

Đánh giá rủi ro sinh thái của các chất polybrom diphenyl ete trong trầm tích đối với sinh vật đáy tại một số khu vực ở miền Bắc Việt Nam

Từ Bình Minh^{1*}, Hoàng Quốc Anh¹, Trần Mạnh Trí¹,
Lê Sĩ Hưng¹, Phạm Thị Ngọc Mai¹, Nguyễn Thúy Ngọc²

¹Khoa Hóa học, 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),
Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Ngày nhận bài 4/3/2016, ngày chuyển phản biện 8/3/2016, ngày nhận phản biện 4/4/2016, ngày chấp nhận đăng 11/4/2016

Trong nghiên cứu này, các tác giả xác định hàm lượng và đặc trưng phân bố của các Polybrom diphenyl ete (PBDEs) trong trầm tích mặt đối với sinh vật đáy thu thập từ một số khu vực ở miền Bắc nước ta. Hàm lượng PBDEs trong tất cả các mẫu trầm tích nằm trong khoảng 1,31 đến 1715 ng/g trọng lượng khô với giá trị trung bình 324 ng/g. Nồng độ (giá trị trung bình và khoảng) của 8 đồng loại PBDEs trong các mẫu trầm tích tại làng Triều Khúc, Hà Nội; làng Bùi Dâu, Hưng Yên và một số làng nghề thủ công ở Bắc Ninh lần lượt là: 537 (363-864); 432 (1,31-1715) và 2,89 (1,77-3,87) ng/g. Các đồng loại chủ yếu phát hiện được là BDE-209 và BDE-99. Mẫu trầm tích lấy tại một số khu tái chế rác thải điện tử tự phát ở Triều Khúc và Bùi Dâu có mức độ ô nhiễm PBDEs cao hơn so với các khu vực khác. Điều này cho thấy, tái chế rác là một nguồn phát thải PBDEs đáng lưu ý. Rủi ro sinh thái của PBDEs trong trầm tích đối với sinh vật đáy (*Daphnia magna*) tại các khu vực nghiên cứu được đánh giá thông qua giá trị hệ số rủi ro (RQ) cho từng đồng loại. Phần lớn các RQ đều nằm trong khoảng giá trị $0 < RQ \leq 100$ (trùng ứng với mức không có rủi ro đến có khả năng rủi ro đáng kể), tuy nhiên trong một số ít mẫu tại Triều Khúc và Bùi Dâu có giá trị RQ của các đồng loại như BDE-99, -100, -183 và -209 tương đối cao, cho thấy các chất này có khả năng gây ra ảnh hưởng tiêu cực đối với sinh vật đáy.

Từ khóa: đánh giá rủi ro sinh thái, hệ số rủi ro, PBDEs, sinh vật đáy, trầm tích.

Chỉ số phân loại 1.4

Đặt vấn đề

PBDEs là nhóm các chất ô nhiễm hữu cơ khó phân hủy (POPs) “mới” họ brom, được sử dụng làm chất chống cháy trong các loại vật liệu polyme như nhựa, chất dẻo, cao su, tơ sợi, sơn [1]. Từ các vật liệu này, PBDEs có mặt trong nhiều sản phẩm tiêu dùng, đặc biệt là các thiết bị điện, điện tử, đồ nhựa gia dụng, đồ nội thất, phương tiện giao thông, đồ bảo hộ lao động [2]. Độ độc cấp tính của các PBDEs tương đối thấp nhưng chúng lại có khả năng tích lũy sinh học và gây ra các tác động tiêu cực đến cơ thể con người và động vật, ví dụ như ảnh hưởng đến hệ nội tiết, gây độc thần kinh, gan, suy giảm miễn dịch, ảnh hưởng đến sự sinh sản, phát triển và được xếp vào nhóm chất có khả năng gây ung thư [3]. Do tác động độc hại của PBDEs đối với hệ sinh thái là rất nghiêm trọng, trong khi các chất này lại được sử dụng rất phổ biến, năm 2009, Công

ước Stockholm đã đưa một số nhóm PBDEs có số nguyên tử brom cao (bao gồm các nhóm TetraBDEs, PentaBDEs, HexaBDEs, HeptaBDEs với số nguyên tử brom từ 4 đến 7) vào danh sách các chất POPs bị cấm sử dụng [4].

Đối với môi trường trầm tích, sự tích lũy DecaBDE trên phạm vi toàn cầu kéo theo những mối lo ngại về sự hình thành các sản phẩm để brom hóa. Tại Thái Hồ (Trung Quốc), lượng DecaBDE tích lũy trong trầm tích được kiểm kê ước tính lên đến 26,3 tấn. DecaBDE cũng chiếm tỷ lệ nổi trội so với các PBDEs khác trong trầm tích tại Canada, Đài Loan, Hàn Quốc, Indonesia, cửa sông Clyde tại Anh, cửa sông Scheldt tại Pháp, biển Bering trên Thái Bình Dương và biển Chukchi trên Bắc Băng Dương. Dưới tác động của một số loài động vật thủy sinh như Polychaete, các PBDEs nằm trong lớp trầm tích sâu đến 50 cm so với bề mặt

*Tác giả liên hệ: Email: tubinhminh@gmail.com

Ecotoxicological risk assessment of polybrominated diphenyl ethers in sediment on benthic organisms at some areas of the Northern Vietnam

Summary

In this study, the authors determined levels and patterns of Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in surface sediment samples collected from some areas in the Northern Vietnam. Concentration of PBDEs in all samples ranged from 1.31 to 1715 ng/g dry weight with mean value as 324 ng/g. Concentrations (mean and range) of total 8 most popular PBDEs congeners in sediment from Trieu Khuc village, Hanoi; Bui Dau village, Hung Yen province and some craft villages in Bac Ninh province were 537 (363-864); 432 (1.31-1715) and 2.89 (1.77-3.87) ng/g, respectively. The most predominant congeners in sediment were BDE-209 and BDE-99. The relatively high levels of PBDEs in sediment from informal e-waste recycling sites in Trieu Khuc and Bui Dau in comparison with those from non-recycling areas suggested that recycling activities were making potential sources of PBDEs emission. The ecotoxicological risks of sedimentary PBDEs on benthic organisms (*Daphnia magna*) in studied areas were evaluated by the estimation of risk quotient for each congeners. Risk quotients of most samples were in range of $0 < RQs \leq 100$ (equals to no significant risk or potential for adverse effects); however, in rarely extraordinary sites such as Trieu Khuc and Bui Dau, high value of RQs for some congeners such as BDE-99, -100, -183 and -209 indicated that potential adverse effects should be expected.

Keywords: benthic organism, ecotoxicological risk assessment, PBDEs, risk quotient, sediment.

Classification number 1.4

cũng có thể di động và quay trở lại môi trường, hiện tượng này dẫn đến nguy cơ hình thành các sản phẩm đề brom hóa độc hơn ngay cả với DecaBDE đã bị vùi lấp [5]. Tuy trầm tích không phải là môi trường trực tiếp dẫn đến sự phơi nhiễm PBDEs đối với con người nhưng các nghiên cứu về rủi ro sinh thái của PBDEs trong trầm tích trên các loài động vật thủy sinh đã được tiến hành do sự tồn tại của các hợp chất này trong trầm tích và nước có ảnh hưởng nhất định đến sinh vật đáy, qua đó tích lũy lâu dài trong chuỗi thức ăn và có thể gây ra rủi ro đối với con người [6-8].

Tại Việt Nam, cơ sở dữ liệu về mức độ ô nhiễm của PBDEs trong trầm tích cũng như các nghiên cứu về rủi ro sinh thái của các chất độc này còn rất hạn chế. PBDEs đã được phát hiện với mức hàm lượng tương đối thấp tại đầm Thị Nại, miền Trung (mẫu ô nhiễm nhất có nồng độ tổng PBDEs 9,62 ng/g) hoặc tại hệ thống sông và kênh rạch ở Hà Nội (nồng độ trung bình 1,33 và khoảng nồng độ từ 0,03 đến 17,5 ng/g) [8, 9]. Mức độ ô nhiễm PBDEs cao hơn đã được xác định trong trầm tích tại khu vực có hoạt động tái chế rác thải điện tử tự phát ở làng Bùi Dâu, Hưng Yên với khoảng hàm lượng từ 100 đến 350 ng/g, cho thấy rác thải điện tử là nguồn phát thải PBDEs đáng lưu ý [10].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành phân tích hàm lượng và đánh giá rủi ro sinh thái của các PBDEs trong đối tượng là mẫu trầm tích thu thập từ 3 khu vực thuộc các tỉnh, thành phố ở phía Bắc là Hà Nội, Bắc Ninh và Hưng Yên, để ước tính giá trị RQ và bước đầu đánh giá nguy cơ ô nhiễm và những rủi ro của PBDEs đối với sinh vật đáy.

Thực nghiệm

Thu thập mẫu

Mẫu trầm tích mặt được thu thập tại các khu tái chế rác thải điện tử ở làng Triều Khúc, Thanh Trì, Hà Nội (n=4) và làng Bùi Dâu, Mỹ Hào, Hưng Yên (n=4); và các làng nghề thủ công với hoạt động chính là dệt nhuộm và làm giấy ở Bắc Ninh (n=4) trong thời gian từ năm 2012 đến 2015. Mỗi mẫu phân tích là một mẫu gộp tại 5 vị trí cách nhau từ 0,5 đến 1 m, dọc theo hệ thống kênh dẫn nước, là nơi tiếp nhận trực tiếp dòng nước thải từ các cơ sở có hoạt động tái chế ở

Triều Khúc và Bùi Dâu hoặc cơ sở dệt và làm giấy ở Bắc Ninh. Mẫu sau khi được trộn đều trên khay inox sạch được chuyển vào túi PE kín và đưa về phòng thí nghiệm, bảo quản trong điều kiện lạnh sâu (-18°C) đến khi phân tích.

Phương pháp phân tích

Mẫu trầm tích được xử lý dựa trên quy trình tham khảo của một số nghiên cứu trước đây được công bố bởi Đại học Ehime, Nhật Bản với một vài thay đổi nhỏ [11]. Mẫu trầm tích được làm khô đến khối lượng không đổi ở nhiệt độ phòng, tránh ánh sáng, sau đó được nghiền mịn trong cối sứ và rây qua sàng có kích thước $150\ \mu\text{m}$. Khoảng 5 g trầm tích khô được thêm chất chuẩn đồng hành đánh dấu đồng vị $^{13}\text{C}_{12}$ -PBDEs và chiết 2 lần, mỗi lần với 50 ml hỗn hợp axeton : hexan (1:1, v/v) sử dụng máy lắc (30 phút) và hỗ trợ rung siêu âm (10 phút). Các phần dịch chiết được gộp lại, cô quay chân không, xử lý bằng axit sunfuric đặc và làm sạch trên cột silicagel đa lớp, cột silicagel đơn lớp, loại lưu huỳnh bằng phoi đồng hoạt hóa và cô đặc dưới dòng khí nitơ nhẹ. Chất nội chuẩn đánh dấu đồng vị $^{13}\text{C}_{12}$ -PCBs được thêm vào dung dịch cuối cùng trước khi phân tích trên hệ thống GC/MS.

Các đồng loại PBDEs phân tích (bao gồm BDE-28, -47, -99, -100, -153, -154, -183 và -209) được tách trên hệ thống sắc ký khí 7890A GC (Agilent, Mỹ) và cột mao quản silica Rtx® - 1614, dài $15\ \text{m} \times$ đường kính trong $0,25\ \text{mm} \times$ lớp film pha tĩnh $0,1\ \mu\text{m}$ (Restek, Mỹ) dùng khí mang Heli. Mẫu phân tích được nạp vào hệ thống ở chế độ bơm không chia dòng, bơm mẫu tự động với thể tích bơm $1\ \mu\text{l}$, nhiệt độ của bơm mẫu 250°C . Chương trình nhiệt độ của lò cột: giữ ở 70°C trong 2 phút, tăng đến 300°C ($20^{\circ}\text{C}/\text{phút}$) và giữ 2 phút. Sau khi tách, các chỉ tiêu PBDEs được định tính và định lượng bởi khối phổ kế Inert XL EI/CI MSD with Triple-Axis Detector (Agilent, Mỹ) ở chế độ ion hóa va đập electron và chế độ quan sát chọn lọc ion (SIM).

Phương pháp luận đánh giá rủi ro sinh thái của PBDEs trong trầm tích đối với sinh vật đáy

Rủi ro sinh thái của các PBDEs được đánh giá thông qua giá trị RQ trên một số loài sinh vật đáy [6-8].

Giá trị RQ cho từng đồng loại PBDEs trong trầm tích được ước tính dựa trên phương pháp luận được đưa ra bởi Cristale và cs (2013) [6]. Theo đó, RQ của PBDEs đối với sinh vật đáy (*Daphnia magna*) được tính toán dựa trên công thức sau:

$$\text{RQ} = \text{MEC} / (\text{EC}_{50} / f)$$

Trong đó: EC_{50} (mg/l) là nồng độ PBDEs trong nước lở rỗng cân bằng với trầm tích có ảnh hưởng đến 50% số lượng cá thể, giá trị này được tham khảo từ các nghiên cứu trước đây [6, 12, 13]; f là hệ số an toàn (security factor) hay hệ số không đảm bảo (uncertainty factor), thông thường giá trị của $f = 1000$ [7]; MEC là nồng độ PBDEs đo được trong môi trường nước (ng/l), được tính thông qua nồng độ PBDEs trong trầm tích và một số hệ số [14]:

$$\text{MEC} = C_s / (f_{oc} \cdot K_{oc})$$

Trong đó: C_s là hàm lượng PBDEs trong trầm tích (ng/kg); f_{oc} là % cacbon hữu cơ tính cho trầm tích, lấy bằng 0,1 hay 10% [6]; K_{oc} là hệ số phân bố của PBDEs đối với cacbon hữu cơ trong trầm tích, trường hợp này có thể lấy $K_{oc} \approx K_{ow}$, tức là hệ số phân bố PBDEs giữa octanol và nước.

Từ giá trị RQ tính toán theo công thức trên, rủi ro sinh thái đối với sinh vật đáy từ PBDEs trong trầm tích được đánh giá như sau [15]:

$\text{RQ} < 1,0$: không có rủi ro;

$1,0 \leq \text{RQ} < 10,0$: có khả năng rủi ro mức thấp;

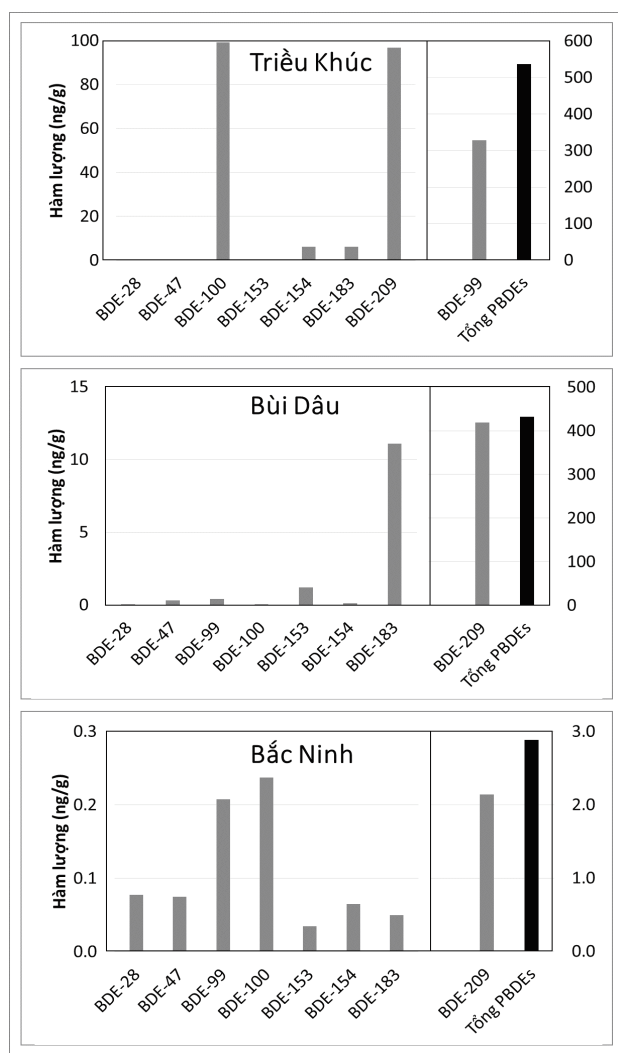
$10,0 \leq \text{RQ} < 100,0$: có khả năng rủi ro đáng kể;

$\text{RQ} \geq 100,0$: có khả năng ảnh hưởng tiêu cực.

Kết quả và bàn luận

Mức độ ô nhiễm PBDEs trong trầm tích tại một số khu vực ở miền Bắc

Hàm lượng PBDEs tổng trong tất cả các mẫu trầm tích của nghiên cứu này có giá trị trung bình $324\ \text{ng/g}$, nằm trong khoảng nồng độ khá rộng, từ 1,31 đến $1715\ \text{ng/g}$. Hàm lượng trung bình của từng đồng loại và hàm lượng PBDEs tổng của 3 địa điểm khảo sát được đưa ra trong hình 1.



Hình 1: hàm lượng PBDEs trong trầm tích tại Triều Khúc, Bùi Dâu và Bắc Ninh

Hàm lượng PBDEs tổng trong các mẫu trầm tích tại Triều Khúc, Bùi Dâu và Bắc Ninh có giá trị trung bình và khoảng lần lượt là 537 (363-864); 432 (1,31-1715) và 2,89 (1,77-3,87) ng/g trọng lượng khô. Như vậy Triều Khúc, một làng nghề với hoạt động chính là thu gom và tái chế nhựa từ rác thải sinh hoạt ở vùng ngoại thành Hà Nội có mức hàm lượng PBDEs trong trầm tích cao nhất, tương đương với khu tái chế rác thải điện tử tự phát ở Bùi Dâu, Hưng Yên và cao hơn so với khu vực không có hoạt động tái chế nhựa ở Bắc Ninh từ 150-190 lần. Mẫu có hàm lượng PBDEs thấp nhất và cao nhất đều được thu thập tại Bùi Dâu. Hàm lượng PBDEs trung bình tại các khu vực tái chế trong nghiên cứu này là 484 ng/g, tương đương với mức hàm lượng do Matsukami và cs (2015) phân tích

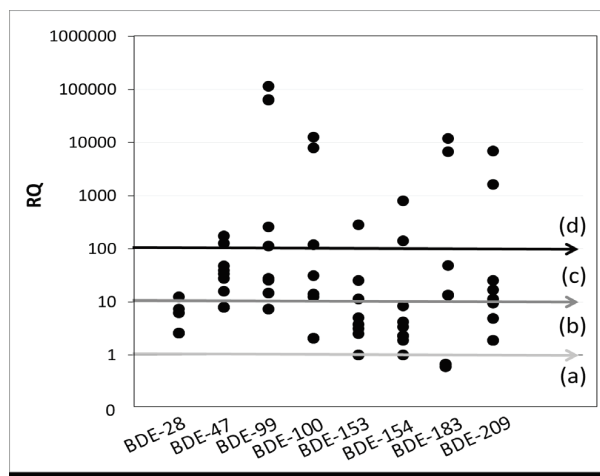
được trong trầm tích tại cùng khu vực Bùi Dâu và cao hơn mức trung bình trong trầm tích tại hệ thống sông hồ ở Hà Nội khoảng 360 lần [8, 10]. Mức độ ô nhiễm PBDEs trong trầm tích tại khu vực Triều Khúc và Bùi Dâu (Việt Nam) cao hơn đáng kể so với bùn thải và trầm tích tại khu tập trung rác thải Benowo, Surabaya, Indonesia (0,075-45,4 ng/g) [16]; tương đương với khu tập trung và tái chế rác thải điện tử ở Guiyu, Quảng Đông, Trung Quốc (0,26-824 ng/g) [17]; nhưng thấp hơn so với các mẫu trầm tích lấy ở bờ sông Nanyang, tỉnh Quảng Đông, gần khu vực tập trung rác và đốt rác lộ thiên (4434-16088 ng/g) [18] hoặc mẫu ở hồ nhân tạo Shihwa, Hàn Quốc, chịu ảnh hưởng của khu liên hợp công nghiệp với khoảng 13000 công ty (1,3-18700 ng/g) [19].

Phổ tích lũy của các đồng loại PBDEs trong trầm tích có sự khác biệt rõ rệt ở 2 khu tái chế rác thải. Ở Triều Khúc, BDE-99 là đồng loại chính chiếm đến hơn 50% hàm lượng tổng, tiếp theo là BDE-100 $\approx$ BDE-209 > BDE-154 $\approx$ BDE-183. Ở Bùi Dâu, BDE-209 chiếm tỷ lệ gần như tuyệt đối (trên 90% ở 3/4 mẫu), tiếp theo là BDE-183, các PBDEs với số brom thấp hơn chiếm tỷ lệ rất nhỏ. Tại khu vực không có hoạt động tái chế ở Bắc Ninh, BDE-209 chiếm tỷ lệ cao nhất (trên 70%), tiếp đó là BDE-100 và BDE-99. Sự có mặt của BDE-209 với tần suất phát hiện và tỷ lệ cao gần như tuyệt đối trong nhiều mẫu trầm tích đã cung cấp thêm thông tin về nguồn gốc sử dụng hỗn hợp thương mại DecaBDE trong lĩnh vực điện, điện tử ở Việt Nam nói riêng và các nước châu Á nói chung.

Đánh giá rủi ro sinh thái của PBDEs trong trầm tích đối với sinh vật đáy

RQ của từng đồng loại PBDEs đối với sinh vật đáy (*Daphnia magna*) được ước tính cho các mẫu trầm tích tại một số khu vực ở miền Bắc, kết quả được thể hiện trên hình 2. Đa số các mẫu đều có giá trị RQ nằm trong khoảng giá trị $0 < RQ \leq 100$, tương đương với mức không có rủi ro đến có khả năng rủi ro đáng kể. Các đồng loại có giá trị RQ cao bất thường ở một số vị trí lấy mẫu như BDE-99, BDE-100 và BDE-183. Với cùng phương pháp luận đánh giá rủi ro, nồng độ PBDEs trong trầm tích càng cao thì hệ số rủi ro và mức độ rủi ro tương ứng sẽ càng cao. Ví dụ, đối với một

mẫu trầm tích lấy tại Triều Khúc với hàm lượng BDE-99 là 621 ng/g, cao nhất trong tất cả các mẫu phân tích trong nghiên cứu này thì giá trị RQ tính được lên đến cỡ 10^5 . Trong khi đó, các đồng loại với số brom thấp như BDE-28 và BDE-47, do có nồng độ thấp và ở mức dưới giới hạn phát hiện của phương pháp trong nhiều mẫu thì giá trị RQ tương đối thấp. Tại 2 khu tái chế rác thải là Bùi Dâu và Triều Khúc, mỗi khu có 1 mẫu trầm tích phát hiện được khả năng ảnh hưởng tiêu cực của BDE-209 đối với sinh vật đáy với RQ tương ứng là $6,9 \cdot 10^3$ và $1,6 \cdot 10^3$; các mẫu còn lại đều không tồn tại ảnh hưởng tiêu cực đáng kể nào.



Hình 2: RQ của các PBDEs trong trầm tích đối với động vật thủy sinh (*Daphnia magna*): (a) không có rủi ro; (b) có khả năng rủi ro ở mức thấp; (c) có khả năng rủi ro đáng kể; (d) có khả năng ảnh hưởng tiêu cực

RQ của PBDEs trong nghiên cứu này có giá trị cao hơn so với các nghiên cứu tương tự được thực hiện trên đối tượng trầm tích mặt ở hệ thống sông hồ của Hà Nội [8] hoặc trầm tích các sông Arga, Nalón, Besòs, ở vùng núi thuộc Tây Ban Nha, nơi ít chịu ảnh hưởng của hoạt động con người [6]. Ảnh hưởng tiêu cực của PBDEs và các chất chống cháy phenolic họ brom đối với một số loài động vật thủy sinh như cá, daphnia hay khuẩn lam cũng đã được xác định ở khu vực tháo dỡ rác thải điện tử ở miền Nam Trung Quốc với giá trị RQ tổng lên đến 10^3 - 10^4 [7]. Các kết quả trong nghiên cứu này đã chỉ ra sự tồn tại của những rủi ro đối với hệ sinh thái của các PBDEs trong trầm tích tại một số khu tái chế rác thải tự phát ở miền Bắc nước ta nói riêng, cũng như hoạt động tái chế rác thải nói chung.

Kết luận

Mức độ ô nhiễm và phổ tích lũy đặc trưng của PBDEs, nhóm chất độc hữu cơ “mới” từng được sử dụng phổ biến làm chất chống cháy, đã được xác định trong đối tượng trầm tích tại một số khu vực ở miền Bắc nước ta với các hoạt động đặc trưng như tái chế rác thải và làng nghề thủ công. Rủi ro sinh thái và các tác động tiêu cực của PBDEs đến sinh vật đáy cũng đã được phát hiện trong một số địa điểm có mức độ ô nhiễm PBDEs tương đối cao ở Triều Khúc và Bùi Dâu. Kết quả từ nghiên cứu này đã bổ sung thêm những thông tin cần thiết và cập nhật cho cơ sở dữ liệu còn hạn chế về PBDEs trong môi trường tại Việt Nam, đặc biệt là ở các khu tái chế rác thải điện tử tự phát.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện nhờ sự hỗ trợ kinh phí của Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ quốc gia (NAFOSTED) thông qua đề tài “Đánh giá mức độ phát thải và ô nhiễm môi trường của các hợp chất hữu cơ khó phân hủy mới họ brom (PBDEs)”, mã số 104.07-2012.74. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

Tài liệu tham khảo

- [1] European Brominated Flame Retardant Industry Panel (1990), *The European Brominated Retardant Panel*.
- [2] World Health Organization (1994), *International Programme on Chemical Safety Environmental Health Criteria 162 - Brominated diphenyl ethers*.
- [3] US Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2004), *Toxicological Profile for PBBs and PBDEs*.
- [4] UNIDO, UNITAR, Stockholm Convention, UNEP (2012), *Guidance for the inventory of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*.
- [5] Law, R.J. A. Covaci, S. Harrad, D. Herzke, M.A.E. Abdallah, K. Fernie, L.M.L. Toms, H. Takigami (2014), “Levels and trends of PBDEs and HBCDs in the global environment: Status at the end of 2012”, *Environment International*, **65**, pp.147-158.
- [6] J. Cristale, A.G. Vázquez, C. Barata, S. Lacorte (2013), “Priority and emerging flame retardants in rivers: Occurrence in water and sediment, *Daphnia* magnatoxicity and risk assessment”, *Environment International*, **59**, pp.232-243.
- [7] J. Xiong, T. An, C. Zhang, G. Li (2014), “Pollution profiles and risk assessment of PBDEs and phenolic brominated flame retardants in water environments within a typical electronic waste dismantling region”, *Environ Geochem Health*, DOI:10.1007/s10653-014-9658-8.

- [8] P.T.N. Mai, N.V. Thuong, T.T. Tham, N.K. Hoang, H.Q. Anh, T.M. Tri, L.S. Hung, D.T. Nhung, V.D. Nam, N.T.M. Hue, N.T.A. Huong, D.H. Anh, N.H. Minh, T.B. Minh (2015), "Distribution, accumulation profile, and risk assessment of polybrominated diphenyl ethers in sediment from lake and river systems in Hanoi Metropolitan Area, Vietnam", *Environ Sci Pollut Res*, DOI:10.1007/s11356-015-5235-7.
- [9] S. Romano, R. Piazza, C. Mugnai, S. Giuliani, L.G. Bellucci, N.H. Cu, M. Vecchiato, S. Zambon, D.H. Nhon, M. Frignani (2013), "PBDEs and PCBs in sediments of the Thi Nai Lagoon (Central Vietnam) and soils from its mainland", *Chemosphere*, **90**, pp.2396-2402.
- [10] H. Matsukami, N.M. Tue, G. Suzuki, M. Someya, L.H. Tuyen, P.H. Viet, S. Takahashi, S. Tanabe, H. Takigami (2015), "Flame retardant emission from e-waste recycling operation in northern Vietnam: Environmental occurrence of emerging organophosphorus esters used as alternatives for PBDEs", *Science of the Total Environment*, **514**, pp.492-499.
- [11] A. Eguchi, T. Isobe, K. Ramu, S. Tanabe (2011), "Optimisation of the analytical method for octa-, nona- and decabrominated diphenyl ethers using gas chromatography-quadrupole mass spectrometry and isotope dilution", *Int. J. Environ. Anal. Chem*, **91**, pp.348-356.
- [12] R. Davies, E. Zou (2012), "Polybrominated diphenyl ethers disrupt molting in neonatal *Daphnia magna*", *Ecotoxicology*, **21**, pp.1371-1380.
- [13] Ministry of the Environment, Government of Japan (2013), *Profiles of the initial environmental risk assessment of chemicals. Decabromodiphenyl ether*.
- [14] D.M. Di Toro, C.S. Zarba, D.J. Hansen, W.J. Berry, R.C. Swartz, C.E. Cowan (1991), "Technical basis for establishing sediment quality criteria for nonionic organic chemicals using equilibrium partitioning", *Environmental Toxicology and Chemistry*, **10**, pp.1541-1583.
- [15] R.S. Wentsel, T.W. La Point, M. Simini, R.T. Checkai, D. Ludwig, L. Brewer (1996), *Tri-service procedural guidelines for ecological risk assessments*, Aberdeen Proving Ground, MD. US Army Edgewood Research, Development, and Engineering Center.
- [16] M. Ilyas, A. Sudaryanto, I.E. Setiawan, A.S. Riyadi, T. Isobe (2013), "Characterization of polychlorinated biphenyls and polybrominated flame retardants in sludge, sediment and fish from municipal dumpsite at Surabaya, Indonesia", *Chemosphere*, **93**, pp.1500-1510.
- [17] D. Wang, Z. Cai, G. Jiang, A. Leung, M.H. Wong, W.K. Wong (2005), "Determination of polybrominated diphenyl ethers in soil and sediment from an electronic waste recycling facility", *Chemosphere*, **60**, pp.810-816.
- [18] Q. Luo, W. Cai, M.H. Wong (2007), "Determination of polybrominated diphenyl ethers in freshwater fishes from a river polluted by e-wastes", *Science of the Total Environment*, **383**, pp.115-127.
- [19] H.B. Moon, M. Choi, J. Yun, R.H. Jung, H.G. Choi (2012), "Contamination and potential sources of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in water and sediment from the artificial Lake Shihwa", *Korean Chemosphere*, **88**, pp.837-843.