



Original Article

# Analysis and Assessment of Contamination Degree and Emission Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs and Me-PAHs) in Surface Sediments from the Central Coast of Vietnam

Dang Minh Huong Giang, Nguyen Duc Hieu, Chu Thi Hue,  
Pham Thi Ngoc Mai, Nguyen Thi Anh Huong, Hoang Quoc Anh\*

*VNU University of Science, 19 Le Thanh Tong, Hanoi, Vietnam*

Received 06 February 2024

Revised 02 April 2024; Accepted 09 April 2024

**Abstract:** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and their derivatives are a diverse group of organic pollutants, which are relatively persistent and toxic. Simultaneous determination of unsubstituted PAHs and methylated PAHs (Me-PAHs) is necessary to provide comprehensive insights into contamination levels and sources of these pollutants. In this study, we collected surface sediment samples from the Vietnamese central coast to analyze 7 PAHs and 12 Me-PAHs. The sediment samples were extracted by using a focused ultrasonic processor with acetone/hexane (1:1) mixture and toluene. The extract was purified by column chromatography technique with activated silica gel and dichloromethane/hexane (1:3) as the elution solvent. PAHs and Me-PAHs were determined by a gas chromatography/mass spectrometry (GC/MS) system operated in electron impact ionization (EI) and selected ion monitoring mode (SIM). Concentrations of total 7 PAHs and 12 Me-PAHs ranged from 30 to 246 (average 92) nanograms per gram sediment (ng/g). These levels were comparable to or lower than those measured in Vietnamese river sediments and marine sediments from some other countries in the world. The accumulation profiles of PAHs and Me-PAHs indicated that their emissions are likely associated with mixed pyrogenic and petrogenic sources. Our results have provided preliminary information about the pollution degree and accumulation characteristics of these substances in Vietnamese marine environments. Additional comprehensive studies should be performed to characterize contamination characteristics, emission sources, and ecological risks of PAHs and their derivatives in this country.

**Keywords:** PAHs, Me-PAHs, sediment, central coast, Vietnam.

\* Corresponding author.

*E-mail address:* [hoangquocanh1990@gmail.com](mailto:hoangquocanh1990@gmail.com)

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5642>

# Nghiên cứu phân tích, đánh giá mức độ ô nhiễm và nguồn phát thải của hydrocarbon thơm đa vòng (PAHs và Me-PAHs) trong mẫu trầm tích tại ven biển miền Trung Việt Nam

Đặng Minh Hương Giang, Nguyễn Đức Hiếu, Chu Thị Huệ,  
Phạm Thị Ngọc Mai, Nguyễn Thị Ánh Hường, Hoàng Quốc Anh\*

*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,  
19 Lê Thánh Tông, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 06 tháng 02 năm 2024

Chỉnh sửa ngày 02 tháng 4 năm 2024; Chấp nhận đăng ngày 09 tháng 4 năm 2024

**Tóm tắt:** Hydrocarbon thơm đa vòng (PAHs) và các dẫn xuất của chúng là nhóm các hợp chất hữu cơ phức tạp, tương đối bền vững trong môi trường và độc hại. Việc xác định đồng thời PAHs và các dẫn xuất methyl hóa của chúng (Me-PAHs) là cần thiết để cung cấp những thông tin đầy đủ hơn về mức độ ô nhiễm và nguồn gốc của chúng. Trong nghiên cứu này, mẫu trầm tích mặt được thu thập tại khu vực ven biển miền Trung để phân tích hàm lượng của 7 PAHs và 12 Me-PAHs. Mẫu trầm tích được chiết bằng kỹ thuật chiết siêu âm trực tiếp với hệ dung môi acetone/hexane (1:1) và toluene. Dịch chiết được làm sạch trên cột sắc ký chứa silica gel hoạt hóa và chất phân tích được rửa giải với dichloromethane/hexane (1:3). PAHs và Me-PAHs được phân tích định lượng trên hệ thống sắc ký khí khối phổ (GC/MS) ở chế độ ion hóa va đập electron (EI) và quan sát chọn lọc ion (SIM). Hàm lượng tổng PAHs dao động từ 30 đến 246 (trung bình 92) nanogram trong 1 gam trầm tích (ng/g). Mức hàm lượng này tương đương hoặc thấp hơn so với một số mẫu trầm tích sông tại Việt Nam và trầm tích biển của một số quốc gia trên thế giới. Đặc trưng tích lũy của PAHs và Me-PAHs đã chỉ ra nguồn phát thải có thể liên quan đến cả quá trình nhiệt và từ các sản phẩm dầu mỏ. Kết quả nghiên cứu đã cung cấp những thông tin sơ bộ về mức độ ô nhiễm và đặc trưng tích lũy của nhóm chất này trong môi trường biển tại Việt Nam. Những nghiên cứu chuyên sâu hơn để đánh giá toàn diện về sự ô nhiễm, nguồn phát thải cũng như rủi ro sinh thái của PAHs và các dẫn xuất của chúng tại Việt Nam là rất cần thiết.

*Từ khóa:* PAHs, Me-PAHs, trầm tích, khu vực ven biển miền Trung, Việt Nam.

## 1. Mở đầu

Hydrocarbon thơm đa vòng (PAHs) là nhóm chất ô nhiễm hữu cơ được quan tâm nghiên cứu trong nhiều thập kỷ qua do chúng tồn tại phổ biến trong môi trường, tương đối bền vững và có thể ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người và các loài động vật [1]. Ngoài các PAHs không chứa nhóm thế (ví dụ như 16 chất PAHs điển hình theo Cục Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ, US EPA), hỗn hợp PAHs trong

môi trường còn có thể bao gồm nhiều loại dẫn xuất với các nhóm thế khác nhau. Trong đó, PAHs methyl hóa (Me-PAHs) là nhóm dẫn xuất trong một số trường hợp có thể tồn tại ở mức hàm lượng và biểu hiện độc tính tương đương hoặc thậm chí cao hơn so với các hợp chất không thay thế của chúng [2]. Tương tự như PAHs, Me-PAHs cũng có khả năng liên kết với thụ thể aryl hydrocarbon (AhR) sẽ dẫn đến các thay đổi trong quá trình phiên mã gen [3]. Ngoài ra, một số Me-PAHs đã được phát hiện gây ra bệnh tăng sinh tế bào và phát triển khối u ở động vật thí nghiệm [4, 5]. Các dẫn xuất methyl của naphthalene (Me-Nap),

\* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: hoanguocanh1990@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1140/vnunst.5642>

phenanthrene (Me-Phe) và chrysene (Me-Chr) đã được tìm thấy trong nguồn thải của các hoạt động công nghiệp, khai thác và sử dụng dầu mỏ và quá trình đốt cháy không hoàn toàn [6].

Tại Việt Nam, nghiên cứu về Me-PAHs còn rất hạn chế. Me-PAHs lần đầu tiên được tìm thấy trong mẫu bụi đường tại Việt Nam với hàm lượng tổng dao động từ 170-1500 (trung bình 750) ng/g với các chất điển hình như 1-Me-Phe, 2-Me-Phe và 7/9-methylbenz[a]anthracene (7/9-Me-BaA) [7]. Sau đó, một số các nghiên cứu khác đã chỉ ra sự có mặt của Me-PAHs trong mẫu đất và trầm tích tại khu tái chế rác thải điện tử [8], mẫu bụi lắng tại khu tháo dỡ phương tiện giao thông hết hạn sử dụng [9], mẫu bụi đường tại một số khu vực ở miền Bắc Việt Nam [10] và mẫu trầm tích sông tại khu vực đô thị Hà Nội [11]. Tuy nhiên, hiện chưa có nghiên cứu nào được thực hiện để đánh giá mức độ ô nhiễm của Me-PAHs trong môi trường biển tại Việt Nam.

Trong nghiên cứu này, các mẫu trầm tích mặt tại khu vực ven biển miền Trung đã được thu thập để xác định hàm lượng của 7 PAHs và 12 Me-PAHs. PAHs và Me-PAHs trong trầm tích được chiết với kỹ thuật siêu âm trực tiếp, làm sạch bằng kỹ thuật sắc ký cột và phân tích định lượng trên hệ thống sắc ký khí khối phổ (GC/MS). Kết quả phân tích sẽ cung cấp những thông tin sơ bộ về mức hàm lượng, đặc trưng tích lũy và nguồn gốc của PAHs và Me-PAHs trong môi trường trầm tích biển tại Việt Nam.

## 2. Thực nghiệm

### 2.1. Thu thập và chuẩn bị mẫu trầm tích

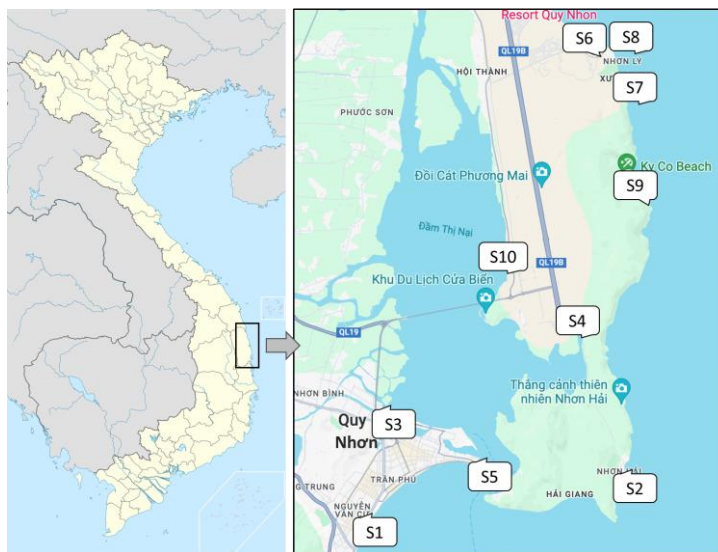
Mẫu trầm tích được nhóm nghiên cứu thu thập từ 10 vị trí khác nhau (kí hiệu S1 đến S10) dọc ven biển miền Trung thuộc tỉnh Bình Định (Bảng 1).

Bảng 1. Đặc điểm của các vị trí lấy mẫu trầm tích trong nghiên cứu này

Mẫu	Tọa độ	Đặc điểm
S1	13,751861 B 109,216667 Đ	Khu vực biển Quy Nhơn
S2	13,768861 B, 109,251444 Đ	Khu vực cảng với nhiều hoạt động giao thông biển
S3	13,783972 B 109,226306 Đ	Khu vực nuôi trồng thủy sản ở cửa sông Hà Thanh
S4	13,811111 B 109,277694 Đ	Khu vực dưới cầu Nhơn Hội
S5	13,766750 B 109,292583 Đ	Khu vực nuôi trồng thủy sản ở đầm Thị Nại
S6	13,887500 B 109,282778 Đ	Gần khu kinh tế Nhơn Hội với nhiều hoạt động sản xuất công nghiệp
S7	13,877611 B 109,295778 Đ	Khu vực ven biển Nhơn Lý có nhiều hoạt động dân sinh và thương mại
S8	13,888611 B 109,295778 Đ	Khu vực cảng Nhơn Lý với nhiều hoạt động giao thông biển
S9	13,850722 B 109,292333 Đ	Khu vực bờ biển Kỳ Co với nhiều hoạt động du lịch, dịch vụ và thương mại
S10	13,828472 B 109,257972 Đ	Khu vực dưới cầu Thị Nại

Khu vực lấy mẫu thường xuyên diễn ra các hoạt động giao thông vận tải biển, đánh bắt thủy hải sản, cùng với các hoạt động công nghiệp và dân sinh khác. Bản đồ vị trí lấy mẫu được trình bày trong Hình 1.

Mẫu trầm tích được lấy bằng thiết bị lấy mẫu Van Veen, đựng trong túi zip polyethylene và bảo quản ở  $-20^{\circ}\text{C}$  cho đến khi phân tích. Mẫu được làm khô đến khối lượng không đổi ở nhiệt độ phòng sau đó nghiền trong cối sứ và sàng qua rây có khẩu độ 1 mm.



Hình 1. Bản đồ vị trí lấy mẫu.

## 2.2. Quy trình xử lý mẫu

Quy trình xử lý mẫu trầm tích được tham khảo từ công bố trước đây của nhóm nghiên cứu [11]. Mẫu trầm tích (0,2 g) sau khi đồng nhất được chuyển vào ống thủy tinh 50 mL, thêm chất chuẩn đồng hành (naphthalene-d8, acenaphthylene-d8, phenanthrene-d10, fluoranthene-d10, pyrene-d10, benzo[a]pyrene-d12 và benzo[ghi]perylene-d12, 10 ng mỗi chất; Cambridge Isotope Laboratories, Inc.). Mẫu được chiết 2 lần với 10 mL hỗn hợp acetone:hexane (1:1, 10 phút) và 10 mL toluene (10 phút) bằng thiết bị phát siêu âm trực tiếp VCX 130 (Sonic & Materials, Inc., USA). Dịch chiết được ly tâm (10 phút, 3500 rpm) sau đó gộp vào bình cầu 100 mL, cô đặc và chuyển vào khoảng 1–2 mL hexane. Dịch chiết được làm sạch trên cột thủy tinh chứa 5 g silica gel (hoạt hoá ở 130 °C trong 3 h) và 2 g sodium sunfate khan (nung ở 400 °C trong 2 h). Cột làm sạch được rửa bằng 50 mL hexane, nạp dịch chiết và loại bỏ các tạp chất với 40 mL hexane. PAHs và Me-PAHs được rửa giải bằng 30 mL hỗn hợp dichloromethane/hexane (1:3). Dịch rửa giải được cô đặc, thêm chất nội chuẩn (Chrysene-d12, 10 ng; Cambridge Isotope Laboratories, Inc.) và chuyển vào 200  $\mu$ L ethyl acetate trước khi phân tích trên hệ thống GC/MS.

## 2.3. Phân tích định lượng trên GC/MS

Các chất phân tích bao gồm 7 PAHs (naphthalene Nap, anthracene Ant, phenanthrene Phe, pyrene Pyr, benzo[a]anthracene BaA, chrysene Chr, benzo[a]pyrene BaP) và 12 Me-PAHs (1-methylnaphthalene 1-Me-Nap, 2-methylnaphthalene 2-Me-Nap, 1,2-dimethylnaphthalene 1,2-Me<sub>2</sub>-Nap, 1-methylantracene 1-Me-Ant, 2-methylantracene 2-Me-Ant, 2-methylphenanthrene 2-Me-Phe, 3,6-dimethylphenanthrene 3,6-Me<sub>2</sub>-Phe, 1-methylpyrene, 1-MePyr, 1/2-methylbenz[a]anthracene 1/2-Me-BaA, 7-methylbenz[a]anthracene 7-Me-BaA và 10-methylbenzo[a]pyrene 10-Me-BaP). PAHs và Me-PAHs được phân tích trên hệ thống sắc ký khí khối phổ GCMS-QP2010 Ultra (Shimadzu, Nhật Bản) với cột tách DB-5ms (30 m  $\times$  0,25 mm  $\times$  0,25  $\mu$ m, Agilent Technologies). Heli được sử dụng làm khí mang với tốc độ dòng 1,15 mL/phút. Nhiệt độ cổng bơm mẫu là 300 °C. Thể tích mẫu 2  $\mu$ L được đưa vào cột tách ở chế độ không chia dòng. Chương trình nhiệt độ của lò cột được đặt ở 110 °C (1 phút), tăng đến 170 °C (20 °C/phút), đến 220 °C (4 °C/phút), đến 270 °C (3 °C/phút) và tăng đến 310 °C (20 °C/phút, giữ 10 phút).

Nhiệt độ của bộ phận kết nối (interface) và nguồn ion lần lượt là 310 °C và 230 °C. Detector khối phổ (MS) được vận hành ở chế độ ion hóa và đập electron (EI) và quan sát chọn lọc ion (SIM).

#### 2.4. Đảm bảo và kiểm soát chất lượng (QA/QC)

Hỗn hợp chất chuẩn gốc PAHs và Me-PAHs được pha trong ethyl acetate ở ba mức nồng độ khác nhau (5, 50 và 500 ng/mL) với nồng độ của chất chuẩn đánh dấu đồng vị là 50 ng/mL. Đường chuẩn có hệ số tương quan ( $R^2$ ) của tất cả các hợp chất đều lớn hơn 0,999 cho thấy sự phụ thuộc tuyến tính của tín hiệu đo vào nồng độ chất phân tích trong khoảng 5–500 ng/mL. Độ chính xác của phương pháp được đánh giá thông qua kết quả phân tích lặp các mẫu trầm tích ( $n = 3$ ) được thêm chuẩn ở mức hàm lượng 10 ng/g. Độ thu hồi của các chất phân tích dao động từ 70% đến 120% với độ lệch chuẩn tương đối RSD < 25%, đáp ứng được yêu cầu của AOAC cho mức hàm lượng cỡ ppb. Các mẫu trắng quy trình ( $n = 3$ ) được phân tích kèm theo các mẫu thực để đánh giá mức độ ô nhiễm nền và ước tính giới hạn phát hiện của phương pháp (MDL). Hàm lượng của các chất phân tích trong mẫu thực tế sẽ được hiệu chỉnh bằng cách trừ đi hàm lượng phát hiện được trong mẫu trắng. Giá trị MDL được ước tính là mức hàm lượng trung bình trong mẫu trắng cộng với 3 lần độ lệch chuẩn, dao động từ 0,05 đến 1 ng/g.

### 3. Kết quả và thảo luận

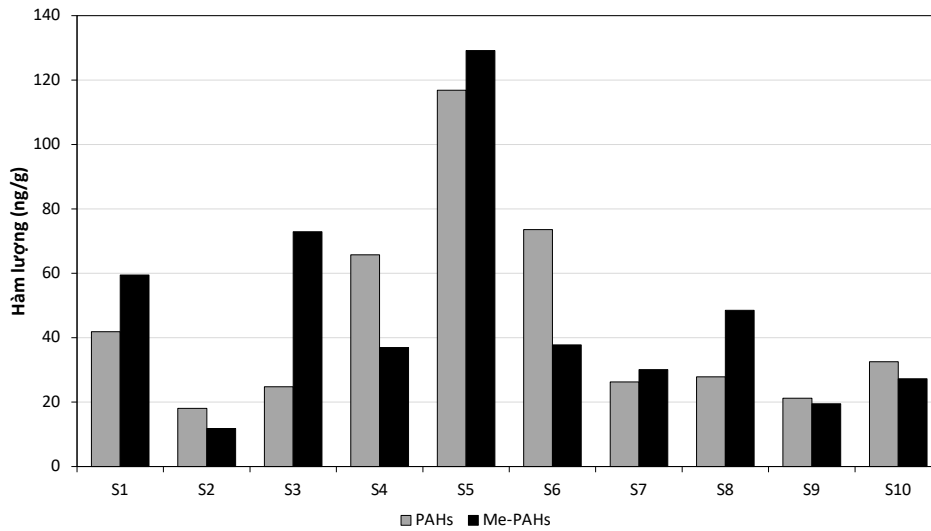
#### 3.1. Hàm lượng PAHs và Me-PAHs trong mẫu trầm tích

Hàm lượng  $\Sigma 7$ PAHs và  $\Sigma 12$ Me-PAHs trong các mẫu trầm tích dao động trong khoảng 18,1–117 (trung bình 44,9) ng/g và 11,8–129 (trung bình 47,3) ng/g, tương ứng (Hình 2). Hàm lượng Me-PAHs cao nhất được tìm thấy trong các mẫu S5 (129 ng/g), S3 (72,9 ng/g) và S1 (59,5 ng/g). PAHs được tìm thấy với hàm lượng cao nhất trong mẫu S5 (117 ng/g), S6 (73,6 ng/g) và S4 (65,7 ng/g). Mẫu trầm tích S5 lấy tại đầm Thị Nại có hàm lượng tổng PAHs

và Me-PAHs cao hơn so với các khu vực còn lại. Một số mẫu có hàm lượng PAHs và Me-PAHs tương đối cao (ví dụ như S1, S3, S4 và S6) được lấy tại khu vực ven biển, cửa sông, phía dưới cầu và gần khu kinh tế. Các kết quả này bước đầu cho thấy mức độ ô nhiễm PAHs và Me-PAHs trong trầm tích có liên quan trực tiếp tới các hoạt động của con người, đặc biệt là hoạt động giao thông và sản xuất công nghiệp.

Các nghiên cứu về Me-PAHs trong mẫu trầm tích còn tương đối hạn chế và danh sách các chất phân tích khác nhau dẫn đến những khó khăn trong việc so sánh kết quả giữa các nghiên cứu. Hàm lượng Me-PAHs trong mẫu trầm tích của nghiên cứu này (11,8–129 ng/g) nhìn chung tương đương hoặc thấp hơn so với mức tìm thấy trong trầm tích sông tại khu vực tái chế rác thải điện tử ở Hưng Yên (19–380 ng/g) [8] và trầm tích sông tại khu vực đô thị Hà Nội (14–450 ng/g) [11]. Kishida và cs. (2007) đã đo được methylphenanthrene (1-, 2-, 3- và 4/9-Me-Phe) trong tất cả các mẫu trầm tích thu thập từ Hà Nội, Huế và thành phố Hồ Chí Minh với hàm lượng từng chất dao động từ 0,6 đến 71 ng/g [12]. Các dẫn xuất methyl của PAHs (Nap, Phe, Ant, Pyr, BaA, Chr và BaP) cũng được phát hiện phổ biến trong các mẫu trầm tích sông tại khu vực đô thị Hà Nội với hàm lượng từng chất dao động từ 0,20 đến 81 ng/g [11]. Hàm lượng của các Me-PAHs trong các mẫu trầm tích biển tại khu vực ven biển miền Trung Việt Nam (<0,10 đến 57,3 ng/g) nhìn chung nằm trong khoảng giá trị được công bố trước đây cho mẫu trầm tích mặt lấy trong đất liền [8, 11, 12].

Tại Đông Nam Á, một số nghiên cứu trước đây đã chỉ ra sự có mặt của Me-PAH trong trầm tích nhưng kết quả chi tiết về nồng độ của các chất ô nhiễm này không được báo cáo [13-15]. Hàm lượng Me-PAHs của nghiên cứu này (11,8–129; trung bình 47,3 ng/g) cao hơn so với mức hàm lượng được báo cáo trong mẫu trầm tích tại Vịnh Persian (2,39–66 ng/g) [16] nhưng thấp hơn đáng kể so với mẫu trầm tích tại cảng biển Lebanon, Trung Đông (54,1–638, trung bình 498 ng/g) [17].



Hình 2. Hàm lượng tổng 7 PAHs và 12 Me-PAHs trong các mẫu trầm tích của nghiên cứu này.

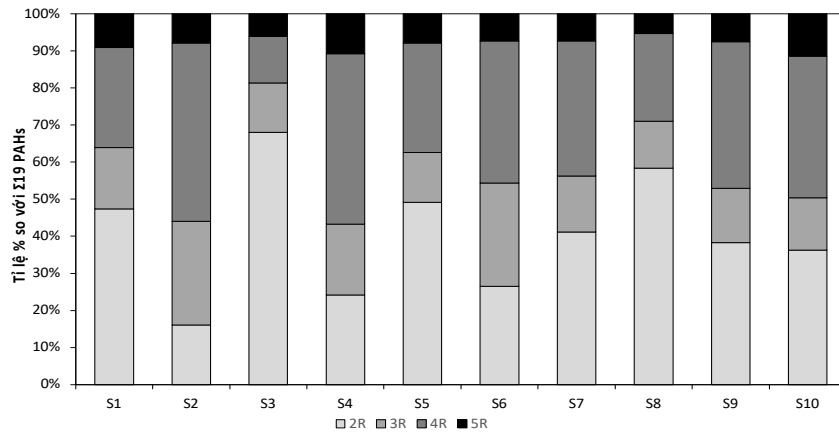
### 3.2. Đặc trưng tích lũy của PAHs và Me-PAHs theo số vòng trong phân tử

Sự phân loại các PAHs và Me-PAHs theo số vòng trong phân tử được xem là một cách tương đối để xác định nguồn gốc của chúng. Sự phát thải PAHs thường có liên quan đến hai nguồn gốc chính đó là các quá trình nhiệt độ cao (ví dụ như đốt rác thải, nhiên liệu hay các hiện tượng tự nhiên như cháy rừng, phun trào núi lửa) đặc trưng bởi các PAHs có khối lượng phân tử lớn (HMW PAHs) có từ 4 vòng trở lên [18]. Sự chảy tràn của các sản phẩm dầu mỏ đặc trưng bởi các PAHs có khối lượng phân tử thấp (LMW PAHs) có từ 2–3 vòng [18].

Đặc trưng tích lũy của các PAH và Me-PAH được trình bày trong Hình 3. Hàm lượng LMW PAHs (trung bình 58%) nhìn chung tương đương với HMW PAHs (trung bình 42%). Một số mẫu được thu thập tại các khu vực nuôi trồng đánh bắt thủy hải sản, cảng biển và nơi các tàu thuyền neo đậu S1 (64%), S3 (81%), S5 (63%), S8 (71%) có hàm lượng LMW PAHs cao hơn đáng kể so với HMW PAHs. Điều này phản ánh sự phát thải PAHs có nguồn gốc từ các sản phẩm dầu mỏ của tàu, thuyền hơn từ các quá trình nhiệt độ cao. Các mẫu còn lại có hàm lượng LMW

PAHs và HMW PAHs tương đương nhau. Nhóm PAHs chứa 2 vòng (2R) (41%) có tỉ lệ tương đương hoặc cao hơn 4 vòng (4R, 34%) trong hầu hết các mẫu ngoại trừ mẫu S2 và S4 (có tỉ lệ hợp chất 4R cao hơn 2R khoảng 2-3 lần). Hai mẫu S2 và S4 được thu thập từ cảng biển và khu vực dưới cầu diễu ra chủ yếu các hoạt động giao thông, vận tải. Chính vì vậy nguồn phát thải từ phương tiện giao thông là một trong những yếu tố đóng góp lớn đến sự ô nhiễm của PAHs và Me-PAHs tại khu vực này.

Mẫu trầm tích sông tại khu vực tái chế rác thải điện tử cũng được báo cáo với sự đóng góp nhiều nhất của hợp chất 4R (41%), tuy nhiên các hợp chất 2R (3%) lại chiếm tỉ lệ rất nhỏ trong đặc trưng tích lũy cho thấy nguồn gốc phát thải ít có liên quan đến các sản phẩm dầu mỏ [8]. Điều này cũng được chỉ ra trong mẫu trầm tích sông tại khu vực đô thị Hà Nội với tỉ lệ 4R (34% ± 8,0%) > 6R (26% ± 11%) > 3R (18% ± 7,2%) ≈ 5R (18% ± 2,3%) > 2R (6% ± 1,8%) [11]. Trầm tích tại các con sông trong khu vực đô thị được cho là nơi tiếp nhận trực tiếp PAHs, Me-PAHs phát thải từ phương tiện giao thông và sự lắng đọng của chất rắn lơ lửng trong không khí, bụi đường do đó có tỉ lệ cao của các HMW PAHs [11].



Hình 3. Đặc trưng tích lũy trong trầm tích của Me-PAHs và PAHs theo số vòng trong phân tử.

### 3.3. Đặc trưng tích lũy của PAHs và Me-PAHs theo cấu tử

Thông tin chi tiết hơn về đặc trưng tích lũy của từng chất trong tổng hàm lượng PAHs và Me-PAHs được trình bày trong Hình 4 (Xem tại phụ lục). Các chất 1-Me-Nap (20–36%) và 2-Me-Nap (14–26%) đóng góp một phần lớn trong hầu hết các mẫu ngoại trừ 3 mẫu S2, S4 và S6. Trong 3 mẫu này thì hàm lượng Pyr (12–21%) và Phe (10–18%) lại đóng góp chủ yếu trong hàm lượng tổng PAHs. Phe là hợp chất đặc trưng cho quá trình đốt cháy các nguyên liệu, rác thải và sinh khối trong khi Pyr lại đặc trưng cho quá trình thiêu đốt các sản phẩm từ dầu [18]. Điều này phù hợp với thực tế bởi các mẫu S2, S4 và S6 được thu thập từ vị trí chân cầu, cảng biển và khu vực gần nhà máy điện ra nhiều hoạt động liên quan đến quá trình sinh nhiệt, đặc biệt từ dầu và nhiên liệu. Mẫu trầm tích ở khu vực đô thị [11] và khu vực tái chế rác thải điện tử [8] cũng có tỉ lệ Phe và Pyr tương đối lớn trong tổng hàm lượng PAHs. Anthracene và các dẫn xuất methyl của chúng chiếm một tỉ lệ nhỏ trong tổng hàm lượng PAHs (từ 0 đến 4%). Tỉ lệ của BaP chiếm từ 5 đến 11%, tuy nhiên dẫn xuất của nó lại không được phát hiện trong tất cả các mẫu tại khu vực nghiên cứu.

## 4. Kết luận

Nghiên cứu này đã cung cấp những thông tin sơ bộ và cập nhật về hàm lượng và đặc trưng tích lũy của PAHs và Me-PAHs trong mẫu trầm

tích ven biển miền Trung Việt Nam. Đây được xem là một trong những nghiên cứu đầu tiên đánh giá sự ô nhiễm của Me-PAHs trong mẫu trầm tích biển ở nước ta. Nhìn chung, hàm lượng của 19 PAHs trong mẫu trầm tích biển của nghiên cứu này tương đương hoặc thấp hơn với các mẫu trầm tích sông khu vực đô thị, khu vực tái chế rác thải điện tử tại Việt Nam, cũng như trầm tích biển tại một số quốc gia khác trên thế giới. Các kết quả này cho thấy mức độ ô nhiễm của PAHs và Me-PAHs tại khu vực nghiên cứu là tương đối thấp. Đặc trưng tích lũy của PAHs và Me-PAHs đã chỉ ra nguồn gốc đến từ cả quá trình nhiệt độ cao và các sản phẩm dầu mỏ. Sự có mặt phổ biến của Me-PAHs (điển hình là Me-Nap, Me-Phe và Me-Pyr) nêu ra yêu cầu về những nghiên cứu toàn diện hơn về PAHs và các dẫn xuất của chúng để có thể đánh giá chính xác hơn mức độ ô nhiễm, nguồn gốc và tác động tiêu cực của chúng trong môi trường tại Việt Nam.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội trong đề tài mã số TN.23.09.

## Tài liệu tham khảo

- [1] K. Sroggi, Monitoring of Environmental Exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: A Review, *Environ. Chem. Lett.*, Vol. 5, 2007, pp. 169-195, <https://doi.org/10.1007/s10311-007-0095-0>.

- [2] T. Sauer, P. Boehm, The Use of Defensible Analytical Chemical Measurements for Oil Spill Natural Resource Damage Assessment, *Int Oil Spill Conf. Proc.*, 1991, pp. 363-369, <https://doi.org/10.7901/2169-3358-1991-1-363>.
- [3] P. A. Behnisch, K. Hosoe, S. Sakai, Bioanalytical Screening Methods for Dioxins and Dioxin-Like Compounds - A Review of Bioassay/Biomarker Technology, *Environ. Int.*, Vol. 27, 2001, pp. 413-439, [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(01\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(01)00028-9).
- [4] L. M. Weis, M. Rummel, S. J. Masten, J. E. Trosko, J. E. B. L. Upham, Bay or Baylike Regions of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons were Potent Inhibitors of Gap Junctional Intercellular Communication, *Environ. Health Perspect.*, Vol. 106, 1998, pp. 17-22, <https://doi.org/10.2307/3433628>.
- [5] M. Machala, L. Svihalkova-Sindlerova, K. Pencikova, P. Krcmar, J. Topinka, A. Milcova, Z. Novakova, A. Kozubik, J. Vondracek. Effects of Methylated Chrysenes on AhR-Dependent and -Independent Toxic Events in Rat Liver Epithelial Cells, *Toxicology*, Vol. 247, 2008, pp. 93-101, <https://doi.org/10.1016/j.tox.2008.02.008>.
- [6] Z. Wang, M. Fingas, Y. Y. Shu, L. Sigouin, M. Landriaults, P. Lambert, R. Turpin, P. Campana, J. Mullin, Quantitative Characterization of PAHs in Burn Residue and Soot Samples and Differentiation of Pyrogenic PAHs from Petrogenic PAHs-The 1994 Mobile Burn Study, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 33, 1999, pp. 3100-3109, <http://dx.doi.org/10.1021/es990031y>.
- [7] L. H. Tuyen, N. M. Tue, S. Takahashi, G. Suzuki, P. H. Viet, A. Subramanian, K. A. Bulbule, P. Parthasarathy, A. Ramanathan, S. Tanabe, Methylated and Unsubstituted Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Street Dust from Vietnam and India: Occurrence, Distribution and in Vitro Toxicity Evaluation, *Environ. Pollut.*, Vol. 194, 2014, pp. 272-280, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2014.07.029>.
- [8] N. T. Q. Hoa, H. Q. Anh, N. M. Tue, N. T. Trung, L. N. Da, T. V. Quy, N. T. A. Huong, G. Suzuki, S. Takahashi, S. Tanabe, P. C. Thuy, P. T. Dau, P. H. Viet, L. H. Tuyen, Soil and Sediment Contamination by Unsubstituted and Methylated Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in an Informal E-waste Recycling Area, Northern Vietnam: Occurrence, Source Apportionment, and Risk Assessment, *Sci. Total Environ.*, Vol. 709, 2020, pp. 135852, <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135852>.
- [9] H. Q. Anh, N. M. Tue, L. H. Tuyen, T. B. Minh, P. H. Viet, S. Takahashi, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Their Methylated Derivatives in Settled Dusts from End-of-life Vehicle Processing, Urban, and Rural Areas, Northern Vietnam: Occurrence, Source Apportionment and Risk Assessment, *Sci. Total Environ.*, Vol. 672, 2019, pp. 468-478, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.018>.
- [10] H. Q. Anh, I. Watanabe, N. M. Tue, L. H. Tuyen, P. H. Viet, N. K. Chi, T. B. Minh, S. Takahashi, Polyurethane Foam-based Passive Air Sampling for Simultaneous Determination of POP- and PAH-related Compounds: A Case Study in Informal Waste Processing and Urban Areas, Northern Vietnam, *Chemosphere*, Vol. 247, 2020, pp. 125991, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.125991>.
- [11] A. Q. Hoang, S. Takahashi, N. D. Le, T. T. H. Hoang, T. T. Duong, T. M. H. Pham, T. D. Nguyen, T. X. B. Phung, T. A. H. Nguyen, H. T. Le, M. T. Nguyen, M. B. Tu, Y. T. H. Nguyen, T. M. L. Nguyen, V. P. Phung, T. P. Q. Le, Unsubstituted and Methylated PAHs in Surface Sediment of Urban Rivers in the Red River Delta (Hanoi, Vietnam): Concentrations, Profiles, Sources, and Ecological Risk Assessment, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, Vol. 107, 2021, pp. 475-486, <https://doi.org/10.1007/s00128-021-03174-y>.
- [12] M. Kishida, K. Imamura, Y. Maeda, T. T. N. Lan, N. T. P. Thao, P. H. Viet, Distribution of Persistent Organic Pollutants and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Sediment Samples from Vietnam, *J. Healthy Sci.*, Vol. 53, 2007, pp. 291-301, <https://doi.org/10.1248/jhs.53.291>.
- [13] M. P. Zakaria, H. Takada, S. Tsutsumi, K. Ohno, J. Yamada, E. Kouno, H. Kumata, Distribution of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Rivers and Estuaries in Malaysia: A Widespread Input of Petrogenic PAHs, *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 36, 2002, pp. 1907-1918, <https://doi.org/10.1021/es011278>.
- [14] R. Boonyatumanond, G. Wattayakorn, A. Togo, H. Takada, Distribution and Origins of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Riverine, Estuarine, and Marine Sediments in Thailand, *Mar. Pollut. Bull.*, Vol. 52, 2006, pp. 942-956, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.12.015>.
- [15] M. Saha, A. Togo, K. Mizukawa, M. Murakami, H. Takada, M. P. Zakaria, N. H. Chiem, B. C. Tuyen, M. Prudente, R. Boonyatumanond, S. K. Sarkar, B. Bhattacharya, P. Mishra, T. S. Tana, Sources of Sedimentary PAHs in Tropical Asian



Waters: Differentiation between Pyrogenic and Petrogenic Sources by Alkyl Homolog Abundance, *Mar. Pollut. Bull.*, Vol. 58, 2009, pp. 189-200,  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.04.049>.

- [16] F. Bateni, A. Mehdinia, L. Lundin, M. S. Hashtroudi, Distribution, Source and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments of Northern Part of the Persian Gulf, *Chemosphere*, Vol. 295, 2022, pp. 133859,  
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133859>.

- [17] D. Merhaby, S. Net, J. Halwani, B. Ouddane, Organic Pollution in Surficial Sediments of Tripoli Harbour, Lebanon, *Mar. Pollut. Bull.*, Vol. 93, 2015, pp. 284-293,  
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2015.01.004>.

- [18] H. I. A. Shafy, M. S. M. Mansour, A Review on Polycyclic Aromatic Hydrocarbons: Source, Environmental Impacts, Effect on Human Health and Remediation, *Egyptian Journal of Petroleum*, Vol. 25, 2016, pp. 107-123,  
<https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.03.011>.

## PHỤ LỤC

