

## 원두커피의 로스팅 조건이 polycyclic aromatic hydrocarbons 생성에 미치는 영향

남혜정 · 서일원 · 신한승\*

동국대학교 식품공학과 및 Lotus기능성식품소재연구소

### Influence of Roasting Conditions on Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Contents in Ground Coffee Bean

Hejung Nam, Ilwon Seo, and Han-Seung Shin\*

Department of food Science and Technology and Institute of Lotus Functional Food Ingredient, Dongguk University

**Abstract** Roasting may lead to the formation of undesired compounds, such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). In this study, green coffee beans were roasted under controlled conditions and the formation of PAHs during the roasting process was monitored. Roasting was performed in a hot air roaster, with an inlet air temperature varying from 150 to 250°C for 5, 10, and 20 min. The PAH content of the roasted coffee was then evaluated by HPLC-FLD. The levels of total PAHs in Arabica (Colombia, Brazil) and Robusta (India) coffee samples were 1.26-215.07, 1.85-178.14, and 0.18-2.61 µg/kg, respectively.

**Key words:** coffee, polycyclic aromatic hydrocarbons, benzo[a]pyrene, roasting

## 서 론

Polycyclic Aromatic Hydrocarbons(PAHs)는 탄수화합물의 열분해나 불완전한 연소 동안에 형성되는 방향족 고리 화합물로 주요 오염원은 자동차 매연, 담배, 산불, 화산, 그을린 음식 등에 의하여 PAHs에 노출된다(1-3). 이러한 환경에 영향을 받아 조리·가공되지 않은 식품에 PAHs가 존재하며, 식품의 조리·가공 시에도 탄수화물, 단백질, 지질 등이 분해되면서 생성된다(4). 국제암연구기구(International Agency for Research on Cancer, IARC)에서는 PAHs 화합물 중 인체발암물질로 분류한 group 1(benzo[a]pyrene)과 인체발암가능물질로 분류한 group 2A(dibenzo[a,h]anthracene), 인체발암가능물질로 분류한 group 2B(benzo[a]anthracene, Chrysene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene), 인체발암물질로 규정할 수 없는 group 3(Benzo[g,h,i]perylene)로 나누어 관리하고 있으며, 위해성평가는 대표물질의 독성을 기준으로 하여 상대독성계수(toxic equivalency factors, TEFs)를 정하여 평가하고 있다. 현재 PAHs 화합물의 발암성에 대한 평가는 benzo[a]pyrene의 발암성을 기준(TEF=1)으로 하여 상대적인 값으로 나타내고 있다(5). 캐나다 및 미국 EPA 등에서는 PAHs의 우선순위를 선정하여 관리하고 있으며(6), 이탈리아에서는 식품을 통해 섭취하는 총 PAHs 섭취량을 3 µg/day 이하로 발암성 PAHs 섭취량은 1.4 µg/day로 관리하고 있다(7). 우리나라에서 식품을 통

해 섭취하는 1일 PAHs 섭취량은 9.27 ng이며, 벤조피렌 섭취량은 2.02 ng이다(8).

커피의 제조공정은 배합, 로스팅, 분쇄, 추출 등의 공정을 거친다. 로스팅 과정은 로스팅 온도와 로스팅 시간에 따라 커피 고유의 향, 색, 풍미가 생성되는 단계로 중요한 공정이라고 할 수 있다. 커피의 구성성분인 탄수화물(37-60%), 지방(9-18%), 단백질(11-13%), 수분(10-13%), 무기질(3.0-4.5%), 그 외의 성분(0.9-2.4%)인 카페인(caffeine)과 클로로제닉산(chlorogenic acid, 5.5-10%) 성분들은(9) 로스팅 과정에서 Maillard 반응, Strecker 분해, 지방 분해, 당분해 등 여러 반응에 따른 유리 아미노산의 소실과 free sugar, chlorogenic acid, trigonelline 등의 감소에 의해 약 800여 가지 이상의 화학물질이 생성된다(10). 커피 시료에서 PAHs의 검출은 로스팅 과정 이전에 PAHs에 노출된 원두이거나, 로스팅 과정 동안에 형성된 것으로 보고되었다(11-17). Kruijff 등(15)은 처음 커피원두의 로스팅 하는 동안에 발암성 hydrocarbons의 형성 가능성을 발표하였다. Howard와 Fazio(18)는 식품, 음료, 관련 제품과 환경으로부터의 오염 등으로 PAHs 발견과 분석 방법에 대하여 보고하였으며, Hu 등(19)은 국내에 유통되고 있는 채소류와 과일류 총 210건에 대한 PAHs 함량을 분석하였는데, 8가지의 총 PAHs의 평균농도는 0.19 ng/g 이었으며, 채소류 0.21 ng/g 과일류 0.14 ng/g으로 검출되었다. 또한 조리과정에 의한 수분감소나 유지류에 의해 PAHs 오염도의 증가를 확인하였고, 특히 조리된 애호박에서 1.34 ng/g으로 가장 많이 검출되었다. Houessou 등(7,11,20)은 원두커피의 PAHs 분석조건과 로스팅 조건에 따른 PAHs 함량에 대한 연구를 보고하였고, Bishnoi 등(21)은 LC UV-VIS detector를 이용하여 커피원두와 차에서 PAHs를 정량 한 결과 총 PAHs는 원두에서 16.47-18.24 µg/L, 차에서 18.79-31.37 µg/L 검출되었다. 이러한 여러 식품으로부터의 PAHs의 노출이 전체 노출량의 80% 이상을 차지하고 있다. 본 연구에서는 커피의 다

\*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 December 23, 2008; revised May 1, 2009;  
accepted May 4, 2009

양한 로스팅 조건(150, 180, 200, 220, 250°C와 5, 10, 20분)에 따라 생성되는 7종의 PAHs 함량 변화를 분석하여 커피생산공정에서 PAH의 생성량을 저감화하여 식품안전관리에 기여하고자 하였다.

## 재료 및 방법

### 실험재료 및 기기

본 실험에서 사용된 커피는 시중에서 유통되는 Arabica종(Brazil NY 4-5, Colombia Excelso EP) 원두와 Robusta종(India cherry AB) 원두를 대형마트(E-mart Ltd., Seoul, Korea)에서 구입하여 사용하였다. 시약(acetonitrile, ethanol, *n*-hexane, dichloromethane, water 등)은 HPLC용(Burdick and Jackson, Muskegon, MI, USA)을 사용하였으며, 카트리지는 florisil cartridge(Waters, Milford, MA, USA)를 사용하였다. Anhydrous sodium sulfate는 Merck (Merck, Darmstadt, Germany)사 제품을 사용하였으며, potassium hydroxide(KOH)는 Sigma(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)를 사용하였다. PAHs 검출을 위해 사용된 HPLC는 Dionex P680 series HPLC(Dionex, Sunnyvale, CA, 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 사용하였다.

### 로스팅 및 분쇄

Brazil, Colombia, India 원두는 분석을 위해 열풍식 로스터(CBR-101, Gene café, Seoul, Korea)를 사용하여 Inlet air 온도를 150, 180, 200, 220, 250°C로 시간은 5, 10, 20분으로 각각 100 g 씩 로스팅하여 사용하였다. 로스팅 된 원두는 분쇄기(FM-909T(C), Hanil Co., Seoul, Korea)로 분쇄하여 분석시료로 사용하였다.

### 분석물질

분석대상물질은 benzo[a]anthracene, chrysene, benzo[b]fluoranthene, benzo[k]fluoranthene, benzo[a]pyrene, dibenzo [a,h]anthracene, benzo[g,h,i]perylene, 총 7종의 PAHs로 Sigma(Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA)사 제품을 사용하였다. 내부표준물질인 3-methylcholanthrene은 Supelco(Supelco, Bellefonte, PA, USA)사 제품을 사용하여 acetonitrile에 30 µg/kg 농도로 조제하여 사용하였다.

### 표준검량곡선 작성

HPLC-fluorescence detector의 검량선 작성에 사용된 PAHs는 7종류의 혼합표준용액으로 acetonitrile로 정용하여 500 µg/kg 농도로 조제하였다. 이를 희석하여 0.25, 0.5, 1, 5, 10, 20, 50, 100 µg/kg의 혼합표준용액을 조제하여 농도 별로 분석해 검량선을 작성하였다.

### 전처리 및 PAH분석

Flask에 로스팅 커피 10 g과 1 M KOH·ethanol 용액 100 mL을 넣고, 내부표준물질(100 µg/kg) 1 mL을 첨가하여 환류장치에 부착시켜 80°C에서 3시간 동안 알칼리 분해시켰다. 신속히 냉각시킨 후 *n*-hexane 50 mL을 환류냉각기를 통해 넣고, ethanol:*n*-hexane (1:1)용액 50 mL을 이용하여 분액깔때기(I)로 옮겼다. 분액여두에 증류수 50 mL을 넣고 진탕·혼합하여 물층과 *n*-hexane층을 분리시켜 분액깔때기(II)에 받아두고 물층에 *n*-hexane 50 mL을 넣어 추출하는 과정을 두 번 반복하여 *n*-hexane층을 얻었다. *n*-hexane층에 증류수 50 mL을 넣고 세척하는 과정을 세 번 반복한 후, 무수황산나트륨 10 g으로 탈수여과 한 후 35°C 이하 수욕상

**Table 1. Operating condition of HPLC/FLD for PAH analysis in roasted coffee**

Instrument	Dionex P680 series HPLC		
Column	Supelcosil LC-PAH column (25 cm×4.6 mm, I.D. particle size 5 µm)		
Flow rate	0.8 mL/min		
Solvent system		ACN	H <sub>2</sub> O
	0 min	80	20
	31 min	100	0
	41 min	100	0
	43 min	80	20
50 min	80	20	
Injection volume	20 µL		
Instrument	Waters 474 Scanning Fluorescence Detector		
Wavelength (Ex/Em)	0-22 min	254 nm/390 nm	
	22-43 min	254 nm/420 nm	
	43-50 min	269 nm/498 nm	

에서 감압하여 약 1 mL로 농축하였다. Sep-Pak Florisil Vac 6 cc(1.0 g) Cartridge를 dichloromethane 10 mL과 *n*-hexane 20 mL을 이용하여 활성화시키고, 농축액을 가하여 *n*-hexane 10 mL과 *n*-hexane: dichloromethane(3:1) 8 mL로 용출시켜 35°C 이하 수욕상에서 질소가스로 농축하였다. 잔여물은 acetonitrile에 녹여 전량이 1 mL이 되도록 하였고 0.45 µm membrane filter로 여과하여 최종 검체로 사용하였다. 최종검체의 PAHs 분석은 HPLC-FLD로 Dionex P680 series HPLC와 Waters 474 scanning fluorescence detector를 사용하였으며, 컬럼은 Supelguard LC-C18을 장착한 Supelcosil LC-PAH column(25 cm ×4.6 mm, I.D. particle size 5 µm)을 사용하였다. 용매A는 acetonitrile, 용매B는 water를 사용하여 Table 1과 같은 조건으로 분석하였다.

### 통계처리

모든 실험은 3반복하여 평균값과 표준편차로 결과값을 나타내었으며, 결과의 통계처리는 Sigma-Stat 2.0(Jandel Co., San Rafeal, CA, USA)를 이용하여 *p*<0.05 수준에서 one-way analysis of variance(ANOVA)를 통하여 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

본 연구에서는 로스팅 조건에 따른 커피 중의 PAHs 함량에 대하여 실험하였다. 로스팅 시간은 5, 10, 20분으로 설정하였고, 로스팅 온도는 inlet air 기준으로 150°C에서 250°C 사이로 설정하여 각각 100 g씩 로스팅 하였다. PAHs에 대한 표준물질과 내부 표준물질(3-methylcholanthrene) 표준용액을 공시료에 첨가하여 전처리 후 얻은 크로마토그램은 Fig. 1와 같다. 검출한계(LOD)는 0.012-0.382 µg/kg였다.

### 로스팅 조건에 따른 PAHs의 함량

Arabica종 Colombia 원두를 150, 180, 200, 220, 250°C로 5분간 로스팅 한 시료의 PAHs 함량은 Table 2에 나타내었다. 총 PAHs 함량이 220°C에서 1.8 µg/kg로 가장 적게 검출되었고, 250°C에서 2.49 µg/kg로 가장 많이 검출되었고, 온도별 총 PAHs의 함량은 공시료의 총 PAHs 함량인 1.78 µg/kg보다 많이 검출되었다.

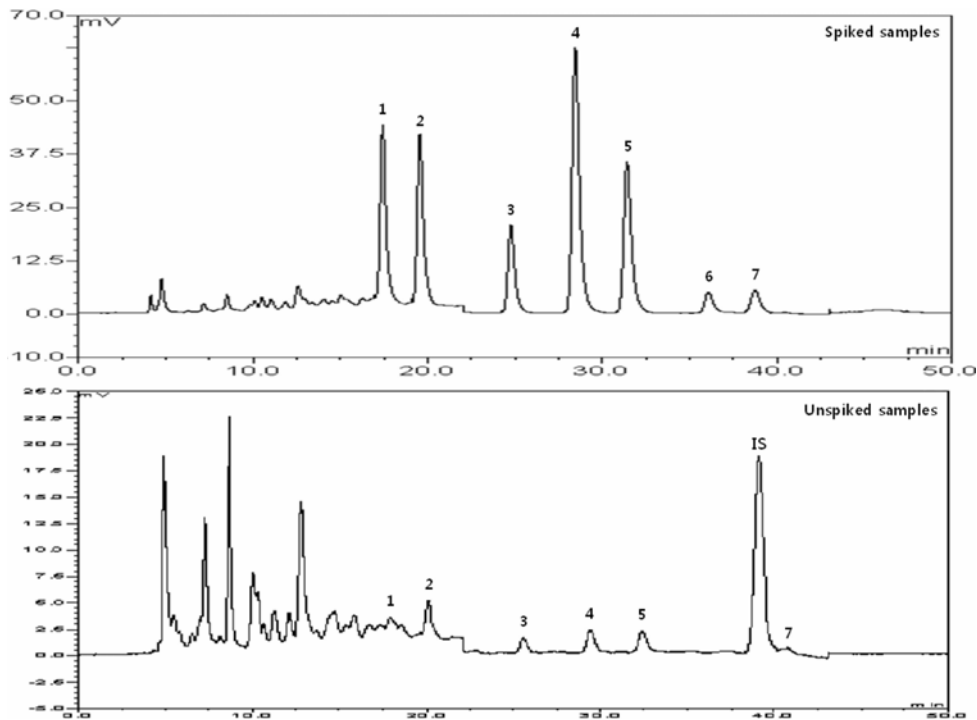


Fig. 1. HPLC/FLD Chromatogram of PAHs in spiked and unspiked samples. IS=Internal standard (3-methylcholanthrene). <sup>1</sup>B[a]A, <sup>2</sup>Chrys, <sup>3</sup>B[b]F, <sup>4</sup>B[k]F, <sup>5</sup>B[a]P, <sup>6</sup>DB[a,h]A, <sup>7</sup>B[g,h,i]P

온도별 10분간 로스팅 한 시료의 PAHs 함량은 Table 3에 나타내었다. IARC에서 인체발암가능물질인 2B group으로 분류된 B[b]F의 함량은 250°C에서 213.46 µg/kg으로 가장 많이 검출되었으며, 인체발암물질인 B[a]P 함량은 150°C에서 0.17 µg/kg 검출되었고, 250°C에서 0.34 µg/kg으로 온도가 높아질수록 다소 증가하였다. 온도별 20분간 로스팅 한 시료의 PAHs 함량은 Table 4에 나타내었다. 250°C에서 B[b]F의 함량이 114.11 µg/kg으로 가장 많이 검출되었다. Arabica종 Colombia 원두를 250°C에서 10분, 20분 로스팅 하였을 때 B[b]F의 함량이 급격하게 증가함을 볼 수 있었다. Colombia 원두에서 B[a]P는 0.11-0.47 µg/kg으로 검출되었으며, DB[a,h]A는 검출되지 않거나 미량 검출되었다.

Arabica종 Brazil 원두를 온도별 5분간 로스팅 한 시료의 PAHs 함량은 Table 5에 나타내었다. 총 PAHs 함량과 B[a]P 함량은 온도가 증가할수록 다소 증가하였으며, 200°C에서 총 PAHs 함량은

3.59 µg/kg로 가장 많이 검출되었고, B[a]P 0.20-0.60 µg/kg으로 검출되었다. DB[a,h]A는 검출되지 않거나, 미량 검출되었다. 온도별 10분간 로스팅 한 시료의 PAHs 함량은 Table 6에 나타내었다. 총 PAHs 함량은 1.85-178.14 µg/kg, B[a]P 함량은 0.18-0.37 µg/kg으로 온도가 증가할수록 다소 증가하였으며, 250°C에서 B[b]F 함량이 176.08 µg/kg으로 급격한 증가를 보였다. 온도별 20분간 로스팅 한 시료의 PAHs 함량은 Table 7에 나타내었다. 총 PAHs 함량은 2.1-26.43 µg/kg으로 온도가 증가할수록 다소 증가하였다. Brazil 원두를 250°C에서 20분 로스팅 한 시료의 B[b]F는 23.03 µg/kg로 10분 로스팅 한 시료의 B[b]F인 176.08 µg/kg 보다 적게 검출되었다. B[a]P 함량은 0.18-0.60 µg/kg 검출되었고, DB[a,h]A는 검출되지 않거나 0.35-0.53 µg/kg으로 미량 검출되었다.

Robusta종 India 원두의 온도별 5분간 로스팅 한 시료의 PAHs 함량은 공시료의 총 PAHs 함량인 0.38 µg/kg보다 다소 많이 검

Table 2. PAHs contents in green Arabica coffee bean (Colombia origin) and ground coffees for 5 min roasting with different roasting temperatures (µg/kg)

PAHs	Temperature (°C)					
	0	150	180	200	220	250
B[a]A	0.86±0.13	1.07±0.58	1.03±0.37	0.71±0.28	0.75±0.51	1.11±0.44
Chrys	0.24±0.03	0.44±0.19	0.63±0.32	0.56±0.38	0.40±0.31	0.53±0.42
B[b]F	0.30±0.02	0.30±0.06	0.34±0.15	0.23±0.05	0.20±0.13	0.30±0.06
B[k]F	0.16±0.03	0.16±0.04	0.16±0.02	0.17±0.04	0.12±0.06	0.20±0.01
B[a]P	0.22±0.11	0.31±0.03	0.28±0.07	0.29±0.02	0.33±0.21	0.35±0.11
DB[a,h]A	traces <sup>2)</sup>	traces	ND <sup>1)</sup>	ND	ND	traces
B[g,h,i]P	traces	traces	ND	ND	ND	traces
Total	1.78±0.02 <sup>a</sup>	2.28±0.16 <sup>c</sup>	2.44±0.17 <sup>c</sup>	1.96±0.09 <sup>b</sup>	1.8±0.23 <sup>a</sup>	2.49±0.10 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>ND=not detected

<sup>2)</sup>traces=compound detected at levels below the limit of detection of the method.

<sup>a-c</sup>Means in the same rows bearing different superscripts are significantly different ( $p<0.05$ ) data represent the mean and standard deviation of three analysis per treatment ( $n=3$ )

**Table 3. PAHs contents in green Arabica coffee bean (Colombia origin) and ground coffees for 10 min roasting with different roasting temperatures** ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

PAHs	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	150	180	200	220	250
B[a]A	0.35 $\pm$ 0.09	0.53 $\pm$ 0.05	0.37 $\pm$ 0.13	0.78 $\pm$ 0.09	0.96 $\pm$ 0.19
Chrys	0.30 $\pm$ 0.06	0.58 $\pm$ 0.03	0.16 $\pm$ 0.03	0.96 $\pm$ 0.12	0.61 $\pm$ 0.28
B[b]F	0.30 $\pm$ 0.07	0.25 $\pm$ 0.04	0.31 $\pm$ 0.02	0.43 $\pm$ 0.02	213.46 $\pm$ 62.46
B[k]F	0.18 $\pm$ 0.01	0.13 $\pm$ 0.01	0.19 $\pm$ 0.01	0.19 $\pm$ 0.03	0.33 $\pm$ 0.14
B[a]P	0.17 $\pm$ 0.10	0.11 $\pm$ 0.02	0.23 $\pm$ 0.01	0.30 $\pm$ 0.04	0.34 $\pm$ 0.05
DB[a,h]A	ND <sup>1)</sup>	ND	traces <sup>2)</sup>	traces	ND
B[g,h,i]P	0.31 $\pm$ 0.06	ND	traces	traces	ND
Total	1.61 $\pm$ 0.02 <sup>b</sup>	1.6 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	1.26 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	2.66 $\pm$ 0.09 <sup>c</sup>	215.70 $\pm$ 15.24 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>ND=not detected<sup>2)</sup>traces=compound detected at levels below the limit of detection of the method.<sup>a-d</sup>Means in the same rows bearing different superscripts are significantly different ( $p<0.05$ ) data represent the mean and standard deviation of three analysis per treatment ( $n=3$ )**Table 4. PAHs contents in green Arabica coffee bean (Colombia origin) and ground coffees for 20 min roasting with different roasting temperatures** ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

PAHs	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	150	180	200	220	250
B[a]A	1.02 $\pm$ 0.13	0.68 $\pm$ 0.04	0.45 $\pm$ 0.43	0.57 $\pm$ 0.09	0.94 $\pm$ 0.34
Chrys	0.43 $\pm$ 0.21	0.42 $\pm$ 0.20	0.35 $\pm$ 0.29	0.30 $\pm$ 0.23	0.95 $\pm$ 0.12
B[b]F	0.32 $\pm$ 0.13	0.32 $\pm$ 0.08	0.23 $\pm$ 0.19	0.15 $\pm$ 0.04	114.11 $\pm$ 36.41
B[k]F	0.18 $\pm$ 0.02	0.17 $\pm$ 0.04	0.10 $\pm$ 0.02	0.08 $\pm$ 0.01	0.41 $\pm$ 0.05
B[a]P	0.35 $\pm$ 0.10	0.33 $\pm$ 0.11	0.20 $\pm$ 0.10	0.16 $\pm$ 0.07	0.47 $\pm$ 0.04
DB[a,h]A	ND <sup>1)</sup>	traces <sup>2)</sup>	traces	traces	traces
B[g,h,i]P	ND	ND	ND	ND	ND
Total	2.3 $\pm$ 0.11 <sup>c</sup>	1.92 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	1.33 $\pm$ 0.20 <sup>a</sup>	1.26 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>	116.88 $\pm$ 6.02 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>ND=not detected<sup>2)</sup>traces=compound detected at levels below the limit of detection of the method.<sup>a-d</sup>Means in the same rows bearing different superscripts are significantly different ( $p<0.05$ ) data represent the mean and standard deviation of three analysis per treatment ( $n=3$ )**Table 5. PAHs contents in green Arabica coffee bean (Brazil origin) and ground coffees for 5 min roasting with different roasting temperatures** ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

PAHs	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )					
	0	150	180	200	220	250
B[a]A	0.38 $\pm$ 0.20	0.29 $\pm$ 0.02	0.25 $\pm$ 0.06	0.30 $\pm$ 0.09	0.45 $\pm$ 0.03	0.37 $\pm$ 0.05
Chrys	0.27 $\pm$ 0.02	0.52 $\pm$ 0.47	0.40 $\pm$ 0.12	0.69 $\pm$ 0.36	0.67 $\pm$ 0.34	0.77 $\pm$ 0.67
B[b]F	0.50 $\pm$ 0.07	0.59 $\pm$ 0.35	0.75 $\pm$ 0.20	0.99 $\pm$ 0.03	1.18 $\pm$ 0.36	0.55 $\pm$ 0.13
B[k]F	0.30 $\pm$ 0.03	0.28 $\pm$ 0.07	0.36 $\pm$ 0.03	0.53 $\pm$ 0.05	0.43 $\pm$ 0.31	1.08 $\pm$ 0.08
B[a]P	0.20 $\pm$ 0.05	0.30 $\pm$ 0.18	0.33 $\pm$ 0.05	0.48 $\pm$ 0.22	0.59 $\pm$ 0.45	0.60 $\pm$ 0.41
DB[a,h]A	traces <sup>2)</sup>	traces	traces	traces	traces	ND <sup>1)</sup>
B[g,h,i]P	traces	traces	0.41 $\pm$ 0.07	0.46	ND	ND
Total	1.65 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	1.98 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	2.50 $\pm$ 0.05 <sup>c</sup>	3.59 $\pm$ 0.15 <sup>d</sup>	3.32 $\pm$ 0.21 <sup>d</sup>	3.37 $\pm$ 0.26 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>ND=not detected<sup>2)</sup>traces=compound detected at levels below the limit of detection of the method.<sup>a-d</sup>Means in the same rows bearing different superscripts are significantly different ( $p<0.05$ ) data represent the mean and standard deviation of three analysis per treatment ( $n=3$ )

출되었으며, Table 8에 나타내었다. B[a]P은 검출되지 않거나 0.03  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 미량 검출되었으며, DB[a,h]A, B[g,h,i]P은 검출되지 않았다. 온도별 10분간 로스팅 한 시료의 PAHs 함량은 Table 9에 나타내었다. 독성이 높은 B[a]P와 DB[a,h]A는 검출되지 않았고, B[g,h,i]P도 검출되지 않았다. 총 PAHs 함량은 0.18-2.54  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로

검출되었다. 온도별 20분간 로스팅 한 시료의 PAHs 함량은 Table 10에 나타내었다. 총 PAHs 함량은 0.40-2.46  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 검출되었으며, 온도가 증가함에 따라 B[a]A와 B[a]P, 총 PAHs의 함량도 증가하였다. Rey-Salgueiro(22)의 연구에 따르면 토스트 방법에 따른 빵에서의 B[a]P은 검출되지 않거나, 0.23  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 까지 검출되었다.

**Table 6. PAHs contents in green Arabica coffee bean (Brazil origin) and ground coffees for 10 min roasting with different roasting temperatures** ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

PAHs	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	150	180	200	220	250
B[a]A	0.19 $\pm$ 0.07	0.16 $\pm$ 0.03	0.17 $\pm$ 0.09	0.32 $\pm$ 0.06	0.53 $\pm$ 0.23
Chrys	0.26 $\pm$ 0.04	0.32 $\pm$ 0.08	0.38 $\pm$ 0.20	0.45 $\pm$ 0.19	0.26 $\pm$ 0.06
B[b]F	0.50 $\pm$ 0.09	0.58 $\pm$ 0.07	0.48 $\pm$ 0.24	0.69 $\pm$ 0.28	176.08 $\pm$ 78.57
B[k]F	0.33 $\pm$ 0.02	0.42 $\pm$ 0.01	0.35 $\pm$ 0.19	0.45 $\pm$ 0.21	0.51 $\pm$ 0.09
B[a]P	0.18 $\pm$ 0.01	0.24 $\pm$ 0.06	0.29 $\pm$ 0.14	0.37 $\pm$ 0.17	0.33 $\pm$ 0.04
DB[a,h]A	traces <sup>2)</sup>	traces	traces	0.35 $\pm$ 0.07	ND <sup>1)</sup>
B[g,h,i]P	0.39 $\pm$ 0.15	0.52 $\pm$ 0.04	0.52 $\pm$ 0.01	0.49 $\pm$ 0.14	0.43 $\pm$ 0.06
Total	1.85 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>	2.24 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	2.19 $\pm$ 0.18 <sup>b</sup>	3.12 $\pm$ 0.15 <sup>c</sup>	178.14 $\pm$ 13.07 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>ND=not detected<sup>2)</sup>traces=compound detected at levels below the limit of detection of the method.<sup>a-d</sup>Means in the same rows bearing different superscripts are significantly different ( $p<0.05$ ) data represent the mean and standard deviation of three analysis per treatment ( $n=3$ )**Table 7. PAHs contents in green Arabica coffee bean (Brazil origin) and ground coffees for 20 min roasting with different roasting temperatures** ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

PAHs	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	150	180	200	220	250
B[a]A	0.27 $\pm$ 0.08	0.40 $\pm$ 0.02	0.33 $\pm$ 0.10	0.52 $\pm$ 0.24	0.53 $\pm$ 0.04
Chrys	0.58 $\pm$ 0.34	0.80 $\pm$ 0.48	0.79 $\pm$ 0.61	0.81 $\pm$ 0.31	1.47 $\pm$ 0.14
B[b]F	0.60 $\pm$ 0.06	0.60 $\pm$ 0.12	0.69 $\pm$ 0.14	0.49 $\pm$ 0.14	23.03 $\pm$ 0.24
B[k]F	0.39 $\pm$ 0.02	0.44 $\pm$ 0.11	0.42 $\pm$ 0.04	0.92 $\pm$ 0.06	0.29 $\pm$ 0.001
B[a]P	0.26 $\pm$ 0.17	0.44 $\pm$ 0.11	0.42 $\pm$ 0.17	0.48 $\pm$ 0.27	0.58 $\pm$ 0.02
DB[a,h]A	traces <sup>2)</sup>	traces	traces	traces	0.53 $\pm$ 0.19
B[g,h,i]P	ND <sup>1)</sup>	0.48 $\pm$ 0.10	traces	ND	ND
Total	2.1 $\pm$ 0.12 <sup>a</sup>	3.16 $\pm$ 0.12 <sup>c</sup>	2.65 $\pm$ 0.20 <sup>b</sup>	3.22 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	26.43 $\pm$ 0.44 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>ND=not detected<sup>2)</sup>traces=compound detected at levels below the limit of detection of the method.<sup>a-d</sup>Means in the same rows bearing different superscripts are significantly different ( $p<0.05$ ) data represent the mean and standard deviation of three analysis per treatment ( $n=3$ )**Table 8. PAHs contents in green Robusta coffee bean (India origin) and ground coffees for 5 min roasting with different roasting temperatures** ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

PAHs	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )					
	0	150	180	200	220	250
B[a]A	0.32 $\pm$ 0.05	0.27 $\pm$ 0.10	0.24 $\pm$ 0.11	0.12 $\pm$ 0.21	0.59 $\pm$ 0.04	0.26 $\pm$ 0.07
Chrys	0.06 $\pm$ 0.002	0.17 $\pm$ 0.02	0.14 $\pm$ 0.06	0.19 $\pm$ 0.10	0.12 $\pm$ 0.07	0.08 $\pm$ 0.04
B[b]F	ND <sup>1)</sup>	0.07 $\pm$ 0.003	0.20 $\pm$ 0.03	0.02 $\pm$ 0.04	ND	0.10 $\pm$ 0.02
B[k]F	ND	traces <sup>2)</sup>	traces	traces	ND	traces
B[a]P	ND	traces	0.03 $\pm$ 0.01	0.03 $\pm$ 0.04	ND	traces
DB[a,h]A	ND	ND	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total	0.38 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.55 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	0.61 $\pm$ 0.06 <sup>b</sup>	0.36 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	0.71 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	0.44 $\pm$ 0.03 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>ND=not detected<sup>2)</sup>traces=compound detected at levels below the limit of detection of the method.<sup>a-c</sup>Means in the same rows bearing different superscripts are significantly different ( $p<0.05$ ) data represent the mean and standard deviation of three analysis per treatment ( $n=3$ )

본 실험에서는 인체발암물질로 분류되어 있는 B[a]P은 검출되지 않거나, 0.03-0.11  $\mu\text{g}/\text{kg}$  수준으로 검출되었으며, 인체발암추정물질로 분류되어 있는 DB[a,h]A은 검출되지 않거나, 미량 검출되었다(250 $^{\circ}\text{C}$ , 0.37  $\mu\text{g}/\text{kg}$ ). 온도가 증가함에 따라 총 PAHs 함량이 일정한 증가를 보이진 않았지만 다소 증가하였으며, B[a]A 함량은 증가하였다.

#### 원두 종류별 PAHs의 함량

Arabica 종인 Colombia 원두와 Brazil 원두 공시료의 총 PAHs 함량은 각각 1.78  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 와 1.65  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 비슷하였으며, Robusta 종인 India 원두는 0.38  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 Arabica 종보다 적은량이 검출되었고, 조건별 총 PAHs 함량도 Arabica종에 비하여 Robusta 종에서

**Table 9. PAHs contents in green Robusta coffee bean (India origin) and ground coffees for 10 min roasting with different roasting temperatures** ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

PAHs	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	150	180	200	220	250
B[a]A	0.12 $\pm$ 0.04	0.08 $\pm$ 0.03	0.11 $\pm$ 0.02	0.22 $\pm$ 0.07	0.69 $\pm$ 0.22
Chrys	0.10 $\pm$ 0.02	0.10 $\pm$ 0.02	0.07 $\pm$ 0.01	0.11 $\pm$ 0.01	0.59 $\pm$ 0.04
B[b]F	0.08 $\pm$ 0.01	0.11 $\pm$ 0.04	ND	0.08 $\pm$ 0.01	1.29 $\pm$ 0.39
B[k]F	ND <sup>1)</sup>	ND	ND	traces <sup>2)</sup>	traces
B[a]P	ND	ND	ND	ND	ND
DB[a,h]A	ND	ND	ND	ND	ND
B[g,h,i]P	ND	ND	ND	ND	ND
Total	0.30 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.29 $\pm$ 0.01 <sup>b</sup>	0.18 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.41 $\pm$ 0.01 <sup>c</sup>	2.54 $\pm$ 0.15 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>ND=not detected<sup>2)</sup>traces=compound detected at levels below the limit of detection of the method.<sup>a-d</sup>Means in the same rows bearing different superscripts are significantly different ( $p<0.05$ ) data represent the mean and standard deviation of three analysis per treatment ( $n=3$ )**Table 10. PAHs contents in green Robusta coffee bean (India origin) and ground coffees for 20 min roasting with different roasting temperatures** ( $\mu\text{g}/\text{kg}$ )

PAHs	Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )				
	150	180	200	220	250
B[a]A	0.22 $\pm$ 0.03	0.23 $\pm$ 0.08	0.33 $\pm$ 0.05	0.33 $\pm$ 0.11	1.04 $\pm$ 0.28
Chrys	0.04 $\pm$ 0.01	0.06 $\pm$ 0.01	0.10 $\pm$ 0.02	0.04 $\pm$ 0.01	0.55 $\pm$ 0.05
B[b]F	0.10 $\pm$ 0.07	0.10 $\pm$ 0.02	ND	0.03 $\pm$ 0.06	0.18 $\pm$ 0.01
B[k]F	traces <sup>2)</sup>	traces	ND	traces	0.21 $\pm$ 0.03
B[a]P	0.04 $\pm$ 0.004	0.03 $\pm$ 0.01	ND	0.03 $\pm$ 0.02	0.11 $\pm$ 0.04
DB[a,h]A	ND <sup>1)</sup>	ND	traces	ND	0.37 $\pm$ 0.06
B[g,h,i]P	ND	ND	ND	ND	ND
Total	0.40 $\pm$ 0.01 <sup>a</sup>	0.42 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup>	0.43 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	0.43 $\pm$ 0.07 <sup>a</sup>	2.46 $\pm$ 0.05 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>ND=not detected<sup>2)</sup>traces=compound detected at levels below the limit of detection of the method.<sup>a-b</sup>Means in the same rows bearing different superscripts are significantly different ( $p<0.05$ ) data represent the mean and standard deviation of three analysis per treatment ( $n=3$ )

적은량이 검출되었다. Arabica종인 Colombia 원두와 Brazil 원두의 PAHs 함량의 차이는 원두의 지방 함량이나, 커피가 자생하는 지역의 대기나 수질과 같은 재배환경 등 외부환경적인 요인의 영향 받아 PAHs 생성량에 차이가 나타날 수 있다. PAHs는 탄수화물 함분의 열분해나 불완전한 연소에 의해 생성되며, 소수성(hydrophobic) 성질로 지방에 대한 친화도가 크므로 지방함량과 생성되는 PAHs함량이 비례할 것으로 추측된다. 커피원두에는 9-18% 정도의 지방이 포함되어 있으며, Robusta 종에 비하여 Arabica 종의 지방함량이 높으므로(23,24), Colombia 원두나 Brazil 원두에서 B[b]F의 높은 함량과 PAHs의 함량 증가에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 또한 고온에서 로스팅 하였을 경우 저온에서 로스팅 하였을 때보다 원두표면에 스며 나오는 지방성분이 많았으며, Robusta종보다 Arabica종에서 스며 나오는 지방성분이 많았다. 저온에서 장시간(150 $^{\circ}\text{C}$ , 20분) 로스팅 한 시료의 총 PAHs는 Brazil 원두 2.1  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , Colombia 원두 2.3  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , India 원두 0.4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  검출되었으며, 고온에서 단시간(250 $^{\circ}\text{C}$ , 5분) 로스팅 한 시료의 총 PAHs는 각각 3.37, 2.49, 0.44  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 고온에서 단시간 로스팅 한 시료의 총 PAHs의 함량이 더 많이 검출되었다. 이러한 결과를 보면 저온·장시간 로스팅 한 시료보다 고온·단시간 로스팅 한 시료가 PAHs 생성에 더 많은 영향을 미치는 것으로 보아 시간조건보다 온도조건의 영향을 더 받는 것으로 판단된다.

## 요 약

커피 품종별 3종의 원두에 대한 로스팅 온도는 inlet air 기준으로 150 $^{\circ}\text{C}$ 에서 250 $^{\circ}\text{C}$  사이로 로스팅 시간은 5, 10, 20분으로 각 조건별 PAHs 함량의 변화를 측정 한 결과이다. Arabica 종인 Colombia 원두와 Brazil 원두 공시료의 총 PAHs 함량은 각각 1.78  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 와 1.65  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 비슷하였으며, Robusta 종인 India 원두는 0.38  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 Arabica 종보다 적은 양이 검출되었다. 총 PAHs 함량도 Robusta 종에서 0.18-2.54  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 이 검출되었으며, Arabica 종인 Colombia 원두와 Brazil 원두는 각각 1.26-215.70  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , 1.85-178.14  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 로 Arabica 종에서 많이 검출되었으며, 품종별 B[a]P의 함량도 Colombia 원두에서 0.11-0.47  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , Brazil 원두에서 0.18-0.60  $\mu\text{g}/\text{kg}$ , India 원두에서 0.03-0.11  $\mu\text{g}/\text{kg}$ 으로 Arabica 종에서 많이 검출되었다. 로스팅 조건별 실험 결과 일정한 변화를 보이진 않았지만, 저온·장시간 로스팅 한 시료보다 고온·단시간 로스팅 한 시료에서 총 PAHs가 많이 검출되었음을 확인하였으며, 시료별 실험결과 B[b]F 함량은 Arabica 종인 Colombia 원두와 Brazil 원두를 250 $^{\circ}\text{C}$ 에서 10, 20분 로스팅 하였을 때 많이 검출되었음을 확인하였다. 이에 따라 시중에 유통되고 있는 로스팅 커피의 모니터링을 통하여 섭취하고 있는 커피의 PAHs의 노출 정도를 파악하고, 커피 생산 공정에서 PAHs의

생성량을 저감화할 수 있는 로스팅 방식(직접가열방식, 열풍가열 방식) 및 조건(온도, 시간) 확립에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 문 헌

- Dabestani R, Ivanov IN. A compilation of physical, spectroscopic, and photophysical properties of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Photochem. Photobiol.* 70: 10-34 (1999)
- Vo-Dinh T, Fetzer J, Campiglia AD. Monitoring and characterization of polyaromatic compounds in the environment. *Talanta* 47: 943-969 (1998)
- European Commission. Commission Regulation No 1881. Setting maximum levels for certain contaminants in foodstuffs. *Off. J. Eur. Union* 49: 5-24 (2006)
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry(ATSDR), Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons(PAHs), Public Health Service, U. S. Department of Health and Human Services, Washington, DC, USA (1995)
- IARC, IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Overall evaluations of carcinogenicity. IARC Monographs. International Agency for Research on Cancer, Lyon, France (1987)
- U.S. EPA Method 610. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC, USA (1999)
- Houessou JK, Benac C, Delteil C, Camel V. Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in coffee brew using solid-phase extraction. *J. Agr. Food Chem.* 53: 871-879 (2005)
- Kim YH, Yoon EK, Lee HM, Park KA, Jun EA, Lee CH, Choi SY, Lim ST, Ze KR, Choi KS. Exposure assessment for polycyclic aromatic hydrocarbons in the model menu system of Korean. *J. Food Hyg. Safety.* 19: 176184 (2004)
- Sivetz M, Foote E. *Coffee Processing Technology*. AVI Publishing Co. Westport, CT, USA. pp.320-349 (1963)
- Baik HJ, Ko YS. Studies on the aroma components of roasted and ground coffee. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 15-18 (1996)
- Houessou JK, Delteil C, Camel V. Investigation of sample treatment steps for the analysis of polycyclic aromatic hydrocarbons in ground coffee. *J. Agr. Food Chem.* 54: 7413-7421 (2006)
- Badolato ESG, Martins MS, Aued-Pimentel S, Alaburda J, Kumagai EE, Baptista GG, Rosenthal A. Systematic study of benzo[a]pyrene in coffee samples. *J. Brazil Chem. Soc.* 17: 989-993 (2006)
- Maier HG. Carcinogenic compound content in coffee bean. *Cafe Cacao The* 35: 133-142 (1991)
- Kruijff N, Schouten A, Van der Stegen GHD. Occurrence of benzo[a]pyrene in roasted coffee, instant coffee and coffee brew. *Cafe Cacao The* 31: 151-154 (1987)
- Kruijff N, Schouten T, Van der Stegen GHD. Rapid determination of benzo[a]pyrene in roasted coffee and coffee brew by high-performance liquid chromatography with fluorescence detection. *J. Agr. Food Chem.* 35: 545-549 (1987)
- Kayali-Sayadi MN, Rudio-Barroso S, Cuesta-Jimenez MP, Polo-Diez LM. A new method for the determination of selected PAHs in coffee brew samples by HPLC with fluorimetric detection and solid-phase extraction. *J. Liq. Chromatogr.* 22: 615-627 (1999)
- Camargo MCR, Toledo MCF. Polycyclic aromatic hydrocarbons in Brazilian vegetables and fruits. *Food control.* 14: 49-53 (2003)
- Howard JW, Fazio T. Analytical methodology and reported findings of polycyclic aromatic hydrocarbons in foods. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 63: 1077-104 (1980)
- Hu SJ, Oh NS, Kim SY, Lee HM. Determining of polycyclic aromatic hydrocarbons in domestic vegetables and fruits. *Anal. Sci. Tech.* 19: 415-421 (2006)
- Houessou JK, Maloug S, Leveque AS, Delteil C, Heyd B, Camel V. Effect of Roasting conditions on the polycyclic aromatic hydrocarbon content in ground arabica coffee and coffee brew. *J. Agr. Food Chem.* 55: 9719-9726 (2007)
- Bishnoi NR, Mehta U, Sain U, Pandit GG. Quantification of polycyclic aromatic hydrocarbons in tea and coffee samples of Mumbai city (India) by high performance liquid chromatography. *Environ. Monit. Assess.* 107: 399 - 406 (2005)
- Rey-Salgueiro L, Garcia-falcon MS, Martinez-Carballo E, Simal-Gandara J. Effects of toasting procedures on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in toasted bread. *Food Chem.* 108: 607-615 (2008)
- Feldman RS, Ryder WS, Kung JT. Importance of nonvolatile compounds to the flavor of coffee. *J. Agr. Food Chem.* 17: 733-739 (1969)
- Mazzafera P, Soave D, Zullo MAT, Filho OG. Oil content of green beans from some coffee species. *Bragantia Campinas* 57: 45-48 (1998)