

한약재 중 벤조피렌의 함량 분석

서울시보건환경연구원
강북농수산물검사소 유해물질검사팀

조성애 · 김수진 · 김남훈 · 정삼주 · 김화순 · 김경식 · 한기영 · 채영주

Analysis of Benzo(a)pyrene Content in Medicinal Herbs

*Research Institute of Public Health and Environment.
Kangbuk Agri-marin products Inspection center.
Hazardous Materials Inspection Team.*

**Sung-ae Jo, Soo-jin Kim, Nam-hoon Kim,
Sam-ju Jung, Hwa-soon Kim, Kyung-sig Kim,
Ki-young Han and Young-zoo Chae**

Abstract

A total of 235 samples and 41 species of medicinal herbs were analyzed for benzopyrene content using HPLC-FLD. The analytical results of benzopyrene analysis in medicinal herbs was as follows: the sample number of medicinal herbs testing positive for benzopyrene were 110(46.8%); less than 5 ug/kg was observed in 95 samples (40.4%), and more than 5 ug/kg was seen in 15 samples(4.0%). Benzopyrene in Chrysanthemi Flos(1), Spatholobi Caulis(1), Allii Tuberosi Semen(1), Cimicifugae Rhizoma(1), Mume Fructus(1), Amomi Tsao-ko Fructus(2), Cyperi Rhizoma(1), Scrophulariae Radix(1), Polygonati Rhizoma (1), and Magnoliae Cortex(5) were detected above 5 ug/kg, the standard limit of benzopyrene. The percentages of samples that tested positive for benzopyrene for each species of medicinal herb were: Curcumae Longae Rhizoma(100%), Mume Fructus(100%), Amomi Tsao-ko Fructus(100%), Scrophulariae Radix(90.0%), Magnoliae Cortex(88.9%), Scute -llariae Radix(87.5%), Cyperi Rhizoma (86.4%), Cimicifugae Rhizoma(83.3%).

Key words : benzopyrene, HPLC-FLD, medicinal herbs

서론

환경오염, 과학 기술의 발달 그리고 건강한 삶을 영위하기 위해 먹거리 안전성에 대한 국민들의 요구가 날로 증가하고 있으며 건강기능 식품 등에 한약재의 사용이 늘어나고 있다. 최근에 들어 중국산 한약재의 수입과 대량 생산에 따른 농약 등의 오염에 의한 독성문제가 심각한 사회문제로 대두됨에 따라 생약 중 유해물질에 대한 국민들의 관심과 우려가 증대되고 있다. 유해물질이라 함은 환경 등에 의해 비의도적으로 식품에 존재하거나, 식품 제조과정 중에 생성되는 중금속, 곰팡이독소, 다이옥신, 벤조피렌 등을 말하며, 우리나라는 생약의 안전성 확보를 위하여 곰팡이독소, 벤조피렌, 잔류농약, 잔류이산화황 및 중금속을 포함하는 생약 등의 잔류오염물질 기준 및 시험방법을 통합고시하고 있다(1). 그 중 벤조피렌(Benzo[a]pyrene, $C_{20}H_{12}$)은 다환방향족탄화수소(PAHs, polycyclic aromatic hydrocarbons) 그룹으로 식품의 고온 조리·가공 시 식품의 주성분인 탄수화물, 단백질, 지방 등이 불완전 연소되어 생성되는데 주로 볶기, 튀김, 굽기의 가공과정에서 생성이 되나 공기, 물, 토양에 이미 잔류할 수 있기 때문에 과일이나 야채 등 가공하지 않은 식품에서도 나타나기도 한다(2). 가공과정 중에 발생하는 벤조피렌은 불에 가깝게 조리하거나 처리시간이 길어질수록 발생량은 증가한다고 알려져 있다. 또한 원유, 화산, 숲의 화재 등과 같이 자연적으로 발생하기도 하고 화석연료를 사용하는 산업 공정, 자동차 연료 및 배출가스, 나무의 연소, 담배에서도 발생한다(3~4). 국제암연구소 IARC(International Agency for Research on Cancer)(5)에서는 2006년에 발암물질(Group 1)로 분류하여 발표하였다(5). 우리나라의 경우 식품은 현재 식용유지에 대해 $2\mu\text{g}/\text{kg}$ (식품의약품안전청 고시 제2007-68호, 2007.10.18), 훈제어육과 훈제건조어육은 각각 $5\mu\text{g}/\text{kg}$ 과 $10\mu\text{g}/\text{kg}$ (식품의약품안전청 고시 제2010-51호, 2010.06.30), 영유아식품, 조제분유 등 특수용도식품류에는 $1\mu\text{g}/\text{kg}$ (식품의약품안전청 고시 제2010-51호, 2010.06.30)로 기준을 설정하였으며, 생약의 경우 지황과 숙지황에 대해서만 $5\mu\text{g}/$

kg 이하(식품의약품안전청 고시 제2011-27호, 2011.06.24)로 기준이 설정 되었다. 또한 식약청에서는 2009년 12월에 광물성 생약을 제외한 모든 한약재에 대해 벤조피렌 기준을 $5\mu\text{g}/\text{kg}$ 이하(식품의약품안전청 고시 제2009-302호, 2009.12.3)로 규정하는 생약의 벤조피렌 기준 및 시험방법을 행정예고하였다. 이에 따라 본 연구에서는 한약재 중 벤조피렌의 함량을 조사하여 생약 중 벤조피렌 허용기준 개정과 한약재의 안전관리를 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 재료

2011년 3~12월중 서울 경동약령시 중심으로 유통되고 있는 한약재를 대상으로 한약재 총 41 품목 235건을 대상으로 하였다. 본 연구에서는 식품의약품안전청에서 발행한 한약재진위감별도감과 한약재감별주해에서의 한약재의 약용부위(6)에 따라 시료를 분류하였으며(표 1), 각 시료는 mixer(FM-681, Hanil, Seoul, Korea)로 분쇄한 후 기밀용기에 보관하여 사용하였다.

2. 시약 및 장비

전처리에 사용된 시약 중 메탄올, 디클로르메탄, 헥산은 Fisher scientific 사의 HPLC급을, 아세토니트릴은 Burdick & Jackson 사의 HPLC급을 사용하였으며, 표준물질인 벤조피렌과 내부표준물질인 3-메틸콜라트렌은 Supelco Inc.(North harrison, USA)을 사용하였다. 초음파추출기는 Branson 8510(Danbury, USA) 모델을 사용하였으며, 측정기기는 HPLC(Agilent 1100 series, California, USA)을 사용하여 분석하였다.

분석방법

1. 추출

식품의약품안전청 고시(제 2011-42호, 2011.8.22) 생약 등의 벤조피렌 시험방법에 따라 다음과

Table 1. List of the medicinal herbs used for monitoring

Radix(5)		Rhizoma(7)		Herba(5)		Fructus(8)	
<i>Sophorae Radix</i>	고삼	<i>Curcumae Longae Rhizoma</i>	강황	<i>Visci Herba</i>	곡기생	<i>Terminaliae Fructus</i>	가자
<i>Dipsaci Radix</i>	속단	<i>Rhei Radix et Rhizoma</i>	대황	<i>Agastachis Herba</i>	곽향	<i>Anethi fructus</i>	시라자
<i>Peucedani Radix</i>	식방풍	<i>Cimicifugae Rhizoma</i>	승마	<i>Mori Folium</i>	상엽	<i>Forsythiae Fructus</i>	연교
<i>Scrophulariae Radix</i>	현삼	<i>Atractylodis Rhizoma</i>	창출	<i>Artemisiae Argyi Herba</i>	애엽	<i>Mume fructus</i>	오매
<i>Scutellariae Radix</i>	황금	<i>Alismatis Rhizoma</i>	택사	<i>Houttuyniae Herba</i>	어성초	<i>Cistanchis Herba</i>	육종용
Cortex(5)		<i>Cyperi Rhizoma</i>	향부자	Semen(5)		<i>Ponciri Fructus</i>	지실
<i>Arecae Pericarpium</i>	대복피	<i>Polygonati Rhizoma</i>	황정	<i>Sinapis Semen</i>	개자	<i>Amomi Tsao-ko Fructus</i>	초파
<i>Ulmi Cortex</i>	유백피	Ramulus(2)		<i>Allii Tuberosi Semen</i>	구자	<i>Hoveniae Semen Cum Fructus</i>	지구자
<i>Lycii Cortex</i>	지골피	<i>Spatholobi Caulis</i>	계혈등	<i>Thujae Semen</i>	백자인		
<i>Alibizziae Cortex</i>	합환피	<i>Bambusae Caulis In Taeniam</i>	죽여	<i>Ligustri Fructus</i>	여정실		
<i>Magnoliae Cortex</i>	후박	Flos(2)		<i>Carthami Tinctorii Seed</i>	홍화자		
Perithecium(2)		<i>Chrysanthemi flos</i>	감국				
<i>Hoelen Cum Radix</i>	복신	<i>Typhae pollen</i>	포황				
<i>Ganoderma</i>	영지						

같이 실험하였다. 검체 500~600 g을 잘 분쇄한 다음 가루로 하여 약 5.0 g을 정밀하게 달아 물 100 mL를 넣어 90분간 초음파 추출하였다. 여기에 헥산 약 100 mL 및 내부표준액 1 mL을 넣어 호모게나이저로 5분간 균질하게 섞은 다음 30분간 초음파 추출하였다. 헥산층을 분액깔대기에 옮기고 다시 물층에 헥산 약 50 mL씩을 넣고 2회 반

복하여 진탕 추출한 후 헥산층을 취하여 분액깔대기에 합하였다. 합한 헥산층에 물 약 50 mL을 넣어 세척하고, 이 헥산층을 무수황산나트륨을 넣은 여과지를 사용하여 탈수 여과한 다음 45°C의 수욕 상에서 감압하여 헥산 약 2 mL가 될 때 까지 농축하였다. 만일 헥산층에 에멀전이 생성된 경우에는 5~10 mL의 메탄올을 넣어 방치하였다.

2. 정제 및 기기분석

플로리실카트리지는 미리 디클로로메탄 10 mL 및 헥산 20 mL를 순서대로 초당 2~3방울의 속도로 용출시켜 활성화시킨 후 사용하였다. 활성화된 카트리지에 위의 추출용액을 넣어 헥산·디클로로메탄혼합액(3:1) 20 mL를 초당 2~3 방울의 속도로 용출시켰다. 이 용출된 액을 35°C의 질소가스 하에 날려 보낸 후 잔류물을 아세토니트릴 1 mL에 녹인 다음 0.45 μm 이하의 멤브레인필터로 여과한 여액을 HPLC에 주입하여 표 2와 같은 조건에서 벤조피렌을 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 회수율과 검출한계

검량선은 벤조피렌 표준품을 아세토니트릴로 희석하여 3~50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 정도의 범위가 되도록 표준용액을 조제하여 작성하였고. 내부 표준물질인 3-메

틸콜란트렌 표준품도 각각 50 ng이 함유되도록 희석하여 표준액으로 하였다. 분석법에 대한 회수율을 알고자 벤조피렌이 검출되지 않는 샘플 5g에 표준용액을 50 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 수준으로 첨가하여 시료의 분석방법과 동일하게 3회 반복 처리 후 회수율을 측정하였으며, 측정결과는 표 3과 같고, 표준용액의 크로마토그램은 그림 1과 같다.

2. 국내 유통 한약재의 벤조피렌 함량

서울 경동약령시 중심으로 유통되는 있는 한약재를 대상으로 한약재 41품목, 235건의 벤조피렌 함량 분석결과는 표 4와 같다.

검사 대상 품목 중 벤조피렌이 불검출(정량한계 이하)된 시료는 가자(2건), 감국(3건), 개자(3건), 계혈등(3건), 고삼(2건), 곡기생(2건), 곽향(3건), 구자(2건), 대복피(4건), 대황(1건), 백자인(3건), 복신(2건), 상엽(3건), 속단(3건), 승마(1건), 시라자(3건) 식방풍(5건), 애엽(4건), 어성초(3건), 여정실(3건), 연교(6건), 영지(3건), 유백피(8건)

Table 2. Analytical condition of benzopyrene in HPLC-FLD

Instrument	Condition
Column	u-NovaPak C ₁₈ (3.9×150mm)
Mobile phase	AcCN : H ₂ O = 8 : 2
Detector	Fluorescence detector Excitation 294 nm Emission 404 nm
Flow rate	1.0 mL/min
Injection volumn	10 uL
Column temp.	Room temp.

Table 3. Recovery and limit of quantitation of benzopyrene in the medicinal herbs

	Instrument	Recovery ¹⁾ (%)	LOQ ²⁾ ($\mu\text{g}/\text{kg}$)
Benzo[a]pyrene	HPLC-FLD	96.7 ± 2.7	0.2

¹⁾Mean±SD (n=3). ²⁾LOQ : limit of quantitation

Table 4. Content of Benzopyrene in medicinal herbs

Medicinal Herb	No.of samples	Detection of samples	Detection range(mg/kg)
Terminaliae Fructus	3	1	ND~0.37
Chrysanthemi Flos	4	1	ND~5.06
Curcumae Longae Rhizoma	4	4	0.29~3.03
Sinapis Semen	5	2	ND~0.52
Spatholobi Caulis	4	1	ND~10.74
Sophorae Radix	5	3	ND~0.38
Visci Herba	6	4	ND~4.39
Agastachis Herba	5	2	ND~2.32
Allii Tuberosi Semen	3	1	ND~11.43
Arecae Pericarpium	8	4	ND~1.59
Rhei Radix et Rhizoma	3	2	ND~0.45
Thujae Semen	3	-	ND
Hoelen Cum Radix	3	1	ND~0.58
Mori Folium	3	-	ND
Dipsaci Radix	5	2	ND~0.70
Cimicifugae Rhizoma	6	5	ND~13.23
Anethi Fructus	3	-	ND
Peucedani Radix	5	-	ND
Artemisiae Argyi Folium	4	-	ND
Houttuyniae Herba	4	1	ND~0.79
Ligustri Fructus	5	2	ND~0.37
Forsythiae Fructus	11	5	ND~1.82
Ganoderma	3	-	ND
Mume Fructus	3	3	2.98~5.47
Ulmi Cortex	8	-	ND
Cistanchis Herba	5	2	ND~0.83
Bambusae Caulis In Taeniam	3	-	ND
Lycii Cortex	5	-	ND
Hoveniae Semen Cum Fructus	4	-	ND
Ponciri Fructus Immaturus	5	-	ND
Atractylodis Rhizoma	7	4	ND~2.19
Amomi Tsao-ko Fructus	5	5	1.68~10.97
Alismatis Rhizoma	4	-	ND
Typhae Pollen	6	1	ND~0.21
Albiziae Cortex	5	1	ND~0.29
Cyperi Rhizoma	22	19	ND~11.78
Scrophulariae Radix	10	9	ND~14.08
Scutellariae Radix	8	7	ND~1.80
Polygonati Rhizoma	10	6	ND~19.23
Carthami Tinctorii Seed	11	4	ND~1.44
Magnoliae Cortex	9	8	ND~89.27

육종용(3건), 죽여(3건), 지골피(5건), 지구자(4건), 지실(5건), 창출(3건), 택사(5건), 포황(5건), 합환피(4건), 향부자(3건), 황금(1건), 황정(4건), 홍화자(7건), 후박(1건)으로 125건으로 나타났다. 벤조피렌 함유량이 0.2~5.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이하로 검출된 시료는 가자(1건), 강황(4건), 개자(2건), 고삼(3건), 곡기생(4건), 광향(1건), 대복피(4건), 대황(2건), 복신(1건), 속단(2건), 승마(4건), 여성초(1건), 여정실(2건), 연교(5건), 오매(2건), 육종용(2건), 창출(4건), 초과(3건), 포황(1건), 합환피(1건), 향부자(18건), 현삼(8건), 황금(7건), 황정(5건), 홍화자(4건), 후박(3건)으로 95건으로 나타났으며, 벤조피렌 함유량이 5.0 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이상으로 검출된 시료는 감국(1건), 계혈등(1건), 구자(1건), 승마(1건), 오매(1건), 초과(2건), 향부자(1건), 현삼(1건), 황정(1건), 후박(5건)으로 15건으로 나타났다. 수입 또는 국산 한약재 41품목 235건에 대해 벤조피렌함량을 조사한 결과 29품목 110건에서 벤조피렌이 검출되어 46.8%의 검출률을 보였다. 가장 높은 벤조피렌 함량을 나타낸 한약재는 후박(89.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$)이었으며, 황금(19.23 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 현삼(14.08 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 향부자(11.78 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 승마(13.23 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 구자(11.43 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 초과(10.97

$\mu\text{g}/\text{kg}$), 계혈등(10.74 $\mu\text{g}/\text{kg}$)순으로 나타났다. 백등(7)이 실시한 한약재와 제형별로 벤조피렌 함량 조사 결과에서 한약재는 0.00~62.81 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었으며, 환제는 0.0~5.8 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었고, 탕제는 검출되지 않은 것으로 보고하였으며, 이 등(8)은 한약재를 주원료로 한 환제에 대한 벤조피렌의 함량을 분석한 결과 벤조피렌의 평균함량은 8.94 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이었다고 보고하였다. 또한 백등(7)의 연구보고서에 의하면 여정실, 연교, 초과, 향부자, 현삼, 황금, 후박에서 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이 넘는 벤조피렌이 검출되었다고 보고하여 본 실험결과와 유사한 결과를 보였다.

3. 품목별 및 원산지별 벤조피렌 검출률

품목별로 벤조피렌의 검출건수를 백분율로 나타내면 그림 2와 같다. 검사 대상 41품목 중 70%가 넘는 29품목에서 벤조피렌이 검출되었으며, 강황, 오매, 초과는 모든 검체에서 벤조피렌이 검출되어 100%의 검출률을 보였으며, 현삼(90.0%), 후박(88.9%), 황금(87.5%), 향부자(86.4%), 승마(83.3%), 곡기생(66.7%), 대황(66.7%), 고삼(60.0%), 황정(60.0%), 창출(57.1%), 대복피(50%)순으로 나타났다. 백등(7)의 연구보고서에

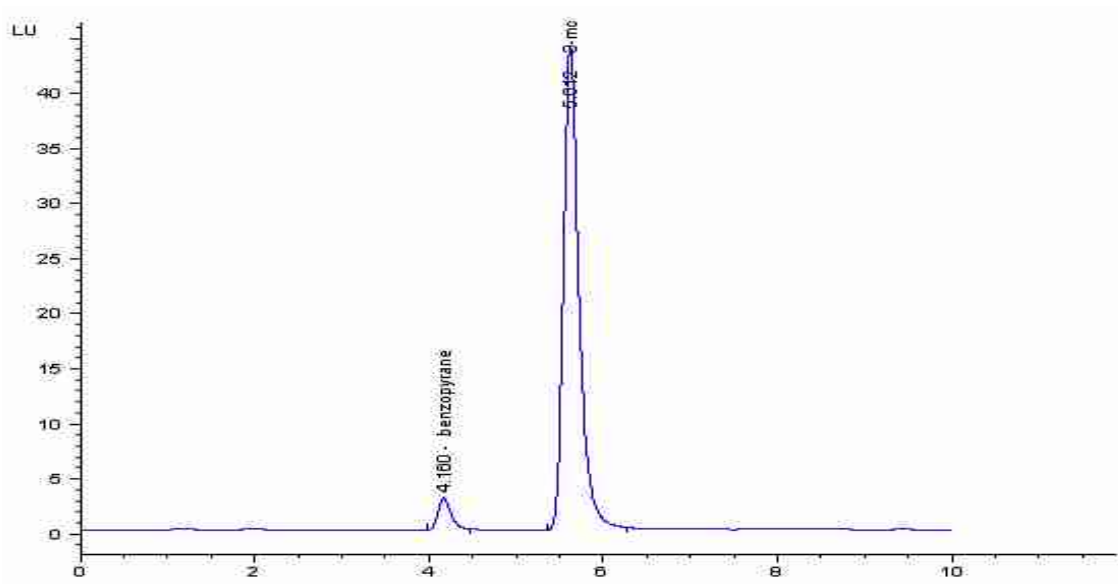


Fig. 1. Chromatogram of benzopyrene standard by HPLC.

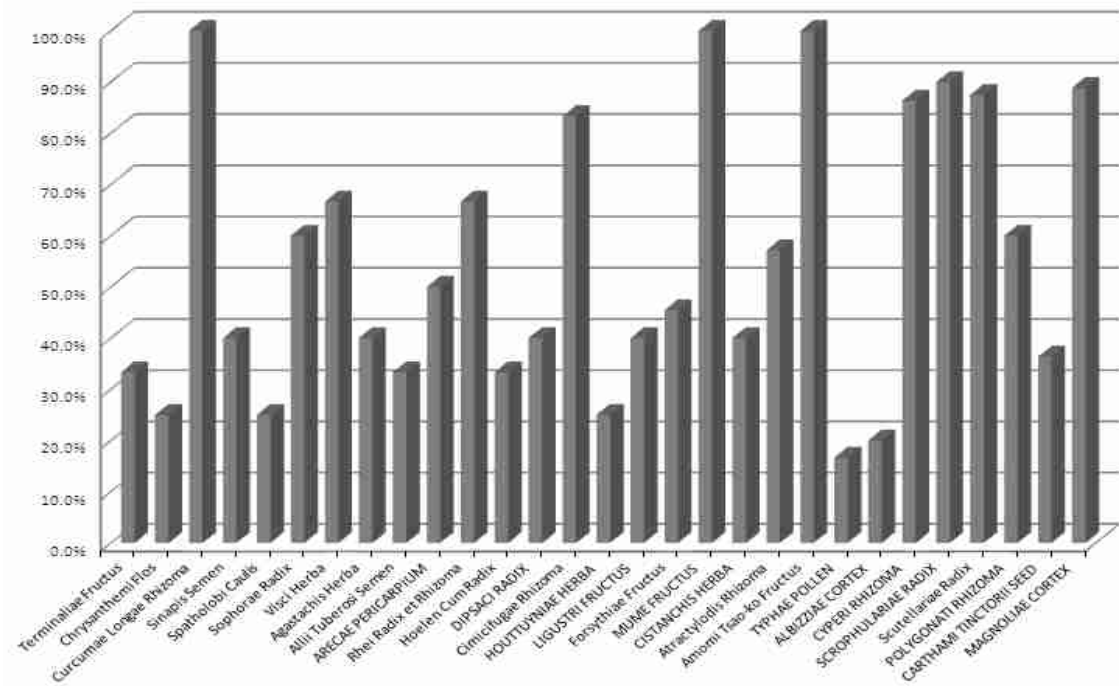


Fig. 2. Determination of benzopyrene for items in medicinal herbs.

서도 오매와 초과가 검사한 모든 검체에서 벤조피렌이 검출된 것으로 보고되었다. 식품 중의 벤조피렌은 환경에서 유래되는 오염이 아닌 식품 자체에서 발생하는 벤조피렌이 있으며, 이들의 생성은 복합적인 요인에 의하여 발생하지만 식품의 가공 방법 중 가열온도와 밀접한 관계가 있는 것으로 보고되고 있으며, 400~1,000℃ 사이의 가열온도에서는 벤조피렌의 발생과는 정비례하여 발생하는 것으로 조사되어 있고 훈연된 식품에서는 다량의 벤조피렌이 생성된다고 보고되어 있다(9~10). 이러한 결과로 보면 상황은 Curcuma longa Linne의 뿌리줄기로서 속이 익을 때까지 삶거나 찌서 말린 것이며, 오매는 매실나무(Prunus mume Siebold et Zuccarini)의 털 익은 열매를 연기를 쪄서 말린 것이며, 초과는 Amomum tsao-ko Crevost et Lemaire의 생강과(Zingiberaceae) 열매로 다른 한약재에 비해 높은 온도와 오랜 시간을 필요로 하는 가공과정을 거쳐야 하므로 벤조피렌이 생성될 가능성이 다른 한약재에 비해 높을 것으로 사료된다. 벤조피렌은 한약재를 건조하는

과정 중에 시간과 비용을 절감하기 위하여 불을 직접 쪄거나 연기를 쪄어 고온에서 급격하게 처리하면서 생성되는 발암물질로서 건조과정을 거쳐야 하는 한약재의 경우 벤조피렌의 기준적용이 확대 적용될 필요성이 있는 것으로 사료된다.

그림 3은 원산지별 벤조피렌의 검출률을 나타낸 것으로 수입산 중에서는 중국산 한약재가 60.5%로 가장 높은 검출률을 보였으며, 국내산 한약재도 33.6%로 높은 검출률을 보였다. 중국산 한약

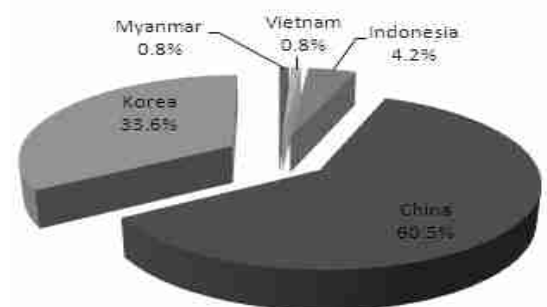


Fig. 3. Result of detection of benzopyrene according to the nation.

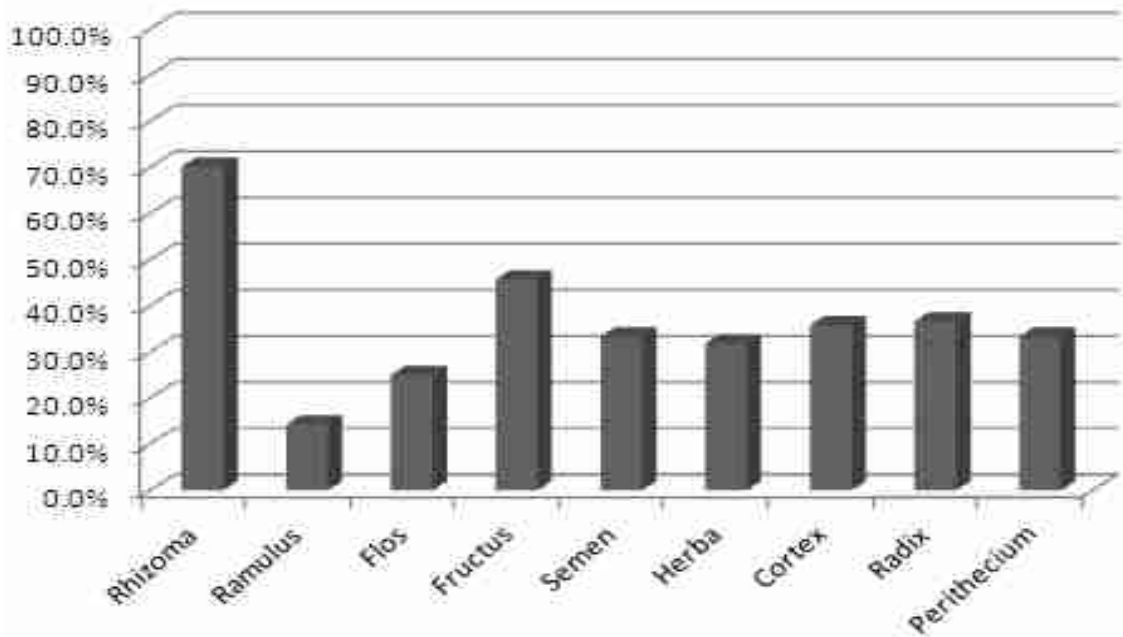


Fig. 4. Detection rate of benzopyrene for the part used in medicinal herbs.

재의 경우 검출범위가 ND~23.66 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 나타났으며, 국내산 한약재는 ND~89.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 나타났다.

그림 4는 한약재 사용부위별 벤조피렌 검출률을 나타낸 것으로 검출결과 Rhizoma, Fructus, Radix, Cortex 순으로 나타났다. Eismes 등(11)은 고분자량의 벤조피렌은 뿌리의 흡착이 식물체 조직에서 벤조피렌의 주요 경로로 간주하고 있고, Tao 등(12)은 오염지역 토양에서 뿌리가 토양과 직접 접촉하는 근권의 벤조피렌 농도는 전체 토양보다 벤조피렌의 농도가 높은 것으로 보고하고 있다. 또한 Khan 등(13)은 식물의 벤조피렌 함량은 잎 표면의 먼지와 오염된 토양 입자의 침적 및 잎에 의한 휘발성 화합물의 흡착을 통하여 축적될 수 있고, 뿌리는 토양에서 지상부로 이동하는 주요 경로로 작용하여, 토양의 벤조피렌농도는 식물체의 벤조피렌 농도에 직접적인 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다. 이러한 결과는 토양 등의 환경오염이 심한 지역에서 자란 식물들은 뿌리를 통해 벤조피렌에 오염될 수 있음을 알 수 있다. 벤조피렌에 의한 위해를 방지하기 위해서는 오염된 지역에서 식물이나 생물을 채취하지 말아야 하며,

한약재를 건조하는 과정 중에 불을 직접 쬐거나 연기를 쬐어 고온에서 급격하게 처리하는 것을 피한다면 한약재 중 벤조피렌의 저감화에 많은 도움이 될 것이라 사료된다.

결론

수입 또는 국산 한약재 41품목 235건에 대해 벤조피렌함량을 조사한 결과 29품목 110건에서 벤조피렌이 검출되어 46.8%의 검출률을 보였다. 가장 높은 벤조피렌 함량을 나타낸 한약재는 후박(89.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$)이었으며, 황금(19.23 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 현삼(14.08 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 향부자(11.78 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 승마(13.23 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 구자(11.43 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 초과(10.97 $\mu\text{g}/\text{kg}$), 계혈등(10.74 $\mu\text{g}/\text{kg}$)순으로 나타났다. 검사 대상 41품목 중 70%가 넘는 29품목에서 벤조피렌이 검출되었으며, 강황, 오매, 초과는 모든 검체에서 벤조피렌이 검출되어 100%의 검출률을 보였으며, 현삼(90.0%), 후박(88.9%), 황금(87.5%), 승마(83.3%), 향부자(86.4%), 곡기생(66.7%), 대황(66.7%), 고삼(60.0%), 황정(60.0%), 창출(57.1%),

대복피(50%)순으로 나타났다. 원산지별 벤조피렌의 검출률은 수입산 중에서 중국산 한약재가 60.5%로 가장 높은 검출률을 보였으며, 국내산 한약재도 33.6%로 높은 검출률을 보였다. 중국산 한약재의 경우 검출범위가 ND~23.66 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 나타났으며, 국내산 한약재는 ND~89.27 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 나타났다. 한약재 사용부위별 벤조피렌 검출률은 rhizoma, frutus, radix, cortex 순으로 나타났다.

참고문헌

1. 식품의약품안전청 고시 제2010-75호 생약 등의 잔류오염물질 기준 및 시험방법(2010. 10. 29).
2. Agency for Toxic Substances and Disease Registry(ATSDR), Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), U. S. Department of health and human services, public health service, 1995.
3. Dabestani R and Ivanov IN : A compilation of physical, spectroscopic, and photophysical properties of polycyclic aromatic hydrocarbons, Photochemical. Phorobiology., 41:10~17, 1999.
4. Vo-Dinh T, Fetzer J and Campiglia AD : Monitoring and characterization of polyaromatic compounds in the environment, Talant., 47:943~951, 1998.
5. IARC Monographs on the evaluation of carciongenic risks to humans, 92, 2006.
6. 한국의약품수출입협회 : 한약재감별주해. 도서출판 대영, 한국, p15~38, 2003.
7. 백완숙, 한약재 중 벤조피렌 함유량 모니터링 연구, 한국의약품시험연구소 식약 청, 2009.
8. 이성득 : 유통환제의 유해물질 함량 및 위해도 평가. 단국대학교 박사학위논문.
9. 서일원, 남혜정, 이송영, 이규은, 신한승 : 혼연식품 중 polycyclic aromatic hydrocarbons 함량 분석. 산업식품공학, 13(3): 195~202, 2009.
10. 허수정, 진선희, 이광호, 최동미 : 가공식품 중 다환방향족탄화수소 분석. 한국분 석화학 회, 23(2):196~204, 2010.
11. Fismes J, Perrin-Ganier C, Empereur-Biosoonnet P and Morel JL : Soil to root transfer and translocation of polycyclic aromatic hydrocarbons by vegetables grown on industrial contaminated soils. J. Environ. Qual. 31:1649~1656, 2002.
12. Tao S, Cui YH, Xu FL, Cao J, Liu WX, Schmitt G, Wang XJ, Shen WR, Quing BP and Sun R : Polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs) in agricultural soil and vegetables Tianjin. Sci. Total Environ. 320:11~24, 2004.
13. Khan S, Aijun L, Zhang S, Hu Q and Zhu YG : Accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals in lettuce grown in the soils contaminated with long-term wastewater irrigation. J. Hazard. Mater. 152:506~515, 2008.