

# Đánh giá mức độ ô nhiễm các độc tố hữu cơ khó phân hủy nhóm hydrocacbon thơm đa vòng (PAHs) trong trầm tích sông hồ Hà Nội, Việt Nam

Occurrence of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Sediments from Some Rivers in Hanoi, Vietnam

*Phùng Thị Vĩ, Nguyễn Thúy Ngọc, Trương Thị Kim, Nguyễn Thị Quỳnh, Nguyễn Thị Mai, Dương Hồng Anh, Phạm Hùng Việt\**

*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc Gia Hà Nội*

*Đến Tòa soạn: 01-12-2017; chấp nhận đăng: 20-3-2019*

## Tóm tắt

Nghiên cứu này khảo sát sự có mặt của các hydrocacbon thơm đa vòng (PAHs) trong các mẫu trầm tích được thu thập từ một số sông hồ Hà Nội. Tổng hàm lượng PAHs nằm trong khoảng từ 155 đến 5.505 ng/g. Hàm lượng các cấu tử PAHs được phát hiện trong nghiên cứu này hầu như đều thấp hơn so với các chỉ tiêu chất lượng trầm tích theo QCVN 43: 2012/BTNMT ngoại trừ dibenzo[a,h]anthracene (vượt ngưỡng cho phép từ 1,13 đến 4,69 lần). Thành phần các cấu tử PAHs trong mẫu trầm tích cho thấy sự ưu thế của các cấu tử có khối lượng phân tử lớn và chỉ ra nguồn gốc của chúng từ dầu mỏ và quá trình đốt cháy. Các kết quả của nghiên cứu đã góp phần cung cấp dữ liệu về sự có mặt và bước đầu xác định nguồn gốc của PAHs trong mẫu trầm tích được thu thập từ sông hồ.

Từ khóa: PAHs, trầm tích, sông hồ.

## Abstract

This study investigated the occurrence of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediment samples collected from some rivers in Hanoi. The total PAH concentrations varied from 155 to 5505 ng/g. PAH concentrations detected in the present study were mostly less than the existing sediment quality criteria according to QCVN 43: 2012/BTNMT but dibenzo[a,h]anthracene (exceeded allowable limits from 1.13 to 4.69 times). The PAH composition patterns in sediment samples suggest the dominance of high molecular weight compounds and indicate important pyrolytic and petrogenic sources. The results of this study contributed to the data on the occurrence and initial identification of the sources of PAH in sediment samples from some rivers in Hanoi.

Keywords: polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), sediment, river.

## 1. Giới thiệu

Trong những thập niên gần đây, các hydrocarbon thơm đa vòng (PAHs) đã và đang thu hút sự chú ý đáng kể do những tác động tiêu cực của chúng tới hệ sinh thái và sức khỏe con người. PAHs là các chất ô nhiễm hữu cơ nguy hiểm độc hại, bao gồm 16 chất được Tổ chức bảo vệ môi trường Hoa Kỳ (EPA) liệt vào danh sách ưu tiên kiểm soát bởi chúng có khả năng gây ung thư, gây quái thai, gây đột biến và bền vững trong môi trường [1, 2]. PAHs phát sinh chủ yếu từ các hoạt động của con người (đốt than công nghiệp và dân dụng, phát thải xe cộ, đốt rơm rạ,...) và sau đó vận chuyển vào môi trường đô thị, làm tăng thêm hàm lượng của chúng theo khu vực địa lý. Các con sông chảy qua đô thị là một phần quan trọng của hệ thống đô thị, hoạt động như một

nơi tiếp nhận các chất gây ô nhiễm chuyển vào môi trường xung quanh [3]. Với sự gia tăng dân số và mở rộng đô thị, lượng nước mặt, nước thải sinh hoạt và nước thải công nghiệp đã tăng lên đáng kể. Theo đó, một lượng lớn PAHs được vận chuyển đến tầng nước và tích lũy trong trầm tích [4, 5].

Ở Việt Nam, nhiên liệu hóa thạch như xăng, dầu, than đá, than cốc, gỗ... vẫn được sử dụng rộng rãi phục vụ cho nhu cầu sinh hoạt và sản xuất. Việc các nhiên liệu hóa thạch đốt cháy không hoàn toàn có khả năng sinh ra PAHs [6]. Các chất này phát tán chủ yếu vào môi trường không khí lúc ban đầu. Do đó, các chất ô nhiễm PAHs được phân bố rộng khắp vào hệ sinh thái thông qua sự khuếch tán và lắng đọng của môi trường không khí. Trầm tích được coi là môi trường lưu trữ cuối cùng của chúng ngoại trừ các loài sinh vật. Hiện nay, hệ thống sông hồ Hà Nội gồm sông Tô Lịch, Kim Ngưu, Nhuệ, Lừ và Sét đang tiếp nhận nước thải sinh hoạt, nước thải từ hoạt động sản

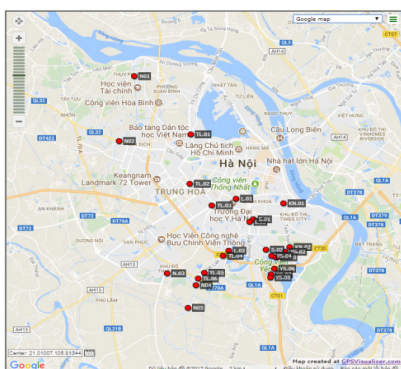
\*Địa chỉ liên hệ: Tel: (+84) 913.572.589  
Email: phamhungviet@hus.edu.vn

xuất đã được xử lý, chưa được xử lý và nước mưa của toàn thành phố. Với mục tiêu đánh giá mức độ ô nhiễm và tìm ra nguồn gốc các hợp chất hữu cơ bền vững như PAHs trong trầm tích tại một số sông, hồ Hà Nội, chúng tôi đã tiến hành thu thập mẫu và phân tích 16 PAHs theo tiêu chuẩn EPA quy định bằng kỹ thuật chiết lỏng rắn áp suất cao (PLE) và định lượng bằng thiết bị sắc ký khí khối phổ (GC-MS). Nghiên cứu này tiếp nối các nghiên cứu về PAHs trước đó trong các đối tượng bụi khí đô thị và trầm tích tại khu tái chế rác thải điện tử [7-10].

## 2. Thực nghiệm

### 2.1. Vị trí lấy mẫu

Các mẫu trầm tích mặt được lấy vào tháng 8 năm 2016 tại các sông: sông Tô Lịch (6 mẫu), sông Nhuệ (5 mẫu), sông Kim Ngưu (2 mẫu), sông Sét (2 mẫu), sông Lừ (3 mẫu) và hồ Yên Sở (7 mẫu). Trầm tích sông, hồ được lấy bằng thiết bị lấy mẫu chuyên dụng và là trầm tích mặt. Mẫu được bọc trong giấy nhôm, bảo quản mát ở 4 °C và được chuyển về phòng thí nghiệm.



Hình 1. Bản đồ lấy mẫu trầm tích

### 2.2. Hóa chất, thiết bị

Tất cả hóa chất đều là loại tinh khiết phân tích của Merck: natrisunphat, n-hexan, diclometan, silicagel. Chuẩn hỗn hợp (QTM PAH) gồm 16 PAHs: naphthalen, acenaphthylen, acenaphthen, fluoren, phenanthren, anthracen, fluoranthen, pyren, benzo(a)anthracen, chrysen, benzo(b)fluoranthen, benzo(k) fluoranthen, benzo(a)pyren, indeno(1,2,3-c,d)pyren, dibenzo(a,h)anthracen, benzo(g,h,i)perylene; chất nội chuẩn: hỗn hợp gồm naphthalen-d8, acenaphthylen-d8, phenanthren-d10, anthracene-d10, fluoranthene-d10, benzo(a)anthracen-d12, benzo(e)pyrene-d12, dibenzo(g,h,i)pyrene-d12, dibenzo(a,i)pyrene-d12; chất đồng hành: chrysen-d12.

Điều kiện chạy máy GC-MS: nhiệt độ cổng bơm mẫu : 260°C, nhiệt độ nguồn ion: 230°C; cột tách BPX5: 60m(chiều dài) x 0,25µm (đường kính trong)

x 0,25µm (độ dày pha tĩnh); chương trình nhiệt độ: 60°C (1 phút) - 200°C - 220°C (3 phút) - 260°C (5 phút) - 290°C (3 phút) - 320°C (15 phút) với tốc độ gia nhiệt lần lượt là 15; 3; 10; 15 và 3°C/phút. Tổng thời gian phân tích: 60 phút.

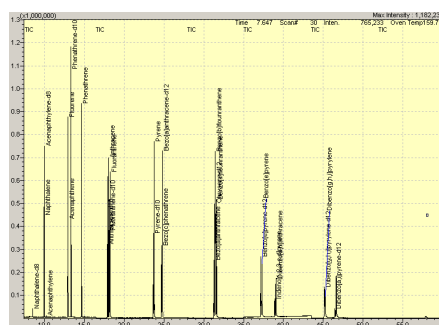
Dụng cụ, thiết bị được sử dụng trong nghiên cứu gồm gầu lấy mẫu trầm tích mặt; Máy lắc (Kika-KS250, Labortechnike, Đức); Máy siêu âm (Transsonic-700/H, Elma, Đức); Máy li tâm lạnh (Rotina 35R, Hettich, Đức), thiết bị cát quay chân không (Buchi, Thụy Sĩ); thiết bị phân tích sắc ký khí ghép nối khối phổ GC-MS 2010 (Shimadzu, Nhật Bản).

### 2.3. Quy trình phân tích

5g mẫu trầm tích được trộn đều với Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> khan để loại hoàn toàn nước trong mẫu và được thêm 50µL chất đồng hành 1ppm. Sau đó mẫu được chiết trong bể siêu âm 3 lần, mỗi lần 15 phút bằng 50mL hỗn hợp n-hexan/diclometan (1/1, v/v). Dịch chiết được cô đặc bằng thiết bị cô quay chân không, đưa qua cột silicagel (5g) và rửa giải bằng 50mL hỗn hợp dung môi trên. Dịch rửa giải được cô bằng dòng khí nitơ, thêm chất nội chuẩn chrysen-d12, định mức chính xác lên 1ml bằng dung môi n-hexan. Dung dịch mẫu sau đó được bơm trên máy GC-MS.

### 2.4. QA/QC

Cứ năm mẫu trầm tích, chúng tôi tiến hành phân tích một mẫu trắng và một mẫu đối chứng. Giới hạn phát hiện của thiết bị < 0,045 ng/g. Các mẫu trắng, mẫu thêm chuẩn và mẫu đối chứng được phân tích nhằm đảm bảo chất lượng phân tích. Ngoài ra, chất chuẩn và chất nội chuẩn được sử dụng để hiệu chuẩn công cụ phân tích và dựng đường chuẩn cho từng chất. Độ thu hồi trung bình của 50µL chất nội chuẩn PAHs (1ppm) trong khoảng từ 70% đến 110%.



Hình 2. Sắc đồ chuẩn PAH

## 3. Kết quả và thảo luận

### 3.1. Hàm lượng PAHs trong trầm tích

Tất cả các mẫu trầm tích trong nghiên cứu đều phát hiện thấy PAHs. Tổng hàm lượng PAHs trung bình trong trầm tích thu thập từ sông Tô Lịch, sông

Nhuệ, sông Kim Nguru, sông Sét, sông Lừ và hồ Yên Sở lần lượt là 1.227; 772; 1.998; 2.816; 1.389 và 2.223 ng/g trọng lượng khô với khoảng hàm lượng dao động từ 155 đến 5.505 ng/g. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự tương đồng về hàm lượng tổng PAHs (16 cấu tử) trong trầm tích sông hồ Hà Nội với các kết quả nghiên cứu khác trên thế giới (bảng 1), ví dụ như tại sông Liangtan, Trung Quốc (2.040 ng/g) [11]; sông Huveaune, Pháp (1966 ± 1104 ng/g) [12]; sông Brisbane, Úc (2030 ± 610 ng/g) [14]. Tuy vậy, khoảng hàm lượng tổng PAHs trong nghiên cứu này hẹp hơn nhiều so với các kết quả đã được công bố, cụ thể như sông Conodoguinete Creek, Hoa Kỳ (44 - 26.200 ng/g) [13], sông Brisbane, Úc (160 - 50.020 ng/g) [14], sông Scheldt (3.750 - 22.300 ng/g) [15]. Tổng hàm lượng 16 PAHs trong trầm tích sông Kim Nguru cao gấp hơn 600 lần so với kết quả nghiên cứu của tác giả Esther năm 2007 [19]. Đây là minh chứng cho sự tích tụ PAHs trong trầm tích theo thời gian cùng với sự phát triển nhanh chóng của các đô thị tại Việt Nam nói chung và của Hà Nội nói riêng trong 10 năm qua.

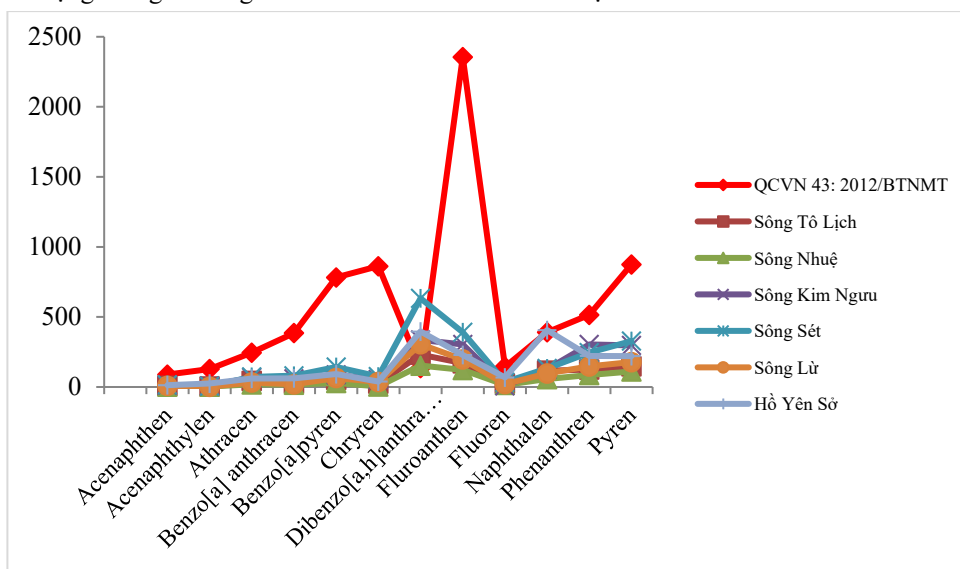
Các mẫu trầm tích sông Tô Lịch được lấy từ thượng nguồn (TL.01: đầu đường Bưởi) xuống hạ nguồn (TL.06: cầu Tô) có tổng hàm lượng PAHs nằm trong khoảng từ 1.227 - 1.528 ng/g ngoại trừ mẫu TL.05 (437 ng/g). Đặc biệt, mẫu TL.05 được lấy tại vị trí ngã ba sông, đoạn phân lưu của sông Tô Lịch hướng ra cầu Văn Điển. Tại vị trí TL.05, hai dòng chảy hòa vào nhau, điều này lý giải tại sao tổng hàm lượng PAHs tại điểm lấy mẫu này lại thấp hơn hẳn so với các điểm còn lại.

Tổng hàm lượng PAHs trong các mẫu trầm tích sông Nhuệ dao động trong khoảng từ 155 - 1.458

ng/g. Vị trí N.01 được lấy tại thượng nguồn (cổng Liên Mạc) có tổng hàm lượng PAHs thấp nhất, vị trí N.05 được ghi nhận có tổng PAHs cao nhất (vị trí cầu Sét). Điều đáng nói là tổng PAHs tăng dần theo chiều của dòng chảy có thể giải thích do dòng nước sông hòa trộn với dòng nước thải được đổ vào từ các công thải dọc theo chiều từ đầu nguồn xuống cuối nguồn và khả năng tích tụ của PAHs trong trầm tích tốt hơn nhiều trong nước.

Trong các khu vực nghiên cứu, mẫu trầm tích được thu thập từ hồ Yên Sở có tổng hàm lượng PAHs cao nhất nằm trong khoảng từ 1.287 - 5.055 ng/g ngoại trừ mẫu YS.06 (326 ng/g). Hồ Yên Sở là nơi tiếp nhận nước thải đô thị đã xử lý và chưa qua xử lý của toàn thành phố. Nhờ hệ thống thu gom chính là các sông nội đô mà chất thải cũng theo đó đổ vào hồ Yên Sở và tích lũy trong trầm tích với hàm lượng cao.

Hình 3 cho thấy hàm lượng các cấu tử PAH trong trầm tích sông, hồ hầu hết đều dưới mức giới hạn cho phép theo quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng trầm tích QCVN 43: 2012/BTNMT [20]. Tuy nhiên, hàm lượng dibenzo[a,h]anthracen trong tất cả các mẫu đều vượt ngưỡng từ 1,13 đến 4,69 lần. Tại vị trí lấy mẫu S.01 (sông Sét), hàm lượng chất này cao nhất lên tới 637 ng/g. Hàm lượng naphthalen trong mẫu YS.08 tại hồ Yên Sở là 1.569 ng/g và vượt ngưỡng cho phép trong quy chuẩn gấp 4 lần. Cũng giống như các PAHs khác, dibenzo[a,h]anthracen và naphthalen là những chất có khả năng gây ung thư và gây đột biến gen [3]. Nguy cơ tiềm ẩn của sự tích tụ PAHs trong trầm tích thực sự đáng lo ngại bởi hồ Yên Sở là khu vực nuôi trồng thủy sản lớn và cung cấp hàng tấn cá, tôm mỗi ngày cho các chợ trên địa bàn Hà Nội.



Hình 3. Biểu đồ so sánh hàm lượng PAH (ng/g) trong mẫu trầm tích sông, hồ với QCVN 43:2012/BTNMT

**Bảng 1.** Hàm lượng tổng PAH trong trầm tích sông, hồ từ một số nơi trên thế giới

Nước	Điểm	Số cấu tử PAHs	Tổng PAHs/ng.g <sup>-1</sup>		Tài liệu tham khảo
			Khoảng	Trung bình	
Trung Quốc	Sông Liangtan	16	69 - 6.250	2040	[11]
Pháp	Sông Huveaune	16	571,7 - 4234,9	1966 ± 1104	[12]
Hoa Kỳ	Conodoguinnet Creek	19	44 - 26.200	4100 ± 2280	[13]
Úc	Sông Brisbane	15	160 - 50.020	2030 ± 610	[14]
Châu Âu	Scheldt	16	3.750 - 22.300	9010 ± 6690	[15]
CHDC Congo	Sông Kinshasa (Makelele/Kalamu/Nsanga)	16	95 - 1011,94	687,1	[16]
Ấn Độ	Gomti	16	5,24 - 3.724	371,83	[17]
Pakistan	Sông Chenab	16	171,89 - 498,88		[18]
Việt Nam	Sông Tô Lịch	16	437 - 1.528	1.227	Nghiên cứu này
	Sông Nhuệ	16	155 - 1.458	772	Nghiên cứu này
	Sông Kim Ngưu	16		1.998	Nghiên cứu này
	Sông Sét	16		2.816	Nghiên cứu này
	Sông Lừ	16		1.389	Nghiên cứu này
	Hồ Yên Sở	16	326 - 5.054	2.233	Nghiên cứu này

**3.2. Sự phân bố của các PAH trong trầm tích**

Các nghiên cứu gần đây đã chỉ ra rằng ô nhiễm PAHs trong bụi khí Hà Nội đang ở mức độ cao [10, 21, 22]. Chúng được hình thành từ các quá trình đốt cháy không hoàn toàn các loại nhiên liệu như xăng, dầu diesel trong động cơ của các phương tiện giao thông. Ngoài ra, việc đốt các phế thải nông nghiệp (rơm, rạ,...) hay các hoạt động sinh hoạt (hút thuốc, đun nấu bằng mùn cưa, than hoa, than tổ ong) cũng góp phần đáng kể vào phát thải PAHs. Những hạt bụi khí này bị lắng đọng khô hoặc bị nước mưa rửa trôi mang theo PAHs tích lũy vào trầm tích. Sự phân bố của các cấu tử PAH trong mẫu trầm tích khác nhau không đáng kể và phụ thuộc thành phần chất thải đầu vào của các con sông. Dibenzo(a,h)anthracen là cấu tử PAHs chiếm ưu thế nhất trong các mẫu trầm tích sông Tô Lịch (19%), sông Nhuệ (20%), sông Kim Ngưu (17%), sông Sét (23%), sông Lừ (22%) và hồ Yên Sở (18%). Nhìn chung, PAHs 4 - 5 vòng là các cấu tử chiếm ưu thế trong trầm tích, điều này tương đồng với các kết quả nghiên cứu khác trên thế giới.

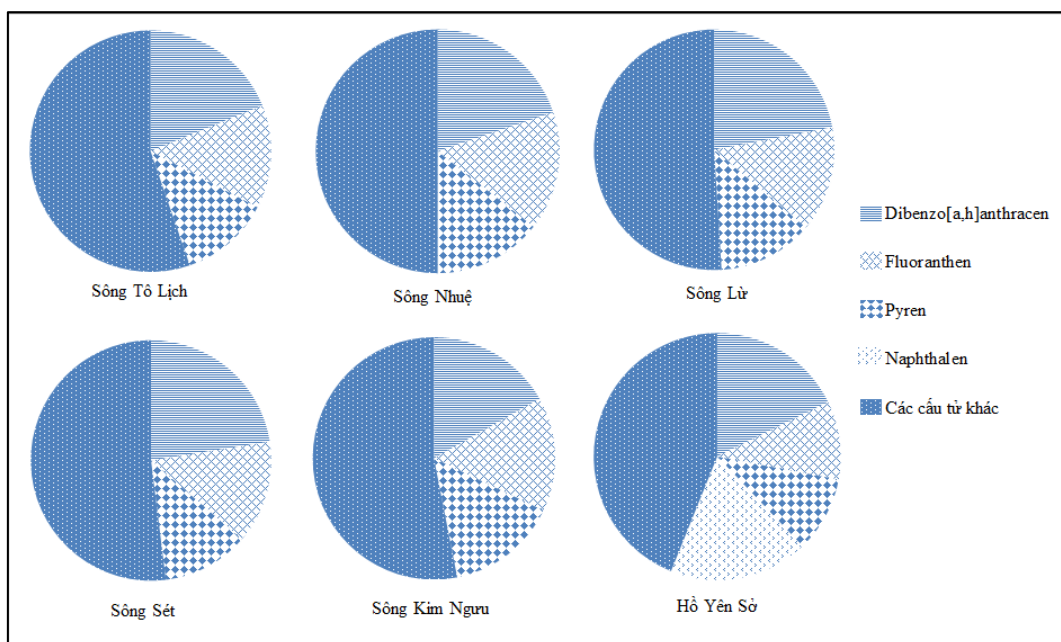
Fluoranthene và pyrene chiếm một lượng đáng kể trong trầm tích các sông trong khi naphthalene lại là cấu tử PAHs chiếm ưu thế trong trầm tích hồ Yên Sở. Hình 4 biểu diễn sự phân bố PAHs trong trầm tích sông hồ dựa theo giá trị trung bình về hàm lượng. Tại vị trí YS-08, hàm lượng naphthalene cao đột biến lên tới 1.569 ng/g, đây là điểm có tổng PAHs (5.055 ng/g) cao nhất trong nghiên cứu này. Vị trí YS-08 nằm tại nơi sông Tô Lịch đổ vào hồ Yên Sở, tại đây thủy vực là thủy vực kín nên các chất ô nhiễm gần như khó có thể lan truyền ra các khu vực xung quanh. Cũng chính vì thế mà các chất này đặc biệt là naphthalene bị lắng đọng lại và tích lũy theo thời gian trong trầm tích ở hàm lượng rất cao. Trong các nghiên cứu khác, naphthalene hầu như ít có mặt trong các mẫu trầm tích.

Điều này đưa ra dự đoán gần vị trí YS-08 có thể xuất hiện nguồn thải đặc trưng naphthalene bởi lẽ các vị trí lấy mẫu còn lại đều nằm ở hồ Yên Sở phía bên kia đường vành đai 3 hoặc nằm cách xa YS-08 nên mặc dù tổng PAHs cao nhưng hàm lượng naphthalene không đáng kể. Nguồn thải naphthalene có thể là nơi thường xuyên diễn ra việc đốt cháy xăng, dầu hoặc sinh khối (rơm, rạ,...), naphthalene sau đó phát tán trong không khí và theo nước mưa lắng xuống trầm tích.

**3.3. Đánh giá nguồn gốc PAHs trong môi trường**

Trên cơ sở khảo sát thành phần PAH từ những nguồn gốc riêng biệt ví dụ trong dầu thô, trong bụi thải các phương tiện giao thông (xe bus, xe ô tô, xe máy), trong bồ hóng của quá trình đốt than, đốt gỗ, quá trình sản xuất gạch [23], người ta đã đưa ra một số tỷ lệ của các PAH đặc trưng và những phỏng đoán về nguồn gốc của PAH trong một đối tượng dựa vào khoảng giá trị của các tỷ lệ này. Theo đó, hầu hết PAHs có nguồn gốc từ dầu mỏ có tỉ lệ Py/Fluo > 1 trong khi nguồn gốc từ quá trình cháy (gỗ, than đá, sinh khối,...) hoặc hỗn hợp thì tỉ lệ này < 1. Tương tự như vậy, tỉ lệ Anth/(Anth+Phe) > 0,1 và Ba/(Ba+Chry) > 0,35 cho biết nguồn gốc PAHs từ quá trình cháy. Qua tham khảo tài liệu, chúng tôi đã lựa chọn một số tỷ lệ và áp dụng để tính cho các mẫu đã phân tích, kết quả trình bày như trong bảng 2.

Tỉ lệ Anth/(Anth+Phe) cỡ 0,1 và 0,2 cùng với tỉ số BaA/(BaA+Chry) lớn hơn 0,35 cũng chứng tỏ phần lớn các PAH trong những mẫu trầm tích mặt có nguồn gốc chủ yếu từ quá trình cháy. Tỉ lệ Py/Fluo của trầm tích sông Nhuệ, sông Kim Ngưu, sông Sét, sông Lừ đều < 1 cho dự đoán về nguồn gốc hỗn hợp từ cả quá trình cháy và nguồn gốc dầu mỏ trong khi tỉ lệ này của trầm tích sông Tô Lịch và hồ Yên Sở lại > 1 cho thấy nguồn gốc PAH xuất phát từ dầu mỏ.



Hình 4. Sự phân bố PAHs trong trầm tích sông hồ

Bảng 2. Các tỉ lệ đặc trưng của một số PAH trong các mẫu trầm tích sông hồ Hà Nội

	Py/Fluo	Fluo/(Fluo+Py)	Anth/(Anth+Phe)	BaA/( BaA+ Chry)
Tô Lịch	6,85	0,14	0,25	0,67
Nhuệ	0,89	0,14	0,17	0,60
Kim Ngưu	0,99	0,05	0,18	0,62
Sét	0,84	0,10	0,23	0,66
Lừ	0,92	0,09	0,19	0,62
Yên Sở	3,82	0,25	0,21	0,70

Chú thích: Py: Pyren; Fluo: Fluoranthen; Anth: Anthracen; Phe: phenanthren; BaA: benzo[a]Anthracen; Chry: Chrysen

Điều này phù hợp với sự phát triển đô thị trong vài năm trở lại đây. Do nhu cầu phát triển và nâng cao đời sống con người, nhu cầu tiêu thụ các sản phẩm có nguồn gốc từ dầu mỏ như dầu thô, dầu hỏa, diesel hay nhựa đường không ngừng tăng lên, song song với đó, lượng tiêu thụ nhiên liệu phục vụ sản xuất công nghiệp, các lò nung gạch hay các hoạt động đốt phế phẩm nông nghiệp như rơm, rạ vào mùa vụ tại các khu vực lân cận cũng tăng đáng kể.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu này cung cấp dữ liệu khoa học về sự có mặt của các hydrocacbon thơm đa vòng (PAHs) trong trầm tích tại một số sông hồ Hà Nội. Hàm lượng các cấu tử PAHs hầu hết đều thấp hơn giới hạn cho phép theo quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng trầm tích, tuy nhiên, đáng kể đến là hàm lượng dibenzo[a,h]anthracen trong tất cả các mẫu lại vượt ngưỡng từ 1,13 đến 4,69 lần. Phát hiện này cho thấy nguy cơ tiềm ẩn của nhóm hợp chất PAH đối với môi

trường cũng như sức khỏe con người và trong tương lai cần được quan trắc trên phạm vi rộng.

Tổng hàm lượng PAH trong nghiên cứu này ở mức khá tương đồng so với các kết quả nghiên cứu khác trên thế giới. Các PAH tồn tại có nguồn gốc cháy chiếm thành phần ưu thế hơn so với các PAH có nguồn gốc từ sản phẩm dầu mỏ, điều này phù hợp với thực trạng phát triển của các đô thị lớn hiện nay.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Mari, M., Harrison, R.M., Schuhmacher, M., et al., 2010. Inferences over the sources and processes affecting polycyclic aromatic hydrocarbons in the atmosphere derived from measured data. *Sci. Total Environ.* 408 (11), 2387-2393.
- [2] Kim, K.H., Jahan, S.A., Kabir, E., et al., 2013. A review of airborne polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their human health effects. *Environ. Int.* 60, 71-80

- [3] Kim, J.H., Kwak, B.K., Shin, C.B., et al., 2011. Development of a local-scale spatially refined multimedia fate model (LSRMFM) for urban-scale risk assessment: model formulation, GIS-based preprocessing, and case study. *Environ. Model. Assess.* 16 (3), 265-281.
- [4] Witter, A.E., Nguyen, M.H., Baidar, S., et al., 2014. Coal-tar-based sealcoated pavement: a major PAH source to urban stream sediments. *Environ. Pollut.* 185, 59-68.
- [5] Wang, Y.B., Liu, C.W., Kao, Y.H., et al., 2015. Characterization and risk assessment of PAH-contaminated river sediment by using advanced multivariate methods. *Sci. Total Environ.* 524, 63-73.
- [6] Li, P., Xue, R., Wang, Y., et al., 2015. Influence of anthropogenic activities on PAHs in sediments in a significant gulf of low-latitude developing regions, the Beibu Gulf, South China Sea: distribution, sources, inventory and probability risk. *Mar. Pollut. Bull.* 90 (1), 218-226.
- [7] Kishida M, Imamura K, Maeda Y, Lan TTN, Thao NTP, Viet PH (2007). Distribution of persistent organic pollutants and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment samples from Vietnam. *Journal of Health Science*, 53, 291-301.
- [8] Kishida M., et al., 2008. Concentrations of Atmospheric Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Particulate and the Gaseous Phase at Roadside Sites in Hanoi, Vietnam. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 81, 174-179.
- [9] Tuyen LH, et al., 2014. Aryl hydrocarbon receptor mediated activities in road dust from a metropolitan area, Hanoi - Vietnam: Contribution of polycyclic aromatic. *Science of the Total Environment*. Vol. 491-492, p. 246-254.
- [10] Tuyen LH, et al., 2014. Methylated and unsubstituted polycyclic aromatic hydrocarbons in street dust from Vietnam and India: Occurrence, distribution and in vitro toxicity evaluation hydrocarbons (PAHs) and human risk assessment. *Environmental Pollution* 194, 272-280.
- [11] L.Webster, J.Tronczynski, P.Korytar, K.Booij, R.Law, 2009. Determination of parent and alkylated polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in biota and sediment, *ICES Techniques in marine Environmental Science* No.45.
- [12] Liu, Y. Beckingham, B., Ruegner, H., et al., 2013. Comparison of sedimentary PAHs in the rivers of Ammer (Germany) and Liangtan (China): differences between early-and newly-industrialized countries. *Environ. Sci. Technol.* 47(2), 701-709.
- [13] Kanzari, F., Syakti, A.D., Asia, L., et al., 2014. Distributions and sources of persistent organic pollutants (aliphatic hydrocarbons, PAHs, PCBs and pesticides) in surface sediments of an industrialized urban river (Huveaune), France. *Sci. Total Environ.* 478, 141-151.
- [14] Liu, A., Duodu, G.O., Mummullage, S., et al., 2017. Hierarchy of factors which influence polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) distribution in river sediments. *Environ. Pollut.* 223, 81-89.
- [15] Rabodonirina, S., Net, S., Ouddane, B., et al., 2015. Distribution of persistent organic pollutants (PAHs, Me-PAHs, PCBs) in dissolved, particulate and sedimentary phases in freshwater systems. *Environ. Pollut.* 206, 38-48.
- [16] Kilunga, P.K., Sivalingam, P., Laffite, A., et al., 2017. Accumulation of toxic metals and organic micro-pollutants in sediments from tropical urban rivers, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Chemosphere*, 37.
- [17] Malik, A., Verma, P., Singh, A.K., et al., 2011. Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in water and bed sediments of the Gomti River, India. *Environ. Monit. Assess.* 172 (1-4), 529.
- [18] Hussain, I., Syed, J.H., Kamal, A., et al., 2016. The relative abundance and seasonal distribution correspond with the sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the surface sediments of Chenab River, Pakistan. *Environ. Monit. Assess.* 188 (6), 1-12.
- [19] E. Boll, et al., 2007. Quantification and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediment, soil, and water spinach from Hanoi, Vietnam. *Journal of Environment Monitoring*, 10, 261-269.
- [20] Bộ Tài nguyên và Môi trường Việt Nam, Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng trầm tích QCVN 43: 2012/BTNMT
- [21] Vũ Đức Toàn, 2009. Ô nhiễm bởi một số chất hữu cơ thơm đa vòng (PAH) trong không khí tại Hà Nội. *Tap chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường*, tập 26, tr. 44-49.
- [22] M. Saha, et al. 2017. Seasonal Trends of Atmospheric PAHs in Five Asian Megacities and Source Detection Using Suitable Biomarkers. *Aerosol and Air Quality Research*, Vol.17(9), pp.2247-2262.
- [23] M. Saha, A. Togo, et al., 2009. Sources of sedimentary PAHs in tropical Asian waters: Differentiation between pyrogenic and petrogenic sources by alkyl homolog abundance, *Marine Pollution Bulletin*, 58 (2), 189-200.