

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

Hoàng Thị Tuệ Minh

**NGHIÊN CỨU PHÂN TÍCH
CÁC CHẤT CHỐNG CHÁY CƠ BROM VÀ CƠ PHỐT PHO
TRONG BỤI VÀ KHÔNG KHÍ TRONG NHÀ**

Ngành: Hóa phân tích

Mã số: 9.44.01.18

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

Hà Nội-2023

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ
- Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

Người hướng dẫn khoa học 1: GS. TS. Lê Trường Giang

Người hướng dẫn khoa học 2: TS. Trịnh Thu Hà

Phản biện 1: ...

Phản biện 2: ...

Phản biện 3:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện, họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi ... giờ ..', ngày ... tháng ... năm 2023

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
- Thư viện Quốc gia Việt Nam

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Chất chống cháy là một nhóm các hóa chất được sử dụng rộng rãi làm chất phụ gia trong các vật liệu để làm giảm khả năng bắt lửa và truyền lửa của vật liệu cũng như đáp ứng các tiêu chí và quy định về an toàn cháy nổ. Trong nhiều thập kỷ qua, các chất chống cháy cơ brom (brominated flame retardants - BFRs) như polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) đã được sử dụng rất nhiều. Tuy nhiên, các hợp chất này bền, có khả năng tích lũy sinh học và độc tính cao nên việc sử dụng rộng rãi PBDEs đã dẫn đến sự gia tăng nhanh chóng các chất ô nhiễm này trong môi trường và gây ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người cũng như hệ sinh thái. Do đó, các hợp chất PBDE đã bị hạn chế hoặc cấm sản xuất và sử dụng ở nhiều quốc gia. Điều này đã dẫn đến việc tăng cường sản xuất và sử dụng các chất chống cháy thay thế như các chất chống cháy cơ phốt pho (organophosphorus flame retardants - OPFRs) đã tăng nhanh trong những năm gần đây. Việc sử dụng OPFRs ngày càng tăng trong các sản phẩm tiêu dùng và xây dựng đã dẫn đến sự phát tán rộng rãi của chúng trong môi trường, gây nên sự phơi nhiễm cho động vật và con người. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng, các OPFRs cũng gây ra các ảnh hưởng tiêu cực đối với sinh vật dưới nước, động vật cũng như con người. Đặc biệt, các chất chống cháy cơ phốt pho có chứa clo trên thực tế có thể gây ra rủi ro sức khỏe tương đương với các chất chống cháy cơ brom.

Hầu hết các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho là các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi. Chúng chủ yếu được sử dụng làm chất phụ gia không liên kết hóa học với vật liệu, vì vậy chúng dễ dàng thoát ra khỏi sản phẩm và giải phóng vào môi trường xung quanh qua quá trình bay hơi, mài mòn từ các sản phẩm và vật liệu chứa chất chống cháy trong

quá trình sử dụng và thải bỏ. Theo báo cáo của Cục Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ, trong cuộc sống hiện đại ngày nay, phần lớn hoạt động của con người diễn ra trong nhà (80-90% thời gian), do đó chất lượng môi trường trong nhà là một yếu tố quan trọng, có ảnh hưởng rất lớn đến sức khỏe cũng như chất lượng cuộc sống con người.

Tại Việt Nam, việc nghiên cứu về chất lượng không khí, đặc biệt nhóm các hợp chất mới như các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong không khí còn hạn chế. Để xác định hàm lượng các hợp chất này trong môi trường, đặc biệt là môi trường không khí cần quá trình lấy mẫu, xử lý mẫu phức tạp cũng như thiết bị phân tích định lượng có độ nhạy cao. Do vậy, việc nghiên cứu quy trình phân tích nhằm quan trắc và đánh giá mức độ ô nhiễm của các nhóm chất PBDEs và OPFRs trong bụi và không khí trong nhà là hết sức cần thiết, từ đó đánh giá sự phơi nhiễm cũng như những rủi ro về sức khỏe con người khi tiếp xúc với các hợp chất này trong môi trường trong nhà.

Vì vậy, việc lựa chọn đề tài “*Nghiên cứu phân tích các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong bụi và không khí trong nhà*” là cần thiết, có tính khoa học và thực tiễn sâu sắc.

2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

- Nghiên cứu phát triển được phương pháp phân tích các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong bụi và không khí trong nhà trên thiết bị sắc ký khí ghép nối khối phổ (GC-MS).
- Đánh giá được mức độ ô nhiễm và rủi ro phơi nhiễm các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong bụi và không khí trong nhà đối với sức khỏe con người thông con đường hô hấp, tiêu hóa và hấp thụ qua da cho cả trẻ em và người lớn.

3. Các nội dung nghiên cứu chính của luận án

- 1 - Tối ưu hoá phương pháp chiết tách đồng thời các chất chống

cháy cơ brom và cơ phốt pho trong bụi và không khí trong nhà và phân tích trên thiết bị sắc ký khí ghép nối khối phổ (GC-MS).

2 - Thẩm định quy trình phân tích các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong mẫu bụi và mẫu không khí trong nhà.

3 - Phân tích xác định hàm lượng các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong mẫu bụi và mẫu không khí được thu thập tại các hộ gia đình ở khu vực nội thành Hà Nội trên thiết bị sắc ký khí ghép nối khối phổ (GC-MS).

4 - Ước tính mức độ phơi nhiễm và đánh giá rủi ro sức khỏe cho cả người lớn và trẻ em khi tiếp xúc với với các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong môi trường trong nhà thông qua con đường hô hấp, tiêu hóa (do nuốt phải bụi) và hấp thụ qua da.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1. Giới thiệu về chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho

1.2. Nguồn phát tán và sự phân bố của các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong môi trường

1.3. Độc tính của các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho

1.4. Sự phơi nhiễm của con người đối với chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho

1.5. Phương pháp phân tích chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong bụi và không khí

1.5.1. Kỹ thuật lấy mẫu và bảo quản mẫu

1.5.2. Phương pháp xử lý mẫu trong phân tích chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho

1.5.3. Phương pháp phân tích các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho

1.6. Tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước

CHƯƠNG 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Các chất chống cháy cơ brom truyền thống thuộc nhóm các polybrominated diphenyl ether (PBDEs) các chất chống cháy cơ photpho thuộc nhóm phosphate ester trong bụi lắng và không khí trong nhà.

2.2. Hóa chất, dụng cụ và thiết bị

2.3. Thu thập và bảo quản mẫu

Các mẫu bụi lắng và mẫu không khí trong nhà được thu thập tại các căn hộ chung cư và nhà riêng tại các quận trung tâm Thành phố Hà Nội.

2.4. Phương pháp nghiên cứu

2.4.1. Khảo sát các điều kiện định lượng PBDEs trên GC-MS

Khảo sát điều kiện đo PBDEs trên GC-MS. Đánh giá độ ổn định của tín hiệu phân tích PBDEs trên GC-MS. Xác định giới hạn phát hiện (LOD) và giới hạn định lượng (LOQ) của PBDEs trên GC-MS. Khảo sát xây dựng đường chuẩn.

2.4.2. Khảo sát các điều kiện định lượng OPFRs trên GC-MS

Khảo sát điều kiện đo OPFRs trên GC-MS. Đánh giá độ ổn định của tín hiệu phân tích OPFRs trên GC-MS. Xác định giới hạn phát hiện (LOD) và giới hạn định lượng (LOQ) của OPFRs trên GC-MS. Khảo sát xây dựng đường chuẩn.

2.4.3. Khảo sát phương pháp chiết tách đồng thời PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí

- ❖ *Khảo sát lựa chọn thông số vận hành và dung môi chiết để chiết tách PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí trên hệ thiết bị chiết tăng tốc dung môi (ASE)*

Bảng 2.4. Chương trình hệ ASE để chiết PBDEs và OPFRs trong mẫu khí

Thông số trên ASE	Thông số trên ASE	Giá trị
Áp suất cell/ (psi)	Cell pressure (psi)	1500
Nhiệt độ cell (°C)	Cell temperature (°C)	100
Thời gian gia nhiệt trước (phút)	Preheat time (mins)	1
Thời gian gia nhiệt (phút)	Heat time (mins)	5
Số vòng chiết	Cycles	2
Thời gian tĩnh (phút)	Static time (mins)	10
Thể tích bơm vào	Flush volume (%)	60

❖ *Khảo sát điều kiện phân tách và làm sạch dịch chiết qua cột chiết pha rắn*

Khảo sát lựa chọn cột chiết pha rắn và dung môi rửa giải để phân tách và làm sạch dịch chiết.

2.4.4. Xác định phương pháp chiết tách đồng thời PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi

- Khảo sát lựa chọn dung môi chiết và các thông số của quá trình chiết tách PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi bằng phương pháp chiết siêu âm.

Bảng 2.6. Các thông số của quá trình chiết tách PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi bằng phương pháp chiết siêu âm

Thông số	Giá trị
Thể tích dung môi chiết (mL)	10
Nhiệt độ buồng siêu âm (°C)	25 - 28
Thời gian siêu âm (phút)	10
Thời gian ly tâm (phút)	2
Tốc độ ly tâm (vòng/phút)	3000
Số lần chiết lặp lại (lần)	3

- Sau khi chiết tách đồng thời PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi, dịch chiết mẫu bụi được tách phân đoạn và làm sạch giống như đối với dịch chiết mẫu không khí đã khảo sát ở mục 2.4.3.

2.4.5. Thẩm định phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí trong nhà

Sau khi đã khảo sát tối ưu hóa các điều kiện chiết tách PBDEs và OPFRs trong mẫu khí và điều kiện phân tích trên thiết bị GC-MS, xây dựng được quy trình phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí trong nhà. Tiến hành thẩm định quy trình để đánh giá chất lượng, độ tin cậy của kết quả phân tích thông qua các thông số: đường chuẩn, giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng của phương pháp, độ đúng, độ lặp lại và độ tái lặp của phương pháp, độ không đảm bảo đo.

2.4.6. Thẩm định phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi trong nhà

Sử dụng các mẫu trắng thêm chuẩn và mẫu bụi chuẩn tham chiếu SRM 2585 để tiến hành thẩm định phương pháp phân tích đồng thời PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi trong nhà được xây dựng từ các kết quả khảo sát về điều kiện chiết tách mẫu bụi và điều kiện phân tích trên thiết bị GC-MS. Các thông số thẩm định bao gồm: đường chuẩn, giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng của phương pháp, độ đúng, độ lặp lại và độ tái lặp của phương pháp, độ không đảm bảo đo.

2.4.7. Phân tích hàm lượng PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí và mẫu bụi trong nhà

Phân tích xác định hàm lượng PBDEs và OPFRs trong các mẫu không khí và bụi trong nhà được thu thập từ 10 quận nội thành Hà Nội theo các quy trình phân tích đã xây dựng và thẩm định.

2.4.8. Đánh giá rủi ro phơi nhiễm của PBDEs và OPFRs trong bụi và không khí trong nhà

2.4.8.1. Ước tính lượng phơi nhiễm hàng ngày thông qua các con đường phơi nhiễm

Dựa theo hướng dẫn của Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ (US EPA, 2011), lượng phơi nhiễm ước tính hàng ngày (the estimated daily intakes - EDI, ng/kg/ngày) của PBDEs và OPFRs thông qua con

đường hô hấp ($EDI_{\text{hô hấp}}$), tiêu hóa ($EDI_{\text{nuốt bụi}}$) và hấp thụ qua da ($EDI_{\text{qua da}}$) được tính toán theo các công thức sau:

$$EDI_{\text{hô hấp}} = \frac{C_{\text{khí}} \times IR_{\text{khí}} \times AF_{\text{hô hấp}} \times FT}{BW} \quad (2.19)$$

$$EDI_{\text{ăn bụi}} = \frac{C_{\text{bụi}} \times IR_{\text{bụi}} \times AF_{\text{miêng}} \times FT}{BW} \quad (2.20)$$

$$EDI_{\text{qua da (từ khí)}} = \frac{C_{\text{khí}} \times K_{\text{p-g/p}} \times SA \times f_{\text{SA}} \times FT}{BW} \quad (2.21)$$

$$EDI_{\text{qua da (từ bụi)}} = \frac{C_{\text{bụi}} \times DAS \times SAD \times AF_{\text{quada}} \times FT}{BW} \quad (2.22)$$

$$EDI_{\text{qua da}} = EDI_{\text{qua da (từ khí)}} + EDI_{\text{qua da (từ bụi)}} \quad (2.23)$$

$$EDI_{\text{tổng}} = EDI_{\text{hô hấp}} + EDI_{\text{nuốt bụi}} + EDI_{\text{qua da}} \quad (2.24)$$

2.4.8.2. Đánh giá rủi ro không gây ung thư

Thương số nguy hiểm (HQ) được sử dụng để mô tả các rủi ro không gây ung thư của từng PBDEs và OPFRs thông qua con đường hô hấp, tiêu hóa, và hấp thụ qua da. Chỉ số nguy hiểm (HI) được tính toán để biểu thị tổng rủi ro không gây ung thư do các PBDEs và OPFRs gây ra.

$$HQ = \frac{EDI_{\text{tổng}}}{RfD} \quad (2.25)$$

$$HI = \sum HQ_i \quad (2.26)$$

Nếu giá trị $HI > 1$, sự phơi nhiễm PBDEs và OPFRs từ bụi và không khí trong nhà có khả năng gây ảnh hưởng xấu đến sức khỏe. Ngược lại, nếu giá trị $HI < 1$, các tác động bất lợi tiềm ẩn đối với sức khỏe con người do sự phơi nhiễm PBDEs và OPFRs bụi và không khí trong nhà là không đáng kể.

2.4.8.3. Đánh giá rủi ro gây ung thư

Rủi ro gây ung thư được đánh giá dựa trên ước tính nguy cơ ung thư suốt đời (LCR) được xác định theo phương trình sau:

$$LCR = CDI_{\text{hô hấp}} \times CPF + CDI_{\text{nuốt bụi}} \times CPF + CDI_{\text{qua da}} \times CPF \quad (2.27)$$

$$CDI_i = (EDI_i \times EF \times ED) / AT \quad (2.28)$$

Dựa trên các hướng dẫn của EPA, sự phơi nhiễm PBDEs và OPFRs trong bụi và không khí trong nhà được coi là nguy cơ gây ung thư khi LCR ước tính $\geq 10^{-6}$. Ngược lại, nguy cơ gây ung thư được coi là không đáng kể nếu giá trị LCR $< 10^{-6}$.

2.4.9. Phương pháp xử lý số liệu

Xử lý số liệu và phân tích thống kê được thực hiện trên phần mềm Microsoft Excel 2016 và phần mềm thống kê IBM SPSS 22.0. Nồng độ PBDEs và OPFRs không phát hiện được ($< LOD$) được coi bằng 0.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả khảo sát điều kiện phân tích PBDEs trên GC-MS

3.1.1. Điều kiện đo PBDEs trên GC-MS

Kết quả khảo sát các điều kiện tối ưu cho việc định lượng PBDEs trên thiết bị GC-MS được trình bày ở bảng 3.1 và bảng 3.2.

Bảng 3.1. Điều kiện phân tích PBDEs trên thiết bị GC-MS

Thông số	Điều kiện/Thông số cài đặt
Cột sắc ký mao quản	DB-5ht (15 m \times 0,25 mm \times 0,10 μ m)
Chế độ bơm	Không chia dòng
Thể tích bơm mẫu	2,0 μ L
Nhiệt độ cổng bơm mẫu	260°C
Khí mang	Heli, tốc độ dòng 1,2 mL/phút
Khí phản ứng	Metan (CH ₄)
Chương trình nhiệt độ của lò cột	135°C (2 phút) \rightarrow 215°C [10°C/phút] \rightarrow 275°C [5°C/phút] \rightarrow 295°C [20°C/phút, 0,5 phút] \rightarrow 310°C [20°C/phút, 4 phút]
Nhiệt độ nguồn ion	250°C
Nhiệt độ interface	310°C
Kỹ thuật tạo ion	Ion hóa âm bắt điện tử (ECNI)
Chế độ quan sát	Quan sát chọn lọc ion - SIM

Bảng 3.2. Các mảnh ion khảo sát của PBDEs và đồng vị đánh dấu

Nhóm chất	Hợp chất	m/z
Tri-BDEs	BDE-28	79/81/159/161
Tetra-BDEs	BDE-47	79/81/159/161
Penta-BDEs	BDE-99, BDE-100	79/81/159/161
Hexa-BDEs	BDE-153, BDE-154	79/81/159/161
Hepta-BDEs	BDE-183	79/81/159/161
Octa-BDEs	BDE-196, BDE-197, BDE-203	79/81/407/409
Nona-BDEs	BDE-206, BDE-207	79/81/407/409
Deca-BDEs	BDE-209	79/81/487/489
Chất chuẩn đồng hành	FBDE-99, FBDE-183	79/81
	FBDE-208	79/81/427/429
	¹³ C ₁₂ -BDE-209	79/81/497/499
Chất nội chuẩn	FBDE-154	79/81

* Các giá trị **m/z** in đậm biểu thị các ion định lượng

3.1.2. Độ ổn định của tín hiệu phân tích PBDEs trên GC-MS

Kết quả khảo sát cho thấy, thiết bị GC-MS sử dụng để nghiên cứu PBDEs cho tín hiệu phân tích tốt, có tính ổn định cao.

3.1.3. Giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng của PBDEs trên GC-MS

LOD và LOQ của thiết bị sắc ký GC-MS đối với các hợp chất PBDEs phân tích lần lượt trong khoảng 0,08-0,51 ng/mL (riêng BDE-209 là 3,6 ng/mL) và 0,25-1,7 ng/mL (riêng BDE-209 là 12 ng/mL), đáp ứng yêu cầu định lượng các hợp chất PBDEs trong các mẫu môi trường.

3.1.4. Đường chuẩn của các PBDEs trên GC-MS

Đường chuẩn các PBDEs nghiên cứu được xây dựng theo phương pháp nội chuẩn, có độ tuyến tính tốt với hệ số tương quan $R^2 > 0,999$.

3.2. Kết quả khảo sát điều kiện phân tích OPFRs trên GC-MS

3.2.1. Điều kiện đo OPFRs trên GC-MS

Kết quả khảo sát các điều kiện tối ưu cho việc định lượng OPFRs trên thiết bị GC-MS được trình bày ở bảng 3.6 và bảng 3.7.

3.2.2. Độ ổn định của tín hiệu phân tích OPFRs trên GC-MS

Kết quả khảo sát cho thấy, thiết bị GC-MS sử dụng để nghiên cứu OPFRs cho tín hiệu phân tích tốt, có tính ổn định cao.

Bảng 3.6. Điều kiện tách và phân tích OPFRs trên thiết bị GC-MS

Thông số	Điều kiện/Thông số cài đặt
Cột sắc ký mao quản	DB-5ms (30 m × 0,25 mm × 0,25 μm)
Chế độ bơm	Không chia dòng
Thể tích bơm mẫu	1,0 μL
Nhiệt độ công bơm mẫu	250°C
Khí mang	Heli, tốc độ dòng 1,0 mL/phút
Chương trình nhiệt độ của lò cột	40°C (giữ 2 phút), tăng đến 310°C (tốc độ 8°C/phút) và giữ trong 4 phút
Nhiệt độ nguồn ion	250°C
Nhiệt độ interface	310°C
Kỹ thuật tạo ion	Ion hóa điện tử (ECNI)
Chế độ quan sát	Quan sát chọn lọc ion – SIM

Bảng 3.7. Các mảnh ion khảo sát của OPFRs và đồng vị đánh dấu

Hợp chất	Mảnh định tính (m/z)	Mảnh định lượng (m/z)
TnBP	99 / 155 / 211	99
TCEP	249 / 251 / 205	249
TCIPP(1)	125 / 99 / 201	125
TCIPP(2)	99 / 157 / 201	99
TCIPP(3)	99 / 157 / 175	99
DBPP	175 / 94 / 174	175
TDCIPP	99 / 191 / 209	99
TPhP	326 / 325 / 215	326
TBOEP	85 / 101 / 125	85
EHDPP	251 / 94 / 170	251
TEHP	99 / 113 / 71	99
TOCP	165 / 179 / 368	165
TMCP	368 / 165 / 243	368
TPCP	368 / 165 / 261	368
<i>Chất chuẩn đồng hành</i>		
TnBP-d27	103 / 167 / 231	103
TCEP-d12	261 / 131 / 196	261
TPhP-d15	341 / 243 / 180	341
<i>IS (Phenanthrene-d10)</i>	188 / 184 / 160	188

3.2.3. Giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng của OPFRs trên GC-MS

Giới hạn phát hiện (LOD) và giới hạn định lượng (LOQ) của thiết bị sắc ký GC-MS đối với các hợp chất OPFRs phân tích lần lượt trong khoảng từ 0,8-3,3 ng/mL và từ 2,6-11 ng/mL. Nhìn chung, các giá trị LOD và LOQ khá nhỏ, đáp ứng yêu cầu định lượng các hợp chất OPFRs trong các mẫu môi trường.

3.2.4. Đường chuẩn của OPFRs trên GC-MS

Đường chuẩn các OPFRs nghiên cứu được xây dựng theo phương pháp nội chuẩn đều có độ tuyến tính tốt với hệ số tương quan $R^2 > 0,999$.

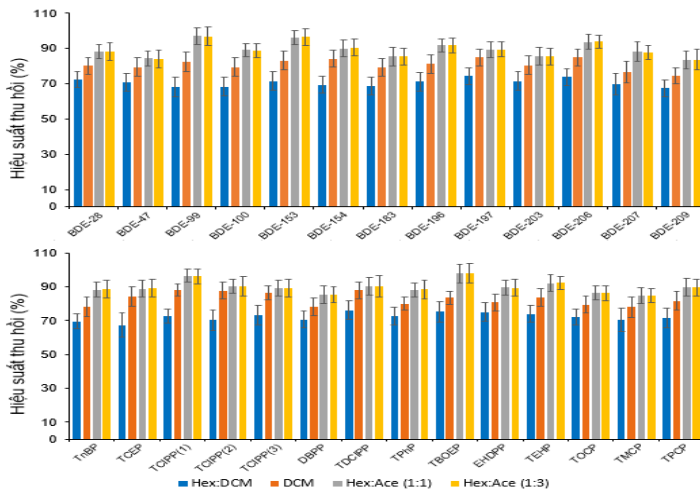
3.3. Kết quả khảo sát phương pháp chiết tách PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí

3.3.1. Kết quả khảo sát dung môi dùng để chiết tách PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí trong nhà

Bốn hệ dung môi gồm Hex:DCM (1:1, v/v), DCM, Hex:Ace (1:1, v/v) và Hex:Ace (1:3, v/v) đã được lựa chọn để khảo sát hiệu quả chiết tách các hợp chất PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí theo phương pháp chiết tăng tốc dung môi. Kết quả khảo sát được thể hiện ở hình 3.5.

Kết quả khảo sát cho thấy, hỗn hợp dung môi Hex:Ace (1:1, v/v) và Hex:Ace (1:3, v/v) có hiệu quả chiết tương đương nhau và tốt hơn so với 2 hệ dung môi Hex:DCM (1:1, v/v) và DCM với độ thu hồi trung bình của các chất phân tích khá cao và tương đối đồng đều giữa các chất, dao động trong khoảng 84,3% - 97,1% đối với các hợp chất PBDEs và từ 83,6% - 97,8% đối với OPFRs. Tuy nhiên, hỗn hợp dung môi Hex:Ace (1:3, v/v) có độ phân cực cao hơn hỗn hợp dung môi Hex:Ace (1:1, v/v) nên nhiều tạp chất gây ảnh hưởng có trong nền mẫu cũng sẽ dễ dàng được cùng chiết ra khỏi mẫu, làm cho quá trình làm sạch dịch

chiết sau khi chiết sẽ phức tạp hơn. Do đó, hỗn hợp Hex: Ace (1:1, v/v) đã được lựa chọn để chiết tách PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí khi sử dụng phương pháp chiết tăng tốc dung môi (ASE).



Hình 3.5. Hiệu suất của quá trình chiết tách PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí khi sử dụng các hệ dung môi khác nhau

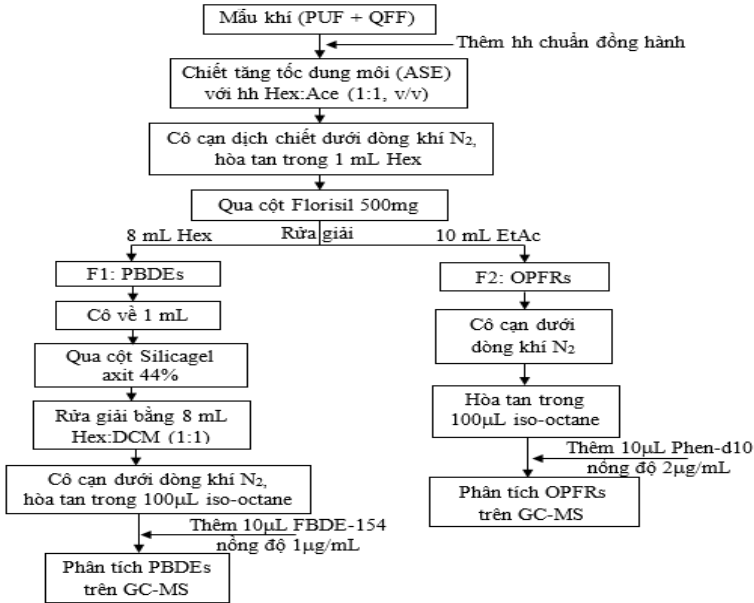
3.3.2. Kết quả khảo sát điều kiện phân tách và làm sạch dịch chiết trên cột chiết pha rắn

Nghiên cứu này sử dụng cột chiết pha rắn florisil và cột silica gel được axit hóa để phân tách và làm sạch dịch chiết trước khi phân tích trên GC-MS. Cột florisil đã được lựa chọn sử dụng để làm sạch và tách phân đoạn PBDEs (phân đoạn 1) và OPFRs (phân đoạn 2). Sau đó, sử dụng cột silica gel được axit hóa để làm sạch phân đoạn 1 ở bước làm sạch tiếp theo để tránh sự phân hủy của các hợp chất OPFRs kém bền hơn về mặt hóa học mà vẫn loại bỏ được các chất gây nhiễu trước khi phân tích PBDEs trên GC-MS.

Kết quả khảo sát cho thấy, chỉ cần dùng lần lượt 8 mL Hex và 10 mL EtAc là đủ để rửa giải hoàn toàn PBDEs (phân đoạn 1) và OPFRs

(phân đoạn 2) ra khỏi cột florisol. Đối với bước làm sạch tiếp theo trên cột silica gel đã axit hóa 44%, để rửa giải hoàn toàn PBDEs ra khỏi cột cần dùng 10 mL hỗn hợp dung môi Hex:DCM (1:1, v/v).

3.3.3. Quy trình phân tích PBDEs và OPFRs trong không khí trong nhà



Hình 3.6. Quy trình phân tích PBDEs và OPFRs trong không khí trong nhà

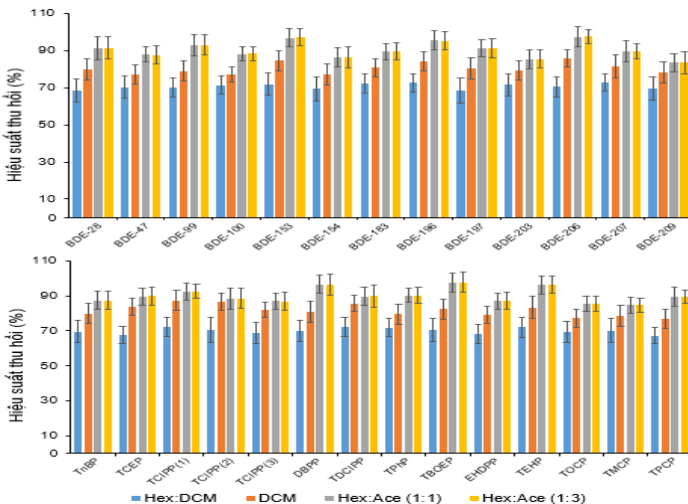
3.4. Kết quả khảo sát phương pháp chiết tách PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi

3.4.1. Kết quả khảo sát dung môi dùng để chiết tách PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi

Kết quả khảo sát hiệu quả chiết tách các hợp chất PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi khi sử dụng các hệ dung môi khác nhau được trình bày ở hình 3.7 cho thấy, hỗn hợp dung môi Hex:ACE (1:1, v/v) và Hex:ACE (1:3, v/v) có hiệu suất chiết tốt hơn nhiều hỗn hợp dung môi Hex:DCM (1:1, v/v) và dung môi DCM. Điều này có thể giải thích do

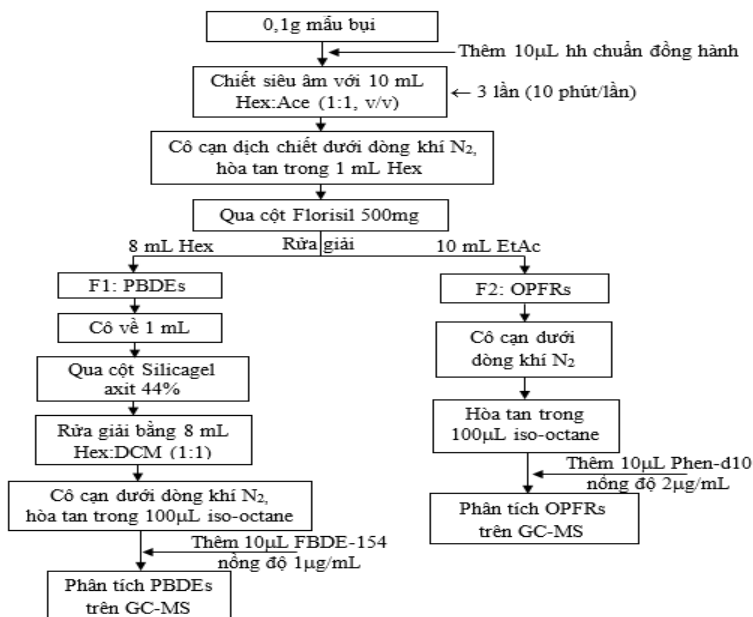
các hợp chất phân tích có tương tác mạnh với nền mẫu bụi nên việc sử dụng dung môi phân cực hơn sẽ tăng hiệu quả chiết tách tốt hơn.

Hai hệ dung môi Hex:Ace (1:1, v/v) và Hex:Ace (1:3, v/v) đều cho hiệu quả chiết tốt với tất cả các hợp chất nghiên cứu và tương đối đồng đều giữa các chất với độ thu hồi trung bình dao động trong khoảng 83,2% - 97,4% cho các hợp chất PBDEs và 84,6% - 96,5% cho các hợp chất OPFRs. Mặt khác, các hỗn hợp Hex:Ace khi sử dụng làm dung môi chiết còn có ưu điểm là nó có sự phân tách tốt giữa bụi và dịch chiết sau khi ly tâm, giúp cho quá trình xử lý mẫu dễ dàng hơn và do đó giúp giảm thất thoát các hợp chất so với sử dụng dung môi DCM. Tuy nhiên, sử dụng hỗn hợp dung môi Hex:Ace (1:3, v/v) làm dung môi chiết thì sẽ kéo theo nhiều tạp chất có trong nền mẫu làm cho quá trình làm sạch sau này khó khăn hơn. Do đó, hỗn hợp dung môi Hex:Ace (1:1, v/v) đã được lựa chọn để chiết tách đồng thời các hợp chất PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi khi sử dụng phương pháp chiết siêu âm.



Hình 3.7. Hiệu suất của quá trình chiết tách PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi khi sử dụng các hệ dung môi khác nhau

3.4.2. Quy trình phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi trong nhà



Hình 3.8. Quy trình phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi trong nhà

3.5. Kết quả thẩm định phương pháp phân tích

3.5.1. Kết quả thẩm định phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu khí

3.5.1.1. Giới hạn phát hiện (MDL) và giới hạn định lượng (MQL) của phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu khí

MDL và MQL của các PBDEs nghiên cứu nằm trong khoảng 0,003-0,013 ng/m³ (riêng BDE-209 là 0,136 ng/m³) và 0,009-0,043 ng/m³ (riêng BDE-209 là 0,453 ng/m³). MDL và MQL của OPFRs nằm trong khoảng 0,025-0,141 ng/m³ và 0,082-0,469 ng/m³ cùng với tất cả các giá trị R đều nằm trong khoảng từ 4 đến 10 theo yêu cầu của AOAC. Phương pháp đáp ứng yêu cầu phân tích lượng vết PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí.

3.5.1.2. Độ đúng/ độ thu hồi của phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí trong nhà

Độ đúng của phương pháp phân tích các hợp chất PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí được xác định bằng cách phân tích lặp lại 8 lần các mẫu thêm chuẩn K-TC1, K-TC2 và K-TC3 tại ba mức nồng độ (thấp, trung bình và cao) theo quy trình đã khảo sát được ở hình 3.6. Độ thu hồi trung bình của PBDEs và OPFRs nghiên cứu trong mẫu không khí tại 3 mức nồng độ khảo sát dao động lần lượt trong khoảng 80,2-98,4% và 81,4-102%. Độ thu hồi trung bình của các chất chuẩn đồng hành cho phân tích PBDEs và OPFRs cũng dao động lần lượt trong khoảng 80,6-102% và 80,2-101%.

Các giá trị thu được đều nằm trong giới hạn cho phép được khuyến nghị bởi AOAC và tương đồng với các kết quả nghiên cứu trên thế giới khi xác định riêng hàm lượng từng nhóm chất này. Như vậy, phương pháp phân tích xác định đồng thời các hợp chất PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí bằng phương pháp chiết tăng tốc dung môi (ASE) kết hợp với GC-MS có độ đúng cao, phù hợp để phân tích xác định hàm lượng PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí trong nhà.

3.5.1.3. Độ lặp lại và độ tái lặp của phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí trong nhà

Độ lặp lại và độ tái lặp của phương pháp được đánh giá thông qua độ lệch chuẩn tương đối của các kết quả phân tích lặp lại 8 lần các mẫu thêm chuẩn tại ba mức nồng độ thấp, trung bình và cao trong cùng một ngày và trong 8 ngày khác nhau. Kết quả cho thấy, ở cả 3 mức nồng độ, độ lệch chuẩn tương đối của PBDEs và OPFRs nghiên cứu lần lượt nằm trong khoảng 3,54-6,52% và 3,62-6,34%. Như vậy, phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong không khí trong nhà đáp ứng các yêu cầu cho phép về độ lặp lại và độ tái lặp.

3.5.1.4. Độ không đảm bảo đo của phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu không khí trong nhà

Độ KĐBĐ mở rộng của phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu khí được xác định bởi mẫu thêm chuẩn ở ba mức nồng độ thấp, trung bình và cao, dao động lần lượt trong khoảng 13,2-21,5%, 11,7-20,3% và 10,4-21,2% đối với PBDEs, và lần lượt trong khoảng 12,5-22,8%, 11,4-21,6% và 9,82-19,1% đối với OPFRs. Kết quả phù hợp với việc phân tích hàm lượng vết các hợp chất nghiên cứu trong không khí trong nhà.

3.5.2. Kết quả thẩm định phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi

3.5.2.1. Giới hạn phát hiện (MDL) và giới hạn định lượng (MQL) của phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi

Giá trị MDL của các hợp chất PBDEs và OPFRs nghiên cứu nằm trong khoảng từ 0,10-0,54 ng/g (riêng BDE-209 là 5,00 ng/g) và từ 0,76-3,12 ng/g, tương ứng với giá trị MQL từ 0,33-1,79 ng/g (riêng BDE-209 là 16,7 ng/g) và từ 2,53-10,4 ng/g cho các hợp chất PBDEs và OPFRs. Phương pháp phân tích hoàn toàn đáp ứng được yêu cầu phân tích lượng vết các hợp chất PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi trong nhà.

3.5.2.2. Độ đúng/ độ thu hồi của phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi trong nhà

Kết quả phân tích cho thấy, phương pháp có độ thu hồi khá cao với độ thu hồi trung bình của các PBDEs và OPFRs nghiên cứu trong mẫu bụi tại 3 mức nồng độ khảo sát lần lượt nằm khoảng 81,3-101% và 80,8-103%. Độ thu hồi của các chất chuẩn đồng hành cho phân tích PBDEs và OPFRs cũng dao động trong khoảng lần lượt từ 80,5% đến 101% và từ 79,2% đến 102%. Các giá trị này đều nằm trong giới hạn cho phép được khuyến nghị bởi AOAC và EPA 1614. Như vậy,

phương pháp phân tích các hợp chất PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi bằng phương pháp chiết siêu âm kết hợp với GC-MS có độ đúng tốt để phân tích xác định hàm lượng các hợp chất này trong bụi trong nhà.

3.5.2.3. Độ lặp lại và độ tái lập của phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi trong nhà

Độ lặp lại và độ tái lập của phương pháp được đánh giá thông qua độ lệch chuẩn tương đối của các kết quả phân tích lặp lại 8 lần trong cùng một ngày và trong 8 ngày khác nhau các mẫu thêm tại ba mức nồng độ. Kết quả cho thấy, ở cả 3 mức nồng độ, độ lệch chuẩn tương đối của PBDEs và OPFRs nghiên cứu lần lượt nằm trong khoảng 3,42-6,25% và 3,69-6,41%. Phương pháp xác định PBDEs và OPFRs trong bụi trong nhà đáp ứng các yêu cầu cho phép về độ lặp lại và độ tái lập.

3.5.2.4. Độ không đảm bảo đo của phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi trong nhà

Độ KĐBĐ mở rộng của phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi được xác định bởi mẫu thêm chuẩn ở ba mức nồng độ (thấp, trung bình và cao), dao động lần lượt trong khoảng 12,7-22,4%, 11,0-20,9% và 11,3-19,5% đối với PBDEs, và lần lượt trong khoảng 13,4-23,2%, 12,1-21,4% và 11,8-20,3% đối với OPFRs. Kết quả phù hợp với việc phân tích lượng vết các hợp chất nghiên cứu trong không khí trong nhà.

3.5.2.5. Độ đúng của phương pháp phân tích PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi chuẩn tham chiếu SRM 2585

Kết quả phân tích lặp lại 5 lần mẫu bụi chuẩn tham chiếu SRM 2585 theo quy trình phân tích đã khảo sát được ở hình 3.8 cho thấy, hàm lượng các hợp chất PBDEs và OPFRs đo được trong mẫu bụi chuẩn tham chiếu SRM 2585 đều nằm trong khoảng dao động cho phép. Độ thu hồi trung bình của các hợp chất PBDEs và OPFRs trong

mẫu bụi chuẩn tham chiếu lần lượt dao động trong khoảng từ 85,8-105% và từ 87,8-103% cùng với độ lệch chuẩn tương đối dao động lần lượt trong khoảng từ 3,78-6,84% và 3,95-5,36%.

3.6. PBDEs và OPFRs trong không khí trong nhà ở Hà Nội

3.6.1. Sự hiện diện và phân bố của PBDEs trong không khí trong nhà ở Hà Nội

Sáu trong mười ba hợp chất PBDEs phân tích được phát hiện với tần suất 11-75% trong các mẫu không khí trong nhà với tổng hàm lượng PBDEs (Σ PBDEs) dao động từ dưới giới hạn phát hiện đến 1,14 ng/m³ (trung bình là 0,418 ng/m³). BDE-209, BDE-207 và BDE-206 là các đồng loại được phát hiện thường xuyên nhất với tần suất phát hiện 64-75%. BDE-28, BDE-99 và BDE-47 được phát hiện trong một số mẫu. Trong khi, BDE-100, BDE-153, BDE-154, BDE-183, BDE-196, BDE-197 và BDE-203 không được tìm thấy trong bất kỳ mẫu không khí trong nhà nào.

BDE-209 là đồng loại chiếm ưu thế nhất với hàm lượng BDE-209 dao động từ dưới giới hạn phát hiện đến 0,904 ng/m³ (với giá trị trung bình 0,357 ng/m³) chiếm 78,1-90,5% (trung bình 85,5%) Σ PBDEs. Tiếp theo là các cấu tử BDE-206, BDE-207, BDE-99, BDE-28 và BDE-47 với hàm lượng rất thấp, lần lượt (trung bình \pm SD) là 0,024 \pm 0,016 ng/m³, 0,021 \pm 0,018 ng/m³, 0,010 \pm 0,030 ng/m³, 0,004 \pm 0,006 ng/m³ và 0,002 \pm 0,005 ng/m³ chiếm lần lượt 6,50 \pm 2,71%, 4,75 \pm 2,61%, 1,33 \pm 3,11%, 1,02 \pm 1,19% và 0,45 \pm 1,24% tổng hàm lượng PBDEs.

3.6.2. Sự hiện diện và phân bố của OPFRs trong không khí trong nhà ở Hà Nội

Tổng nồng độ OPFRs trong các mẫu không khí trong nhà dao động trong khoảng 42,3-358 ng/m³ với nồng độ trung bình là 144 ng/m³.

TCIPP là hợp chất chiếm ưu thế, được phát hiện trong tất cả các

mẫu không khí trong nhà với hàm lượng cao nhất, dao động từ 17,2-316 ng/m³ (trung bình là 108 ng/m³) chiếm 34,4-93,0% (trung bình 69,4%) tổng hàm lượng OPFRs. TBOEP là hợp chất phổ biến thứ hai với hàm lượng trung bình là 25,2 ng/m³ (dao động 0,116-125 ng/m³) chiếm trung bình 19,9% (dao động từ 0,056-52,0%) tổng hàm lượng OPFRs.

Các hợp chất OPFRs khác như TDCIPP, TPhP, TBP và TCEP cũng được phát hiện trong hầu hết các mẫu (DF 75-86 %) với nồng độ (trung bình \pm SD) tương đối thấp, lần lượt là $4,33 \pm 3,69$; $2,89 \pm 1,59$; $1,80 \pm 1,99$ và $1,23 \pm 2,67$ ng/m³ chiếm (trung bình \pm SD) lần lượt $5,10 \pm 5,67$; $3,10 \pm 2,62$; $1,13 \pm 0,93$ và $0,72 \pm 0,96$ % tổng hàm lượng OPFRs. Tuy nhiên, các hợp chất EHDPP, DBPP, TOCP và TMCP chỉ được phát hiện trong một số mẫu ở hàm lượng rất thấp với nồng độ trung bình $< 0,5$ ng/m³ chiếm tỉ lệ $< 0,35\%$ tổng hàm lượng OPFRs.

3.7. PBDEs và OPFRs trong bụi trong nhà ở Hà Nội

3.7.1. Sự hiện diện và phân bố của PBDEs trong bụi nhà ở Hà Nội

Hầu hết các hợp chất PBDEs nghiên cứu được phát hiện trong tất cả các mẫu bụi trong nhà với tổng hàm lượng PBDEs dao động trong khoảng 39,6-460 ng/g (trung bình là 186 ng/g). BDE-209 là đồng loại chiếm ưu thế nhất được phát hiện trong tất cả các mẫu bụi nhà với hàm lượng dao động 29,0-361 ng/g (trung bình 154 ng/g) chiếm 72,4-89,7% (trung bình 81,4%) tổng hàm lượng PBDEs. Hàm lượng BDE-209 cao hơn nhiều (gấp 1-3 bậc) so với PBDEs khác với mối tương quan gần như tuyệt đối giữa BDE-209 và Σ PBDEs (với hệ số tương quan Pearson $r = 0,993$; $p < 0,001$). Điều này cho thấy deca-BDE là một trong những hỗn hợp PBDEs được sử dụng rộng rãi nhất trong các sản phẩm tiêu dùng, thiết bị điện tử và đồ nội thất ở Việt Nam. Các đồng loại PBDEs có mức độ brom hóa thấp hơn góp phần nhỏ vào tổng hàm lượng của PBDEs trong bụi nhà, với hàm lượng (trung bình

\pm SD) của BDE-206, BDE-207, BDE-99, BDE-28 và BDE-47 lần lượt là $9,64 \pm 5,01$; $8,28 \pm 3,77$; $4,56 \pm 11,8$; $2,34 \pm 1,48$ và $1,83 \pm 1,31$ ng/g. Nồng độ các đồng loại PBDEs còn lại khác trong mẫu bụi rất nhỏ với nồng độ trung bình nhỏ hơn 1 ng/g.

3.7.2. Sự hiện diện và phân bố của OPFRs trong bụi nhà ở Hà Nội

Tổng hàm lượng các OPFRs phát hiện trong các mẫu bụi nhà dao động trong khoảng 1290-17500 ng/g (trung bình là 7850 ng/g). TCIPP và TBOEP là các hợp chất chiếm ưu thế nhất được phát hiện trong tất cả các mẫu bụi trong nhà với nồng độ lần lượt trong khoảng từ 442-8870 ng/g (trung bình 3640 ng/g) và 97-5920 ng/g (trung bình 2810 ng/g), đóng góp lần lượt (trung bình \pm SD) $45,7 \pm 15,9$ % và $34,5 \pm 17,0$ % vào tổng hàm lượng OPFRs trong bụi trong nhà. Hai hợp chất này có nồng độ cao hơn đáng kể so với các OPFRs còn lại, cho thấy ứng dụng phổ biến của các hợp chất trong các sản phẩm tiêu dùng và vật liệu xây dựng ở Việt Nam.

Các hợp chất đóng góp tương đối vào tổng hàm lượng OPFRs trong bụi nhà tiếp theo là TPhP và TDCIPP với nồng độ (trung bình \pm SD) lần lượt là 446 ± 319 ng/g và 290 ± 465 ng/g, lần lượt chiếm $6,28 \pm 3,35$ % và $4,84 \pm 6,46$ % tổng hàm lượng OPFRs.

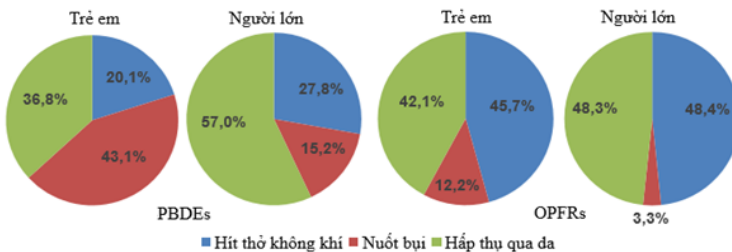
3.8. Đánh giá rủi ro phơi nhiễm của PBDEs và OPFRs trong bụi và không khí trong nhà

3.8.1. Ước tính lượng phơi nhiễm hàng ngày và sự đóng góp của các con đường phơi nhiễm

Tổng lượng phơi nhiễm ước tính hàng ngày ($EDI_{\text{tổng}}$) của PBDEs đối với trẻ em ở kịch bản phơi nhiễm trung bình và cao lần lượt là 1,24 và 4,12 ng/kg/ngày, cao hơn khoảng 4-5 lần so với giá trị phơi nhiễm ở người lớn trong cùng các tình huống (tương ứng là 0,262 và 1,16 ng/kg/ngày). Tương tự, $EDI_{\text{tổng}}$ của OPFRs đối với trẻ em ở kịch bản

phơi nhiễm trung bình và cao các lần lượt là 183 và 1020 ng/kg/ngày. Các giá trị này lớn hơn khoảng 4 lần so với giá trị phơi nhiễm ở người lớn trong cùng các tình huống (tương ứng là 50,5 và 266 ng/kg/ngày). Kết quả này cho thấy rằng trong môi trường trong nhà, trẻ em tiếp xúc với PBDEs và OPFRs cao hơn so với người lớn.

Sự đóng góp của các con đường phơi nhiễm PBDEs và OPFRs cho trẻ em và người lớn là tương đối khác nhau và được thể hiện ở hình 3.23.



Hình 3.23. Tỷ lệ đóng góp của các con đường phơi nhiễm

3.8.2. Đánh giá rủi ro không gây ung thư

Giá trị HI của cả PBDEs và OPFRs cho người lớn và trẻ em trong cả 2 tình huống phơi nhiễm dao động trong khoảng 0,004 - 0,085, thấp hơn nhiều so với 1. Do đó, rủi ro không ung thư là không đáng kể đối với cả người lớn và trẻ em do tiếp xúc với PBDEs và OPFRs qua bụi và không khí trong nhà.

3.8.3. Đánh giá rủi ro gây ung thư

Các giá trị LCR của BDE-209 và 4 OPFRs cho trẻ em và người lớn trong cả hai tình huống phơi nhiễm dao động lần lượt trong khoảng $5,31 \times 10^{-11}$ - $4,13 \times 10^{-11}$ và $4,55 \times 10^{-11}$ - $1,84 \times 10^{-7}$, đều nằm dưới mức chấp nhận được ($LCR < 10^{-6}$) ngay cả trong tình huống phơi nhiễm cao. Do đó, rủi ro gây ung thư của các hợp chất này trong bụi và không khí trong nhà là không đáng kể đối với cả trẻ em và người lớn sống ở đó.

KẾT LUẬN

1. Đã nghiên cứu phát triển và thẩm định thành công phương pháp chiết tách đồng thời các hợp chất PBDEs và OPFRs trong mẫu bụi và mẫu không khí trong nhà và phân tích trên thiết bị sắc ký khí ghép nối khối phổ (GC-MS).

2. Đã áp dụng quy trình phân tích để đánh giá sự phân bố của PBDEs và OPFRs trong các mẫu bụi và mẫu không khí trong nhà được thu thập từ các quận nội thành Hà Nội. Tổng hàm lượng PBDEs trong không khí và bụi trong nhà lần lượt dao động từ < MDL - 1,14 ng/m³ (trung bình 0,418 ng/m³) và từ 39,6 - 460 ng/g (trung bình 186 ng/g) với BDE-209 là hợp chất chiếm ưu thế. Tổng hàm lượng OPFRs trong không khí và bụi trong nhà lần lượt dao động từ 42,3 - 358 ng/m³ (trung bình 144 ng/m³) và từ 1290 - 17500 ng/g (trung bình 7850 ng/g) với TCIPP và TBOEP là các hợp chất chiếm ưu thế.

3. Rủi ro phơi nhiễm PBDEs và OPFRs trong bụi và không khí trong nhà đã được ước tính qua cả 3 con đường phơi nhiễm cho cả trẻ em và người lớn. Kết quả cho thấy, tổng lượng phơi nhiễm ước tính hàng ngày của PBDEs và OPFRs ở trẻ em cao hơn khoảng 4-5 lần so với ở người lớn. Hấp thụ qua da là con đường phơi nhiễm chính với các hợp chất PBDEs ở người lớn nhưng tiêu hóa là con đường phơi nhiễm chính với các hợp chất này ở trẻ em. Trong khi, hô hấp và hấp thụ qua da là con đường phơi nhiễm OPFRs chủ yếu ở cả trẻ em và người lớn. Con đường tiêu hóa chỉ đóng góp nhỏ vào sự phơi nhiễm OPFRs.

Các giá trị HQ, HI và LCR cho cả người lớn và trẻ em đều dưới ngưỡng chấp nhận ngay cả trong trường hợp phơi nhiễm cao, cho thấy mức độ rủi ro sức khỏe của các hợp chất này trong bụi và không khí trong nhà là không đáng lo ngại đối với người dân ở Hà Nội.

KIẾN NGHỊ

Nghiên cứu này bước đầu đánh giá sự hiện diện và phân bố các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong bụi và không khí trong nhà tại các quận nội thành Hà Nội cũng như những rủi ro phơi nhiễm các hợp chất này trong môi trường trong nhà đến sức khỏe người dân nơi đây. Để có được những đánh giá toàn diện về sự phơi nhiễm và rủi ro sức khỏe của các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong môi trường trong nhà cho người dân Việt nam cần phải có thêm các nghiên cứu mở rộng với số lượng mẫu, đối tượng, khu vực nghiên cứu (các tỉnh thành) và tần suất lấy mẫu. Bên cạnh đó, cần thêm các nghiên cứu phân tích xác định hàm lượng các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong các đối tượng khác như thực phẩm, nước uống... để đánh được sự phơi nhiễm tổng thể của người dân.

NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

1. Xây dựng thành công quy trình chiết tách đồng thời các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong bụi và không khí trong nhà và phân tích trên thiết bị GC-MS . Đây là báo cáo đầu tiên ở Việt Nam về việc chuẩn hóa phương pháp chiết tách và phân tích nhóm các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong bụi và không khí trong nhà.

2. Bước đầu đánh giá được sự hiện diện và phân bố của các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong bụi và không khí trong nhà tại các quận nội thành Hà Nội.

3. Là nghiên cứu đầu tiên đánh giá mức độ phơi nhiễm các chất chống cháy cơ brom và cơ phốt pho trong bụi và không khí trong nhà cho người lớn và trẻ em qua cả 3 con đường phơi nhiễm để có được đánh giá tổng thể về sự phơi nhiễm và những rủi ro sức khỏe của con người khi tiếp xúc với các hợp chất này trong môi trường trong nhà tại các quận nội thành Hà Nội.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Lê Trường Giang, Trịnh Thu Hà, **Hoàng Thị Tuệ Minh**, Dương Thị Hạnh (2020), *Tối ưu hóa quy trình chiết tách chất chống cháy cơ phốt pho ở mẫu bụi trong nhà và phân tích trên sắc ký khí kết nối khối phổ (GC/EI-MS)*, Tạp chí Phân tích Hóa, Lý và Sinh học, số 1, tập 25, trang 191-196.
2. **Minh Tue Thi Hoang**, Hanh Thi Duong, Giang Truong Le, Ha Thu Trinh (2020), *A pilot study of the determination of organophosphate flame retardants in indoor air*, Vietnam Journal of Science and Technology, vol 58 (5), p. 592-603.
3. **Minh Tue Thi Hoang**, Hoang Quoc Anh, Kiwao Kadokami, Hanh Thi Duong, Ha Mai Hoang, Tuyen Van Nguyen, Shin Takahashi, Giang Truong Le, Ha Thu Trinh (2021), *Contamination status, emission sources, and human health risk of brominated flame retardants in urban indoor dust from Hanoi, Vietnam: the replacement of legacy polybrominated diphenyl ether mixtures by alternative formulations*, Environmental Science and Pollution Research, vol. 28, pp. 43885-43896.
4. **Minh Tue Thi Hoang**, Giang Truong Le, Kadokami Kiwao, Hanh Thi Duong, Thang Quang Phan, Minh Quang Bui, Dung Anh Truong, Phuong Ha Doan, Ha Thu Trinh (2023), *Occurrence and risk of human exposure to organophosphate flame retardants in indoor air and dust in Hanoi, Vietnam*, Chemosphere, vol.328, 138597.
5. Dung Anh Truong, Ha Thu Trinh, Giang Truong Le, Thang Quang Phan, Hanh Thi Duong, Thien Thanh Lam Tran, Trung Quang Nguyen, **Minh Tue Thi Hoang**, Tuyen Van Nguyen (2023), *Occurrence and ecological risk assessment of organophosphate esters in surface water from rivers and lakes in urban Hanoi, Vietnam*, Chemosphere, vol.331, 138805.
6. **Minh Tue Thi Hoang**, Hanh Thi Duong, Thang Quang Phan, Ha Thu Trinh (2023), *Occurrence and human exposure risk assessment of brominated and organophosphate flame retardants in indoor dust in Hanoi, Vietnam*, Vietnam Journal of Science and Technology, vol 61 (4).