수입농산물 가공식품 중 벤조피렌, 다이옥신 분석 및 비스페놀 A 함량 분석과 안전성 평가

김경지^{1,2*} · 안정희^{2*} · 이권재³

¹서강대학교 융합의생명공학과

²케이씨대학교 식품영양학과

³대전대학교 H-LAC학과

Analysis and Risk Assessment of Benzo[a]pyrene, Dioxin, and Bisphenol A Content in Imported Agricultural Processed Food

Gyeong-Ji Kim^{1,2*}, Jeung Hee An^{2*}, and Kwon-Jai Lee³

¹Department of Biomedical Engineering, Sogang University

²Department of Food Science and Nutrition, KC University

³Department of H-LAC, Daejeon University

ABSTRACT This study estimated the contents of benzo[a]pyrene (17 samples), dioxin (8 samples), and bisphenol A (13 samples) in imported agricultural processed foods (smoked meat, smoked fish, noodles, fried vegetable, oil, etc.). We further analyzed the estimated lifetime average daily intake of benzo[a]pyrene and dioxin. The benzo[a]pyrene levels in imported agricultural processed foods ranged from 0.03 to 1.71 µg/kg. The highest benzo[a]pyrene content was found in black chili bean sauce produced in China. However, the estimated lifetime average daily intake of benzo[a]pyrene showed high levels in onion flakes produced in Pakistan. The highest dioxin content was obtained in bacon (Switzerland, Denmark, Ireland), at 0.0019 pg WHO-TEQ/g. The exposure assessment of dioxin was 0 pg TEQ/kg b.w./d for all samples. Furthermore, bisphenol A was not detected in any sample. In general, the contents of benzo[a]pyrene, dioxin and bisphenol A in processed foods from imported agricultural products were found to be lower than the standard levels proposed by the Ministry of Food and Drug Safety. However, there is a possibility that the average intake of benzo[a]pyrene will increase to the high level if the domestic processed foods are replaced with imported agricultural processed foods and continually consumed. Therefore, we propose the necessity of being attentive to the long-term consumption of imported agricultural processed foods.

Key words: imported agricultural products, dioxin, benzo[a]pyrene, bisphenol A, risk assessment

서 론

우리나라는 국민소득의 증가, 식품 산업의 발전 및 식생활의 서구화로 식품 소비패턴이 변화되고 있어 쌀의 소비는 줄어드는 반면 육류의 소비가 증가하는 추세를 보인다. 농림축산식품부 통계에 의하면 우리나라 1인당 육류 소비량은 1980년 쇠고기 2.6 kg, 돼지고기 6.3 kg, 닭고기 2.4 kg으로 총 1.3 kg에서 2015년에는 쇠고기 10.9 kg, 돼지고기 2.5 kg, 닭고기 13.4 kg으로 총 46.8 kg으로 크게 증가하였으

며, 소비량은 매년 증가 추세에 있다(Kim과 Kim, 2019; MAFRA, 2016). 내분비 장애 물질(일명 환경 호르몬)은 환경문제에 있어 가장 우려되는 물질로 인간의 내분비 질환 발생률을 증가시키고, 극미량으로 생식기능 장애를 유발하는 물질로 다이옥신, 노닐페논, 비스페놀 A, 벤조피렌 등이 알려져 있으며 육류 등 일반 식품에 함유되어 있다(Kang 등, 2007; Ahn과 Shin, 2012).

일반적으로 다이옥신류는 폴리클로리네이트드 디벤조-파라-다이옥신(polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins, PCDDs)

Received 15 April 2021; Revised 3 May 2021; Accepted 4 May 2021

Corresponding author: Kwon-Jai Lee, Department of H-LAC, Daejeon University, 62 Daehak-ro, Dong-gu, Daejeon 34520, Korea, E-mail: kjlee@dju.kr

Author information: Gyeong-Ji Kim (Graduate student), Jeung Hee An (Professor), Kwon-Jai Lee (Professor)

*These authors contributed equally to this work.

Copyright © 2021 by The Korean Society of Food Science and Nutrition. All rights Reserved.

This is Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

류 75종의 동족체 중 독성이 있는 물질로 7종, 폴리클로리네이티드 디벤조퓨란(polychlorodibenzo furans, PCDFs)류로는 135종 중 10종 동족체가 독성이 있는 것으로 알려져 있으며, 다이옥신 유사 PCBs(dioxin like PCBs) 12종을 포함하여 총 29종의 동족체를 독성 다이옥신으로 분류한다(Ahn과 Shin, 2012). 특히 PCDD/Fs 210종의 동족체 중에서 가장 독성이 높은 동족체인 2,3,7,8-tetrachlorinated dibenzodioxin(2,3,7,8-TCDD)은 국제암연구소(IARC)에서 Group1(인체발암 물질)으로 지정하였으며 2,3,7,8-TCDD 이외에 기타 동족체는 독성 등가량(toxicity equivalent)으로 환산하여 독성을 추정한다(Ahn과 Shin, 2012). 체내에 흡수되는 다이옥신류 대부분(97%)은 식품을 통해 인체에 노출되며(Fries, 1995), 그중 육류, 어패류, 낙농 제품 등의 지방에 많이 잔류하게 된다(Malisch, 2000; Tsutsumi 등, 2001; Abad 등, 2002; Parzefall, 2002). 국내외적으로 식품 중 다이옥신은 식욕이나 수산물 중 기준을 정하여 관리하고 있으며, 우리나라에서는 다이옥신(17종) 기준을 소고기 4.0 pg TEQ/g, 돼지고기 2.0 pg TEQ/g, 닭고기 3.0 pg TEQ/g 이하로 설정하여 관리하고 있다(Ahn과 Shin, 2012).

또한, 다환방향족 탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAHs)는 200여종의 유도체 화합물들이 알려져 있으며(Tilgner와 Daun, 1969; Gunther와 Buzzetti, 1965) 이들의 발암성이 밝혀진 바 있다. 이 중에서도 benzo[a]pyrene(3,4-benzopyrene; 1,2-benzo-pyrene)은 특히 발암성이 강한 것으로 밝혀져 있다(Kim과 Lee, 2009). PAHs는 2개 이상의 벤젠고리를 가지고 있는 다환방향족 탄화수소로서 유기물의 불완전 연소 시 발생한다. 벤젠고리가 2~4개인 PAHs는 기체나 고체에 흡착된 형태로, 5개 이상인 PAHs는 주로 고체에 흡착된 형태로 자연계에 존재한다(Kim과 Lee, 2009). 식품에서는 고온 조리나 의한 탄수화물, 지방 및 단백질의 탄화에 의해 생성되며 농산물 등 조리·가공하지 않은 식품에도 존재한다(Hu 등, 2006; Tao 등, 2004). 생식품(raw food) 특히 어류, 육류 등은 그들의 대사 능력(생물 전환력)으로 인해 PAHs 오염도가 낮지만 굽기·튀기기·볶기 등의 조리·가공 과정에 의해 생성된다(Kim과 Lee, 2009).

비스페놀 A, F, S 등 비스페놀류는 폴리카보네이트와 에폭시수지 등을 만드는 데 사용되며 일부 감열지 현상제, 플라스틱 항산화제, 치아 밀봉재 등에도 사용되는 유기 화합물이다. 비스페놀 A는 일부 식물에서 자연적으로 존재한다고 알려져 있으며, 폴리카보네이트를 제조하는 과정에 사용되어 인체에 노출이 가능한 물질이다(MFDS, 2020a).

따라서 본 연구에서는 시중에 유통되는 수입농산물 및 훈제식육 가공식품 중에서 훈제육, 훈제생선, 라면, 튀긴 채소류 등을 대상으로 다이옥신, 벤조피렌, 비스페놀 A 함량을 모니터링하였으며 수입 농축산 식품의 안전관리를 위한 기초자료를 보고하고자 한다.

재료 및 방법

실험 재료

본 연구에서 사용된 수입농산물은 서울시 용산구 이태원동의 슈퍼마켓에서 유통되고 있는 훈제육, 훈제생선, 라면, 튀긴 채소류 등 17건을 대상으로 하였다. 수입농산물의 원산지는 중국산 3건(피단, 라조장, 라면), 태국산 3건(마늘 플레이크, 바나나칩, 라면), 인도네시아산 2건(자색 고구마 튀김, 라면), 캐나다산 1건(아마씨), 인도산 1건(붉은 캐슈너트), 파키스탄산 1건(양파 플레이크), 필리핀산 1건(훈제 전갱이), 미국산 1건(베이컨), 베트남산 1건(라면), 벨기에, 오스트리아, 프랑스산 1건(베이컨), 스위스, 덴마크, 아일랜드 1건(베이컨), 태국, 호주, 브라질 1건(소시지류)으로 Table 1과 같다.

수입농산물 및 훈제식육 가공식품에서의 벤조피렌 추출 및 정제

수입농산물 가공식품에서 벤조피렌을 검출하기 위하여 식품의약품안전처에서 제시하는 분석 방법을 이용하였다. 균질화한 시료 약 10 g을 에탄올(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)로 희석한 1 M KOH(Sigma-Aldrich Co.) 100 mL와 함께 둥근바닥 플라스크에 넣고 내부표준물질인 3-methylcholanthrene(Sigma-Aldrich Co.) 1 mL를 첨가한 후 환류 냉각장치를 부착시킨다. 미리 80°C로 예열시킨 전열기에서 3시간 동안 가열하여 알칼리 분해를 시킨 후, 신속히 냉각하고 n-hexane(Sigma-Aldrich Co.) 50 mL를 환류냉각기를 통해 넣어준다. 둥근바닥 플라스크의 알칼리 분해액을 분액여두에 옮기고 ethanol : n-hexane(1:1, v/v) 용액 50 mL로 세척하여 분액여두에 합쳤다. 분액여두에 50 mL의 증류수를 넣고 진탕시켜 물층과 n-hexane층으로 분리하여 n-hexane층을 다른 분액여두에 담아두고 물층에 n-hexane 50 mL를 넣어 추출하는 과정을 2회 반복한 후 분리한 n-hexane층을 모두 합쳤다. 이 n-hexane층에 증류수 50 mL를 넣고 섞은 후 정지하여 물층은 버리는 조작을 3회 반복하였다. 그 후 n-hexane층을 Na₂SO₄(Sigma-Aldrich Co.) 15 g을 넣은 여과지(Whatman No. 2, Whatman plc., Kent, UK)를 사용하여 탈수 여과시킨 후 40°C 이하의 수욕 상에서 감압하여 약 2 mL로 농축했다. Florisil cartridge(Waters Co., Birmingham, UK)는 미리 dichloromethane(Sigma-Aldrich Co.) 10 mL와 n-hexane 20 mL를 초당 2~3방울의 속도로 유출한 후 사용하였다. 황설화된 컬럼에 농축액을 넣고 n-hexane 10 mL와 n-hexane : dichloromethane(3:1, v/v) 20 mL로 각각 용출시킨 후 40°C 이하의 수욕 상에서 질소가스 하에 농축·건조했다. 잔류물은 acetonitrile(Sigma-Aldrich Co.)에 녹여 전량을 1 mL로 하여 이를 0.45 µm의 여과지로 여과하여 시험용액으로 사용했다.

수입 식용유지에서의 벤조피렌 추출 및 정제

라조장과 같은 식용유지로부터 벤조피렌을 검출하기 위해서 10 g의 시료에 1 mL의 내부표준물질(3-methylchol-anthrene)을 첨가하고 n-hexane 100 mL에 녹여 분액여두(I)에 옮겼다. 그리고 N,N-dimethylformamide(Sigma-Aldrich Co.): 증류수(9:1, v/v) 50 mL를 넣어 섞은 후 정치하여 층 분리를 시킨 다음 N,N-dimethylformamide: 증류수(9:1, v/v) 층을 다른 분액여두(II)에 옮겼다. 그 후 n-hexane층에 N,N-dimethylformamide: 증류수(9:1, v/v)를 25 mL 넣고 2회 반복하여 N,N-dimethylformamide: 증류수(9:1, v/v) 층을 분액여두(II)에 합쳤다. 모은 분액여두(II)에 있는 N,N-dimethylformamide: 증류수(9:1, v/v) 층에 1% Na₂SO₄ 용액 100 mL를 넣어 섞은 후, n-hexane 50 mL를 넣어 섞은 다음 정치하여 층 분리를 하여 n-hexane층을 분액여두(III)에 옮겼다. N,N-Dimethylformamide: 증류수(9:1, v/v) 층에 n-hexane 35 mL를 넣고 2회 반복하여 분액여두(III)를 합쳤다. 그리고 증류수 40 mL를 넣고 흔들어 섞은 후 정치하여 층을 분리하고 물층은 버리는 조작을 2회 반복했다. 마지막으로 n-hexane층을 15 g의 Na₂SO₄를 넣은 여과지를 사용하여 탈수 여과시킨 후 40°C 이하에서 수욕 상 감압하여 약 2 mL로 농축했다.

수입농산물 가공식품에서의 벤조피렌 분석을 위한 HPLC/FLD 조건

수입농산물 가공식품에서 추출한 벤조피렌을 분석하기 위해 HPLC-FLD(RF-20A, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 사용하였으며 컬럼은 Capcell pak C₁₈(4.6 mm×250 mm, particle size 5 µm, Shiseido, Tokyo, Japan)을 사용하였다. 여기 파장은 294 nm를 사용했으며 형광 파장은 404 nm로 고정했다. 또한, 이동상은 acetonitrile: 증류수(8:2, v/v) 혼합액을 사용하였으며, 시료는 10 µL를 주입했고 유속은 1.0 mL/min의 조건으로 분석하였다. 정량은 내부표준법에 따른 피크 면적법으로 계산하였다.

수입농산물 가공식품에서의 벤조피렌 인체 노출량 평가

수입농산물 가공식품의 섭취로 인한 벤조피렌의 인체 노출량 평가에 사용된 만성 1일 인체 노출량 계산식은 다음과 같다.

$$\text{만성 식이 노출량(ng/kg/d)} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \times I R_i}{B W}$$

C_i: 식품(i) 중 benzo[a]pyrene 농도(µg/kg)

I R_i: 식품(i) 중 1일 평균 섭취량(ingestion rate, g/d)

BW: 체중(body weight, kg)

노출량 산출을 위한 식품 섭취량은 질병관리본부에서 제공한 국민건강영양조사 제7기 3차연도(2018)에서 1일 평균 식이 섭취량을 활용하였으며 평균 체중은 61.3 kg을 적용하였다.

수입농산물 가공식품에서의 다이옥신 추출 및 정제

수입농산물 가공식품에서 검출하기 위한 다이옥신류 검출 대상 물질로 PCDD/DFs(polychlorinated dibenzo-*p*-dioxinsdibenzofuran)(Wellington Labs., Ontario, Canada) 17종의 이성질체를 선정하였다. 시료 채취용 표준물질은 ¹³C₁₂-TCDD 등 15종을 사용했으며 수입농산물 가공식품 중 육류의 경우 50 g에 톨루엔 50 mL를 첨가하여 추출하였고, 채소류 50 g에 아세톤(Sigma-Aldrich Co.): n-hexane(1:1, v/v) 50 mL를 첨가하여 추출하였다. 추출된 용액을 회전진공농축기(R-114, Buchi Co., Flawil, Switzerland)로 모두 증발시키고 정제용 표준물질인 ³⁷C₄-TCDD를 넣은 후 황산(Sigma-Aldrich Co.) 처리를 하고 수세 및 탈수하였다. 실린지 첨가용 표준물질은 ¹³C₁₂-1,2,3,4-T4CDD(Wellington Labs.)와 ¹³C₁₂-1,2,3,7,8,9-H6CDD(Wellington Labs.)를 사용하여 증발시켰다. 증발시킨 시료에 n-hexane 5 mL를 가하여 시험관으로 옮긴 후 질소로 완전히 증발시킨 다음, nonane으로 최종부피 10 µL가 되도록 하여 분석에 사용하였다.

수입농산물 가공식품에서의 다이옥신 분석을 위한 HRGC/HRMS 조건

수입농산물 가공식품에서 추출한 다이옥신 분석은 기체 크로마토그래피(Agilent 6890 Plus Gas chromatograph, Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)와 고분해능 질량분석기(JEOL-MS700D, JEOL, Tokyo, Japan)를 이용하였다. 고분해능 기체크로마토그래피(HRGC)에 장착한 컬럼은 DB-5MS(60 m×0.32 mm, Agilent Technologies)를 사용하였다. 검출 대상 물질이 검출될 경우 정량은 labelled compound standard(LCS)에 대한 반응계수(RR: relative response)를 이용한 동위원소 희석법(isotope dilution method)에 따라 정량하였으며 JEOL Mastation 700D의 운영 소프트웨어(Diok)를 사용하였다.

수입농산물 가공식품에서의 다이옥신 인체 노출량 평가

수입농산물 가공식품의 섭취로 인한 다이옥신의 노출량 산출을 위한 식품 섭취량은 질병관리본부에서 제공한 국민건강영양조사 제7기 3차연도(2018)에서 1일 평균 식이 섭취량을 활용하였으며 평균 체중은 61.3 kg을 적용하였다.

수입농산물 가공식품 포장재에서의 비스페놀 A 용출액 조제

수입농산물 가공식품의 포장재에서 비스페놀 A를 용출하기 위해 표면적 1 cm²당 2 mL 비율의 70°C로 가온한 침출 용액(물 또는 4% acetic acid(Sigma-Aldrich Co.))에 포장재를 담근 후 시계접시로 덮고 70°C를 유지하면서 30분간 방치한 용액을 분석에 사용하였다. 또한, n-heptane(Sigma-Aldrich Co.)을 침출 용액으로 할 때는 25°C를 유지하면서 1시간 방치한 용액을 비스페놀 A 검출을 위한 시료로 사용하였다.

Table 1. Benzo[a]pyrene contents analysis in imported agricultural processed products

Sample No.	Food group	Sample name	Country of origin	Benzo[a]pyrene ($\mu\text{g/kg}$)
1	Meat products	Bacon	USA	$0.08 \pm 0.01^{\text{de}(1)(2)}$
2		Bacon	Belgium, Austria, France	$0.18 \pm 0.02^{\text{d}}$
3		Bacon	Switzerland, Denmark, Ireland	$0.04 \pm 0.01^{\text{e}}$
4		Sausage	Thailand, Australia, Brazil	$0.06 \pm 0.01^{\text{e}}$
5	Noodle	Ramen	China	$0.15 \pm 0.04^{\text{de}}$
6		Ramen	Indonesia	$0.05 \pm 0.02^{\text{e}}$
7		Ramen	Thailand	$0.08 \pm 0.05^{\text{de}}$
8		Ramen	Vietnam	$0.03 \pm 0.02^{\text{e}}$
9	Fruit vegetable products	Fried purple sweet potato	Indonesia	$0.08 \pm 0.02^{\text{de}}$
10		Banana chip	Thailand	$0.05 \pm 0.02^{\text{e}}$
11		Garlic flake	Thailand	$0.10 \pm 0.03^{\text{de}}$
12		Onion flake	Pakistan	$0.31 \pm 0.02^{\text{c}}$
13	Oli	Chili black bean sauce	China	$1.71 \pm 0.22^{\text{a}}$
14	Seed	Flaxseed	Canada	$0.06 \pm 0.01^{\text{e}}$
15	Nuts products	Roasted cashew nuts	India	$0.04 \pm 0.04^{\text{e}}$
16	Eggs products	Century egg	China	$0.03 \pm 0.03^{\text{e}}$
17	Marine products	Smoked <i>Trachurus japonicus</i>	Philippines	$0.88 \pm 0.09^{\text{b}}$

¹⁾Each value is mean $\pm$ SD of triplicate determination.

²⁾Values with different superscripts in a column are significantly different ($P < 0.05$).

수입농산물 가공식품 포장재에서의 비스페놀 A 분석을 위한 HPLC-FLD 조건

수입농산물 가공식품의 포장재에서 추출한 비스페놀 A를 분석하기 위해 HPLC-FLD(Agilent 1260 Infinity II series, Agilent Technologies)를 이용했으며, UG120 C₁₈ (4.6 mm $\times$ 250 mm, 5 μm , OSAKA SODA Co., Ltd., Osaka, Japan) 컬럼을 사용했다. 비스페놀 A의 검출에 사용된 형광 검출기의 여기 파장은 275 nm이고 형광 파장은 300 nm로 고정하여 사용하였다. 이동상은 acetonitrile : 증류수 (7:3, v/v) 혼합액에서 acetonitrile : 증류수 (10:0, v/v)까지 직선 농도 기울기를 15분간 실시하였다. 시료는 20 μL 를 주입하고 유속은 1.0 mL/min의 조건으로 분석하였다.

통계분석

본 실험에서의 실험값에 대한 통계분석은 SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 프로그램을 이용하여 분산 분석(ANOVA)법을 실행했으며, 던컨의 다중 범위 시험법 (Duncan's multiple range test)으로 $P < 0.05$ 수준에서 실험군 간의 유의적 차이를 검증하였다.

결과 및 고찰

수입농산물 가공식품에서의 벤조피렌 함량 비교

수입농산물 가공식품에서의 벤조피렌 오염도를 파악하기 위해 시중에 유통되고 있는 수입산 육류(베이컨, 소시지), 면류(라면), 과채류(자색고구마, 바나나, 마늘, 양파), 유지류(라조장), 씨앗류(아마씨), 알류(피단), 견과류(볶은 캐슈너트), 해산물(훈제 전갱이) 등 17건의 가공식품을 구입하여 벤조피렌 농도를 분석하였다. 수입농산물 가공식품의 벤조

피렌 함량 분석 결과는 Table 1에 나타났다. 수입 가공육 중 베이컨에, 오스트리아, 프랑스를 원산지로 하여 세 나라의 돼지고기가 혼합되어 있는 베이컨에서 $0.18 \mu\text{g/kg}$ 으로 가장 높은 벤조피렌 함량을 보여주었다. Lorenzo 등(2010)이 스페인 전통 훈제 소시지를 분석한 결과 두 종류의 소시지에서 0.38 과 $0.49 \mu\text{g/kg}$ 의 벤조피렌을 나타냈으며, 시중에서 유통되는 69종의 벤조피렌 함량을 조사한 Cho 등(2011)의 불검출 $\sim$ $2.87 \mu\text{g/kg}$ 의 벤조피렌을 검출한 결과와 비교했을 때, 본 연구에서의 수입 가공육에 함유된 벤조피렌은 현저히 낮은 수준이라고 할 수 있다. 또한, 훈제한 가공식품에서의 벤조피렌은 훈제 연기의 노출 정도와 연기의 조성, 훈제시간, 원료의 지방 함량 등의 변수에 따라 벤조피렌 함량에 영향을 미친다(Cho 등, 2011; Stumpe-Viksna 등, 2008; Varlet 등, 2007). 면류의 경우 중국산, 인도네시아산, 태국산, 베트남산 중 중국산 라면($0.15 \mu\text{g/kg}$)이 가장 높은 함량을 보인 반면, 베트남산 라면은 $0.03 \mu\text{g/kg}$ 으로 가장 낮은 함량을 나타냈다. 또한, 과채류를 가공한 튀긴 자색고구마(인도네시아), 바나나 칩(태국), 마늘 플레이크(태국), 양파 플레이크(파키스탄)는 각각 0.08 , 0.05 , 0.1 , $0.31 \mu\text{g/kg}$ 의 벤조피렌 함량을 나타내어 양파 플레이크에서 가장 많은 벤조피렌이 검출되었다. 식품 중의 벤조피렌은 주로 조리 및 가공 시 식품의 주성분인 탄수화물, 단백질, 지방 등이 열분해 되어 생성되며(Oh, 2014; Tilgner, 1970), 굽기나 튀기기 등과 같은 고온 조리 시에는 탄수화물, 단백질 및 지방의 탄화에 의해 벤조피렌이 생성된다(Oh, 2014; Son과 Kang, 2012). 그러므로 튀긴 라면과 튀긴 과채를 거친 과채류에서도 벤조피렌이 검출된 것으로 보인다. 또한, 고구마, 마늘, 양파와 같은 식물의 경우 잎 표면의 먼지와 오염된 토양입자의 침적, 잎에 의한 휘발성 화합물 흡착을 통해 벤조피렌을

축적하여 벤조피렌 농도에 영향을 줄 수 있다(Yoon 등, 2018; Khan 등, 2008). 유지류, 씨앗류, 견과류, 알류, 해산물 등과 같은 기타 가공식품을 비교했을 때, 식용유지인 중국산 라조장이 1.71 µg/kg로 가장 높은 벤조피렌 함량을 보여주었으며, 해산물을 가공한 훈제 전갱이(필리핀)에서 0.88 µg/kg으로 기타 가공식품 중 두 번째로 많은 함량의 벤조피렌이 검출되었다. 식품의약품안전처에 따르면 식물성 유지류, 어유, 기타 동물성 유지류, 향미유, 가공유지 등과 같은 식용유지의 경우 벤조피렌 함량을 2.0 µg/kg 이하로 제한하고 있으며, 훈제어육 및 훈제식육 제품은 5.0 µg/kg 이하로 규제하고 있어 본 연구에 사용된 수입농산물은 안전한 수준이었다(MFDS, 2019). 그러나 식용유지류에 속하는 중국산 라조장의 경우 1.7 µg/kg의 벤조피렌 오염도를 보여 원료나 제조환경에 따라 벤조피렌 함량이 증가할 수 있으므로 수입산 식용유지에서의 벤조피렌 저감화를 위한 대책이 필요하다.

수입농산물 가공식품에서의 벤조피렌 인체 노출량 평가

벤조피렌은 환경오염, 식품의 조리, 가공과정에서 생성되어 현대인의 식습관 변화에 따라 인체 총 노출량이 변화할 수 있다(MFDS, 2019). 본 연구에서의 수입농산물 가공식품에서의 벤조피렌의 인체 노출량을 평가한 결과는 Table 2와 같다. 벤조피렌 함량이 가장 높았던 라조장(중국)의 경우 유지류 중 혼합 식물성유로 분류되어 1일 섭취량이 0 g/d로 인체 노출량이 없는 것으로 계산되었다. 두 번째로 높은 벤조피렌 함량을 보였던 훈제 전갱이(필리핀)도 1일 섭취량이 적어 만성 1일 인체 노출량이 0 ng/kg b.w./d인 것으로 나타났다. 벤조피렌의 만성 1일 인체 노출량이 가장 높았던 가공식품은 파키스탄의 양파 플레이크(0.15 ng/kg b.w./d)였으며, 이는 양파의 1일 섭취량(28.81 g/d)이 많았기 때문으로 보인다. 육류 중 가장 높은 만성 1일 인체 노출량을 보인 가공식품은 벨기에, 오스트리아, 프랑스를 원산지로 하는 베이컨(0.02 ng/kg b.w./d)이었다. 라면류의 경우 1일 섭취량이 13.51 g/d로 중국 라면(0.03 ng/kg b.w./d), 태국 라면(0.02 ng/kg b.w./d), 인도네시아 라면(0.01 ng/kg b.w./d), 베트남 라면(0.01 ng/kg b.w./d) 순으로 높은 만성 1일 인체 노출량을 보였다. 2019년도 식약처에서 보고한 식품의 벤조피렌 기준, 규격 재평가 보고서에 따르면 면류에서 0.004 ng/kg b.w./d, 농산가공식품류에서 0.003 ng/kg b.w./d, 식육 가공품 및 포장육에서 0.001 ng/kg b.w./d의 1일 인체 노출량을 나타냈다(MFDS, 2019). 이와 비교했을 때, 본 연구에서의 식육 가공품인 베이컨과 소시지의 인체 노출량은 0.01~0.02 ng/kg b.w./d를 보였으며, 면류에서는 0.01~0.03 ng/kg b.w./d, 농산가공식품류에서는 0.01~0.15 ng/kg b.w./d의 인체 노출량을 나타내 수입농산물 섭취 시 벤조피렌의 노출량이 높은 수준으로 증가할 것으로 보인다.

Table 2. Estimated daily intake of benzo[a]pyrene from imported agricultural processed products

Sample No.	Food group	Sample name	Country of origin	Average contaminated level (µg/kg)	Food intake (g/d)	Estimated daily exposure to benzo[a]pyrene (ng/d)	Estimated daily intake (ng/kg b.w./d)
1	Meat products	Bacon	USA	0.08	8.14	0.65	0.01
2		Bacon	Belgium, Austria, France	0.18	8.14	1.47	0.02
3		Bacon	Switzerland, Denmark, Ireland	0.04	8.14	0.33	0.01
4		Sausage	Thailand, Australia, Brazil	0.06	8.14	0.49	0.01
5	Noodle	Ramen	China	0.15	13.51	2.03	0.03
6		Ramen	Indonesia	0.05	13.51	0.68	0.01
7		Ramen	Thailand	0.08	13.51	1.08	0.02
8		Ramen	Vietnam	0.03	13.51	0.41	0.01
9	Fruit vegetable products	Fried purple sweet potato	Indonesia	0.08	12.81	1.02	0.02
10		Banana chip	Thailand	0.05	11.43	0.57	0.01
11		Garlic flake	Thailand	0.10	4.25	0.43	0.01
12		Onion flake	Pakistan	0.31	28.81	8.93	0.15
13	Oli Seed	Chili black bean sauce	China	1.71	0	0.00	0.00
14		Flaxseed	Canada	0.06	0.01	0.00	0.00
15		Roasted cashew nuts	India	0.04	0.10	0.00	0.00
16		Century egg	China	0.03	0	0.00	0.00
17	Marine products	Smoked <i>Trachurus japonicus</i>	Philippines	0.88	0.02	0.02	0.00

Table 3. PCDD/Fs concentration in imported agricultural processed products

PCDD/F	Sample No. (pg/g) ¹⁾							
	1	2	3	4	9	11	12	17
2,3,7,8-TCDD	ND ²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,7,8-PeCDD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,4,7,8-HxCDD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,6,7,8-HxCDD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,7,8,9-HxCDD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
OCDD	ND	4.512	6.3046	ND	ND	0.7329	1.1978	ND
2,3,7,8-TCDF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,7,8-PeCDF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,3,4,7,8-PeCDF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,4,7,8-HxCDF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,6,7,8-HxCDF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,7,8,9-HxCDF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,3,4,6,7,8-HxCDF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
OCDF	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total concentration	0	4.512	6.3046	0	0	0.7329	1.1978	0

¹⁾ 1: food group, meat products; sample name, bacon; country of origin: USA. 2: food group, meat products; sample name, bacon; country of origin: Belgium, Austria, France. 3: food group, meat products; sample name, bacon; country of origin: Switzerland, Denmark, Ireland. 4: food group, meat products; sample name, sausage; country of origin: Thailand, Australia, Brazil. 9: food group, fruit vegetable products; sample name, fried purple sweet potato; country of origin: Indonesia. 11: food group, fruit vegetable products; sample name, garlic flake; country of origin: Thailand. 12: food group, fruit vegetable products; sample name, onion flake; country of origin: Pakistan. 17: food group, marine products; sample name, smoked *Trachurus japonicus*; country of origin: Philippines.

²⁾ ND is not detected.

수입농산물 가공식품에서의 다이옥신 함량 비교

다이옥신은 폴리염화디벤조다이옥신류(PCDDs, 75종)와 폴리염화디벤조프uran류(PCDFs, 135종) 210개의 동족체 혼합물을 통칭하며, 2,3,7,8-TCDD를 포함한 17종의 동족체(PCDD/Fs)가 독성이 높은 것으로 알려져 있다(Oh 등, 2010). 본 연구에서는 수입농산물 가공식품 중 육류(베이컨, 소시지), 과채류(튀긴 자색고구마, 마늘 플레이크, 양파 플레이크), 수산물(훈제 전갱이) 등 8건의 가공식품에서 PCDD/Fs 17종을 분석하였다. Table 3은 수입농산물 가공식품 내의 PCDD/Fs의 실측농도를 나타내었다. 육류, 과채류, 수산물을 비교했을 때 육류에서 가장 많은 PCDD/Fs가 검출되었으며, 스위스, 덴마크, 아일랜드를 원산지로 하는 베이컨에서 6.3046 pg/g으로 가장 많은 PCDD/Fs가 검출되었다. 두 번째로 벨기에, 오스트리아, 프랑스를 원산지로 하는 베이컨에서 4.512 pg/g의 PCDD/Fs가 검출되었으나, 미국산 베이컨과 태국, 오스트레일리아, 브라질을 원산지로 하는 소시지에서는 검출되지 않았다. 또한, 고온 조리과정을 거친 양파 플레이크와 마늘 플레이크에서는 각각 1.1978과 0.7329 pg/g의 PCDD/Fs가 검출되었다. 반면, 튀긴 자색고구마(인도네시아)에서는 PCDD/Fs가 검출되지 않았으며 필리핀산 훈제 전갱이에서도 불검출되었다. Oh 등(2010)은 곡류(백미), 육류(소고기, 돼지고기, 닭고기 등), 유가공품(우유, 치즈), 알류(계란) 및 수산물(고등어, 삼치, 장어, 굴,

꽃게 등)에서 PCDDs/Fs를 검출한 결과 수산물(고등어, 장어)에서 가장 높은 검출 비율을 나타냈다. 그러나 본 연구에서의 훈제 전갱이에서 다이옥신이 검출되지 않은 이유는 어류의 종류에 따라 다이옥신의 검출량이 다르기 때문이다(Taioli 등, 2005). 다이옥신은 염소의 치환 수 및 부착 위치에 따라 독성 강도가 달라지므로 이성체 중 가장 독성이 높은 2,3,7,8-TCDD의 독성을 기준으로 하여 각 이성체의 상대적인 독성 값을 나타낸 계수를 독성등가 환산계수(toxicity equivalent factor, TEQ)라고 하며(Ahn과 Shin, 2012) 이에 대한 환산값은 Table 4에 나타내었다. 독성등가 계수가 가장 높은 2,3,7,8-TCDD와 1,2,3,7,8-PeCDD는 모든 시료에서 검출되지 않았으나, 계수를 0.003으로 하는 OCDD가 베이컨과 플레이크에서 검출되었다. 스위스, 덴마크, 아일랜드의 혼합육을 사용한 베이컨은 0.0019 pg WHO-TEQ/g의 함량을 나타냈고, 벨기에, 오스트리아, 프랑스의 혼합육을 사용하는 베이컨은 0.0014 pg WHO-TEQ/g의 PCDD/Fs가 검출되었다. 가장 높은 함량을 나타냈던 육류(돼지고기)의 경우 우리나라의 PCDD/Fs 허용기준이 2.0 pg WHO-TEQ/g이므로 본 연구에서의 수입산 베이컨은 안전한 수준으로 나타났다(MFDS, 2018). 본 연구에서는 다이옥신류가 검출된 시료 모두 OCDD만 검출되어 실측농도와 독성등가 환산값을 비교했을 때 같은 경향을 보여주었다.

Table 4. WHO-TEQ values of PCDD/Fs imported agricultural processed products

PCDD/F	WHO 200 TEF	Sample No. (pg WHO-TEQ/g) ¹⁾							
		1	2	3	4	9	11	12	17
2,3,7,8-TCDD	1	ND ²⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,7,8-PeCDD	1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
OCDD	0.003	ND	0.0014	0.0019	ND	ND	0.0002	0.0004	ND
2,3,7,8-TCDF	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,7,8-PeCDF	0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,3,4,7,8-PeCDF	0.3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0.1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0.01	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
OCDF	0.0003	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Total concentration		0	0.0014	0.0019	0	0	0.0002	0.0004	0

¹⁾ 1: Food group, meat products; sample name, bacon; country of origin: USA. 2: food group, meat products; sample name, bacon; country of origin: Belgium, Austria, France. 3: food group, meat products; sample name, bacon; country of origin: Switzerland, Denmark, Ireland. 4: food group, meat products; sample name, sausage; country of origin: Thailand, Australia, Brazil. 9: food group, fruit vegetable products; sample name, fried purple sweet potato; country of origin: Indonesia. 11: food group, fruit vegetable products; sample name, garlic flake; country of origin: Thailand. 12: food group, fruit vegetable products; sample name, onion flake; country of origin: Pakistan. 17: food group, marine products; sample name, smoked *Trachurus japonicus*; country of origin: Philippines.

²⁾ ND is not detected.

수입농산물 가공식품에서의 다이옥신 인체 노출량 평가

수입농산물 가공식품에서의 다이옥신의 1일 인체 노출량을 평가한 결과는 Table 5와 같다. 가장 높은 다이옥신의 1일 노출량을 보인 가공식품은 스위스, 덴마크, 아일랜드를 원산지로 하는 베이컨이 0.0155 pg TEQ/g/d의 노출량을 나타냈다. 그러나 한국인 평균 체중(61.3 kg)을 고려했을 때의 노출량은 0.0003 pg TEQ/kg b.w./d로 나타났다. 또한, 벨기에, 오스트리아, 프랑스를 원산지로 하는 베이컨과 파키스탄을 원산지로 하는 양파 플레이크는 0.0002 pg TEQ/kg b.w./d의 노출량을 보였다. 이외의 가공식품들에서의 체중을 고려한 1일 인체 노출량은 0 pg TEQ/kg b.w./d로 건강상 위해가 없는 것으로 나타났다. 2018년에 보고된 식품의 다이옥신의 기준, 규격 재평가 보고서에 따르면 다이옥신의 1일 평균 노출량은 식육 가공품 및 포장육에서 0.006 TEQ/kg b.w./d, 농산가공식품류에서 0 TEQ/kg b.w./d, 수산가공식품류에서 0.010 TEQ/kg b.w./d의 노출량을 나타내어 본 연구에서의 수입농산물에 대한 다이옥신의 노출량이 더 낮은 수준을 나타냈다(MFDS, 2018).

수입농산물 가공식품 포장재에서의 비스페놀 A 함량 비교

수입농산물 가공식품 포장재에서의 비스페놀 A 함량을 분석하기 위해 수입산 육류(베이컨, 소시지), 면류(라면), 과채류(자색고구마, 바나나, 마늘), 씨앗류(아마씨), 견과류(볶

은 캐슈넛), 해산물(훈제 전갱이) 등 polyethylene(PE)과 polypropylene(PP), HDPE(high-density-polyethylene) 재질을 사용한 13건의 가공식품에서 비스페놀 A를 분석하였다(Table 6). 플라스틱 포장재 소재로서 PE, PP, polyethylene terephthalate(PET), polystyrene(PS)이 대표적이다. 이중 PE는 화학적으로 안정하고 수증기 차단성과 유연성이 우수하며, PP의 경우 PE와 유사한 성질을 가지고 있으나 PE보다 투명성과 내열성이 좋다는 장점이 있어 PE와 함께 식품 포장 용도로 주로 사용된다(Lee, 2019). 본 연구에서는 수입 가공식품 포장재 13종에 식품 유사 용매(물, 4% acetic acid, n-heptan)를 처리하여 비스페놀 A를 용출시켰으나 비스페놀 A는 검출되지 않았다. 이는 비스페놀 A가 PP와 PE 소재에 원료로 사용되지 않기 때문으로 보이며(MFDS, 2020b), 본 연구에서 선정한 수입농산물 가공식품에는 주로 PP와 PE 소재의 포장재가 사용되어 비스페놀 A의 노출에 안전한 수준이라고 할 수 있다.

요 약

본 연구는 수입산 농산물 가공식품 내의 오염물질인 벤조피렌과 다이옥신의 잔류 정도를 확인하고 포장재로부터 비스페놀 A의 검출 정도를 분석하였으며 국민영양조사를 참고하여 벤조피렌과 다이옥신의 인체 노출량을 평가하였다. 사

Table 5. Estimated daily intake of dioxins from imported agricultural processed products

Sample No.	Food group	Sample name	Country of origin	Average contaminated level (pg TEQ/g)	Food intake (g/d)	Estimated daily exposure to dioxins (pg TEQ/g/d)	Estimated daily intake (pg TEQ/kg b.w./d)
1	Meat products	Bacon	USA	ND ¹⁾	8.14	0.00	0.00
2		Bacon	Belgium, Austria, France	0.0014	8.14	0.0114	0.0002
3		Bacon	Switzerland, Denmark, Ireland	0.0019	8.14	0.0155	0.0003
4		Sausage	Thailand, Australia, Brazil	ND	8.14	0.00	0.00
9	Fruit vegetable products	Fried purple sweet potato	Indonesia	ND	12.81	0.00	0.00
11		Garlic flake	Thailand	0.0002	4.25	0.00	0.00
12		Onion flake	Pakistan	0.0004	28.81	0.0115	0.0002
17	Marine products	Smoked <i>Trachurus japonicus</i>	Philippines	ND	0.02	0.00	0.00

¹⁾ND is not detected.**Table 6.** Bisphenol A contents analysis in imported agricultural processed products

Sample No.	Food group	Sample name	Country of origin	Packaging materials	Bisphenol A (mg/kg)		
					DW	4% Acetic acid	n-Heptane
1	Meat products	Bacon	USA	Polyethylene	ND ¹⁾	ND	ND
2		Bacon	Belgium, Austria, France	Polyethylene	ND	ND	ND
4		Sausage	Thailand, Australia, Brazil	High-density polyethylene	ND	ND	ND
5	Noodle	Ramen	China	Polyethylene	ND	ND	ND
6		Ramen	Indonesia	Polypropylene	ND	ND	ND
7		Ramen	Thailand	Polyethylene	ND	ND	ND
8		Ramen	Vietnam	Polyethylene	ND	ND	ND
9	Fruit vegetable products	Fried purple sweet potato	Indonesia	Polypropylene	ND	ND	ND
10		Banana chip	Thailand	Polypropylene	ND	ND	ND
11		Garlic flake	Thailand	Polyethylene	ND	ND	ND
14	Seed	Flaxseed	Canada	Polypropylene	ND	ND	ND
15	Nuts products	Roasted cashew nuts	India	Polypropylene	ND	ND	ND
17	Marine products	Smoked <i>Trachurus japonicus</i>	Philippines	Polyethylene	ND	ND	ND

¹⁾ND is not detected.

용된 수입농산물 가공식품은 훈제육, 훈제생선, 라면, 튀긴 채소류 등이며, 이 중 벤조피렌은 17건, 다이옥신은 8건, 비스페놀 A는 13건에서 분석을 진행하였다. 수입산 농산물 가공식품에서의 벤조피렌 검출범위는 0.03~1.71 µg/kg이었으며, 중국산 라조장이 가장 높은 벤조피렌 함량을 보였고 훈제한 전갱이(필리핀)에서도 0.88 µg/kg의 벤조피렌이 검출되었다. 벤조피렌의 인체 노출량의 경우 라조장(중국산)과 훈제 전갱이(필리핀)에서 0 ng/kg b.w./d로 나타났다. 이는 한국인의 라조장과 훈제 전갱이의 1일 섭취량이 적기 때문으로 보인다. 반면, 양파의 1일 섭취량이 많았기 때문에 양파 플레이크(파키스탄)의 인체 노출량은 0.15 ng/kg b.w./d로 높게 나타났다. 다이옥신 함량은 베이컨(스위스, 덴마크, 아일랜드)에서 0.0019 pg WHO-TEQ/g으로 가장 높았으나, 다이옥신의 인체 노출량은 모든 시료에서 0 pg TEQ/kg b.w./d로 나타나 안전한 수준이었다. 또한, 비스페놀 A도 13종의 시료에서 모두 불검출되었다. 본 연구에 사용된 수입농산물 가공식품은 식품의약품안전처에서 제시한 기준규격에 비해 낮은 수준으로 나타났다. 그러나 벤조피렌의 경우 원료나 제조환경에 따라 함량이 증가할 수 있으며 국내산 가공식품을 대체하여 수입산 농산물 가공식품의 섭취 시 벤조피렌의 인체 노출량이 높은 수준으로 증가할 것으로 보이므로 수입산 농산물 가공식품의 장기적인 섭취는 주의할 필요가 있다.

감사의 글

본 결과물은 농림축산식품부의 재원으로 농림식품기술기획평가원의 농축산물안전생산유통관리기술개발사업의 지원을 받아 연구되었습니다(과제번호: 120079-01).

REFERENCES

- Abad E, Llerena JJ, Saulo J, Caixach J, Rivera J. Study of PCDDs/PCDFs and co-PCBs content in food samples from Catalonia (Spain). *Chemosphere*. 2002. 46:1435-1441.
- Ahn YG, Shin JH. Evaluation for concentration of residual PCDD/Fs in pig feed. *Korean J Community Living Science*. 2012. 23:129-136.
- Cho HK, Kim M, Park SK, Shin HS. Analysis of benzo[a]pyrene content and risk assessment. *Korean J Food Sci Ani Resour*. 2011. 31:960-965.
- Fries GF. A review of the significance of animal food products as potential pathways of human exposure to dioxins. *J Anim Sci*. 1995. 73:1639-1650.
- Gunther FA, Buzzetti F. Occurrence, isolation and identification of polynuclear hydrocarbons as residues. *Residue Rev*. 1965. 23:90-113.
- Hu S, Oh NS, Kim SY, Lee H. Determining of polycyclic aromatic hydrocarbons in domestic vegetables and fruits. *Anal Sci Technol*. 2006. 19:415-421.
- Kang CG, Lee SH, Kim EK. Endocrine disruptors. *J Korean Med Assoc*. 2007. 50:359-368.
- Khan S, Aijun L, Zhang S, Hu Q, 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*. 2008. 152:506-515.
- Kim DC, Lee KB. Changes in benzo(a)pyrene content during processing of corn oil. *Korean J Food Preserv*. 2009. 16:75-81.
- Kim H, Kim M. Analysis on worry about meat safety and use status of meat-related labeling of adult consumers. *J East Asian Soc Diet Life*. 2019. 29:291-302.
- Lee B. Market trends for food packing materials. *KIC News*. 2019. 22:38-45.
- Lorenzo JM, Purrinos L, Fontan MCG, Franco D. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in two Spanish traditional smoked sausage varieties: "Androlla" and "Botillo". *Meat Sci*. 2010. 86:660-664.
- Malisch R. Increase of the PCDD/F-contamination of milk, butter and meat samples by use of contaminated citrus pulp. *Chemosphere*. 2000. 40:1041-1053.
- Ministry of Agriculture Food and Rural Affairs (MAFRA). Per capita consumption of beef. 2016 [cited 2021 Apr 05]. Available from: <https://www.mafra.go.kr/mafra/293/subview.do?enc=Zm5jdDF8QEB8JTJGYmJzJTJGbWFMcmElMkY2OCUyRjMxMzMxNiUyRmFydGNsVmldy5kbYUzRg%3D%3D>
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Hazardous substances information reports. 2020a [cited 2021 Mar 25]. Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_227/view.do?seq=33285
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Integrated risk assessment for bisphenol. 2020b [cited 2021 Mar 30]. Available from: https://www.nifds.go.kr/brd/m_18/view.do?seq=12506
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Re-evaluation reports of standard for benzopyrene in food. 2019 [cited 2021 Mar 26]. Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_511/view.do?seq=33015&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1
- Ministry of Food and Drug Safety (MFDS). Re-evaluation reports of standard for dioxin and polysalt biphenyls (PCBs) in food. 2018 [cited 2021 Mar 26]. Available from: https://www.mfds.go.kr/brd/m_511/view.do?seq=33014&srchFr=&srchTo=&srchWord=&srchTp=&itm_seq_1=0&itm_seq_2=0&multi_itm_seq=0&company_cd=&company_nm=&page=1
- Oh KS, Suh J, Peak OJ, Kim M, Lee KH. Exposure assessment of dioxins through foods. *Anal Sci Technol*. 2010. 23:595-606.
- Oh SC. The quality properties in herbal tea containing *Astragalus membranaceus*, *Schizandra chinensis*, *Liriope platyphylla* and *Platycodon grandiflorum* which are affected by the processing conditions. *J Korean Oil Chemists' Soc*. 2014. 31:534-540.
- Parzefall W. Risk assessment of dioxin contamination in human food. *Food Chem Toxicol*. 2002. 40:1185-1189.
- Son JY, Kang KO. Effect of an oil-water fryer on quality properties of deep frying oil used for chicken. *Korean J Food Cook Sci*. 2012. 28:443-450.
- Stumpe-Viksna I, Bartkevics V, Kukare A, Morozovs A. Polycyclic aromatic hydrocarbons in meat smoked with different types of wood. *Food Chem*. 2008. 110:794-797.
- Taioli E, Marabelli R, Scortichini G, Migliorati G, Pedotti P, Cigliano A, et al. Human exposure to dioxins through diet in Italy. *Chemosphere*. 2005. 61:1672-1676.
- Tao S, Cui YH, Xu FL, Li BG, Cao J, Liu WX, et al. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in agricultural soil and vegetables from Tianjin. *Sci Total Environ*. 2004. 320:1-24.
- Tilgner DJ, Daun H. Polycyclic aromatic hydrocarbons (polynu-

- clears) in smoked foods. *Residue Rev.* 1969. 27:19-41.
- Tilgner DJ. Food in a carcinogenic environment. *Food Manuf.* 1970. 87:47-50.
- Tsutsumi T, Yanagi T, Nakamura M, Kono Y, Uchibe H, Iida T, et al. Update of daily intake of PCDDs, PCDFs, and dioxin-like PCBs from food in Japan. *Chemosphere.* 2001. 45: 1129-1137.
- Varlet V, Serot T, Monteau F, Le Bizec B, Prost C. Determination of PAH profiles by GC-MS/MS in salmon by processed by four cold-smoking techniques. *Food Addit Contam.* 2007. 24:744-757.
- Yoon HM, Lee EJ, Lim KH. Study on benzo(a)pyran content and its transfer ratio in extracts of medicinal herbs. *Korean Chem Eng Res.* 2018. 56:832-840.