

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ RỦI RO SINH THÁI CỦA Cu, Hg TRONG TRẦM TÍCH SÔNG HOÀNG LONG, TỈNH NINH BÌNH

RESEARCH ON ASSESSMENT OF ECOLOGICAL RISK OF Cu, Hg IN SEDIMENTS OF HOANG LONG RIVER, NINH BINH PROVINCE

Nguyễn Thị Thu Phương^{1,*}, Trịnh Thu Hà², Nguyễn Văn Hải¹,
Phạm Thị Trà³, Đào Minh Đức³,
Phạm Hương Quỳnh⁴, Dương Thị Hạnh⁵

DOI: <http://doi.org/10.57001/hu1h5804.2025.194>

TÓM TẮT

Nghiên cứu này đã tiến hành phân tích hàm lượng kim loại nặng Cu, Hg bằng phương pháp quang phổ nguồn plasma cảm ứng cao tần kết nối khối phổ (ICP-MS) và đánh giá rủi ro sinh thái của Cu, Hg trong trầm tích sông Hoàng Long, tỉnh Ninh Bình. Mức độ ô nhiễm kim loại nặng Cu và Hg trong các mẫu trầm tích được đánh giá thông qua chỉ số mức độ ô nhiễm (C_d) và mức độ rủi ro sinh thái được đánh giá bằng chỉ số rủi ro sinh thái tiềm ẩn (RI). Kết quả nghiên cứu cho thấy trong tất cả các mẫu đều phát hiện sự có mặt của kim loại nặng Cu và Hg với hàm lượng lần lượt là 18,210 - 25,314mg/kg và 0,125 - 0,204mg/kg. So sánh với QCVN 43/2017/BTNMT cho thấy hàm lượng kim loại nặng Cu và Hg trong các mẫu đều không vượt ngưỡng cho phép theo quy chuẩn về Chất lượng trầm tích. Tính toán các giá trị hệ số mức độ ô nhiễm (C_d) trong khoảng 0,113 - 0,326 và chỉ số rủi ro sinh thái tiềm ẩn (RI) trong khoảng 0,566 - 13,040 cho thấy mức độ ô nhiễm, rủi ro sinh thái thấp của Cu và Hg trong trầm tích sông Hoàng Long, tỉnh Ninh Bình.

Từ khóa: Cu; Hg; trầm tích; rủi ro sinh thái; sông Hoàng Long.

ABSTRACT

This study analyzed the heavy metal content of Cu, Hg by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and assessed the ecological risk of Cu, Hg in the sediment of Hoang Long river, Ninh Binh province. The level of heavy metal pollution of Cu and Hg in the sediment samples was assessed through the pollution level index (C_d) and the ecological risk level was assessed by the potential ecological risk index (RI). The results of the study showed that in all samples, the presence of heavy metals Cu and Hg was detected with the content of 18.210 - 25.314mg/kg and 0.125 - 0.204mg/kg, respectively. Compared with QCVN 43/2017/BTNMT, the content of heavy metals Cu and Hg in the samples did not exceed the permissible threshold according to the standards on Sediment Quality. Calculation of the pollution level coefficient (C_d) values in the range of 0.113 - 0.326 and the potential ecological risk index (RI) in the range of 0.566 - 13.040 shows the low pollution level and ecological risk of Cu and Hg in Hoang Long river sediments, Ninh Binh province.

Từ khóa: Cu; Hg; sediment; ecological risk; Hoang Long river.

¹Khoa Công nghệ Hóa học, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³Trung tâm nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

⁴Viện Công nghệ HaUI, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

⁵Viện Khoa học và Công nghệ Năng lượng và Môi trường, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

*Email: phuongntt@hau1.edu.vn

Ngày nhận bài: 20/02/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 18/5/2025

Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2025

1. MỞ ĐẦU

Sông Hoàng Long là con sông lớn, đồng thời là một trong bốn tuyến đường thủy quốc gia trên địa bàn tỉnh Ninh Bình và là con đường huyết mạch để xây dựng, phát triển kinh tế của tỉnh Ninh Bình. Do nhiều hoạt động của con người như vận tải đường sông, xả nước thải từ các nhánh sông nhỏ, hóa chất nông nghiệp, xả thải công nghiệp..., hệ sinh thái ven sông có nguy cơ bị ảnh hưởng bởi ô nhiễm kim loại nặng trực tiếp hoặc gián tiếp [1]. Hầu hết các kim loại nặng đều có độc tính, tích tụ ở các cửa sông, đi vào môi trường sông, do độ hòa tan trong nước thấp nên sẽ tích tụ trong trầm tích và tích tụ trong các sinh vật sống, theo chuỗi thức ăn sẽ ảnh hưởng nguy hại đến sức khỏe con người [2]. Nồng độ kim loại nặng trong trầm tích được coi là một chỉ báo về điều kiện môi trường và tình trạng ô nhiễm trong hệ sinh thái ven sông. Nồng độ của chúng trong trầm tích sông tăng từ thượng nguồn xuống hạ lưu [3, 4].

Ô nhiễm kim loại nặng trong hệ thống sông ngòi trên thế giới được định lượng bằng cách sử dụng các chỉ số đánh giá ô nhiễm [5]. Kim loại nặng có thể được chia thành hai nhóm chính: kim loại thiết yếu và không thiết yếu. Một nhóm các nguyên tố bao gồm sắt (Fe), mangan (Mn), magiê (Mg), coban (Co), kẽm (Zn), đồng (Cu) là những nguyên tố thiết yếu cho sự phát triển và vòng đời của sinh vật, nhưng độc hại ở nồng độ cao. Kim loại nặng của nhóm thứ hai bao gồm chì (Pb), cadmium (Cd), thủy ngân (Hg), asen (As) độc hại ngay cả ở nồng độ thấp, không có chức năng sinh học trong quá trình trao đổi chất của sinh vật thủy sinh [6].

Mặt khác, Cu và Hg trong trầm tích có hàm lượng vết nên việc nghiên cứu phương pháp phân tích hiện đại, có độ chính xác cao, độ nhạy cao là rất cần thiết. Tại tỉnh Ninh Bình, chưa có nhiều nghiên cứu về tính toán đánh giá các chỉ số rủi ro sinh thái tiềm ẩn của kim loại Cu, Hg trong trầm tích sông trên địa bàn để cảnh báo nguy cơ ô nhiễm và định hướng các phương pháp bảo vệ môi trường sông hồ. Chính vì vậy nghiên cứu này, đã tiến hành để: 1) Xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp xác định hàm lượng Cu, Hg trong trầm tích bằng phương pháp ICP-MS; 2) Tính toán các chỉ số hệ số mức độ ô nhiễm (C_d) và chỉ số rủi ro sinh thái tiềm ẩn (RI) để đánh giá mức độ ô nhiễm của Cu, Hg trong trầm tích cũng như đánh giá rủi ro sinh thái của chúng đối với môi trường nước sông Hoàng Long, tỉnh Ninh Bình.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất và thiết bị

Hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu gồm: axit nitric đặc (HNO_3 , 65%, $d = 1,41\text{g/cm}^3$) và nước cất siêu

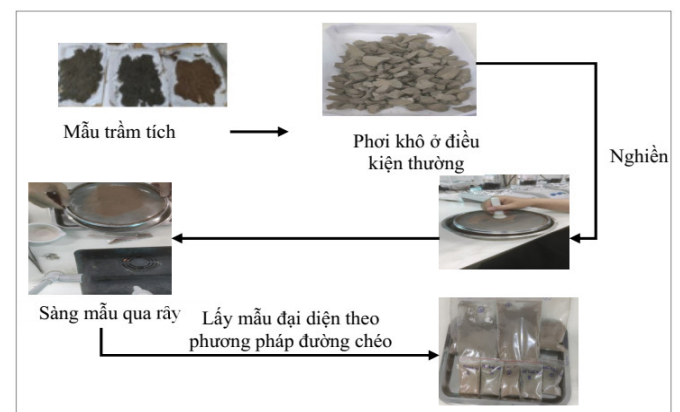
sạch Milli Q (để chuẩn bị mẫu trắng, mẫu chuẩn và mẫu môi trường). Dung dịch chất chuẩn Hg 1000mg/L; Cu 1000mg/L cho ICP-MS, Merck, xuất xứ Mỹ.

Thiết bị ICP-MS (iCAP- TQ thermo), khí Argon độ tinh khiết 99,999% (Messer); khí Heli độ tinh khiết 99,999% (Messer); khí Oxi độ tinh khiết 99,999% (Messer) được sử dụng để phân tích hàm lượng Cu, Hg.

2.2 Lấy mẫu và bảo quản

Mẫu trầm tích được lấy tại 3 điểm của sông Hoàng Long (HL1: 20,3198°N, 105,9184°E; HL2: 20,3212°N, 105,9219°E; HL3: 20,3161°N, 105,9089°E) thuộc tỉnh Ninh Bình trong năm 2024. Phương pháp lấy mẫu được thực hiện theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6663-15-2004 [13].

Mẫu trầm tích mặt sau khi được lấy từ dưới sông ở độ sâu 5 - 10cm, được cho vào túi zip nhựa đựng mẫu và đặt ngay vào thùng xốp đựng đá bảo quản lạnh ở 2 - 4°C. Khi mang về đến phòng thí nghiệm, mẫu trầm tích được phơi khô trong không khí, nơi bóng râm sau đó nhặt bỏ vật thể lạ, nghiền, sàng tới kích thước 0,5 mm, lấy mẫu đại diện theo phương pháp đường chéo.



Hình 1. Sơ đồ gia công mẫu trầm tích

2.3. Phân hủy mẫu

Xử lý mẫu bằng kỹ thuật vi sóng theo hướng dẫn của Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 6649-2000 (Chất lượng đất - Chiết các nguyên tố vết tan trong nước cường thủy) sử dụng axit HNO_3 và HCl [14]. Cân chính xác khoảng 0,300g mẫu trên cân phân tích cho vào ống teflon sạch, Thêm 8 mL dung dịch hỗn hợp cường thủy vào ống Teflon đầy kín để qua 1 đêm. Đưa ống teflon chứa mẫu vào lò vi sóng phá mẫu. Mẫu được phá theo chuẩn EPA 3051A (180°C; ramp: 5,5min; hold: 4,5min). Sau khi phá mẫu xong, chuyển hết hỗn hợp thu được qua bình định mức dung tích 50mL và định mức đến vạch. Lọc hỗn hợp qua giấy lọc Cellulose thu được dịch lọc, mẫu dung dịch lọc xong sẽ chuyển vào ống falcon 45mL, đánh số thứ tự các mẫu và mang phân tích trên thiết bị ICP-MS.

Phân tích mẫu trên ICP-MS: Các thông số điều kiện đo trên ICP-MS: công suất cao tần ~ 1550W; tốc độ khí mang ~ 0,9L/min; tốc độ khí phụ trợ ~ 0,3L/min; nhiệt độ khoang phun: 2°C; tốc độ bơm nhu động: 0,1r/s.

2.4. Xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp xác định hàm lượng Cu, Hg trong trầm tích bằng ICP-MS

Xây dựng đường chuẩn: Xây dựng đường chuẩn của hỗn hợp các kim loại được pha từ dung dịch chuẩn gốc:

Xây dựng đường chuẩn của Cu trong khoảng nồng độ từ 10 - 200µg/L;

Xây dựng đường chuẩn của Hg trong mẫu với khoảng nồng độ từ 0 - 15µg/L.

Đánh giá LOD, LOQ, độ lặp, độ tái lập, độ thu hồi của mẫu phân tích: Sử dụng mẫu trắng, mẫu lặp, mẫu thêm chuẩn để đánh giá LOD, LOQ, độ lặp, độ tái lập, độ thu hồi của mẫu phân tích.

2.5. Phương pháp đánh giá nguy cơ rủi ro sinh thái

Để đánh giá rủi ro sinh thái tiềm năng trước tiên cần thực hiện đánh giá mức độ ô nhiễm của Cu và Hg trong trầm tích theo *chỉ số mức độ ô nhiễm* (C_d) như sau:

$$C_f^i = \frac{C_0^i}{C_n^i}, \quad C_d = \sum_{n=1}^n C_f^i$$

Trong đó:

C^i - Hàm lượng kim loại nặng thứ i đo được trong trầm tích (mg/kg).

C_n^i - Hàm lượng tham chiếu của kim loại nặng trong QCVN 08:2023/BTNMT [10].

C_f^i - Yếu tố ô nhiễm của từng kim loại nặng.

Đánh giá rủi ro sinh thái tiềm năng (RI) được nhà khoa học Hakanson (Thụy Điển) đề ra [9]. Chỉ số rủi ro sinh thái tiềm năng (RI) được đánh giá dựa vào nồng độ của các kim loại nặng trong nước mặt theo công thức:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_R^i; \quad E_R^i = C_f^i \cdot T_R^i$$

Trong đó:

E_R^i - Yếu tố rủi ro sinh thái của từng kim loại nặng.

T_R^i - Hệ số độc tính của kim loại nặng. Theo nghiên cứu của Hakanson, hệ số độc tính T_R^i của kim loại nặng Cu là 5 và của Hg là 40 [8].

Thang đánh giá mức độ ô nhiễm và rủi ro sinh thái theo các đại lượng được chia như sau:

$E_R^i < 40$; $RI < 110$: Rủi ro sinh thái thấp

$40 \leq E_R^i \leq 80$; $110 \leq RI \leq 220$: Rủi ro sinh thái vừa phải

$80 \leq E_R^i \leq 160$; $220 \leq RI \leq 440$: Rủi ro sinh thái đáng quan tâm

$160 \leq E_R^i \leq 320$; $RI \geq 440$: Rủi ro sinh thái rất cao

$E_R^i \geq 320$; Rủi ro sinh thái rất cao

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả xác nhận giá trị sử dụng của phương pháp xác định hàm lượng Cu, Hg trong trầm tích bằng ICP-MS

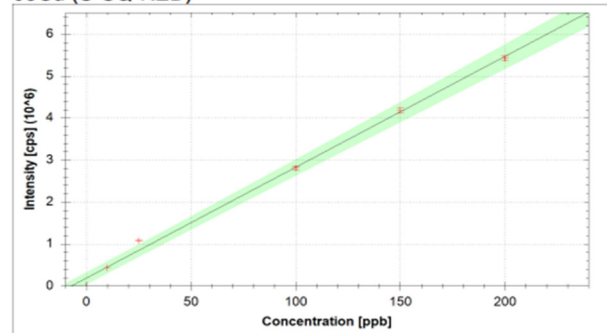
Kết quả xây dựng đường chuẩn của Cu và Hg được thể hiện qua hình 2. Kết quả cho thấy đường chuẩn của Cu và Hg thể hiện độ tuyến tính cao, hệ số hồi quy tuyến tính (R^2) đạt trên 0,999 đạt yêu cầu theo AOAC; khoảng tuyến tính của Cu là 10 - 200µg/L; khoảng tuyến tính của Hg là 0 - 15µg/L.

Phương trình đường chuẩn của Cu: $y = 26384,0752x + 188918,2932$; $R^2 = 0,9961$.

Phương trình đường chuẩn của Hg: $y = 28242,3866x - 1250,3882$; $R^2 = 0,9996$.

Trong đó: y là giá trị đo được trên thiết bị ICP-MS; x là nồng độ dung dịch tương ứng của chất phân tích (µg/L).

63Cu (S-SQ-KED)

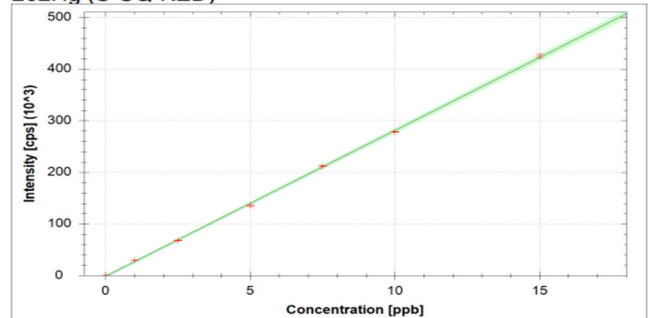


$$f(x) = 26384.0752 \cdot x + 188918.2932$$

$$R^2 = 0.9961$$

a) Đường chuẩn của Cu

202Hg (S-SQ-KED)



$$f(x) = 28242.3866 \cdot x - 1250.3882$$

$$R^2 = 0.9996$$

b) Đường chuẩn của Hg

Hình 2. Đường chuẩn của kim loại Cu và Hg trên thiết bị ICP-MS

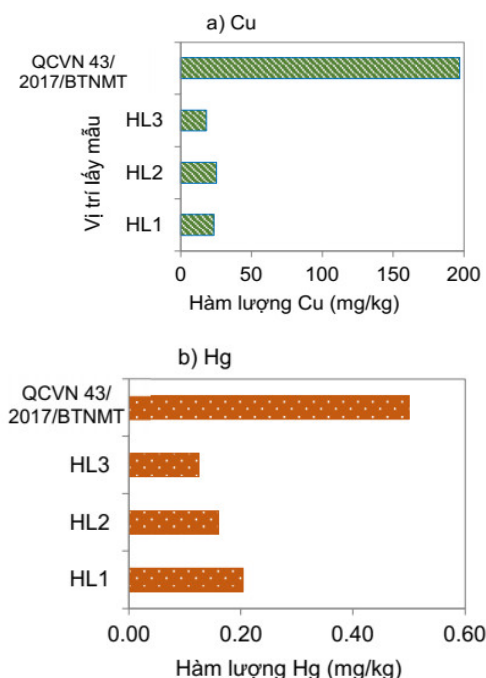
Giới hạn phát hiện (LOD) của Cu, Hg đều là 0,0047µg/kg; giới hạn định lượng (LOQ) của Cu, Hg là

0,0167 μ g/kg; Kết quả đo độ lặp và độ tái lặp cho thấy độ lệch chuẩn tương đối (RSD%) của độ lặp và độ tái lặp đối với Cu tương ứng là 0,773% và 1,21%; đối với Hg đạt 1,49% và 2,79%, các giá trị này đều đáp ứng tiêu chuẩn của AOAC. Như vậy, độ lặp và độ tái lặp của phương pháp đều đạt yêu cầu.

Độ thu hồi của phương pháp ở 3 mức nồng độ thấp, trung bình, cao cho thấy hiệu suất thu hồi của Cu đạt 98,9 - 101% và của Hg đạt 96,2 - 99,28%. Kết quả cho thấy độ thu hồi của phương pháp đạt yêu cầu theo AOAC.

3.2. Kết quả hàm lượng Cu và Hg trong trầm tích sông Hoàng Long

Kết quả phân tích kim loại Cu và Hg trong mẫu trầm tích sông Hoàng Long cho thấy, thấy hàm lượng Cu dao động trong khoảng $22,3 \pm 3,67$ mg/kg và hàm lượng Hg dao động trong khoảng $0,163 \pm 0,040$ mg/kg. Từ các kết quả có được sau khi phân tích mẫu trầm tích cho thấy hàm lượng Cu cao hơn nhiều so với hàm lượng Hg, hàm lượng của Cu và Hg đều đạt yêu cầu về chất lượng trầm tích theo QCVN 43/2017/BTNMT với giá trị hàm lượng Cu cho phép là 22,3mg/kg, thấp hơn 8,8 lần (theo QCVN 43/2017/BTNMT là 197mg/kg [9]) và giá trị hàm lượng Hg cho phép là 0,163mg/kg, thấp hơn 3 lần (theo QCVN 43/2017/BTNMT là 0,5mg/kg [9]) (hình 3).



Hình 3. So sánh hàm lượng kim loại Cu và Hg trong mẫu trầm tích sông Hoàng Long và QCVN 43/2017/BTNMT

So sánh hàm lượng kim loại nặng giữa khu vực nghiên cứu với giới hạn hàm lượng Cu, Hg trong trầm tích sông ở Việt Nam và trên thế giới cho thấy hàm lượng kim loại

nặng Cu và Hg trong trầm tích sông Hoàng Long ở tỉnh Ninh Bình có hàm lượng thấp hơn và không vi phạm giới hạn hàm lượng của hai kim loại này trong trầm tích nếu so với giá trị quy định ở Hoa Kỳ, Canada (bảng 1).

Bảng 1. Hàm lượng kim loại nặng Cu, Hg của trầm tích sông Hoàng Long so với giới hạn hàm lượng kim loại trong trầm tích quy định ở Việt Nam và trên thế giới

Địa điểm	Hàm lượng (mg/kg)		Tài liệu tham khảo
	Cu	Hg	
Sông Hoàng Long	22,3	0,163	Nghiên cứu này
Việt Nam	197	0,5	[9]
Hoa Kỳ	28	0,2	[11]
Canada	35,7	0,17	[12]

3.3. Đánh giá mức độ rủi ro của Cu và Hg đối với hệ sinh thái trầm tích sông Hoàng Long

Kết quả tính toán hệ số mức độ ô nhiễm (C_d) của kim loại nặng Cu và Hg trong trầm tích sông Hoàng Long có giá trị là 0,4392. Đối chiếu giá trị C_d trong thang đánh giá mức độ ô nhiễm kim loại cho thấy mức độ ô nhiễm kim loại nặng Cu và Hg trong các mẫu trầm tích sông có giá trị C_d nằm trong khoảng $C_d \leq 8$ nên mức độ ô nhiễm của 2 kim loại Cu và Hg ở sông Hoàng Long của Ninh Bình là thấp.

Sau khi đánh giá mức độ ô nhiễm của kim loại nặng Cu và Hg, tính toán hệ số rủi ro sinh thái tiềm ẩn (E^i) và chỉ số rủi ro (RI) của kim loại nặng Cu và Hg trong trầm tích tại sông Hoàng Long, kết quả tính toán thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Hệ số mức độ ô nhiễm của kim loại Cu và Hg trong trầm tích sông Hoàng Long

C_i^0		C_i^n		C_i^f		Hệ số mức độ ô nhiễm kim loại (C_d) $C_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_i^f}{C_i^0}$	E^i		RI
Cu	Hg	Cu	Hg	Cu	Hg		Cu	Hg	
22,3	0,163	197	0,5	0,113	0,326	0,439	0,566	13,04	13,606

Kết quả tính chỉ số rủi ro sinh thái tiềm ẩn (RI) của kim loại nặng Cu và Hg trong trầm tích sông Hoàng Long ở Ninh Bình có giá trị là 13,606. Đối chiếu với giá trị đánh giá rủi ro sinh thái tiềm ẩn (RI) nhận thấy chỉ số rủi ro sinh thái tiềm ẩn RI của mẫu trầm tích sông trong nghiên cứu này nằm trong khoảng ($E^i < 45$; $RI < 150$), điều đó cho thấy mức độ rủi ro sinh thái thấp tại trầm tích sông Hoàng Long tương đối thấp. Tuy nhiên, số lượng mẫu của nghiên cứu

vẫn còn ít, nên vẫn cần phải có các nghiên cứu với số lượng mẫu lớn hơn và với nhiều kim loại hơn để có những kết quả đánh giá đồng bộ, và vẫn cần có những biện pháp nhằm giảm thiểu các kim loại nặng như Cu, Hg bởi tính độc cao của chúng đến hệ sinh thái.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xác nhận được giá trị sử dụng của phương pháp phân tích lượng Cu, Hg trong trầm tích trên thiết bị ICP-MS với độ tuyến tính tốt, độ lặp và độ tái lập tốt, độ thu hồi cao. Phân tích trầm tích sông Hoàng Long, tỉnh Ninh Bình cho thấy kim loại nặng Cu có hàm lượng trong khoảng $22,3 \pm 3,67$ mg/kg và hàm lượng Hg dao động trong khoảng $0,163 \pm 0,040$ mg/kg, các giá trị này không vượt ngưỡng cho phép của QCVN 43/2017/BTNMT. Mức độ ô nhiễm và rủi ro sinh thái của kim loại nặng Cu và Hg trong trầm tích sông Hoàng Long đều ở mức thấp với hệ số mức độ ô nhiễm (C_d) trong khoảng 0,113 - 0,326 và chỉ số rủi ro sinh thái tiềm ẩn (RI) trong khoảng 0,566 - 13,040. Kim loại nặng Cu và Hg trong các mẫu trầm tích này không gây ảnh hưởng đến hệ sinh thái cũng như môi trường sống của các loài động thực vật dưới nước. Tuy nhiên đây mới chỉ là nghiên cứu bước đầu vì trong nghiên cứu này còn hạn chế về số lượng mẫu trầm tích cũng như số lượng các kim loại phân tích, chưa đề cập đến các yếu tố rủi ro sinh thái từ các tác động khác, do đó cần những nghiên cứu với số lượng mẫu nhiều hơn và nhiều kim loại nặng hơn, phân tích các tác động của các yếu tố khác một cách đồng bộ để đánh giá tổng thể về mức độ ô nhiễm kim loại nặng trong trầm tích.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện bởi sự hỗ trợ tài chính của Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (Nafosted), mã số đề tài: 104.04-2024.02.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Đào Trung Thành, 2021, *Nghiên cứu đánh giá sự phân bố rủi ro của một số kim loại nặng trong nước và trầm tích: Áp dụng tại sông Kim Ngưu thành phố Hà Nội*, Tạp chí Công nghệ môi trường. 2021. Tru cập ngày 06/5/2025 <https://congnghepmoitrung.vn/nguyen-cuu-danh-gia-su-phan-bo-va-rui-ro-sinh-thai-cua-mot-so-kim-loai-nang-trong-nuoc-va-tram-tich-ap-dung-tai-song-kim-nguu-thanh-pho-ha-noi-7694.html>
- [2]. L.K. Pandey, I. Lavoie, S. Morin, J. Park, J. Lyu, S. Choi, H. Lee, T. Han, "River water quality assessment based on a multi-descriptor approach including chemistry, diatom assemblage structure, and non-taxonomical diatom metrics," *Ecol. Ind.*, 84, 140-151, 2018.

[3]. V. Kumar, et al., "A review of ecological risk assessment and associated health risks with heavy metals in sediment from India," *International Journal of Sediment Research*, 35(5), 2020.

[4]. Tang W., Ao L., Zhang H., Shan B., "Accumulation and risk of heavy metals in relation to agricultural intensification in the river sediments of agricultural regions," *Environ. Earth Sci*, 71, 3945-3951, 2014.

[5]. Charkhabi A.H., Sakizadeh M., Bayat R., "Land use effects on heavy metal pollution of river sediments in Guilan, southwest of the Caspian sea," *Casp. J. Environ. Sci.*, 6:133-140, 2008.

[6]. Maria Zeb, Kifayatullah Khan, Muhammad Younas, Xianghui Cao, Yasar N. Kavil, Saeed Saad Alelyani, Mohammed M. Alkasbi, Abdullah G. Al-Sehemi, "The distribution of trace metals in Florida bay sediments Marine Pollution Bulletin, A review of heavy metals pollution in riverine sediment from various Asian and European countries: Distribution, sources, and environmental risk," *Marine Pollution Bulletin*, 206:116775, 2024.

[7]. Le Hung Phu, Nguyen Hong Thu, Pham Hong Ngoc, Le Trong Dung, Dao Viet Ha, "Levels of heavy metals in seawater, sediment and in the tissue of *Crassostrea belcheri* in the western estuary of Ganh Rai bay," *Vietnam Journal of Marine Science and Technology*, 20, 4A, 45-54, 2020.

[8]. L. Hakanson, "An ecological risk index for aquatic pollution control, A sediment ecological approach," *Water Research*, 14, 8, 975-1001, 1980.

[9]. QCVN 43:2017: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng trầm tích. Bộ Tài nguyên và Môi trường.

[10]. QCVN 08-MT:2023/BTNMT: Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt. Bộ Tài nguyên và Môi trường.

[11]. US. EPA, *Screening Level Ecological Risk Assessment Protocol*. Appendix E: Toxicity Reference Values: U.S. EPA Region 6, 2014.

[12]. Canadian environmental quality guidelines, *Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life, summary tables*, updated. 2001.

[13]. TCVN 6663-15-2004: Tiêu chuẩn quốc gia về chất lượng nước - Lấy mẫu - Phần 15: Bảo quản và xử lý mẫu bùn và trầm tích. Bộ Khoa học và Công nghệ.

[14]. TCVN 6649-2000, (ISO 11466:1995): Chất lượng đất - Chiết các nguyên tố vết tan trong nước cường thủy. Bộ Khoa học và Công nghệ.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Thi Thu Phuong¹, Trinh Thu Ha², Nguyen Van Hai¹, Pham Thi Tra³, Dao Minh Duc³, Pham Huong Quynh⁴, Duong Thi Hanh⁵

¹Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry, Vietnam

²Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

³Center for High Technology Research and Development, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

⁴HaUI Institute of Technology, Hanoi University of Industry, Vietnam

⁵Institute of Science and Technology for Energy and Environment, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam