



Original Article

Analysis and Evaluation of Contamination Status of Polybrominated Diphenyl Ethers in Road Dust from Some Northern Vietnam Areas

Hoang Quoc Anh^{1,2}, Shin Takahashi², Vu Duc Nam³, Tran Manh Tri^{1,*}

¹*Faculty of Chemistry, VNU University of Science, 19 Le Thanh Tong, Hoan Kiem, Hanoi, Vietnam*

²*Center of Advanced Technology for the Environment (CATE), Graduate School of Agriculture, Ehime University, 3-5-7 Tarumi, Matsuyama 790-8566, Japan*

³*Center for Research and Technology Transfer, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet, Cau Giay, Hanoi, Vietnam*

Received 11 March 2019

Revised 10 May 2019; Accepted 24 May 2019

Abstract: Contamination levels and profiles of 36 decabromo congeners of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) were determined in road dust samples collected from an urban area, an industrial park, and a rural commune in northern Vietnam. Concentrations of PBDEs in the road dust samples decreased gradually as follows: urban area (mean 36, range 16–55 ng/g) > industrial area (6.4, 3.9–11 ng/g) > rural area (1.8, 0.91–3.6 ng/g). This trend suggests a clear urban-rural gradient of environmental occurrence of PBDEs in northern Vietnam. Concentrations of PBDEs were correlated with traffic density, reflecting vehicles as important emission sources of these brominated flame retardants in the outdoor environment. BDE-209 was the most predominant congener detected in almost all the samples, accounting for 61 to 90% with an average of 78% of total PBDEs. These profiles confirm the widespread application of deca-BDE mixtures in Vietnam. Human exposure and health risk related to dust-bound PBDEs were evaluated for residents and occupationally exposed persons (e.g., street sweepers, vendors, and traffic policemen) in the studied areas. Although the daily intake doses of selected PBDE congeners (e.g., BDE-47, -99, -153, and -209) were significantly lower than the reference doses, more comprehensive risk assessment should be conducted, especially for occupational groups and small children in the urban and industrial areas.

Keywords: PBDEs, BDE-209, road dust, urban area, industrial area, northern Vietnam.

*Corresponding author.

Email address: manhtri0908@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.4875>



Phân tích và đánh giá mức độ ô nhiễm của các Polybrom Diphenyl ete trong mẫu bụi đường tại một số khu vực ở miền Bắc Việt Nam

Hoàng Quốc Anh^{1,2}, Shin Takahashi², Vũ Đức Nam³, Trần Mạnh Trí^{1,*}

¹Khoa Hoá học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN
19 Lê Thánh Tông, Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

²Trung tâm Công nghệ Tiên tiến cho Môi trường (CATE), Đại học Ehime, 3-5-7 Tarumi,
Matsuyama 790-8566, Nhật Bản

³Trung tâm Nghiên cứu và chuyển giao công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam,
18 Hoàng Quốc Việt, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 11 tháng 3 năm 2019

Chỉnh sửa ngày 10 tháng 5 năm 2019; Chấp nhận đăng ngày 24 tháng 5 năm 2019

Tóm tắt: Trong báo cáo này, mức độ ô nhiễm và đặc trưng tích lũy của 36 đồng loại polybrom diphenyl ete (PBDEs) với số nguyên tử brom từ 2 đến 10 trong mẫu bụi đường thu thập tại một khu vực đô thị, một khu công nghiệp và một khu vực nông thôn ở miền Bắc Việt Nam đã được nghiên cứu, đánh giá. Nồng độ của PBDEs trong các mẫu bụi đường giảm theo thứ tự: khu vực đô thị (trung bình 36; khoảng 16–55 ng/g) > khu công nghiệp (6,4; 3,9–11 ng/g) > khu vực nông thôn (1,8; 0,91–3,6 ng/g). Xu hướng này chỉ ra sự khác biệt đáng kể trong mức nồng độ của PBDEs trong môi trường giữa khu vực đô thị, khu công nghiệp và khu vực nông thôn ở miền Bắc Việt Nam. Nồng độ PBDEs trong mẫu bụi đường có mối liên hệ chặt chẽ với mật độ giao thông, kết quả cho thấy phương tiện giao thông là một nguồn phát thải đáng kể của các chất chống cháy brom hữu cơ này ra môi trường. BDE-209 là đồng loại chính phát hiện được trong tất cả các mẫu, chiếm tỉ lệ từ 61 đến 90% (trung bình 78%) của nồng độ tổng PBDEs. Phổ tích lũy này góp phần chỉ ra những ứng dụng rộng rãi của các hỗn hợp deca-BDE trong các sản phẩm thương mại tại Việt Nam và là nguồn phát thải chính các đồng loại deca-BDE ra môi trường. Mức độ hấp thụ và rủi ro sức khỏe liên quan đến PBDEs trong bụi đường đã được đánh giá cho cư dân và một số nhóm đối tượng phơi nhiễm nghề nghiệp (ví dụ như công nhân quét đường, người bán hàng rong và cảnh sát giao thông) tại các khu vực nghiên cứu. Liều lượng hấp thụ của một số đồng loại PBDEs (như BDE-47, -99, -153 và -209) thấp hơn đáng kể so với các giá trị tham chiếu, cho thấy mức độ rủi ro tương đối thấp. Tuy nhiên, các nghiên cứu về đánh giá rủi ro tổng quát hơn cần tiếp tục được thực hiện, đặc biệt cần khảo sát trên các nhóm nghề nghiệp có nguy cơ phơi nhiễm cao PBDEs từ bụi đường và trẻ em tại khu vực đô thị và khu công nghiệp.

Từ khóa: PBDEs, BDE-209, road dust, urban area, industrial area, northern Vietnam.

*Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: manhtri0908@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.4875>

1. Giới thiệu

Polybrom diphenyl ete (PBDEs) là nhóm chất chống cháy brom hữu cơ (BFRs) điển hình, được áp dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như công nghiệp điện, điện tử, giao thông vận tải, xây dựng và các ngành sản xuất hàng tiêu dùng khác [1]. PBDEs được tổng hợp dưới 3 dạng thương phẩm chính là penta, octa và deca-BDE. Trong đó các hỗn hợp deca-BDE chiếm hầu hết nhu cầu thị trường tại các nước châu Á với tỉ lệ lên đến 90% tổng lượng PBDEs. PBDEs có các đặc tính như bền vững trong môi trường, khả năng phát tán xa, tích lũy sinh học và có độc tính đối với sinh vật và con người. Vì vậy cả 3 dạng thương phẩm của PBDEs đã được liệt kê vào Phụ lục A của Công ước Stockholm về các chất ô nhiễm hữu cơ khó phân hủy (POPs) trong các năm 2009 và 2017. Theo đó, các nước thành viên của Công ước, trong đó có Việt Nam, đều phải ngừng các hoạt động sản xuất và sử dụng PBDEs, hướng tới loại bỏ hoàn toàn các hợp chất này.

Việt Nam không trực tiếp sản xuất PBDEs. Tuy nhiên các hợp chất này đã được phát hiện trong một số nguồn phát thải, ví dụ như rác thải điện tử (e-waste) và phương tiện giao thông hết hạn sử dụng (ELV); cũng như các môi trường tiếp nhận (như không khí, bụi, đất, trầm tích, sinh vật) tại Việt Nam [2-7]. Các nghiên cứu trước đây đã phát hiện một số nguồn phát thải PBDEs liên quan đến hoạt động xử lý rác thải, ví dụ như hoạt động tái chế e-waste tự phát tại một số làng nghề [3,4,7], hoạt động chôn lấp rác thải lộ thiên tại các bãi rác sinh hoạt [5], và hoạt động tháo dỡ ELV [6]. Tuy nhiên, các nghiên cứu trước đó cho thấy thông tin về mức độ ô nhiễm PBDEs trong mẫu bụi đường tại Việt Nam còn rất hạn chế. Bụi đường được cho là môi trường tích lũy nhiều nhóm chất ô nhiễm hữu cơ khác nhau từ nhiều nguồn phát thải, phản ánh tình trạng ô nhiễm hiện tại và có thể sử dụng làm chỉ thị cho các đánh giá rủi ro liên quan đến sức khỏe môi trường và con người [8-10]. Vì vậy việc nghiên cứu sự tồn tại của nhóm chất POPs điển hình như PBDEs trong mẫu bụi đường là rất cần thiết.

Trong nghiên cứu này, các mẫu bụi ngoài đường tại 3 khu vực đại diện ở miền Bắc Việt

Nam, bao gồm: một khu vực đô thị ở Hà Nội (HN-U), một khu công nghiệp thuộc tỉnh Thái Nguyên (TN-I) và một xã nông nghiệp thuộc tỉnh Bắc Giang (BG-R) được tiến hành thu thập và nghiên cứu. Các mẫu bụi được phân tích nhằm đánh giá mức nồng độ và đặc trưng tích lũy của PBDEs, cung cấp những thông tin sơ bộ và cập nhật về nguồn phát thải và xu hướng phân bố của chúng trong môi trường tại một số khu vực ở miền Bắc nước ta. Ngoài ra, nguy cơ phơi nhiễm PBDEs trong bụi đường cũng được đánh giá cho cư dân và một số đối tượng phơi nhiễm nghề nghiệp (ví dụ như công nhân vệ sinh đô thị, người bán hàng rong hay cảnh sát giao thông) tại các khu vực nghiên cứu.

2. Thực nghiệm

2.1. Thu thập mẫu phân tích

Các mẫu bụi đường được thu thập trong tháng 8 và tháng 9 năm 2016. Tại Hà Nội, 5 địa điểm đại diện là các trục đường chính trên địa bàn các quận Hoàn Kiếm, Hai Bà Trưng, Đống Đa, Thanh Xuân và Long Biên đã được lựa chọn nghiên cứu. Tại Thái Nguyên, các mẫu được lấy tại khu công nghiệp Sông Công I, trên trục đường Cách Mạng Tháng 10, thành phố Thái Nguyên. Các mẫu thuộc khu vực nông thôn được lấy trên các mặt đường rải bê tông dẫn ra ruộng lúa ở xã Mai Đình, huyện Hiệp Hòa, tỉnh Bắc Giang. Các khu vực được khảo sát trong nghiên cứu này được đặc trưng bởi các yếu tố kinh tế xã hội như mức độ đô thị hóa, công nghiệp hóa và các hoạt động kinh tế. Trong đó, khu vực đô thị ở Hà Nội có mật độ dân số và giao thông cao nhất với các hoạt động chủ yếu là thương mại. Khu công nghiệp Sông Công I nằm cách Hà Nội 60 km về hướng bắc, là khu công nghiệp đầu tiên của tỉnh Thái Nguyên. Các lĩnh vực sản xuất chính tại khu công nghiệp này bao gồm: luyện kim, tinh chế quặng, cơ khí, vật liệu xây dựng, dệt may và lắp ráp linh kiện điện tử. Khu vực nông thôn trong nghiên cứu này nằm cách Hà Nội 50 km về hướng đông bắc với hoạt động kinh tế chủ đạo là sản xuất nông nghiệp.

Các mẫu bụi được lấy bằng phương pháp quét thủ công. Mỗi mẫu nghiên cứu là một mẫu gộp gồm 5 vị trí trên mặt đường, trong phạm vi $0,5 \times 1$ m tính từ lề đường. Các mẫu sau khi lấy được gói trong phoi nhôm đã tráng rửa bằng các dung môi như *n*-hexan và acetone, giữ kín trong túi PE ziplock và bảo quản ở nhiệt độ phòng trong điều kiện tối. Trước khi phân tích, các mảnh vật liệu lớn như xác thực vật, sỏi đá, kim loại, tóc được loại bỏ. Sau đó, mẫu tiếp tục được sàng qua rây có kích thước 100 μ m và trộn đều để đồng nhất.

2.2. Phân tích PBDEs trong mẫu bụi

Mẫu bụi (khoảng 1 g) được thêm chất đồng hành (monoflo FBDE-15, -99, -183, -208, và $^{13}\text{C}_{12}$ -BDE-209) và chiết siêu âm lần lượt với 10 mL acetone và 10 mL hỗn hợp acetone/hexan (1:1, v/v) sử dụng đầu dò phát siêu âm (VCX 130, Sonic & Materials, Inc.). Các phần dịch chiết được gộp lại, cô đặc và chuyển vào dung môi *n*-hexan. Dịch chiết được xử lý với acid sulfuric 98% và làm sạch trên cột thủy tinh chứa 3 g silica gel (đã được hoạt hóa 3 h ở 130 °C) và 1 g natri sunfat khan. PBDEs được rửa giải từ cột silica gel bằng 80 mL hỗn hợp diclometan/hexan (5:95, v/v). Dịch rửa giải được cô đặc và thêm chất nội chuẩn FBDE-154 trước khi phân tích trên GC/MS. Chất chuẩn được cung cấp bởi Wellington Laboratories và AccuStandard. Các hóa chất và dung môi sử dụng trong nghiên cứu này đều ở mức tinh khiết cho phân tích dư lượng PCBs và được cung cấp bởi Wako Pure Chemical Industries, Ltd.

Các chất phân tích (BDE-7, -10, -15, -17, -28, -30, -47, -49, -66, -77, -85, -99, -100, -119, -126, -138, -139, -140, -153, -154, -156, -171, -180, -183, -184, -191, -196, -197, -201, -203, -204, -205, -206, -207, -208 và -209) được tách và định lượng trên hệ thống GCMS-QP2010 Ultra (Shimadzu) với cột tách DB-5ht (15 m \times 0,25 mm \times 0,1 μ m; Agilent Technologies) và khí mang heli. Nhiệt độ của công bơm mẫu là 260 °C. Chương trình nhiệt độ của lò cột được cài đặt như sau: giữ ở 135 °C trong 1 min, tăng đến 215 °C (với tốc độ 10 °C/min), đến 275 °C (5 °C/min), đến 295 °C (20 °C/min, giữ 0,5 min) và tăng đến

310 °C (20 °C/min, giữ 4 min). Chế độ ion hóa hóa học âm (NCI) được áp dụng với khí phản ứng là metan. Nhiệt độ interface và nguồn ion lần lượt là 310 và 250 °C. Dữ liệu phổ được quan sát và thu thập bởi chế độ quan sát chọn lọc ion (SIM). Các ion được quan sát bao gồm: 79,0/81,0 và 158,8/160,8 (Br^- và HBr_2^- cho tất cả các chất phân tích); 406,6/408,6 và 486,5/488,5 ($\text{C}_6\text{HBr}_4\text{O}^-$ và $\text{C}_6\text{Br}_5\text{O}^-$ cho các hepta- đến deca-BDEs); 426,5/428,5 ($\text{C}_6\text{FBr}_4\text{O}^-$ cho FBDE-208); và 496,6/498,5 ($^{13}\text{C}_6\text{Br}_5\text{O}^-$ cho $^{13}\text{C}_{12}$ -BDE-209). Độ chính xác của phương pháp phân tích được xác nhận dựa trên kết quả phân tích mẫu thêm chuẩn và mẫu chuẩn (Standard Reference Material[®] 2585; NIST, Gaithersburg, MD, USA) với tỉ lệ nồng độ đo được và nồng độ thêm chuẩn hoặc giá trị chứng nhận nằm trong khoảng 80 đến 105% và RSD < 15% (n = 3). Độ thu hồi của các chất đồng hành dao động trong khoảng 70 đến 120%. Giới hạn phát hiện (GHPH) của các chất di- đến nona-BDEs nằm trong khoảng 0,010 đến 0,050 ng/g. GHPH của BDE-209 là 0,50 ng/g.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Nồng độ PBDEs trong mẫu bụi

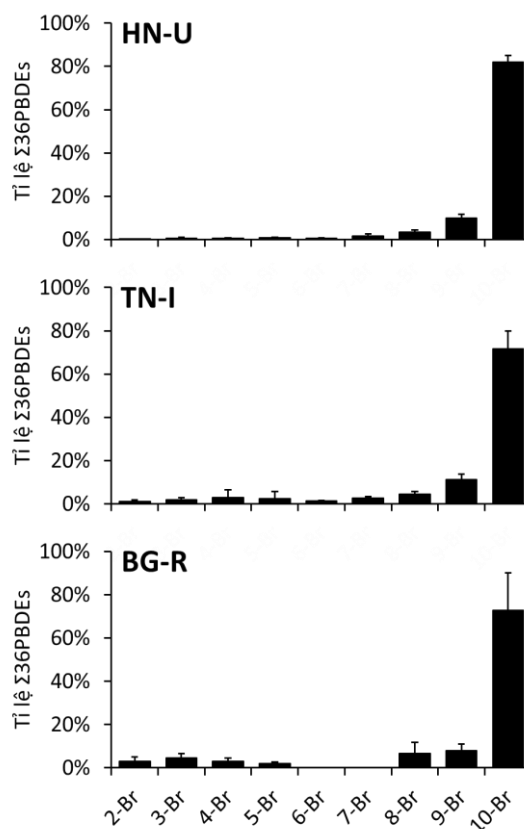
PBDEs được phát hiện trong tất cả các mẫu của nghiên cứu này, chứng tỏ sự phổ biến của chúng trong môi trường. Các đồng loại phát hiện được với tần suất 100% là BDE-15, -17, -28, -30, -47, -49, -196, -201, -203, -206 và -209. Nồng độ (trung bình và khoảng) của 36 PBDEs ($\Sigma 36\text{PBDEs}$) trong các mẫu bụi đường tại Hà Nội, Thái Nguyên và Bắc Giang lần lượt là 36 (16–55); 6,4 (3,9–11) và 1,8 (0,91–3,6) ng/g. Nồng độ PBDEs trong mẫu bụi tại các khu vực nghiên cứu có sự khác biệt đáng kể: HN-U > TN-I > BG-R (Mann-Whitney U-test; $p < 0,05$). Sự khác biệt này phản ánh mức độ ô nhiễm của PBDEs trong môi trường có liên quan đến quá trình đô thị hóa và công nghiệp hóa ở Việt Nam. BDE-209 là đồng loại quan trọng nhất phát hiện được trong tất cả các mẫu với nồng độ (trung bình và khoảng) trong các mẫu HN-U, TN-I và BG-R lần lượt là 30 (12–47); 4,7 (2,7–8,6) và 1,4 (0,56–3,2) ng/g. Trong khi đó nồng độ của các di- đến nona-BDEs ($\Sigma 35\text{PBDEs}$) là 6,1 (3,5–

8,2); 1,7 (1,2–2,6) và 0,38 (0,32–0,46) ng/g trong các mẫu HN-U, TN-I và BG-R, tương ứng.

Các nghiên cứu về hàm lượng PBDEs trong mẫu bụi đường tại Việt Nam nói riêng và các nước trong khu vực Đông Nam Á nói chung, còn rất hạn chế. Nồng độ PBDEs trong mẫu bụi ngoài đường của nghiên cứu này thấp hơn so với các giá trị đo được trên nền mẫu tương tự tại Xinxiang (111; 59,1–217 ng/g) [8] và Thượng Hải, Trung Quốc (73,4; 6,71–342,1 ng/g) [9] hay tại Pakistan (418; 1,02–1791 ng/g) [10]. Bụi đường, đặc biệt là các hạt có kích thước nhỏ, qua các quá trình rửa trôi bởi nước mưa có thể được vận chuyển vào môi trường đất hoặc hệ thống thoát nước rồi lắng đọng thành lớp trầm tích. Do đó, sự có mặt của PBDEs trong đất và trầm tích có một phần được đóng góp từ bụi đường. Mức nồng độ nền của PBDEs trong mẫu đất và trầm tích tại Việt Nam nhìn chung tương đối thấp. Li và cs. (2016) đã báo cáo khoảng nồng độ PBDEs từ 0,20–2,4 ng/g trong các mẫu đất thu thập tại một số tỉnh thành trong cả nước [11]. Mức nồng độ PBDEs từ dưới GHPH đến 9,62 ng/g đã được tìm thấy trong mẫu trầm tích tại khu vực đầm Thị Nại, miền Trung Việt Nam [12]. Hàm lượng PBDEs trong mẫu bụi đường của nghiên cứu này nhìn chung cao hơn so với giá trị đo được trong các mẫu đất và trầm tích ở các khu vực không có nguồn phát thải đặc biệt đối với PBDEs, góp phần khẳng định bụi đường là một môi trường tích lũy đặc trưng đối với PBDEs, đặc biệt tại các khu vực có mức độ đô thị hóa và công nghiệp hóa cao.

3.2. Đặc trưng tích lũy của PBDEs

Đặc trưng tích lũy trong mẫu bụi đường của các PBDEs phân loại theo nhóm đồng phân với số nguyên tử brom từ 2 đến 10 được thể hiện trên Hình 1. Trong các mẫu bụi đường của nghiên cứu này, BDE-209 là đồng loại quan trọng nhất, chiếm tỉ lệ từ 61% đến 90% (trung bình 78%) trong $\Sigma 36$ PBDEs. Phổ tích lũy PBDEs với tỉ lệ cao của BDE-209 phát hiện được trong các mẫu bụi đường trong báo cáo này phù hợp với các nghiên cứu trước đây trên các đối tượng môi trường khác nhau ở Việt Nam như không khí, đất, trầm tích và bụi trong nhà [4-7].



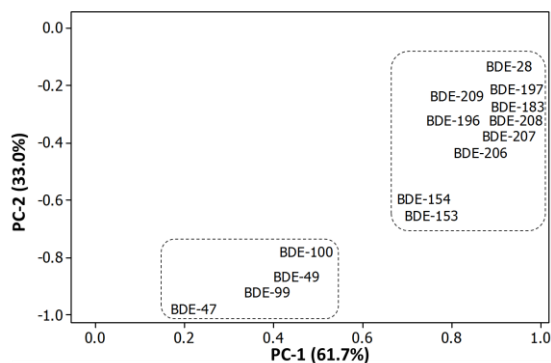
Hình 1. Đặc trưng tích lũy của PBDEs trong mẫu bụi đường tại miền Bắc Việt Nam: khu vực đô thị ở Hà Nội (HN-U), khu công nghiệp ở Thái Nguyên (TN-I) và khu vực nông thôn ở Bắc Giang (BG-R).

Các nhóm đồng phân quan trọng khác là nona-BDEs và octa-BDEs với tỉ lệ (trung bình và khoảng) lần lượt là 10% (3% đến 14%) và 5% (2% đến 12%). Phần trăm của các nhóm đồng phân còn lại (di- đến hepta-BDEs) nhìn chung thấp. Tỉ lệ của các nhóm đồng phân có số nguyên tử brom từ 2 đến 5 trong các mẫu lấy tại khu công nghiệp và khu vực nông thôn cao hơn so với khu vực đô thị tại Hà Nội. Phổ tích lũy của PBDEs phát hiện được trong các mẫu của chúng tôi góp phần khẳng định sự áp dụng rộng rãi của các sản phẩm chứa hỗn hợp deca-BDE thương mại.

3.3. Đánh giá nguồn phát thải của PBDEs

Một số tỉ lệ đồng loại trong mẫu bụi đường được ước tính và so sánh với tỉ lệ tìm thấy trong các hỗn hợp PBDEs thương mại phổ biến [13].

Do nhiều đồng loại trong các mẫu lấy tại BG-R có nồng độ thấp hơn GHPH, chúng tôi chủ yếu tính toán tỉ lệ đồng loại cho các mẫu lấy tại HN-U và TN-I. Tỉ lệ BDE-99/47 và -153/154 có giá trị trung bình và khoảng lần lượt là 1,1 (0,6 đến 1,5) và 2,1 (1,0 đến 3,5). Tỉ lệ này khá phù hợp với giá trị được công bố trong các hỗn hợp penta-BDE như DE-71 và Bromkal 70-5DE. Tỉ lệ của BDE-183/197 có giá trị trung bình 1,4 (1,2 đến 1,8) và nằm trong khoảng tỉ lệ phát hiện được trong các hỗn hợp octa-BDE như DE-79 và Bromkal 79-8DE. Tỉ lệ BDE-206/209 và -207/209 trong mẫu bụi của chúng tôi tương tự với hỗn hợp Bromkal 82-0DE hơn so với hỗn hợp Saytex 102 E. Tuy nhiên tỉ lệ BDE-208/209 trong mẫu bụi đường (0,05 đến 0,052) cao hơn đáng kể so với tỉ lệ này trong các hỗn hợp deca-BDE, góp phần xác nhận quá trình debrom hóa quang hóa của BDE-209, đặc biệt là dưới tác động của tia tử ngoại [14].



Hình 2. Đồ thị loading plot của phép phân tích thành phần chính (PCA) trên tập số liệu nồng độ PBDEs trong mẫu bụi đường tại miền Bắc Việt Nam.

Tập số liệu nồng độ PBDEs trong mẫu bụi đường được đánh giá một cách tổng quát bằng một số công cụ thống kê như phân tích tương quan Pearson và phân tích thành phần chính (PCA) (Hình 2). Kết quả phân tích cho thấy mối tương quan chặt chẽ của nhóm các đồng loại có số nguyên tử brom cao từ 7 đến 10, khẳng định chúng có nguồn gốc tương tự trong các hỗn hợp PBDEs thương mại có tỉ trọng cao như deca- và octa-BDE. Ngoài ra các đồng loại PBDEs có số nguyên tử brom thấp hơn như BDE-15, -17, -28,

-30, -47, -49, -99 và -100 cũng thể hiện mối liên hệ tương quan (hệ số Pearson $r > 0,5$ đến $r > 0,9$; $p < 0,05$). Các kết quả này góp phần xác nhận nguồn phát thải phức tạp của PBDEs từ các dạng penta-, octa- và deca-BDE thương mại, cũng như quá trình debrom hóa của các PBDEs phân tử khối cao, đặc biệt là BDE-209 trong môi trường.

Nghiên cứu của chúng tôi cũng tìm ra mối liên hệ giữa mật độ giao thông và mức nồng độ PBDEs trong mẫu bụi đường, phản ánh nguồn phát thải PBDEs từ hoạt động giao thông [8]. Các hỗn hợp PBDEs thương mại được áp dụng rộng rãi trong lĩnh vực giao thông vận tải. Các hỗn hợp penta-, octa- và deca-BDE được sử dụng chủ yếu để làm chất chống cháy cho đệm và nhiều vật liệu polyme khác nhau sử dụng trong công nghệ chế tạo phương tiện giao thông [15]. Nồng độ tương đối cao của PBDEs cũng được phát hiện trong một số vật liệu nội thất của phương tiện giao thông trong nghiên cứu trước đây [7]. Từ các kết quả khảo sát bước đầu này, chúng tôi cho rằng ngoài lĩnh vực điện và điện tử với mức độ sử dụng PBDEs cao thì lĩnh vực giao thông vận tải cũng là đối tượng cần được kiểm soát đối với các chất ô nhiễm hữu cơ bền vững này.

3.4. Đánh giá rủi ro phơi nhiễm PBDEs trong bụi

Liều lượng hấp thụ hàng ngày (ID, ng/kg/ngày) của PBDEs trong bụi đường được ước tính dựa trên công thức sau:

$$ID = (C \times F \times IR) / \text{Trọng lượng}$$

Trong đó C là nồng độ của PBDEs trong bụi đường, F là phần thời gian, chủ yếu liên quan đến quá trình di chuyển trên đường và IR là lượng bụi hấp thụ trong một ngày. Đối với nhóm đối tượng phơi nhiễm nghề nghiệp, F có giá trị 10/24 bao gồm 8 h làm việc và 2 h di chuyển; giá trị IR tương ứng là 0,5 và 0,05 g/ngày. Đối với các đối tượng khác, F_i có giá trị 2/24; IR cho người lớn và trẻ em lần lượt là 0,05 và 0,2 g/ngày. Các giá trị IR sử dụng trong nghiên cứu này được lựa chọn ở mức kịch bản phơi nhiễm xấu nhất, do chúng tôi ước đoán từ hiện trạng ô nhiễm khói bụi cao ở khu vực đô thị. Trọng lượng đối với người lớn và trẻ em là 60 và 15 kg.

Giá trị ID trung bình của $\Sigma 36$ PBDEs trong bụi đường ước tính cho các nhóm đối tượng phơi nhiễm nghề nghiệp, trẻ em và người lớn lần lượt là 17; 7,6 và 2,8 pg/kg/ngày. Các giá trị này cho thấy trẻ em và nhóm đối tượng phơi nhiễm nghề nghiệp có nguy cơ hấp thụ lượng PBDEs trong bụi cao hơn đáng kể so với đại bộ phận cư dân. Tuy nhiên, các giá trị ID này vẫn thấp hơn đáng kể so với các liều lượng hấp thụ tham chiếu (RfD) của một số đồng loại như BDE-47, -99, -153, và -209 với giá trị lần lượt là 100, 100, 200 và 7000 ng/kg/ngày. Qua đó cho thấy rủi ro sức khỏe liên quan đến hấp thụ bụi đường ô nhiễm bởi PBDEs đối với cư dân sống tại các khu vực nghiên cứu của chúng tôi là không nghiêm trọng. Tuy nhiên, nếu so sánh với lượng PBDEs hấp thụ tổng quát (bao gồm các nguồn phơi nhiễm như không khí, thực phẩm và bụi trong nhà) ước tính cho người dân ở Hà Nội là 110 pg/kg/ngày thì mức hấp thụ của nhóm đối tượng phơi nhiễm nghề nghiệp do tiếp xúc với bụi đường là tương đối quan trọng (chiếm đến 13%) [4]. Vì vậy các biện pháp bảo hộ lao động phù hợp cho các nhóm đối tượng này là cần thiết và phải được trang bị đầy đủ, nhằm hạn chế các rủi ro sức khỏe liên quan đến các chất ô nhiễm tích lũy trong bụi đường.

4. Kết luận

Nghiên cứu này cung cấp những thông tin khảo sát và đánh giá sơ bộ về mức độ ô nhiễm và đặc trưng phân bố của PBDEs trong mẫu bụi đường tại một số khu vực đại diện ở miền Bắc Việt Nam. Các kết quả thu được góp phần chỉ ra sự phân bố rộng rãi của các chất ô nhiễm này trong môi trường tại nước ta, đặc biệt tại các khu vực có mức độ đô thị hóa và công nghiệp hóa cao. Nồng độ của PBDEs đo được trong các mẫu bụi đường giảm theo thứ tự: khu vực đô thị (trung bình 36; khoảng 16–55 ng/g) > khu công nghiệp (6,4; 3,9–11 ng/g) > khu vực nông thôn (1,8; 0,91–3,6 ng/g). Nguồn phát thải PBDEs liên quan đến phương tiện giao thông và các hoạt động vận tải cũng được phát hiện thông qua đối tượng chỉ thị môi trường khá đặc trưng là bụi đường. Liều lượng phơi nhiễm $\Sigma 36$ PBDEs trung

bình qua con đường ăn nuốt bụi đường ước tính cho các nhóm đối tượng phơi nhiễm nghề nghiệp, trẻ em và người lớn lần lượt là 17; 7,6 và 2,8 pg/kg/ngày. Nhìn chung, liều lượng phơi nhiễm PBDEs trong bụi đường của nghiên cứu này nhìn chung tương đối thấp so với liều lượng hấp thụ tam chiều (RfD).

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Hà Nội trong đề tài mã số QG.19.17.

Tài liệu tham khảo

- [1] R.J. Law, A. Covaci, S. Harrad, D. Herzke, M.A.E. Abdallah, K. Fernie, L.M.L. Toms, H. Takigami, Levels and trends of PBDEs and HBCDs in the global environment: status at the end of 2012, *Environ. Int.* 65 (2014) 147-158. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2014.01.006>.
- [2] N.H. Minh, T.B. Minh, N. Kajiwara, H. Iwata, P.H. Viet, N.P.C. Tu, B.C. Tuyen, S. Tanabe, Contamination by polybrominated diphenyl ethers and persistent organochlorines in catfish and feed from Mekong River Delta, Vietnam, *Environ. Toxicol. Chem.* 25 (2006) 2700-2709. <https://doi.org/10.1897/05-600R.1>.
- [3] N.M. Tue, A. Sudaryanto, T.B. Minh, T. Isobe, S. Takahashi, P.H. Viet, S. Tanabe, Accumulation of polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants in breast milk from women living in Vietnamese e-waste recycling sites, *Sci. Total Environ.* 408 (2010) 2155-2162. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.01.012>.
- [4] N.M. Tue, S. Takahashi, G. Suzuki, T. Isobe, P.H. Viet, Y. Kobara, N. Seike, G. Zhang, A. Sudaryanto, S. Tanabe, Contamination of indoor dust and air by polychlorinated biphenyls and brominated flame retardants and relevance of non-dietary exposure in Vietnamese informal e-waste recycling sites, *Environ. Int.* 51 (2013) 160-167. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.11.006>.
- [5] A. Eguchi, T. Isobe, K. Ramu, N.M. Tue, A. Sudaryanto, G. Devanathan, P.H. Viet, R.S. Tana, S. Takahashi, A. Subramanian, S. Tanabe, Soil contamination by brominated flame retardants in open waste dumping sites in Asian developing countries, *Chemosphere* 90 (2013) 2365-2371. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.10.027>.

- [6] S. Takahashi, N.M. Tue, C. Takayanagi, L.H. Tuyen, G. Suzuki, H. Matsukami, P.H. Viet, T. Kunisue, S. Tanabe, PCBs, PBDEs and dioxin-related compounds in floor dust from an informal end-of-life vehicle recycling site in northern Vietnam: contamination levels and implications for human exposure, *Journal of Material Cycles and Waste Management* 19 (2017) 1333-1341. <https://doi.org/10.1007/s10163-016-0571-3>.
- [7] H.Q. Anh, V.D. Nam, T.M. Tri, N.M. Ha, N.T. Ngoc, P.T.N. Mai, D.H. Anh, N.H. Minh, N.A. Tuan, T.B. Minh, Polybrominated diphenyl ethers in plastic products, indoor dust, sediment and fish from informal e-waste recycling sites in Vietnam: a comprehensive assessment of contamination, accumulation pattern, emissions, and human exposure, *Environ. Geochem. Health* 39 (2017) 935-954. <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9865-6>.
- [8] Z. Cao, L. Zhao, J. Kuang, Q. Chen, G. Zhu, K. Zhang, S. Wang, P. Wu, X. Zhang, X. Wang, S. Harrad, J. Sun, Vehicles as outdoor BFR sources: Evidence from an investigation of BFR occurrence in road dust, *Chemosphere* 179 (2017) 29-36. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.095>.
- [9] M.H. Wu, J.C. Pei, M. Zheng, L. Tang, Y.Y. Bao, B.T. Xu, R. Sun, Y.F. Sun, G. Xu, J.Q. Lei, Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in soil and outdoor dust from a multi-functional area of Shanghai: levels, compositional profiles and interrelationships, *Chemosphere* 118 (2015) 87-95. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.06.022>.
- [10] M.U. Khan, J. Li, G. Zhang, R.N. Malik, New insight into the levels, distribution and health risk diagnostic of indoor and outdoor dust-bound FRs in colder, rural and industrial zones of Pakistan, *Environ. Pollut.* 216 (2016) 662-674. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.030>.
- [11] W.L. Li, W.L. Ma, H.L. Jia, W.J. Hong, H.B. Moon, H. Nakata, N.H. Minh, R.K. Sinha, K.H. Chi, K. Kannan, E. Sverko, Y.L. Li, Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in surface soils across five Asian countries: levels, spatial distribution, and source contribution, *Environ. Sci. Technol.* 50 (2016) 12779-12788. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04046>.
- [12] S. Romano, R. Piazza, C. Mugnai, S. Giuliani, L.G. Bellucci, N.H. Cu, M. Vecchiato, S. Zambon, D.H. Nhon, M. Frignani, PBDEs and PCBs in sediments of the Thi Nai Lagoon (Central Vietnam) and soils from its mainland, *Chemosphere* 90 (2013) 2396-2402. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.10.067>.
- [13] M.J. La Guardia, R.C. Hale, E. Harvey, Detailed polybrominated diphenyl ether (PBDE) congener composition of the widely used penta-, octa- and deca-PBDE technical flame-retardant mixtures, *Environ. Sci. Technol.* 40 (2006) 6247-6254. <https://doi.org/10.1021/es060630m>.
- [14] Y. Pan, D.C.W. Tsang, Y. Wang, Y. Li, X. Yang, The photodegradation of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in various environmental matrices: Kinetics and mechanisms, *Chem. Eng. J.* 297 (2016) 74-96. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.03.122>.
- [15] J. Li, Y. Chen, W. Xiao, Polybrominated diphenyl ethers in articles: a review of its applications and legislation, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 24 (2017) 4312-4321. <https://doi.org/10.1007/s11356-015-4515-6>.