

KHẢO SÁT HÀM LƯỢNG CÁC HYDROCACBON THƠM ĐA VÒNG (PAHs) TRONG MỘT SỐ LOẠI THỰC PHẨM XÔNG KHÓI TRÊN THỊ TRƯỜNG VÀ ĐÁNH GIÁ RỦI RO ĐỐI VỚI SỨC KHỎE CON NGƯỜI

PRELIMINARY INVESTIGATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON (PAHs) IN SMOKED FOOD ON THE MARKET AND HUMAN HEALTH RISK ASSESSMENT

Nguyễn Thị Thùy Linh¹, Nguyễn Thị Thanh Huyền¹,
Nguyễn Thúy Ngọc², Dương Hồng Anh²,
Phạm Hùng Việt³, Nguyễn Xuân Huân¹, Phùng Thị Vĩ^{1,3*}

DOI: <http://doi.org/10.57001/huiv5804.2025.208>

TÓM TẮT

Hydrocacbon thơm đa vòng (PAHs) là nhóm các hợp chất hữu cơ được hình thành do quá trình đốt cháy không hoàn toàn, đặc biệt có khả năng gây ung thư và tác động tiêu cực đến sức khỏe con người. Các thực phẩm xông khói ngày càng trở nên phổ biến và được ưa chuộng, tuy nhiên chúng có nguy cơ cao chứa các hợp chất PAHs do phương pháp chế biến đặc trưng. Trong nghiên cứu này, 16 PAHs được phân tích trong sáu loại thực phẩm xông khói ($n = 14$) phổ biến trên thị trường. Kết quả nghiên cứu cho thấy tổng hàm lượng trung bình của 16 PAHs trong mẫu cánh gà, jambon, xúc xích, chân giò, tai lợn, thịt ba chỉ lần lượt là 409,59 $\mu\text{g/kg}$; 123,07 $\mu\text{g/kg}$; 93,13 $\mu\text{g/kg}$; 74,25 $\mu\text{g/kg}$; 69,01 $\mu\text{g/kg}$ và 62,33 $\mu\text{g/kg}$. Trong đó, hàm lượng benzo[a]pyrene (BaP) được phát hiện cao nhất trong mẫu cánh gà (56,93 $\mu\text{g/kg}$), tiếp theo là tai lợn (15,11 $\mu\text{g/kg}$) và chân giò (3 $\mu\text{g/kg}$). So sánh với quy định của Ủy ban Châu Âu, hàm lượng BaP và nhóm PAH4 của hầu hết các loại thực phẩm đều ở mức thấp hơn giới hạn tối đa cho phép, ngoại trừ mẫu cánh gà vượt mức giới hạn cho phép nhiều lần. Điều đáng nói, mẫu cánh gà có chỉ số rủi ro gây ung thư (ILCR) $> 10^{-4}$ cho thấy người tiêu dùng cần lưu ý hơn vì tiêu thụ cánh gà xông khói thường xuyên sẽ có những ảnh hưởng không tốt tới sức khỏe.

Từ khóa: PAHs, thực phẩm xông khói, rủi ro sức khỏe.

ABSTRACT

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are a group of organic compounds formed primarily during the incomplete combustion of organic substances. These substances are known for their carcinogenic potential and adverse effects on human health. Nowadays, smoked food has become increasingly popular and widely consumed, however, they can pose a high risk of PAH contamination due to their specific processing methods. In this study, 16 PAHs were analyzed in six types of commonly available smoked food ($n = 14$) on the market. The results showed that the average total concentrations of the 16 PAHs in chicken wings, ham, sausages, pork shank, pig ears, and bacon were 409.59 $\mu\text{g/kg}$; 123.07 $\mu\text{g/kg}$; 93.13 $\mu\text{g/kg}$; 74.25 $\mu\text{g/kg}$; 69.01 $\mu\text{g/kg}$; and 62.33 $\mu\text{g/kg}$, respectively. Among these, levels of benzo[a]pyrene (BaP) were highest in chicken wings (56.93 $\mu\text{g/kg}$), followed by pig ears (15.11 $\mu\text{g/kg}$) and pork shank (3 $\mu\text{g/kg}$). When compared to the European Commission's maximum allowable limits, most food samples contained BaP and PAH4 levels below regulatory thresholds, except for the chicken wing samples, which significantly exceeded these limits. Notably, incremental lifetime cancer risk (ILCR) $> 10^{-4}$ for smoked chicken wings indicates a potential health concern, suggesting that frequent consumption of smoked chicken wings could pose significant health risks to consumers.

Keywords: PAHs, smoked food, risk assessment.

¹Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

²Trung tâm Nghiên cứu Công nghệ Môi trường và Phát triển Bền vững (CETASD), Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

³Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ phân tích phục vụ Kiểm định môi trường và An toàn thực phẩm (KLATEFOS), Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

*Email: vipt@vnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 24/02/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 20/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

1. GIỚI THIỆU

Hydrocacbon thơm đa vòng (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons - PAHs) là một nhóm hợp chất hữu cơ có ít nhất hai vòng benzen liên kết với nhau [1]. Những hợp chất này được hình thành từ các nguồn tự nhiên (núi lửa phun trào, cháy rừng) hoặc nhân tạo (hoạt động sản xuất công nghiệp, nông nghiệp, giao thông và sinh hoạt) [2]. Do sự xuất hiện phổ biến của chúng trong môi trường, độc tính và khả năng tích lũy sinh học cao, Cơ quan bảo vệ môi trường Hoa Kỳ (USEPA) đã xác định 16 PAHs cần ưu tiên nghiên cứu, trong đó tiêu biểu là benzo[a]pyrene (BaP) được Cơ quan nghiên cứu ung thư quốc tế (IARC) phân loại là chất gây ung thư nhóm 1 cho người [3]. Con người có thể phơi nhiễm PAHs qua ba con đường: hô hấp, ăn uống và tiếp xúc qua da. Qua đường ăn uống, PAHs hình thành trong các quá trình chế biến thực phẩm ở nhiệt độ cao như nướng, rán, và xông khói. Đặc biệt, phương pháp xông khói đang ngày càng được ưa chuộng trong chế biến thực phẩm vì không chỉ giúp thực phẩm kéo dài thời gian bảo quản mà còn tạo ra hương vị và mùi vị riêng biệt. Tuy nhiên, quá trình xông khói thực phẩm tiềm ẩn nguy cơ cao tạo ra các hợp chất PAHs có tác động tiêu cực đến sức khỏe con người. Nghiên cứu của Wretling và cộng sự đã phát hiện 15 mẫu thịt xông khói tại Thụy Điển có hàm lượng BaP vượt ngưỡng cho phép theo tiêu chuẩn châu Âu (Regulation EC No 208/2005) [4]. Ngoài ra, những hợp chất PAHs đã được ghi nhận có hàm lượng cao đáng kể trong các sản phẩm thực phẩm xông khói như thịt ba chỉ, xúc xích và cá [5, 6].

Tại Việt Nam, dữ liệu về hàm lượng các hợp chất PAHs trong các thực phẩm xông khói hiện vẫn còn hạn chế, đặc biệt là ở góc độ đánh giá rủi ro cho sức khỏe người tiêu dùng. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm khảo sát hàm lượng các PAHs trong một số loại thực phẩm xông khói phổ biến. Trên cơ sở đó, cung cấp cơ sở khoa học về mức độ rủi ro đối với sức khỏe con người khi tiêu thụ thực phẩm xông khói.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Hóa chất

Hỗn hợp chuẩn gốc Mix 63 có nồng độ 1000µg/mL gồm 16 PAHs theo US EPA (naphthalene (Nap),

acenaphthene (Ace), acenaphthylene (Acy), fluorene (Flu), phenanthrene (Phe), anthracene (Ant), fluoranthene (Fula), pyrene (Pyr), benzo[a]anthracene (BaA), chrysene (Chr), benzo[b]fluoranthene (BbF), benzo[k]fluoranthene (BkF), benzo[a]pyrene (BaP), dibenz[a,h]anthracene (DahA), indeno[1,2,3-cd]pyrene (IcdP) và benzo[g,h,i]perylene (BgHiP) được pha trong dung môi toluene. Hỗn hợp chất đồng hành SR-PAHs Mix 33 có nồng độ 2000µg/mL bao gồm các hợp chất: naphthalen-d8, phenanthren-d10, acenaphthylene-d10, perylene-d12 và chrysen-d12. Dung dịch chất nội chuẩn với nồng độ 200µg/mL được pha trong isooctane. Các dung dịch chuẩn được mua từ hãng Dr. Ehrenstorfer (LGC, Đức), các dung môi (acetone, acetonitrile, n-hexane), muối NaCl và muối MgSO₄ được mua từ hãng Merck (Đức). Chất hấp thụ PSA (Primary Secondary Amin) và C18 (octadecylsilane) được mua từ hãng Agilent (Mỹ). Màng lọc PTFE 0,2 µm được mua từ Sartorius (Đức).

2.2. Thu thập mẫu

Các mẫu thực phẩm xông khói công nghiệp trên thị trường được thu thập gồm jambon (n = 5), xúc xích (n = 2), phô mai (n = 2), thịt lợn (n = 2), chân giò (n = 1), cánh gà (n = 1) và một số thực phẩm xông khói theo phương pháp truyền thống như tai lợn (n = 1), chân giò (n = 2). Thông tin chi tiết được trình bày trong bảng 1. Trong nghiên cứu này, các mẫu thu thập đều được sản xuất tại Việt Nam. Các mẫu được đông thể hóa bằng máy xay mẫu (Philips, Ấn Độ), đựng trong túi zip và bảo quản ở -4°C trước khi phân tích. Các dụng cụ thí nghiệm được tráng nước deion, acetone và n-hexan trước khi dùng.

Bảng 1. Danh sách mẫu thực phẩm xông khói được thu thập

STT	Ký hiệu	Loại mẫu	Ghi chú
1	JB.01	Jambon	Công nghiệp
2	JB.02	Jambon	Công nghiệp
3	JB.03	Jambon	Công nghiệp
4	JB.04	Jambon	Công nghiệp
5	JB.05	Jambon	Công nghiệp
6	F.01	Chân giò	Công nghiệp
7	F.02	Chân giò	Truyền thống

8	F.03	Chân giò	Truyền thống
9	B.01	Thịt ba chỉ	Công nghiệp
10	B.02	Thịt ba chỉ	Công nghiệp
11	S.01	Xúc xích	Công nghiệp
12	S.02	Xúc xích	Công nghiệp
13	E.01	Tai lợn	Truyền thống
14	W.01	Cánh gà	Công nghiệp

2.3. Xử lý mẫu

Khoảng 5g mỗi mẫu thực phẩm được cân và cho vào các ống nghiệm chia vạch 50mL. Thêm 50μL hỗn hợp chất đồng hành, 5mL deion và 15mL acetonitrile, sau đó lắc trong vòng 1 phút. Trong nghiên cứu này, kĩ thuật QuEChERS được áp dụng để chiết mẫu. Cụ thể như sau: thêm 5g muối $MgSO_4$ và 1,5g NaCl vào hỗn hợp mẫu, lắc ngang trong 30 phút, sau đó ly tâm trong vòng 10 phút với tốc độ 4000 vòng/phút. Tiếp theo, hút lớp dịch chiết đã phân tách phía trên chuyển sang ống nghiệm khác. Sau đó, thêm 1g muối $MgSO_4$, 0,5g PSA và 0,5g C18 vào phần dịch chiết thu được, lắc ngang trong vòng 5 phút và ly tâm trong vòng 10 phút với tốc độ 4000 vòng/phút. Hút phần dịch được phân tách vào ống nghiệm. Mẫu được cô cạn bằng khí nito, thêm 50μL chất nội chuẩn và định mức lên 1mL bằng acetone. Mẫu được lọc qua màng lọc PTFE trước khi phân tích bằng GC.

2.4. Phân tích

Mười sáu hợp chất PAHs được phân tích sử dụng thiết bị sắc ký khí khối phổ tử cực GC/MS 8890 với nguồn ion EI, Cl/NCI, Agilent (Mỹ). Điều kiện hoạt động của hệ sắc ký: cột DB-5 (30 x 0,25mm I.D., 0,25μm) (Agilent, Mỹ), chế độ bơm mẫu chia dòng; nhiệt độ cổng bơm mẫu 260°C; chương trình nhiệt độ: 60°C (2 phút), tăng đến 210°C với tốc độ 30°C/phút, tăng đến 310°C tốc độ 5°C/phút (giữ 310°C trong 15 phút); khí mang heli với tốc độ 1,5mL/phút.

QA/QC: Để kiểm soát chất lượng của quá trình phân tích, chất đồng hành được thêm vào từng mẫu trước khi xử lý. Mẫu trắng, mẫu lặp và mẫu thu hồi (thêm chuẩn PAHs) được thực hiện trong mỗi mẻ mẫu. Hiệu suất thu hồi của hỗn hợp chất đồng hành đạt từ 52 - 85% trong các mẫu thực phẩm xông khói. Đường chuẩn có hệ số tương quan $R > 0,99$ trong khoảng nồng độ từ 1 - 200ng/mL. Giới hạn phát hiện đối với các PAHs trong mẫu thực phẩm là 0,02 - 0,27μg/kg, giới hạn định lượng của các PAHs nằm trong khoảng từ 0,06 - 0,81μg/kg.

2.5. Đánh giá rủi ro sức khỏe

Để đánh giá rủi ro sức khỏe con người khi tiêu thụ thực phẩm chứa các hợp chất PAHs (qua đường ăn uống trực

tiếp), chỉ số rủi ro gây ung thư (Incremental Lifetime Cancer Risk - ILCR) được tính toán theo công thức bên dưới [5, 7]:

$$ILCR = \frac{C \times IR \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT} \times OSF$$

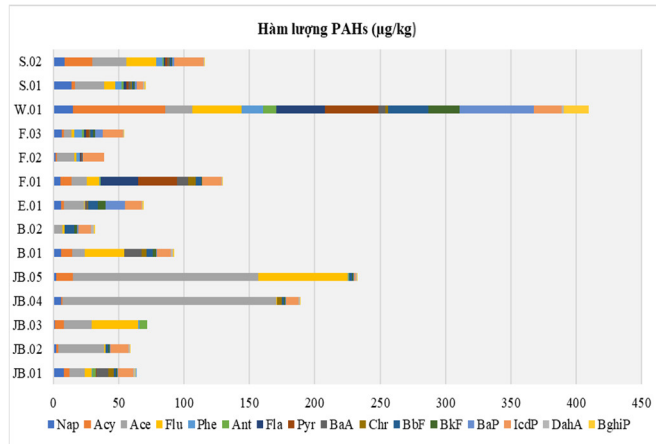
Trong đó, C là nồng độ PAHs trong thực phẩm xông khói (μg/kg), IR là lượng thực phẩm tiêu thụ mỗi ngày (g/ngày), EF: tần suất phơi nhiễm (365 ngày/năm), ED: thời gian phơi nhiễm (40 năm đối với người trưởng thành, 6 năm đối với trẻ em), CF: hệ số quy đổi, 1×10^{-6} kg/mg; OSF: hệ số độ dốc gây ung thư đường miệng lần lượt là 0,73; 0,73; 0,073; 7,3; 0,73; 7,3 và 0,0073mg/kg/ngày đối với BaA, BbF, BkF, BaP, IndP, DahA và Chry. BW: trọng lượng cơ thể trung bình (60 kg đối với người trưởng thành, 30 kg đối với trẻ em) [7, 8], AT: tuổi thọ trung bình (70 năm = 70×365 ngày) [5]. Trong nghiên cứu này, ước tính một khẩu phần ăn IR là 50g/ngày [5]. Giá trị ILCR được xem là không đáng kể nếu $< 10^{-6}$, có thể chấp nhận được nếu nằm trong khoảng từ 10^{-6} đến 10^{-4} và không thể chấp nhận được nếu $ILCR > 10^{-4}$.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Hàm lượng PAHs trong thực phẩm xông khói

Trong số 14 mẫu thực phẩm xông khói, ít nhất tám PAHs được phát hiện trong mỗi mẫu. Nhìn chung, tần suất phát hiện PAHs ở mức cao dao động từ 57 - 100% đối với các PAHs không gây ung thư (Nap, Acy, Ace, Flu, Phe, Ant, Fla, Pyr) và 86 - 93% đối với các PAHs gây ung thư (PAH8: BaA, Chr, BbF, BkF, BaP, IcdP, DahA, BghiP). Trong số đó, hai hợp chất Ace và Flu được phát hiện thấy trong tất cả các mẫu. Trong nhóm PAH8; BbF, BkF và IcdP là những hợp chất phổ biến nhất với tần suất phát hiện 93%, tiếp theo là BaP, DahA và BghiP (86%). So với một số nghiên cứu khác, các hợp chất PAHs có nhiều vòng benzen lại được tìm thấy phổ biến hơn trong nghiên cứu này [6, 10]. Điều này có thể được giải thích do sự khác biệt về quy trình sản xuất và nhiệt độ của quá trình xông khói. Hàm lượng PAHs trong thực phẩm xông khói phụ thuộc vào nhiều thông số như độ ẩm của gỗ dùng để xông khói, nhiệt độ gỗ đạt được trong quá trình đốt cháy, nồng độ oxy và vận tốc của quạt thông gió trong buồng đốt [11]. Mặc dù nhiệt độ trong buồng xông khói thực phẩm thường không cao nhưng việc đốt nhiên liệu (gỗ/ mùn cưa) lại diễn ra ở nhiệt độ rất cao (300 - 600°C) là điều kiện thuận lợi để sinh ra cả các PAHs có ít và nhiều vòng benzen. Khói này được dẫn qua vùng làm nguội rồi mới đi vào buồng xông thực phẩm, vì vậy các PAHs với tính chất khó phân hủy vẫn tồn tại và bám trên bề mặt thực phẩm. Hơn nữa, tùy thuộc vào kiểu

xông khói (nóng/lạnh) mà thời gian tiếp xúc với khói có thể từ vài giờ lên tới vài ngày làm tăng nguy cơ tích lũy các PAHs trong thực phẩm.



Hình 1. Tổng hàm lượng 16 PAHs trong mẫu thực phẩm xông khói

Hàm lượng và thành phần của 16 PAHs trong các mẫu thực phẩm xông khói nghiên cứu được trình bày trong hình 1. Tổng hàm lượng trung bình cao nhất được tìm thấy trong mẫu cánh gà xông khói: 409,59 µg/kg, tiếp theo là jambon: 123,07µg/kg (59,11 - 232,81µg/kg), xúc xích: 93,13µg/kg (70,68 - 115,57µg/kg), chân giò: 74,25µg/kg (38,82 - 129,90µg/kg) và thịt ba chỉ: 62,33µg/kg (32,14 - 92,52µg/kg). Các hợp chất PAHs trong cánh gà xông khói được phát hiện cao gấp nhiều lần so với các nhóm thực phẩm khác có thể do cánh gà có lớp da bao phủ bên ngoài chứa nhiều chất béo có khả năng tích lũy PAHs tốt hơn. Ngoài ra, nghiên cứu của Kurzyca và cộng sự cho thấy, nồng độ PAHs trong da cao hơn so với phần thịt phía trong được giải thích do tác động của nhiệt độ và sự biến tính của protein trên bề mặt của thịt xông khói, lớp da đóng vai trò như một rào cản tốt chống lại sự xâm nhập của chất lạ vào bên trong [5]. Tuy vậy do số lượng mẫu thu được tương đối khiêm tốn nên khó có thể đánh giá chính xác mức độ tích lũy cao hay thấp của loại thực phẩm này. Đối với nhóm jambon, mặc dù các sản phẩm đều được xông khói theo kỹ thuật công nghiệp nhưng nồng độ có sự khác biệt lớn. Trong khi các mẫu từ JB.01 - JB.03 có tổng nồng độ PAHs dao động nhẹ từ 59,11 - 71,67µg/kg thì hai mẫu JB.04 (189,13µg/kg) và JB.05 (232,81µg/kg) lại được tìm thấy ở nồng độ cao đột biến, gấp 3 lần so với các mẫu khác. Điều đáng nói các mẫu jambon được sản xuất ở năm công ty khác nhau cho thấy kỹ thuật xông khói khác nhau ảnh hưởng lớn đến việc hình thành các hợp chất này. Nồng độ PAHs trong mẫu chân giò xông khói cho thấy sự khác biệt giữa kỹ thuật xông khói công nghiệp và truyền thống. Thông thường, các mẫu thực phẩm được xông khói theo phương pháp

truyền thống có nồng độ PAHs cao hơn so với phương pháp công nghiệp do xông khói trực tiếp thay vì gián tiếp. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này các PAHs trong mẫu chân giò xông khói công nghiệp được tìm thấy ở nồng độ cao gấp 2 đến 3 lần so với mẫu được xông khói truyền thống. Có thể dự đoán rằng sự khác biệt nằm ở loại gỗ sử dụng hun khói, nghiên cứu của Radu và cộng sự cho thấy gỗ dẻ gai (beech) và gỗ sồi là hai loại gỗ được sử dụng phổ biến trong hun khói thực phẩm công nghiệp do khả năng tạo mùi vị đặc trưng và tinh tế cho sản phẩm lại tạo ra PAHs ở nồng độ cao hơn nhiều so với các loại gỗ khác, đặc biệt là gỗ dẻ gai [12]. Tại Việt Nam, việc hun khói theo kiểu truyền thống chưa chú trọng nhiều vào sự tinh tế hay mùi vị nổi bật của sản phẩm mà vẫn còn tương đối thủ công. Đây cũng có thể là lý do mà các sản phẩm hun khói công nghiệp như jambon và xúc xích có nồng độ PAHs cao. Ngoài ra, Mejbourn và cộng sự cũng đã so sánh hàm lượng PAHs của thịt và xúc xích xông khói kết quả cho thấy hàm lượng PAHs trong thịt thấp hơn do tỷ lệ tiếp xúc bề mặt thấp hơn so với xúc xích [13].

Bảng 2 tổng hợp kết quả của một số nghiên cứu tương tự trên thế giới về PAHs trong thịt và sản phẩm từ thịt xông khói. Có thể thấy rằng hàm lượng PAHs trong các mẫu thực phẩm xông khói của Việt Nam ở mức tương đối cao so với một số quốc gia như Tây Ban Nha, châu Âu, Nhật Bản, Ba Lan và Bồ Đào Nha. Đặc biệt, hàm lượng BaP và PAH4 cao nhất cũng lên tới 56,93µg/kg và 95,16µg/kg trong khi ở các quốc gia trên chỉ nằm trong khoảng 0,01 - 5,56µg/kg và 0,03 - 33,64µg/kg. Tuy nhiên, hàm lượng PAHs trong thực phẩm xông khói tại một số quốc gia khác như Bangladesh, Nigeria, Thụy Điển, Latvia và đảo Síp khá tương đồng so với Việt Nam. Một số mẫu nghiên cứu ở các quốc gia này chứa hàm lượng BaP và PAH4 vượt quá mức tối đa 5µg/kg và 30µg/kg do Ủy ban Châu Âu quy định. Đặc biệt, ở Nigeria hàm lượng BaP và PAH4 trong thịt xông khói lên tới 66µg/kg và 513µg/kg, đây đều là các thực phẩm xông khói được thu thập từ các điểm nướng thịt ven đường, hàm lượng PAHs cao hơn rất nhiều so với thực phẩm xông khói tại Việt Nam. Nhìn chung, nồng độ của các PAHs được tìm thấy ở mức thấp trong các sản phẩm được xông khói theo kỹ thuật công nghiệp tại Nhật Bản, châu Âu, Ba Lan và Latvia. Trong khi đó, những hợp chất này được phát hiện ở nồng độ cao hơn trong thực phẩm xông khói theo kiểu truyền thống tại Tây Ban Nha, Ba Lan, Bangladesh và Nigeria. Điều này có thể được giải thích do đối với kỹ thuật truyền thống, thực phẩm được xông khói trực tiếp, ngược lại đối với kỹ thuật công nghiệp, thực phẩm được xông khói một cách gián tiếp.

Bảng 2. Hàm lượng PAHs trong thịt xông khói của một số quốc gia ($\mu\text{g/kg}$)

Quốc gia	Loại thực phẩm xông khói	Kĩ thuật chế biến	Tổng nồng độ trung bình ($\mu\text{g/kg}$)	Khoảng nồng độ ($\mu\text{g/kg}$)	BaP ($\mu\text{g/kg}$)	PAH4 ($\mu\text{g/kg}$)
Việt Nam (Nghiên cứu này)	Jambon, chân giò, thịt ba chỉ, xúc xích, tai lợn, cánh gà	Công nghiệp/ Truyền thống	116,26	32,14 - 409,59	0,30 - 56,93	1,27 - 95,16
Tây Ban Nha [14]	Xúc xích	Truyền thống	36,45	12,57 - 111,69	0,42 - 0,59	2,26 - 3,84
Châu Âu [15]	Thịt heo, thịt bò, thịt gà, xúc xích	Công nghiệp	6,52	0,40 - 22,86	0,01 - 0,53	0,03 - 1,88
Nhật Bản [16]	Thịt xông khói	Công nghiệp	2,5	0,27 - 11	0,036 - 0,58	0,14 - 5,2
Ba Lan [6]	Thịt thần xông khói	Truyền thống	9,73	6,50 - 12,09	< LOQ - 0,33	1,52 - 3,35
		Công nghiệp	0,61	< LOQ - 0,46	< LOQ	< LOQ
	Thịt cổ xông khói	Truyền thống	28,38	21,74 - 34,32	0,82 - 1,92	6,52 - 10,17
	Thịt ba chỉ xông khói	Truyền thống	52,71	26,79 - 74,64	1,63 - 5,56	11,80 - 33,64
		Công nghiệp	0,46	< LOQ - 0,67	< LOQ	< LOQ
Bangladesh [17]	Thịt xông khói	Truyền thống	19,23 - 294,50		6,68 - 46,90	
Nigeria [18]	Thịt xông khói	Truyền thống			66	513
Bồ Đào Nha [19]	Xúc xích xông khói	Truyền thống		877,37 - 2609,81	0,36 - 0,63	1,84 - 6,94
Thụy Điển [4]	Jambon	Truyền thống		0,60 - 390	0,30 - 36,90	0,30 - 208,70
	Thịt ba chỉ			6,40 - 150	0,40 - 15,90	0,30 - 88,40
Latvia [20]	Thịt heo, jambon, xúc xích	Công nghiệp			0,05 - 6,00	0,15 - 33,70
Đảo Síp [21]	Thịt lợn	Truyền thống			0,23 - 7,50	0,64 - 38,50
	Xúc xích				0,16 - 8,50	0,63 - 35,10
	Jambon				0,16 - 9,20	0,78 - 85,00
	Thịt ba chỉ				0,15 - 4,40	0,64 - 21,90

Tuy nhiên, như đã trình bày trong mục 3.1, xu hướng này trái ngược với mẫu chân giò xông khói phát hiện trong nghiên cứu này khi nồng độ PAHs trong mẫu công nghiệp cao gấp 2 - 3 lần so với mẫu truyền thống, điều này được dự đoán do loại gỗ được dùng để xông khói. Phát hiện tương tự được công bố trong nghiên cứu tại Đảo Síp và Thụy Điển (thịt ba chỉ) khi nồng độ các PAHs ở mức thấp trong thực phẩm xông khói truyền thống.

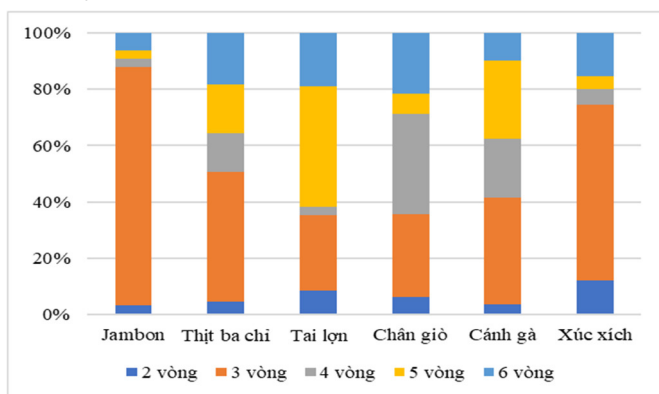
3.2. Thành phần của các PAHs trong thực phẩm xông khói

Thành phần của các nhóm PAHs (2 vòng, 3 vòng, 4 vòng, 5 vòng và 6 vòng thơm) trong các mẫu thực phẩm xông khói Việt Nam thể hiện trong hình 2 cho thấy sự phân bố là không tương đồng với nhau giữa các mẫu thực phẩm. PAHs chứa 2 và 3 vòng được gọi là PAHs trọng lượng phân tử thấp, và PAHs với 4, 5 và 6 vòng thơm được gọi là PAHs trọng lượng phân tử cao. Nhóm hợp chất PAHs chủ yếu hình thành trong quá trình cháy không hoàn toàn các chất hữu cơ theo 3 cơ chế chính: (i) phản

ứng cộng acetylene (hydrogen abstraction and acetylene or carbon addition - HACA) tạo thành các hợp chất như Nap, Acy, Phe và Pyr, (ii) phản ứng cộng vinylacetylene (vinyl acetylene (VA, C_4H_4) additions - HAVA) có thể xảy ra ở nhiệt độ thấp hơn so với HACA, tạo thành các hợp chất có trọng lượng phân tử thấp như Nap và Phe, (iii) phản ứng gốc tự do xảy ra ở nhiệt độ cao và có thể dẫn đến sự hình thành các PAHs có trọng lượng phân tử cao [22]. Trên cơ sở các cơ chế hình thành PAHs trong quá trình đốt cháy, có thể thấy rằng thành phần đa dạng của các hợp chất PAHs là khá phù hợp và có sự khác biệt giữa các nhóm thực phẩm khác nhau.

Đối với hợp chất PAH có hai vòng thơm như Nap thì sự phân bố trong các nhóm thực phẩm là rất ít so với các hợp chất đa vòng khác, dao động từ 3,2 - 12,1%, phát hiện này phù hợp với đặc tính dễ bay hơi của Nap. Trong 3 loại mẫu jambon, thịt ba chỉ, xúc xích đều cho thấy sự phân bố của các hợp chất PAHs có ba vòng thơm trong phân tử (bao gồm: Acy, Ace, Flu, Phe, Ant) là lớn nhất, chiếm từ

46,1 - 84,8%; còn trong mẫu tai lợn, chân giò, cánh gà thì sự phân bố của các hợp chất PAHs ba vòng thơm này chỉ chiếm từ 26,8 - 37,9%. Nhìn chung các hợp chất PAHs 3 và 4 vòng thơm thường chiếm tỉ trọng cao trong thành phần các PAHs do chúng là sản phẩm trung gian ổn định trong quá trình nhiệt phân không hoàn toàn của chất béo và chất hữu cơ, có độ bay hơi vừa phải và dễ hình thành hơn so với các PAHs trọng lượng phân tử cao. Tiếp đến các hợp chất PAHs có bốn vòng thơm trong phân tử (bao gồm: Fla, Pyr, BaA, Chr) có thể thấy phân bố nhiều nhất ở 3 loại mẫu là chân giò, cánh gà, thịt ba chỉ với độ phân bố từ 13,5 - 35,4%, trong khi sự có mặt trong các mẫu còn lại là rất ít chỉ khoảng 2,8 - 5,6%. Các hợp chất PAHs có năm vòng thơm trong phân tử (bao gồm: BbF, BkF, BaP, DahA) phân bố nhiều nhất trong mẫu tai lợn xông khói với 42,7%, tiếp đến là cánh gà, thịt ba chỉ với 27,6% và 17,4%, trong các mẫu còn lại phân bố từ 2,8 - 7,4%. Cuối cùng, sự phân bố của các hợp chất PAHs có sáu vòng thơm trong phân tử (bao gồm: IcdP, BghiP) trong các mẫu thịt ba chỉ, tai lợn, chân giò và xúc xích là tương đương nhau, chiếm từ 15,3 - 21,5%, còn trong mẫu jambon và cánh gà thì chỉ chiếm từ 6,3 - 9,9%. Tương tự như nghiên cứu của Kurzyca và cộng sự, nhóm PAHs chứa 2 - 3 vòng chiếm tỉ trọng lớn, khoảng 40% đối với mẫu thịt thăn, thịt cổ và tỉ lệ các hợp chất PAHs 4 vòng cũng chiếm tỉ lệ khoảng 40% trong các mẫu thịt. Ngược lại, nhóm hợp chất với 5 vòng chỉ chiếm tỉ lệ nhỏ (khoảng dưới 10%) và hợp chất 6 vòng không phát hiện thấy trong mẫu [5]. Nghiên cứu khác của Husam cũng cho thấy sự phân bố tương tự khi các PAHs có trọng lượng phân tử thấp chiếm hơn 60% trong khi những hợp chất có trọng lượng phân tử cao chiếm khoảng dưới 40% [6].

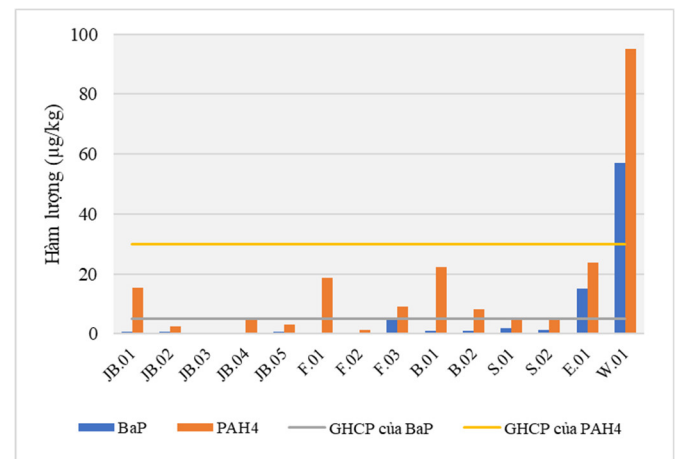


Hình 2. Tỷ lệ phần trăm PAHs có 3, 4, 5, 6 vòng thơm trong mẫu thực phẩm xông khói

3.3. Độ độc tương đương của các PAHs trong thực phẩm xông khói

Tổng hàm lượng PAH4 tìm thấy trong các mẫu thực phẩm xông khói có giá trị trong khoảng từ 1,27 -

95,16µg/kg. Hình 3 biểu diễn hàm lượng BaP và nhóm PAH4 trong thực phẩm xông khói Việt Nam. So sánh hàm lượng BaP và PAH4 theo công bố của Ủy ban Châu Âu về hàm lượng tối đa cho phép trong các sản phẩm thịt đã qua xử lý nhiệt đưa ra thị trường trong hình 2, thấy rằng có 3 mẫu xông khói là chân giò F.03, tai lợn E.01 và cánh gà W.01 có hàm lượng BaP vượt mức giới hạn cho phép, đặc biệt, mẫu cánh gà W.01 cũng có hàm lượng PAH4 vượt quá giới hạn so với tiêu chuẩn (giới hạn cho BaP là 5µg/kg và cho PAH4 là 30µg/kg). Trong khi đó, hầu như tất cả các mẫu nghiên cứu còn lại đều có hàm lượng BaP và PAH4 thấp hơn mức giới hạn cho phép (GHCP). Với phương pháp xông khói truyền thống, thực phẩm tiếp xúc trực tiếp với khói nóng từ lửa gỗ đang cháy thường có nồng độ BaP vượt quá giới hạn cho phép là 5 µg/kg, trong khi các thực phẩm xông khói gián tiếp, sử dụng khói từ bên ngoài hầu như đều có mức BaP thấp [4].



Hình 3. Hàm lượng BaP và nhóm PAH4 trong thực phẩm xông khói Việt Nam

Benzo[a]pyrenen là chất đặc trưng có khả năng gây ung thư trong số các PAHs với hệ số độc hại TEF là 1 [23]. Vì vậy, để đánh giá tiềm năng độc hại của PAHs thì tổng nồng độ PAHs được biểu thị qua tổng độ độc tương đương với BaP (BaP_{eq}), trong đó giá trị BaP_{eq} được tính cho mỗi PAH bằng nồng độ của mỗi PAH đó trong mẫu (C_{PAHi}) nhân với hệ số độc tương đương tương ứng (TEF_{PAHi}).

$$\text{BaP}_{eq} = \sum(\text{BaP}_{eqi}) = \sum(\text{C}_{\text{PAHi}} \times \text{TEF}_{\text{PAHi}})$$

Trên cơ sở nồng độ trung bình của các PAH tìm thấy trong các mẫu thịt và sản phẩm từ thịt xông khói Việt Nam đã phân tích có thể tính được tổng độ độc tương đương của PAHs so với BaP như trong bảng 3.

Kết quả tính toán trong bảng 3 cho thấy tổng độ tương đương của PAHs trong các mẫu thực phẩm dao động trong khoảng từ 3,839 µg/kg (jambon) đến

67,228µg/kg (cánh gà). Giá trị BaPeq tìm thấy trong nghiên cứu này tương đương so với các nghiên cứu khác. Nghiên cứu của Gina và cộng sự (2024) tìm thấy giá trị này trong gà nướng, cá nướng, thịt thú rừng hun khói, cá thu hun khói, cá da trơn hun khói lần lượt là 54,3; 73,2; 87,8; 11,2 và 92,7µg/kg [24]. Giá trị tổng độ độc tương đương tương tự cũng được tìm thấy trong nghiên cứu khác của Chen và cộng sự, 22,1µg/kg trong thịt hun khói bằng gỗ và 75,1µg/kg trong thịt hun khói bằng than [25].

Bảng 3. Hệ số độc tương đương của 16 PAHs và tổng độ độc tương đương của PAHs trong các mẫu thực phẩm

STT	PAHs	TEF	Tổng độ độc BaPeq (µg/kg)					
			Jambon	Thịt ba chỉ	Tai lợn	Chân giò	Cánh gà	Xúc xích
1	Nap	0,001	0,004	0,006	0,006	0,005	0,015	0,011
2	Acy	0,001	0,005	0,009	0,002	0,004	0,071	0,012
3	Ace	0,001	0,075	0,008	0,015	0,010	0,020	0,024
4	Flu	0,001	0,022	0,016	0,000	0,004	0,038	0,016
5	Phe	0,001	0,001		0,001	0,003	0,016	0,005
6	Ant	0,01	0,019			0,009	0,102	0,014
7	Fla	0,001	0,000		0,000	0,010	0,037	0,001
8	Pyr	0,001	0,000		0,001	0,011	0,041	0,001
9	BaA	0,1	0,922	1,325	0,070	0,303	0,546	0,137
10	Chr	0,01	0,037	0,036	0,004	0,021	0,023	0,009
11	BbF	0,1	0,184	0,580	0,761	0,253	3,048	0,124
12	BkF	0,1	0,096	0,231	0,576	0,110	2,393	0,079
13	BaP	1	0,633	1,045	15,106	2,977	56,933	1,602
14	IcdP	0,1	0,903	1,020	1,242	1,552	2,150	1,363
15	DahA	1	0,930	1,699	0,959	0,372	1,606	0,714
16	BghiP	0,01	0,007	0,012	0,008	0,007	0,190	0,006
	Σ BaPeq (µg/kg)		3,839	5,987	18,751	5,651	67,228	4,120

3.4. Đánh giá rủi ro sức khỏe con người của PAHs trong thực phẩm xông khói

Thịt là một trong những nguồn chính cung cấp protein trong khẩu phần ăn của con người, do đó việc đánh giá rủi ro của các hợp chất PAHs thông qua đường ăn uống là rất cần thiết. Bảng 4 trình bày chỉ số rủi ro gây ung thư (ILCR) của PAHs trong thực phẩm xông khói được tính toán trong nghiên cứu này.

Kết quả bảng 4 cho thấy, giá trị ILCR tính toán được từ việc tiêu thụ các loại thực phẩm xông khói dao động từ

$6,08 \times 10^{-6}$ đến $2,24 \times 10^{-4}$ đối với người lớn, từ $1,82 \times 10^{-6}$ đến $6,73 \times 10^{-5}$ đối với trẻ em, ngoại trừ mẫu JB.03 (không phát hiện PAHs thuộc nhóm các chất đánh giá rủi ro). Đối với trẻ em, tất cả các mẫu thực phẩm đều có hệ số rủi ro gây ung thư nằm trong khoảng có thể chấp nhận được ($10^{-6} < \text{ILCR} < 10^{-4}$). Đối với người lớn, hệ số rủi ro gây ung thư ở ngưỡng có thể chấp nhận được đối với các mẫu jambon, thịt ba chỉ, chân giò và xúc xích. Tuy nhiên, mẫu cánh gà có $\text{ILCR} > 10^{-4}$, vượt quá giới hạn an toàn dẫn đến nguy cơ ung thư tiềm ẩn. Mặc dù vậy, có thể thấy tất cả các mẫu đều có chỉ số $\text{ILCR} > 10^{-6}$, tiềm ẩn rủi ro sức khỏe nhất định khi sử dụng những sản phẩm xông khói. Những kết quả nghiên cứu này cung cấp những khảo sát và tính toán bước đầu về rủi ro gây ung thư cho thấy người tiêu dùng cần giảm thiểu và cân trọng hơn trong việc tiêu thụ thực phẩm xông khói, đặc biệt là cánh gà. Nhìn chung, hệ số gây rủi ro ung thư trong nghiên cứu này cao hơn so với một số nghiên cứu khác trên thế giới, ví dụ nghiên cứu của Kurzyca và cộng sự công bố giá trị gây rủi ro đối với thịt thăn và cổ thấp hơn nhiều so với giá trị giới hạn nhưng giá trị này đối với thịt ba chỉ xông khói cao hơn 10^{-5} [5]. Ngoài ra, nghiên cứu của Husam và cộng sự cho thấy giá trị ILCR trong thực phẩm nướng và xông khói là $2,63 \times 10^{-7}$ và $9,3 \times 10^{-7}$ đối với trẻ em/thanh thiếu niên và người lớn [6]. Forsberg và cộng sự báo cáo giá trị ILCR nằm trong khoảng từ $8,2 \pm 5,2 \times 10^{-4}$ đến $3,4 \pm 2,8 \times 10^{-5}$ (lượng tiêu thụ 300 g/ngày) [26]. Ngược lại, nghiên cứu của Abhishek và cộng sự cho thấy giá trị ILCR cao hơn so với nghiên cứu này, đối với nhóm người ăn linh hoạt, nhóm dân số chung và nhóm người ăn cá khi tiêu thụ cá rán và cá nướng tương ứng dao động từ $4,68 \times 10^{-5}$ đến $1,32 \times 10^{-3}$, $1,06 \times 10^{-3}$ đến $2,97 \times 10^{-2}$ và $1,46 \times 10^{-3}$ đến $4,12 \times 10^{-2}$ [7]. Tóm lại, việc sử dụng thực phẩm hun khói trong một thời gian dài có thể tiềm ẩn nguy cơ gây ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người và người tiêu dùng nên điều chỉnh và lựa chọn những loại thực phẩm phù hợp để tránh những rủi ro không mong muốn.

Bảng 4. Giá trị ILCR của PAH trong thực phẩm xông khói

Nhóm thực phẩm	Tên mẫu	Giá trị ILCR	
		Người lớn	Trẻ em
Jambon	JB.01	$1,3 \times 10^{-5}$	$3,9 \times 10^{-6}$
	JB.02	$1,15 \times 10^{-5}$	$3,46 \times 10^{-6}$
	JB.03		
	JB.04	$8,34 \times 10^{-6}$	$2,5 \times 10^{-6}$
	JB.05	$7,34 \times 10^{-6}$	$2,2 \times 10^{-6}$
Thịt ba chỉ	B.01	$1,84 \times 10^{-5}$	$5,52 \times 10^{-6}$
	B.02	$1,66 \times 10^{-5}$	$4,98 \times 10^{-6}$

Tai lợn	E.01	$6,33 \times 10^{-5}$	$1,9 \times 10^{-5}$
Chân giò	F.01	$1,16 \times 10^{-5}$	$3,49 \times 10^{-6}$
	F.02	$6,08 \times 10^{-6}$	$1,82 \times 10^{-6}$
	F.03	$2,77 \times 10^{-5}$	$8,3 \times 10^{-6}$
Cánh gà	W.01	$2,24 \times 10^{-4}$	$6,73 \times 10^{-5}$
Xúc xích	S.01	$1,29 \times 10^{-5}$	$3,86 \times 10^{-6}$
	S.02	$1,46 \times 10^{-5}$	$4,38 \times 10^{-6}$

4. KẾT LUẬN

Tất cả các mẫu thực phẩm xông khói đều được phát hiện thấy PAHs bao gồm cả sản phẩm được hun khói theo phương pháp truyền thống và công nghiệp. Trong các PAHs được phân tích, nhóm các PAHs có số lượng vòng benzen thấp chiếm thành phần cao nhất trong tổng hàm lượng PAHs dao động từ 37,9 - 84,8%. Trên cơ sở đánh giá rủi ro của các hợp chất này tới sức khỏe con người, mẫu cánh gà xông khói vượt mức an toàn trong khi hầu hết các loại thực phẩm còn lại đều nằm ở mức có thể chấp nhận được. Mặc dù vậy, những nghiên cứu tiếp theo cần được thực hiện với đa dạng các loại thực phẩm sau chế biến, qua đó đánh giá sâu hơn về rủi ro sức khỏe từ kỹ thuật chế biến đến khả năng hình thành các hợp chất PAHs trong nhiều loại thực phẩm khác nhau.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin chân thành cảm ơn CN. Trương Thị Kim, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên đã hỗ trợ trong việc sử dụng công cụ phân tích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Šimko P, "Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat products and smoke flavouring food additives," *Journal of Chromatography B*, 770(1-2), 3-18, 2002.
- [2]. Lee B.K., Lee B.K., "Sources, Distribution and Toxicity of Polyaromatic Hydrocarbons (PAHs) in Particulate Matter," *Air Pollution*, 2010.
- [3]. Zelinkova Z., T. Wenzl, "The Occurrence of 16 EPA PAHs in Food - A Review," *Polycyclic Aromatic Compounds*, 35(2-4), 248, 2015.
- [4]. Wretling S., et al., "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Swedish smoked meat and fish," *Journal of Food Composition and Analysis*, 23(3), 264-272, 2010.
- [5]. Iwona K., et al., "Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in smoked pork tissue of different characteristic," *Food and Chemical Toxicology*, 201, 115435, 2025.
- [6]. Alomirah H., et al., "Concentrations and dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from grilled and smoked foods," *Food Control*, 22(12), 2028-2035, 2011.
- [7]. Abhishek S. Chakkaravarthi, T. Agarwal, "Fish consumption patterns and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons and polychlorinated biphenyls in fried and grilled fish products and mitigation strategies," *Toxicology Reports*, 14, 101953, 2025.
- [8]. *Average height for men and women worldwide*. Accessed: May 12, 2025. [Online]. Available: <https://www.worlddata.info/average-bodyheight.php>
- [9]. Thuy Tran N., et al., "Triple burden of malnutrition among Vietnamese 0-5-11-year-old children in 2020-2021: results of SEANUTS II Vietnam," *Public Health Nutrition*, 27(1), e259, 2024.
- [10]. Farhadian A., et al., "Effects of meat preheating and wrapping on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbons in charcoal-grilled meat," *Food Chemistry*, 124(1), 141-146, 2011.
- [11]. Malarut J., K. Vangnai, "Influence of wood types on quality and carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) of smoked sausages," *Food Control*, 85, 98-106, 2017.
- [12]. Racovita R. C., et al., "Effects of smoking temperature, smoking time, and type of wood sawdust on polycyclic aromatic hydrocarbon accumulation levels in directly smoked pork sausages," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(35), 9530-9536, 2020.
- [13]. Mejbörn H., et al., "Suggestion for a subdivision of processed meat products on the Danish market based on their content of carcinogenic compounds," *Meat Science*, 147, 91-99, 2019.
- [14]. Lorenzo J. M., et al., "Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in two Spanish traditional smoked sausage varieties: 'Androlla' and 'Botillo,'" *Meat Science*, 86(3), 660-664, 2010.
- [15]. Rascón A. J., A. Azzouz, E. Ballesteros, "Trace level determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in raw and processed meat and fish products from European markets by GC-MS," *Food Control*, 101, 198-208, 2019.
- [16]. Tsutsumi T., et al., "Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Smoked Foods in Japan," *Journal of Food Protection*, 83(4), 692-701, 2020.
- [17]. Tareq A. R. M., et al., "Gas Chromatography-Mass Spectrometric (GC-MS) Determination of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Smoked Meat and Fish Ingested by Bangladeshi People and Human Health Risk Assessment," *Polycyclic Aromatic Compounds*, 42(4), 1570-1580, 2022.
- [18]. Adesina O. A., "Level of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in Smoked Food Materials from Roadside Barbeque Spots in Western Nigeria and Health Implication," *Polycyclic Aromatic Compounds*, 42(5), 1972-1977, 2022.
- [19]. Santos C., A. Gomes, L. C. Roseiro, "Polycyclic aromatic hydrocarbons incidence in Portuguese traditional smoked meat products," *Food Chemical Toxicology*, 49(9), 2343-2347, 2011.
- [20]. Rozentale I., et al., "Assessment of dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons from smoked meat products produced in Latvia," *Food Control*, 54, 16-22, 2015.
- [21]. Kafouris D., et al., "Determination of polycyclic aromatic hydrocarbons in traditionally smoked meat products and charcoal grilled meat in Cyprus," *Meat Science*, 164, 108088, 2020.

[22]. Reizer E., B. Viskolcz, B. Fiser, "Formation and growth mechanisms of polycyclic aromatic hydrocarbons: A mini-review," *Chemosphere*, 291,132793, 2022.

[23]. Nisbet I. C. T., P. K. LaGoy, "Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)," *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 16(3), 290-300, 1992.

[24]. Iwu G. I., et al., "Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) profiles in heat-processed meat and fish: A study on health risk evaluation," *Discover Food*, 4(1), 1-19, 2024.

[25]. Chen Y., et al., "Contamination and distribution of parent, nitrated, and oxygenated polycyclic aromatic hydrocarbons in smoked meat," *Environmental Science and Pollution Research*, 21(19), 11521-11530, 2014.

[26]. Forsberg N. D., et al., "Effect of Native American fish smoking methods on dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and possible risks to human health," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 60(27), 6899, 2012.

AUTHORS INFORMATION

**Nguyen Thi Thuy Linh¹, Nguyen Thi Thanh Huyen¹,
Nguyen Thuy Ngoc², Duong Hong Anh², Pham Hung Viet³,
Nguyen Xuan Huan¹, Phung Thi Vi^{1,3}**

¹Faculty of Environmental Sciences, VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam

²Research Centre for Environmental Technology and Sustainable Development (CETASD), Faculty of Chemistry, VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam

³Key Laboratory of Analytical Technology for Environmental Quality and Food Safety Control (KLATEFOS), VNU University of Science, Vietnam National University, Hanoi, Vietnam