for standard (a) spiked sample (b) and sample (c).

Table 1. Benzo(a)pyrene contents of vegetable oils in 2007 and 2008

Vegetable oils	2007		2008	
	No. of samples	Benzo(a)pyrene contents (ppb)	No. of samples	Benzo(a)pyrene contents (ppb)
Soybean oil	4	0.28±0.25 (0.11-0.65) ¹⁾	16	0.34±0.19 (0.11-0.84)
Corn oil	9	0.67±0.25 (0.24-0.97)	11	0.16±0.14 (0.02-0.52)
Carnola oil	6	0.30±0.13 (0.13-0.45)	15	0.21±0.13 (0.07-0.43)
Olive oil	3	0.23±0.05 (0.17-0.26)	8	0.43±0.18 (0.22-0.68)
Grapeseed oil	3	0.67±0.57 (0.34-1.33)	15	0.34±0.16 (0.08-0.63)
Sesame oil	6	0.08±0.04 (0.01-0.11)	14	0.40±0.33 (0.16-1.40)

¹⁾The values indicate mean±standard deviation (min-max) of data.

및 정확도를 확인하기 위하여 정제유인 옥배유와 압착유인 참기름에 표준물질을 다양한 농도로 첨가하여 회수율을 측정된 결과, 평균 회수율은 각각 96%와 87%로 측정되었으며, 상대표준편차 (relative standard deviation, RSD)는 1.03-3.25% 범위로 측정되어 벤조피렌에 대한 기존 논문들과 유사한 정도의 정확도 및 재현성을 나타내었다(1,3-4).

국내 유통 식용유지별 벤조피렌 함량

2007년과 2008년 2년에 걸쳐 국내 유통중인 총 110개 식용유지 제품의 벤조피렌 함량을 측정하여 Table 1에 나타내었다. 벤조피렌 측정 결과, 모든 측정 시료는 국내의 허용한계 기준인 2.0 ppb 이하 함유되어 있었으며, 2007년의 포도씨유와 2008년의 참기름에서 각 1제품씩을 제외한 대부분 식용유지가 1.0 ppb 이하의 낮은 수준으로 검출되었다. 이러한 결과는 2006년 권장 규격으로 입안 및 2007년 고시된 이후부터 대부분의 식용유지 제품에서 벤조피렌이 저감화되었음을 나타내었다. 위에서 언급한 바와 같이 측정된 모든 식용유지의 벤조피렌 함량은 허용한계 이하로 검출되긴 하였으나, 동일한 식용유지라 하더라도 2-26배까지의 벤조피렌 함량에 큰 차이를 나타내는 것으로 확인되었다. 즉, 식용유지의 원재료 및 제조 공정에 따라서 최종 제품에 함유된 벤조피렌의 함유율을 저감화시킬 수 있음을 나타내는 것이다.

외국에서의 식용유지 중 벤조피렌의 함유량에 대한 보고를 보면 영국에서는 식물성유 1.29 ppb(21), 이탈리아에서는 올리브유 0.1 ppb(22), 독일에서는 올리브유 0.7 ppb, 홍화유 0.3 ppb, 해바라기유 0.7 ppb, 옥수수유 1.3 ppb(23)로 벤조피렌이 각각 함유되어 있는 것으로 보고되었다. 대상 시료의 종류가 다르기 때문에 직접적인 비교는 어려우나 국내 유통중인 식용유지들과 유사한 수준이었다. 그러나 브라질에서는 올리브유의 경우 불검출-9.7 ppb로 벤조피렌의 함유 범위가 다양한 것으로 보고되어(24) 국내에

서와 마찬가지로 원재료 처리 및 제조 조건에 따른 벤조피렌의 저감화 가능성을 확인할 수 있었다.

원재료의 벤조피렌 함량

식용유지는 대부분 수입 원재료로부터 착유된 후 정제되기 때문에, 수입국 및 가공 형태에 따라 원료의 벤조피렌의 함량은 영향을 받을 수 있다. 본 연구에서 측정된 원재료들의 벤조피렌 함량은 Table 2와 같다. 대두의 경우는 벤조피렌의 함량이 0.4-0.7 ppb로 매우 적게 나타났으나 옥수수유의 원재료인 옥수수 배아의 경우는 벤조피렌의 함유율이 0.66-3.14 ppb로 검출 범위가 폭 넓은 것으로 나타났다. 즉, 미국산은 0.66-2.0 ppb의 벤조피렌 함유율을 보인 반면 중국산의 경우 최대 3.14 ppb까지 검출되어 수입국에 따라 벤조피렌의 함유율에 큰 차이를 보였다. 또한 원재료인 들깨와 참깨는 2.0 ppb 이하로 벤조피렌이 검출된 반면, 1차 가공되어 수입되는 참깨분은 0.3-2.5 ppb로 벤조피렌의 함유율이 오히려 증가된 현상을 확인하였다. 이러한 원인은, 현지의 볶음조건에 따라 벤조피렌의 함량에 크게 영향을 받기 때문인 것으로 추정되었다. 또한 옥수수유와 일부 참기름의 경우 벤조피렌의 생성원인은 원재료의 오염으로 1차적으로 발생됨을 확인할 수 있었다.

Table 2. Benzo(a)pyrene contents of raw materials

Samples	Benzo(a)pyrene contents (ppb)
Soybean	0.51±0.14 (0.40-0.70) ¹⁾
Corn germ	1.37±0.79 (0.66-3.14)
Sesame seed	0.72±0.31 (0.40-1.02)
Sesame powder	1.33±1.11 (0.30-2.50)
Perilla seed	0.96±0.58 (0.37-1.52)

¹⁾The values indicate mean±standard deviation (min-max) of data.

Table 3. Benzo(a)pyrene contents of crude oils in 2007 and 2008

Vegetable oils	2007		2008	
	No. of samples	Benzo(a)pyrene contents (ppb)	No. of samples	Benzo(a)pyrene contents (ppb)
Soybean oil	15	0.59±0.12 (0.34-0.89) ¹⁾	24	0.44±0.20 (0.19-0.86)
Corn oil	7	0.80±0.48 (0.13-1.22)	4	0.31±0.18 (0.16-0.56)
Carnola oil	19	0.17±0.17 (0.04-0.68)	9	0.19±0.08 (0.11-0.35)
Olive oil	25	0.42±0.25 (0.11-0.87)	20	0.27±0.10 (0.09-0.44)
Grapeseed oil	36	0.58±0.28 (0.03-1.08)	41	0.24±0.17 (0.04-0.71)
Sunflower oil	18	0.28±0.17 (0.05-0.62)	24	0.25±0.12 (0.14-0.70)
Rice bran oil	6	0.81±0.45 (0.31-1.22)	2	0.10±0.01 (0.09-0.11)
Sesame oil	18	0.67±0.22 (0.37-0.97)	55	0.49±0.20 (0.11-0.91)

¹⁾The values indicate mean±standard deviation (min-max) of data.

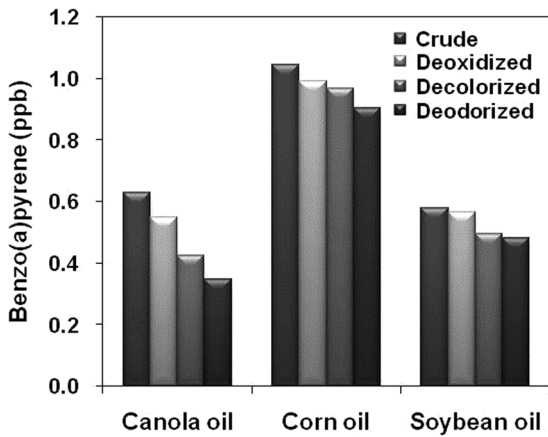


Fig. 2. Benzo(a)pyrene contents of canola, corn and soybean oil throughout the refining steps.

정제유의 제조 공정별 벤조피렌 함량

일반적으로 채종유와 압착 올리브유 등은 추출 원유형태로 수입되며 현미유를 비롯한 정제 올리브유, 해바라기유 등은 부분 정제유(refined oil)의 형태로 수입된 후 탈산, 탈색, 탈취 등의 정제 과정을 거쳐 제품화 된다. 또한 옥수수유의 경우는 수입된 추출 원유, 부분 정제유로부터 정제 과정을 거쳐 제품으로 생산되기도 하며 국내에서 옥수수 배아로부터 착유된 추출 원유를 정제되어 제품화되기도 한다. 먼저 정제유의 원료로 사용되는 수입 원유(crude oil)의 종류별로 벤조피렌의 함량을 분석하였다. Table 3에서와 같이 대부분의 원유에서 벤조피렌 함량은 1 ppb 이하로 검출되었다. 이러한 결과는 식용유지에 대한 벤조피렌의 관리가 2007년부터 시작되면서 수입 전 사전 검사의 영향으로 예상할 수 있다.

정제유의 종류에 따라 제조 공정에 따른 벤조피렌 함량의 변화를 파악하기 위하여, 각 제조 공정별로 시료를 채취하여 벤조피렌의 함유량을 측정하였다. Fig. 2와 같이 수입 원유로부터 정제되는 채종유와 옥수수유, 그리고 용매 추출한 후 가공하는 대두유의 경우, 원유 자체의 벤조피렌 함량이 낮으며 이후 제조 공정에서도 점차 감소하는 경향을 보였다. 그 중에서도 탈취공정에서 가장 뚜렷한 감소율을 나타내었다. 이때 모든 제조 공정별로

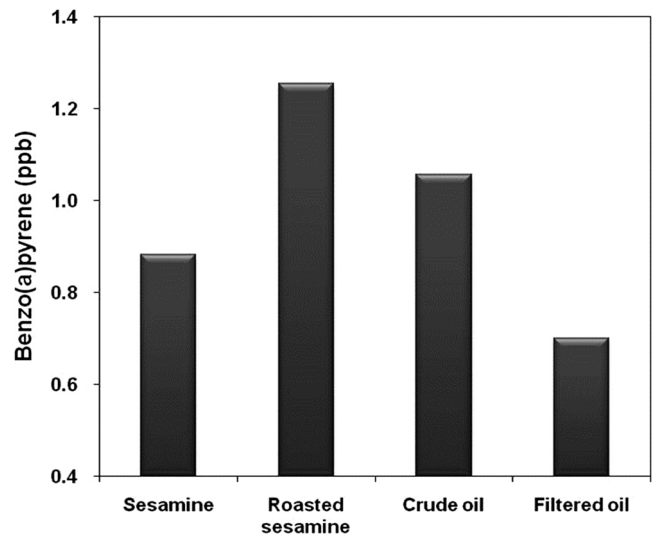


Fig. 4. Benzo(a)pyrene contents in processing and refining process for sesamine oil.

측정된 벤조피렌 함량은 1.0 ppb 이하의 낮은 수준으로 검출되었다.

그러나 수입된 원유로부터 정제된 옥수수유와는 달리, 국내에서 옥수수 배아로부터 압착 착유과정에 의해 제조된 옥수수유의 경우는 Fig. 3에서와 같이 압착 착유된 추출원유가 원료인 배아에 함유된 벤조피렌과 비교했을 때 약 20% 이상 증가되는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 결과는 원료인 옥수수 배아로부터 expeller를 이용하여 유분을 추출하는 과정에서 착유효율을 증가시키기 위해 일반적으로 120°C 이상의 고온으로 착유공정을 실시하게 되는데 이때 벤조피렌의 발생량이 증가되는 것으로 추정된다. 이렇게 생성된 벤조피렌은 정제 공정에서 약 10%정도 감소하는 경향을 보였으나 대부분의 벤조피렌은 최종제품까지 전달되었다.

압착유의 제조 공정별 벤조피렌 함량

대표적인 압착유인 참기름을 제조하기 위해서는, 먼저 원료인 참깨의 볶음과정을 거친 후 볶음 참깨로부터 원유를 착유하고 여과공정을 거치게 된다. 이때 각 공정별로 시료를 채취하여 벤조

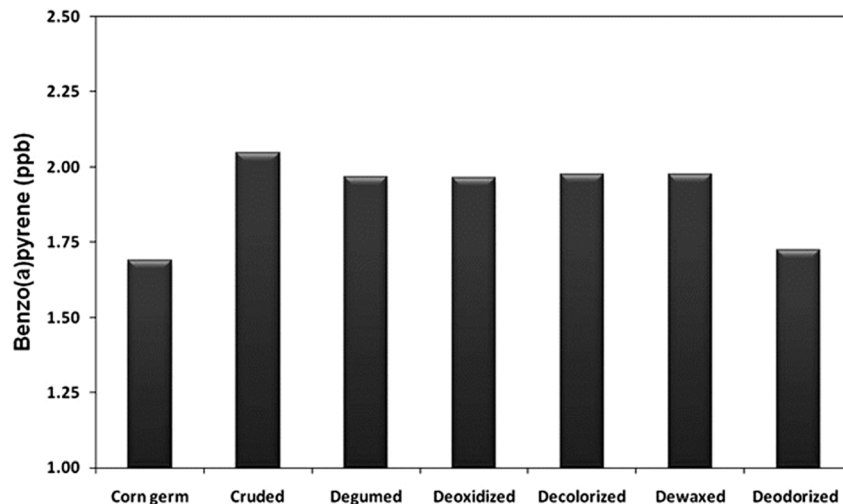


Fig. 3. Benzo(a)pyrene contents in processing and refining process for expeller-extracted corn oil.

피렌의 함량을 측정하였다. Fig. 4에서와 같이 원료 참깨에 비하여 볶음 공정 이후에 벤조피렌 함유량이 약 45% 이상 현격한 증가를 나타내었다. 일반적으로 참깨의 볶음과정은 180-220°C에서 10-15분간 볶게 되는데 이러한 고온 처리과정에서 벤조피렌이 다량 발생되는 것으로 판단된다. 이때 고소한 맛과 향을 증가시키거나 수율을 높이기 위해 고온에서 기준 이상의 시간 동안 볶음 경우 다량의 연기가 발생하게 되며 이때 발생하는 연기를 즉시 제거하지 않을 경우 원유의 벤조피렌 함량은 더욱 증가될 것으로 추정된다. 이후 착유 및 여과과정에서 벤조피렌의 함량은 꾸준히 감소되는 것으로 확인되었다.

요 약

국내에서 유통되는 식용유지의 벤조피렌 함량과 정제유와 압착유의 제조 공정별 벤조피렌 함량변화를 살펴보았다. 측정된 모든 식용유지의 벤조피렌 함량은 허용한계 이하로 검출되긴 하였으나, 동일한 식용유지라 하더라도 벤조피렌 함량에 큰 차이를 나타내어 원료 및 제조 공정에 따라 최종제품의 벤조피렌을 저감화시킬 수 있음을 확인할 수 있었다. 정제유 및 압착유의 제조 공정별 벤조피렌 함량을 분석한 결과, 정제 공정을 거치면서 원유 및 착유 원유에 함유되어있던 벤조피렌의 함량이 꾸준히 감소되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 옥수수유의 경우는 옥수수 배아를 압착 착유하는 과정에서 벤조피렌의 발생이 증가되었으며, 참기름의 경우는 참깨의 볶음 과정에서 벤조피렌이 급격히 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 즉 식용유지의 제조 공정 중 고온 처리과정에서 벤조피렌의 발생량이 급증하였으며, 이후 정제 공정에서 꾸준히 감소되는 현상을 나타내었다. 이러한 결과는 이후 벤조피렌의 저감화를 위한 공정개선의 기초자료로 활용할 수 있을 것이다.

문 헌

1. Hu S, Woo GJ, Choi D. Determination of benzo(a)pyrene in olive oils. *Anal. Sci. Technol.* 20: 170-175 (2007)
2. Kim HY, Chung SY, Sho YS, Park S, Lee EJ, Suh JH, Lee YD, Choi WJ, Kim JS, Eom JY, Park HO, Jin MS, Kim DS, Ha SC, Lee JO. Concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in cereals, pulses, potatoes, and their products. *Korean J. Food Sci. Technol.* 37: 537-541 (2005)
3. Hu S, Kim M, Oh NS, Ha J, Choi KS, Kwon K. Levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in fish, shellfish, and their processed products. *Korean J. Soc. Food Sci.* 37: 866-872 (2005)
4. Chung SY, Sho YS, Park SK, Lee EJ, Suh JH, Choi WJ, Kim JS, Kim M, Kwon K, Lee JO, Kim HY, Lee CW. Concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in vegetable oils and fats. *Korean J. Soc. Food Sci.* 36: 688-691 (2004)
5. Baan RA, Steenwinkel MJ, van den Berg PT, Roggeband R, van Delft JH. Molecular dosimetry of DNA damage induced by polycyclic aromatic hydrocarbons; relevance for exposure monitoring and risk assessment. *Hum. Exp. Toxicol.* 13: 880-887 (1994)
6. Kim HY, Song DS. Minimizing benzo(a)pyrene content in the manufacturing of sesame oil and perilla oil. *Korean J. Food Pre-*

- serv.* 15: 556-561 (2008)
7. International agency for research on cancer. Overall evaluations of carcinogenicity to humans. Available from: <http://monographs.iarc.fr/eng/classification/crthgr01.php>. Accessed Mar. 26, 2009.
8. U.S. EPA. U.S. EPA method 610-polycyclic aromatic hydrocarbons. Methods for organic chemical analysis of municipal and industrial wastewater. U.S. Environmental protection agency. Washington, DC, USA. (1982)
9. Official Journal of the European Union. Commission regulation (EC) No 208/2005, amending regulation (EC) no 466/2001 as regards polycyclic aromatic hydrocarbon. Brussels, European Commission (2005)
10. Skokroglu G, Gogus F, Fadiloglu S. Determination of benzo(a)pyrene in vegetable oils by high performance liquid chromatography. *J. Food Quality* 30: 300-308 (2007)
11. Canadian interim guideline for polyaromatic hydrocarbons in olive-pomace oils. Available from: <http://www.wto.org>. Accessed Mar. 26, 2009.
12. Ministry of health and consumption of Spain. Official bulletin of state. No. 178, p. 27398. Ministry of health and consumption of Spain, Madrid, Spain (2001)
13. KFDA. Food Code. Korea Food & Drug Administration. Cheongwon, Chungbuk, Korea (2008)
14. Korea Food & Drug Administration. Available from: http://kfda.go.kr/open_content/news/notice_view.Php 974. Accessed Sep. 1, 2008.
15. Korea Food & Drug Administration. Available from: http://kfda.go.kr/open_content/adminstrative/policy_view.php 534. Accessed Sep. 23, 2008.
16. Korea Food & Drug Administration. Available from: http://kfda.go.kr/open_content/news/press_view.Php 1261. Accessed Sep. 6, 2007.
17. International Conference on Harmonization of Technical Requirements for Registration of Pharmaceuticals for Human Use. ICH-Q2B Validation of analytical procedures: Methodology. Geneva, Switzerland (1996)
18. Chen HW. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbon in water by solid-phase microextraction and liquid chromatography. *Anal. Sci.* 20: 1383-1388 (2004)
19. Hendrikse PW, Dieffenbacher A. Determination of benzo(a)pyrene in oils and fats by reversed phase high performance liquid chromatography. Results of collaborative study and the standardized method. *Pure Appl. Chem.* 63: 1659-1666 (1991)
20. Purcaro G, Moret S, Conte LS. Rapid validated method for the analysis of benzo[a]pyrene in vegetable oils by using solid-phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry. *J. Chromatogr. A* 1176: 231-235 (2007)
21. Dennis M, Massey R, Cripps G, Venn I, Howarth N, Lee G. Factors affecting the polycyclic aromatic hydrocarbon content of cereals, fats, and other food products. *Food Addit. Contam.* 8: 517-530 (1991)
22. Lodovici M, Dolara P, Casalini C, Ciappellano S, Testolin G. Polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in the Italian diet. *Food Addit. Contam.* 12: 703-713 (1995)
23. Speer K, Steeg E, Horstmann P, Kuhn T, Montag A. 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 (1990)
24. Pupin AM, Toledo MCiF. Benzo(a)pyrene in olive oils on the Brazilian market. *Food Chem.* 55: 185-188 (1996)