

ĐÁNH GIÁ RỦI RO SINH THÁI DO TÍCH LŨY KIM LOẠI NẶNG TRONG TRẦM TÍCH MẶT TẠI SÔNG BÔNG MIÊU, QUẢNG NAM

ECOLOGICAL RISK ASSESSMENT DUE TO HEAVY METAL ACCUMULATION IN SURFACE SEDIMENT IN BONG MIEU RIVER, QUANG NAM

Lê Văn Hào¹, Lê Phước Cường^{2*}

¹Học viên cao học khoá K43, Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

²Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

*Tác giả liên hệ / Corresponding author: lpcuong@dut.udn.vn

(Nhận bài / Received: 04/8/2023; Sửa bài / Revised: 07/9/2023; Chấp nhận đăng / Accepted: 11/9/2023)

Tóm tắt - Nghiên cứu này tiến hành đánh giá khả năng tích lũy và rủi ro sinh thái một số kim loại nặng (As, Pb, Cd, Hg, Cu, Cr, Zn) trong trầm tích mặt sông Bông Miêu, tỉnh Quảng Nam. Kết quả nghiên cứu cho thấy, trong hai đợt lấy mẫu, nồng độ của các nguyên tố Hg, Cu, Cr, Zn, Cd trong trầm tích mặt đều nằm trong giới hạn cho phép của QCVN 43:2017/BTNMT (Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về chất lượng trầm tích), riêng nồng độ As và Pb tại tất cả các vị trí lấy mẫu đều cao hơn nhiều lần so với QCVN 43:2017/BTNMT, cụ thể As cao hơn từ 4,1 - 25,4 lần, Pb cao hơn từ 2,3 - 7,8 lần. Nồng độ các kim loại nặng ở mùa khô có xu hướng cao hơn mùa mưa. Mức độ tích lũy ô nhiễm trong trầm tích của As, Pb ở mức nặng, có dấu hiệu ô nhiễm Cd, các kim loại nặng còn lại chưa thấy dấu hiệu ô nhiễm hoặc ô nhiễm nhẹ.

Từ khóa - Kim loại nặng; trầm tích mặt; sông Bông Miêu; tích lũy; rủi ro sinh thái

1. Đặt vấn đề

Kim loại nặng (KLN) là thuật ngữ chỉ những kim loại có tỷ trọng lớn hơn 5mg/cm³ (Crom, kẽm, đồng, thủy ngân, asen, chì, cadimi,...) [1]. Các kim loại nặng này có tính tồn lưu, tích lũy sinh học, độc tính cao đối với môi trường thủy sinh [2]. Kim loại nặng xuất hiện trong nguồn nước thải công nghiệp, hoạt động sản xuất nông nghiệp, chất thải trong hoạt động khai thác khoáng sản,... Khi chất thải có chứa các kim loại nặng bị thải bỏ ra môi trường, một phần nhỏ hòa tan trong nước, phần lớn còn lại liên kết với các hạt lơ lửng lắng đọng trong trầm tích. Vì vậy, đánh giá khả năng tích lũy kim loại nặng trong trầm tích là cơ sở quan trọng để đánh giá sức khỏe hệ sinh thái dưới nước.

Đánh giá rủi ro sinh thái là công cụ để đánh giá tác động tiềm năng toàn diện của chất ô nhiễm đối với hệ sinh thái. Trong nghiên cứu này, quá trình đánh giá rủi ro sinh thái dựa vào chỉ số RI (Potential ecological risk index) được Lars Hakanson đề xuất [3], với ưu điểm đánh giá được các tác động toàn diện của các KLN đối với hệ sinh thái.

Sông Bông Miêu là phụ lưu thuộc hệ thống sông Vu Gia - Thu Bồn. Sông bắt nguồn từ vùng núi phía đông xã Trà Kót huyện Bắc Trà My, chảy theo hướng Tây Bắc qua huyện Phú Ninh, đổ vào sông Tiên ở xã Tiên Lập, huyện Tiên Phước. Khả năng sử dụng nguồn nước sông Bông Miêu để phục vụ sản xuất và sinh hoạt. Chất lượng nước và trầm tích sông Bông Miêu chịu tác động mạnh mẽ từ quá trình khai thác vàng.

Abstract - In this study, the accumulation level and ecological risks of several heavy metals (As, Pb, Cd, Hg, Cu, Cr, Zn) in surface sediments of Bong Mieu river, Quang Nam province was assessed. Research results showed that, in two sampling periods, the concentrations of Hg, Cu, Cr, Zn, Cd elements in sediments were all within the acceptable limits of VNTR 43:2017/MONRE, particularly As and Pb at all sampling locations were significantly higher than VNTR 43:2017/MONRE, specifically As was 4.1 - 25.4 times higher, Pb was 2.3 - 7.8 times higher. Concentrations of heavy metals in the dry season tend to be higher than in the wet season. The level of contamination accumulation in the sediments of As, Pb is at a heavy contaminated, there are signs of Cd contamination, the remaining heavy metals have not shown any signs of contamination or moderately.

Key words - Heavy metals; surface sediments; Bong Mieu river; accumulate; ecological risk

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả trình bày kết quả đánh giá mức độ tích lũy và rủi ro sinh thái của các kim loại nặng (As, Pb, Hg, Cu, Zn, Cr, Cd) trong trầm tích mặt sông Bông Miêu. Tại khu vực sông Bông Miêu, tỉnh Quảng Nam, cho đến thời điểm hiện nay vẫn chưa có nghiên cứu cụ thể về đánh giá tích lũy ô nhiễm và rủi ro sinh thái của KLN trong trầm tích. Vì vậy, kết quả nghiên cứu làm cơ sở dữ liệu cho cơ quan quản lý biết tình trạng ô nhiễm KLN trong trầm tích và đưa ra giải pháp quản lý phù hợp, bên cạnh đó kết quả nghiên cứu tạo được nguồn cơ sở dữ liệu khoa học cho các nghiên cứu chuyên sâu tiếp theo về sự tích lũy và khả năng gây độc hệ sinh thái của các kim loại nặng trong trầm tích mặt.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, các thông số kim loại nặng As, Pb, Hg, Cd, Cu, Cr, Zn được tiến hành trên nền mẫu trầm tích tầng mặt sông Bông Miêu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp lấy mẫu và bảo quản mẫu

Qua quá trình khảo sát thực địa, kết hợp tham vấn cộng đồng, xác định được 10 vị trí lấy mẫu. Mẫu được lấy 2 đợt, đợt 1 (mùa mưa - tháng 12 năm 2022), đợt 2 (mùa khô - tháng 04 năm 2023). Mẫu trầm tích được lấy ở lớp bề mặt, có độ sâu từ 0-10cm bằng thiết bị lấy mẫu trầm tích Ekman, tại mỗi vị trí lấy 3 mẫu cách nhau từ 2-3m, lấy mẫu theo

¹ Master student of K43, The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Le Van Hao)

² The University of Danang - University of Science and Technology, Danang, Vietnam (Le Phuoc Cuong)

quy tắc tam giác cân. Sau đó lấy một lượng bằng nhau từ 3 mẫu cho ra khay, trộn đều và cho vào chai thủy tinh tối màu thu được 1 mẫu tổ hợp với khối lượng khoảng 1kg. Khu vực nghiên cứu, vị trí lấy mẫu được thể hiện qua Hình 1.

2.2.2. Phương pháp xử lý và phân tích mẫu

Mẫu sau khi được lấy về phòng thí nghiệm, tiến hành xử lý sơ bộ, mẫu trầm tích được làm khô ngoài không khí, sau đó tiến hành nghiền mẫu và rây mẫu qua lưới có kích thước 0,25mm, chọn ra phần đại diện cho từng mẫu.

Sau khi xử lý sơ bộ, được phần mẫu đại diện. Mẫu trầm tích được chiết theo hướng dẫn TCVN 6649:2000 - Chất lượng đất - Chiết các nguyên tố vết tan trong nước cường thủy. Cân khoảng 3g mẫu chính xác đến 0,001g cho vào bình phản ứng dung tích 250 ml. Làm ướt với khoảng từ 0,5 ml đến 1,0 ml nước và vừa trộn vừa cho thêm 21 ml axit clohidric (37%), sau đó cho thêm 7 ml axit nitric (65%). Cho 15ml axit nitric (0,5M) vào bình hấp thụ. Nồi bình hấp thụ và bộ sinh hàn với bình phản ứng và để yên 16 giờ ở nhiệt độ phòng để quá trình oxi hoá các chất hữu cơ trong trầm tích xảy ra từ từ. Sau 16 giờ, tiến hành phân hủy mẫu bằng nhiệt, đảm bảo rằng vùng ngưng tụ thấp hơn 1/3 chiều cao của bộ sinh hàn trong 2 giờ. Sau đó tiến hành lọc và định mức lên 100ml, thu được dịch chiết.

Sau khi phân hủy mẫu bằng hỗn hợp nước cường thủy, thu được dịch chiết. Phân tích nồng độ KLN trong dịch chiết bằng máy quang phổ hấp thụ nguyên tử AAS contrAA 700 của Analytik Jena, được sản xuất tại Đức.

* Xác định hàm lượng khô kiệt của mẫu trầm tích

Mẫu sau khi xử lý sơ bộ, chọn được phần mẫu đại diện đem phân tích. Xác định hệ số khô kiệt trên mẫu phân tích như sau: Sấy đĩa đựng mẫu ở nhiệt độ từ 100°C đến 105°C, để trong bình hút ẩm đến nhiệt độ trong phòng (từ 20 phút đến 45 phút), xác định khối lượng đĩa đựng mẫu (m_3). Cân khoảng 5,0 g trầm tích đã được làm khô trong không khí trên cân phân tích, cho vào đĩa đựng mẫu, xác định khối lượng trầm tích và đĩa (m_1). Sấy đĩa có mẫu trầm tích trong tủ sấy ở nhiệt độ từ 100°C đến 105°C đến khối lượng không đổi. Làm nguội đĩa có mẫu trầm tích trong bình hút ẩm đến nhiệt độ trong phòng (từ 20 phút đến 45 phút). Lấy đĩa có mẫu trầm tích ra khỏi bình hút ẩm, xác định ngay khối lượng bằng cân phân tích (m_2).

- Xác định độ ẩm (A) theo mẫu trầm tích khô kiệt:

$$A (\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_3} \times 100$$

Trong đó:

m_1 : Khối lượng của đĩa chứa trầm tích được làm khô trong không khí, tính bằng gam;

m_2 : Khối lượng của đĩa chứa trầm tích sau khi sấy, tính bằng gam;

m_3 : Khối lượng của đĩa, tính bằng gam;

100: Hệ số qui đổi ra %.

- Xác định hệ số khô kiệt (k):

$$k = \frac{100 + A}{100}$$

- Xác định khối lượng của trầm tích được làm khô trong không khí (m) đối với trầm tích khô kiệt (m'):

$$m' = \frac{m}{k}$$

- Nồng độ KLN trong mẫu trầm tích khô được xác định:

$$C = \frac{C_a \times V_d}{m} = \frac{C_a \times V_d}{m} \times k$$

Trong đó:

C: Nồng độ KLN trong mẫu trầm tích khô (mg/kg);

C_a : Nồng độ KLN trong dịch chiết sau khi phân hủy mẫu trầm tích (mg/l);

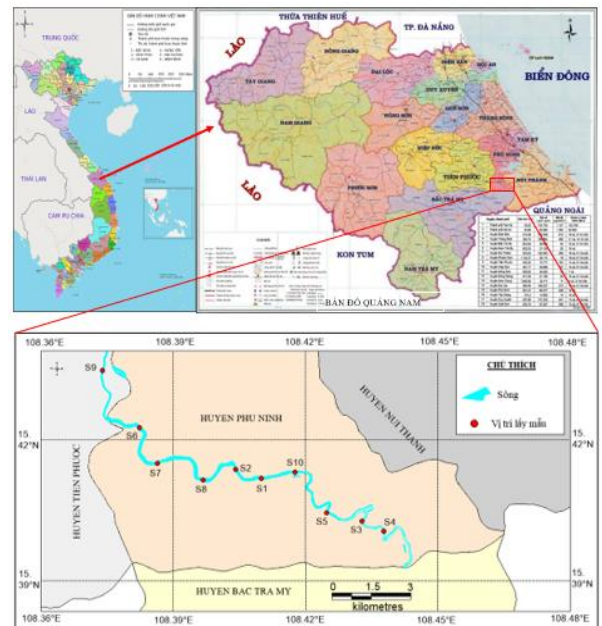
V_d : Thể tích định mức sau khi chiết mẫu (ml);

m: Khối lượng trầm tích được làm khô ngoài không khí đem đi phân tích (gam);

k: Hệ số khô kiệt.

Đảm bảo chất lượng và kiểm soát chất lượng trong phân tích (QA/QC)

Tất cả hóa chất sử dụng trong phân tích thuộc loại hóa chất tinh khiết, các dung dịch tiêu chuẩn As, Pb, Hg, Cd, Cu, Cr, Zn có nồng độ 1000mg/l, được cấp giấy xác nhận chuẩn, có xuất xứ từ hãng Merck (Đức). Trong mỗi mẻ mẫu phân tích, tiến hành thực hiện các mẫu song song với mẫu thực bao gồm: Mẫu trắng, mẫu chuẩn, mẫu thêm chuẩn, mẫu lặp. Đối với mẫu trắng đảm bảo nồng độ chất phân tích nhỏ hơn giới hạn phát hiện của phương pháp, mẫu chuẩn và mẫu thêm chuẩn có độ thu hồi 90-105%, mẫu lặp (lặp lại 3 lần) có độ lệch chuẩn tương đối nhỏ hơn 8% (AOAC INTERNATIONAL, 2019).



Hình 1. Bản đồ vị trí lấy mẫu tại sông Bông Miêu

2.2.3. Phương pháp đánh giá mức độ tích lũy KLN trong trầm tích

Sử dụng chỉ số tích lũy địa chất I_{geo} (Index of Geoaccumulation) theo hướng dẫn G. Muller đề xuất [4], để đánh mức độ tích lũy ô nhiễm KLN (công thức 1).

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5 \cdot B_n} \right) \quad (1)$$

Trong đó:

C_n : Nồng độ KLN trong mẫu trầm tích nghiên cứu (mg/kg);

B_n : Nồng độ kim loại trung bình, theo Karl K. Turekian

và Karl Hans Wedepohl, 1961. (Pb=20, Hg=0,4, Cu=45, Cr=90, Cd=0,3, Zn=95, As=13) [5]

Bảng 1. Thang đánh giá mức độ ô nhiễm KLN dựa vào chỉ số I_{geo} [4]

| Giá trị I_{geo} | Mức độ ô nhiễm |
|----------------------|-------------------------------|
| $I_{geo} \leq 0$ | Không ô nhiễm |
| $0 < I_{geo} \leq 1$ | Ô nhiễm nhẹ |
| $1 < I_{geo} \leq 2$ | Ô nhiễm trung bình |
| $2 < I_{geo} \leq 3$ | Ô nhiễm trung bình đến nặng |
| $3 < I_{geo} \leq 4$ | Ô nhiễm nặng |
| $4 < I_{geo} \leq 5$ | Ô nhiễm nghiêm trọng |
| $I_{geo} > 5$ | Ô nhiễm đặc biệt nghiêm trọng |

2.2.4. Phương pháp đánh giá rủi ro sinh thái

Bảng 2. Thang đánh giá rủi ro sinh thái [3]

| Giá trị E_r^i | Giá trị RI | Mức độ rủi ro sinh thái |
|------------------------|---------------------|--------------------------------|
| $E_r^i < 40$ | $RI < 150$ | Rủi ro sinh thái thấp |
| $40 \leq E_r^i < 80$ | $150 \leq RI < 300$ | Rủi ro sinh thái trung bình |
| $80 \leq E_r^i < 160$ | $300 \leq RI < 600$ | Rủi ro sinh thái đáng quan tâm |
| $160 \leq E_r^i < 320$ | - | Rủi ro sinh thái cao |
| $320 \leq E_r^i$ | $600 \leq RI$ | Rủi ro sinh thái rất cao |

Sử dụng chỉ số rủi ro sinh thái tiềm năng RI và yếu tố rủi ro sinh thái E_r^i (Potential ecological risk factor) để đánh giá rủi ro sinh thái của KLN trong trầm tích. Phương pháp này được đề xuất bởi Lars Hakanson, 1980 (công thức 2, 3, 4) [3].

$$C_f^i = \frac{C_0^i}{C_n^i} \quad (2); \quad E_r^i = C_f^i \times T_R^i \quad (3); \quad RI = \sum_i^n E_r^i \quad (4)$$

Trong đó:

C_0^i : Nồng độ KLN trung bình đo được trong trầm tích tại khu vực nghiên cứu (mg/kg);

C_n^i : Giá trị của KLN trong trầm tích theo QCVN43:2017/BTNMT;

C_f^i : Yếu tố ô nhiễm của từng kim loại;

T_R^i : Hệ số độc tính của KLN, theo Hakanson hệ độc tính

tương ứng của từng kim loại Cu=Pb=5, As=10, Cd=30, Cr=2, Hg=40, Zn=1 [3].

2.2.5. Phương pháp phân tích xử lý thống kê

Các số liệu được xử lý trên phần mềm Microsoft Excel.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Nồng độ kim loại nặng trong trầm tích

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả tiến hành phân tích xác định nồng độ 7 thông số kim loại nặng, trong 2 đợt lấy mẫu, tại 10 vị trí trầm tích mặt, khu vực sông Bông Miêu (Hình 1), làm cơ sở để đánh giá mức độ ô nhiễm và rủi ro sinh thái do KLN, kết quả phân tích được trình bày ở Bảng 3. Qua kết quả phân tích cho thấy, nồng độ As dao động từ 70,6 - 432,5mg/kg, nồng độ Pb dao động từ 216,3 - 713,3mg/kg, nồng độ Hg dao động từ 0,138 - 1,55mg/kg, nồng độ Cd dao động từ 0,913 - 2,77mg/kg, nồng độ Cr dao động từ 10,5 - 26,3mg/kg, nồng độ Cu dao động từ 18,3 - 78,6mg/kg, nồng độ Zn dao động từ 49,3 - 175mg/kg. So sánh với QCVN 43:2017/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về chất lượng trầm tích (áp dụng đối tượng nghiên cứu cho chất lượng trầm tích nước ngọt) [6], nồng độ As và Pb đều vượt so với tiêu chuẩn cho phép (TCCP) tại tất cả các vị trí lấy mẫu. Trong đó, nồng độ As vượt từ 4,1 - 25,4 lần, nồng độ As cao nhất tại vị trí S2 - gần nhà máy khai thác vàng, khu vực chịu tiếp nhận chất thải từ nhà máy, tại vị trí này nồng độ Cr, Cd và Cu đều cao nhất so với các vị trí còn lại. Nồng độ Pb vượt từ 2,3 - 7,8 lần, nồng độ cao nhất của Pb tại vị trí S8 - hạ lưu dòng chảy và nhận nguồn thải từ hai nhà máy khai thác vàng. Tại khu vực hạ lưu sông Bông Miêu (S9), nơi tiếp giáp sông Tiên nồng độ As và Pb cũng rất cao, điều này có thể giải thích do có sự dịch chuyển các chất ô nhiễm trong trầm tích về phía hạ lưu. Nồng độ các KLN Cr, Cu, Zn, Cd, Hg hầu hết đều nằm trong giới hạn cho phép của quy chuẩn, ngoại trừ nồng độ Hg tại vị trí S1 và S2 vào mùa khô, vượt mức cho phép của QCVN 43:2017/BTNMT lần lượt 1,93 lần và 3,1 lần. Các mẫu trầm tích được lấy gần hoạt động khai thác vàng trái phép vùng thượng nguồn sông, vị trí S3, S4 cũng cho thấy dấu hiệu ô nhiễm As và Pb.

Bảng 3. Kết quả phân tích một số kim loại nặng trong mẫu trầm tích tại sông Bông Miêu

| Vị trí | Nồng độ kim loại nặng trong trầm tích giữa hai mùa (mg/kg khô) | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | As | | Pb | | Hg | | Cd | | Cr | | Cu | | Zn | |
| | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 |
| S1 | 129,5 | 193,3 | 249,1 | 550,0 | 0,252 | 0,996 | 1,01 | 1,77 | 10,5 | 15,7 | 18,3 | 44,5 | 49,3 | 137,3 |
| S2 | 341,2 | 432,5 | 378,2 | 466,7 | 0,208 | 1,55 | 1,51 | 2,50 | 19,1 | 20,3 | 45,5 | 78,6 | 76,1 | 175,0 |
| S3 | 99,2 | 135,8 | 353,5 | 515,2 | 0,195 | 0,267 | 0,967 | 2,77 | 15,7 | 26,3 | 31,4 | 28,6 | 80,9 | 107,5 |
| S4 | 85,0 | 149,8 | 380,1 | 495,0 | 0,202 | 0,272 | 0,935 | 1,77 | 14,7 | 17,8 | 30,0 | 21,7 | 71,2 | 88,7 |
| S5 | 70,6 | 95,1 | 216,3 | 221,8 | 0,138 | 0,187 | 0,913 | 0,833 | 13,9 | 13,5 | 26,3 | 23,7 | 61,9 | 52,5 |
| S6 | 234,2 | 275,0 | 373,6 | 381,7 | 0,172 | 0,367 | 1,22 | 1,05 | 14,5 | 20,0 | 18,5 | 24,1 | 70,7 | 76,7 |
| S7 | 214,2 | 297,3 | 477,6 | 415,0 | 0,191 | 0,152 | 1,34 | 1,41 | 13,8 | 19,4 | 20,5 | 26,0 | 84,1 | 97,7 |
| S8 | 245,1 | 270,1 | 504,1 | 713,3 | 0,189 | 0,168 | 1,21 | 2,60 | 17,4 | 25,3 | 24,9 | 42,0 | 80,1 | 125,0 |
| S9 | 246,2 | 230,5 | 331,3 | 410,6 | 0,155 | 0,183 | 0,978 | 1,07 | 15,9 | 18,1 | 22,7 | 20,2 | 71,7 | 77,8 |
| S10 | 123,1 | 180,0 | 495,2 | 565,3 | 0,183 | 0,242 | 1,07 | 1,83 | 13,6 | 15,0 | 27,3 | 23,7 | 83,5 | 113,3 |
| QCVN 43:2017/ BTNMT | 17,0 | | 91,3 | | 0,5 | | 3,5 | | 90 | | 197 | | 315 | |

Ghi chú: Đợt 1: Mùa mưa (tháng 12 năm 2022);

Đợt 2: Mùa khô (tháng 04 năm 2023);

QCVN 43:2017/BTNMT: Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về chất lượng trầm tích (Áp dụng đối tượng nghiên cứu cho mẫu trầm tích nước ngọt).

Nhìn chung, qua hai đợt lấy mẫu và phân tích, cho thấy nồng độ hầu hết các KLN ở mùa khô đều cao hơn mùa mưa, điều này được giải thích do, vào mùa khô hoạt động khai thác vàng tại đây xảy ra thường xuyên hơn mùa mưa, đặc biệt vào mùa khô hoạt động đãi vàng tự phát của người dân ven sông rất nhiều, một lượng lớn khoáng thải đã thải vào sông. Tại một số vị trí nồng độ KLN ở mùa khô cao vượt trội so với mùa mưa, cụ thể vị trí S1, S8, S10, S7 là các vị trí chịu ảnh hưởng trực tiếp từ hoạt động đãi vàng ven sông. Bên cạnh đó, vào mùa khô tốc độ dòng chảy của sông thấp hơn mùa mưa, vì vậy đã tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình lắng đọng và tích lũy KLN vào trầm tích. Nồng độ KLN trong trầm tích sông Bồng Miêu ở mùa khô có xu hướng cao hơn mùa mưa, kết quả này cũng tương tự nghiên cứu tại lưu vực sông Pra, Ghana của tác giả Albert Ebo Duncan năm 2018 [7].

Một số nghiên cứu điển hình tại Việt Nam cho các khu vực sông. Trong nghiên cứu của tác giả Lê Thị Trinh về tích lũy ô nhiễm và rủi ro sinh của kim loại nặng trong trầm tích cửa sông Hàn, thành phố Đà Nẵng, cho thấy nồng độ KLN tại các khu vực nghiên cứu dao động từ 2,98 - 28,4mgAs/kg, 28,2 - 65,1mgPb/kg, 0,038 - 0,156mgCd/kg, 43,7 - 58,3mgCr/kg, 31,1 - 76,9mgCu/kg, 37,9 - 56,4mgZn/kg, đều nằm trong giới hạn cho phép của quy chuẩn, chỉ số tích lũy ô nhiễm KLN tại khu vực ở mức thấp [8]. So với nồng độ KLN trong trầm tích tại sông Bồng Miêu, hầu hết nồng độ tất cả KLN tại cửa sông Hàn đều thấp hơn, ngoại trừ Cr cao hơn.

Nghiên cứu của Bùi Thị Thu và cộng sự về tích lũy ô nhiễm kim loại nặng trong trầm tích sông Mã đoạn chảy qua tỉnh Thanh Hóa; Kết quả nghiên cứu cho thấy, nồng độ KLN tại khu vực sông Mã dao động 16,3 - 102mgPb/kg, 0,06 - 0,71mgCd/kg, 15,2 - 77,6mgCr/kg, 15,5 - 123,2mgCu/kg, 27,8 - 233,4mgZn/kg, đều thấp và nằm trong giới hạn cho phép của quy chuẩn. Tuy nhiên, tại một số điểm có nồng độ kim loại nặng cao hơn một số vị trí còn lại. Tác giả đã giải thích nguyên nhân do trầm tích tại khu vực này chịu tác động của nguồn thải từ khu công nghiệp [9].

Nghiên cứu tích lũy ô nhiễm của kim loại nặng trong trầm tích sông Nhuệ của tác giả Phan Thị Dung; kết quả nghiên cứu cho thấy, nồng độ As (2,4 - 6,4mg/kg) nằm trong giới hạn cho phép của quy chuẩn, nồng độ các KLN Pb (375,2 - 490,2mg/kg), Cd (7,4 - 14,8mg/kg) và Hg (0,64 - 0,94mg/kg), trong đó Pb và Cd vượt nhiều lần so với giới hạn cho phép quy chuẩn [10]. So với nghiên cứu này, tại khu vực sông Bồng Miêu nồng độ Pb có sự tương đồng tại hai khu vực, nồng độ Hg và Cd tại sông Bồng Miêu thấp hơn khu vực sông Nhuệ.

Nghiên cứu các vấn đề môi trường từ hoạt động khai thác khoáng sản ở Tây Nguyên (2015) của tác giả Phạm Tích Xuân và cộng sự [11], trong nghiên cứu tác giả đã xác định nồng độ kim loại nặng trong trầm tích tại một số mỏ vàng. Trầm tích tại khu vực mỏ vàng Krong Á có nồng độ As và Pb vượt nhiều lần so với tiêu chuẩn cho phép, nồng độ As và Pb dao động lần lượt (226,91 - 798,9mg/kg), (309,23 - 1522,65mg/kg). Trầm tích tại mỏ vàng Tà Năng có dấu hiệu ô nhiễm As và Pb, nồng độ As và Pb dao động lần lượt 47,29 - 791,5mg/kg, 30,89 - 406,5mg/kg. Tại hai khu vực, nồng độ các KLN Cu, Zn, Cd, Hg nằm trong giới hạn cho phép của quy chuẩn [11]. Qua kết quả nghiên cứu

trên cho thấy, nồng độ KLN trong trầm tích tại các khu vực có sự tương đồng với trầm tích sông Bồng Miêu, tại các khu vực đều tìm thấy dấu hiệu ô nhiễm As và Pb.

Tại các lưu vực sông trên thế giới, nghiên cứu của nhóm tác giả Liwei Chen và cộng sự [12] về ô nhiễm và rủi ro sinh thái kim loại nặng trong trầm tích mặt sông Huangshui, Tây Bắc Trung Quốc. Trong 5 thông số kim loại nghiên cứu As, Cr, Pb, Cd, Zn, nồng độ As và Cr cao vượt trội và có sự khác biệt với các nghiên cứu trước tại khu vực sông Huangshui. Tác giả giải thích sự khác biệt do các vị trí lấy mẫu khác nhau. Nồng độ As và Cr vượt tiêu chuẩn cho phép, do công ty sản xuất thép mở rộng ở vùng thượng nguồn sông [12].

So với nghiên cứu của Higemengist Astatkie và cộng sự [13] tại lưu vực sông Awetu phía Tây Nam của Ethiopia, cho thấy nồng độ trung bình của các kim loại As, Pb, Hg, Cd, Cr trong trầm tích sông Bồng Miêu đều thấp hơn. Giải thích ô nhiễm của từng kim loại tại lưu vực sông Awetu, tác giả cho rằng, ô nhiễm As do đốt nhiên liệu hóa thạch, sử dụng thuốc diệt nấm chứa asen, thuốc trừ sâu trong nông nghiệp, chất bảo quản gỗ trong đồ gỗ. Đối với ô nhiễm Cd, do sử dụng phân bón trong hoạt động sản xuất nông nghiệp, rò rỉ từ phòng thí nghiệm hóa học. Ô nhiễm Cr do chất thải từ quá trình mạ điện. Ô nhiễm Pb ở mức cao do gần trạm xăng, phòng thí nghiệm hóa học và xây dựng công nghiệp, chất thải từ hoạt động sản xuất tư nhân. Ô nhiễm Hg từ hoạt động sản xuất phát thải thủy ngân do con người tạo ra, quá trình đốt chất thải đô thị và chất thải y tế [13].

Nghiên cứu của tác giả Pingping Luo và cộng sự [14] về phân tích đánh giá nguồn ô nhiễm kim loại nặng trong trầm tích mặt lưu vực sông Fenghe, Trung Quốc. Kết quả nghiên cứu cho thấy, nồng độ trung bình của As, Cu, Zn, Cr, Cd lần lượt 250,32; 28,73; 90,39; 64,03; 0,39mg/kg, so với nồng độ kim loại nặng trong trầm tích khu vực sông Bồng Miêu, đa số các kim loại ít có sự khác biệt. Ngoại trừ, Pb có sự khác biệt, nồng độ Pb tại lưu vực sông Fenghe có giá trị 30,2 mg/kg thấp hơn nhiều so với sông Bồng Miêu, nồng độ Pb trung bình 424,9mg/kg [14]. Trong nghiên cứu của Rui Chen và cộng sự, đánh giá ô nhiễm kim loại nặng trong đất khu vực khai thác khoáng sản tại Trung Quốc. Kết quả nghiên cứu cho thấy, nồng độ As, Hg trung bình ở mức rất cao, vượt nhiều lần so với quy chuẩn cho phép. Tác giả giải thích, hoạt động khai thác khoáng sản là nguyên nhân chính gây ô nhiễm [15].

Tóm lại, qua đánh giá nồng độ các kim loại nặng trong trầm tích so với QCVN 43:2017/BTNMT cho thấy, trầm tích khu vực sông Bồng Miêu có dấu hiệu ô nhiễm nặng As và Pb, các thông số Cd, Hg, Cr, Cu, Zn chưa thấy dấu hiệu ô nhiễm. Nhìn chung, khi tiến hành so sánh với các nghiên cứu trên thế giới và Việt Nam, cho thấy những khu vực có cùng yếu tố tác động, cho kết quả nghiên cứu tương tự.

3.2. Đánh giá mức độ tích lũy ô nhiễm KLN

Để đánh giá mức độ tích lũy KLN trong trầm tích, trong nghiên cứu này sử dụng chỉ số tích lũy địa chất I_{geo} , quá trình tính toán chỉ số I_{geo} dựa vào kết quả phân tích nồng độ kim loại nặng trong mẫu trầm tích (Bảng 3) và sử dụng công thức (1). Kết quả tính toán chỉ số I_{geo} được trình bày tại Bảng 5. Quá trình đánh giá mức độ ô nhiễm của từng kim loại dựa vào thang đánh giá được G. Muller đề xuất (Bảng 1).

Bảng 5. Kết quả chỉ số I_{geo} trong trầm tích

| Vị trí | Giá trị I_{geo} giữa hai mùa (mg/kg khô) | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | As | | Pb | | Hg | | Cd | | Cr | | Cu | | Zn | |
| | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 |
| S1 | 2,73 | 3,31 | 3,05 | 4,20 | -1,25 | 0,73 | 1,17 | 1,97 | -3,68 | -3,11 | -1,88 | -0,60 | -1,53 | -0,05 |
| S2 | 4,13 | 4,47 | 3,66 | 3,96 | -1,53 | 1,37 | 1,75 | 2,47 | -2,82 | -2,73 | -0,57 | 0,22 | -0,90 | 0,30 |
| S3 | 2,35 | 2,80 | 3,56 | 4,10 | -1,62 | -1,17 | 1,11 | 2,62 | -3,10 | -2,36 | -1,10 | -1,24 | -0,82 | -0,41 |
| S4 | 2,12 | 2,94 | 3,66 | 4,04 | -1,57 | -1,14 | 1,06 | 1,97 | -3,20 | -2,92 | -1,17 | -1,64 | -1,00 | -0,68 |
| S5 | 1,86 | 2,29 | 2,85 | 2,89 | -2,12 | -1,68 | 1,02 | 0,89 | -3,28 | -3,32 | -1,36 | -1,51 | -1,20 | -1,44 |
| S6 | 3,59 | 3,82 | 3,64 | 3,67 | -1,80 | -0,71 | 1,44 | 1,22 | -3,22 | -2,75 | -1,87 | -1,48 | -1,01 | -0,89 |
| S7 | 3,46 | 3,93 | 3,99 | 3,79 | -1,65 | -1,98 | 1,57 | 1,65 | -3,29 | -2,80 | -1,72 | -1,37 | -0,76 | -0,55 |
| S8 | 3,65 | 3,79 | 4,07 | 4,57 | -1,67 | -1,84 | 1,43 | 2,53 | -2,96 | -2,42 | -1,44 | -0,68 | -0,83 | -0,19 |
| S9 | 3,66 | 3,71 | 3,47 | 3,77 | -1,95 | -1,71 | 1,12 | 1,25 | -3,09 | -2,90 | -1,57 | -1,74 | -0,99 | -0,87 |
| S10 | 2,66 | 3,21 | 4,04 | 4,24 | -1,71 | -1,31 | 1,25 | 2,03 | -3,31 | -3,17 | -1,31 | -1,51 | -0,77 | -0,33 |

Kết quả tính toán giá trị I_{geo} tại Bảng 5, cho thấy chỉ số tích lũy ô nhiễm của As dao động từ 1,86 - 4,47 thể hiện mức độ ô nhiễm từ trung bình đến ô nhiễm nghiêm trọng. Đối với Pb, giá trị I_{geo} dao động từ 2,85 - 4,57, với mức độ ô nhiễm từ nặng đến nghiêm trọng. Đối với Cd, giá trị I_{geo} dao động từ 1,02 - 2,62 thể hiện mức ô nhiễm trung bình đến trung bình nặng. Các kim loại còn lại chưa thấy dấu hiệu ô nhiễm, giá trị $I_{geo} < 0$, ngoại trừ Hg xuất hiện 2 vị trí (S1, S2) với mức ô nhiễm nhẹ ở mùa khô.

Theo nghiên cứu của Surri Chen và cộng sự về tích lũy ô nhiễm của As và các kim loại khác trong trầm tích sông, xung quanh các khu vực khai thác vàng phía Tây Nam, Trung Quốc, giá trị tích lũy ô nhiễm I_{geo} của As tập trung dao động 0 - 3,45, kết quả này tương tự tại khu vực sông Bông Miêu [16]. Theo Pingping Luo [14], giá trị I_{geo} trong trầm tích lưu vực sông Fenghe đối với As nằm trong khoảng $3 < I_{geo} < 5$ có mức ô nhiễm từ nặng đến nghiêm trọng, các kim loại Cu, Cr, Zn không bị ô nhiễm ($I_{geo} < 0$), Cd có mức độ ô nhiễm từ nhẹ đến trung bình ($0 < I_{geo} < 2$). Kết quả nghiên cứu đã xác định, As là yếu tố ô nhiễm cao

nhất trong các kim loại As, Cd, Cr, Zn, Cu. Đặc điểm ô nhiễm của các kim loại nặng trong trầm tích lưu vực sông Fenghe có sự tương đồng với sông Bông Miêu. Tác giả đã giải thích vấn đề ô nhiễm As và Cd, tại lưu vực sông Fenghe do chịu ảnh hưởng từ hoạt động của con người như xây dựng, giao thông vận tải, một số ngành công nghiệp nhẹ, máy móc và điện tử, các công ty vật liệu [14].

Như vậy, qua đánh giá mức độ ô nhiễm bằng chỉ số I_{geo} của các kim loại nặng trong trầm tích sông Bông Miêu, cho thấy dấu hiệu ô nhiễm As, Pb, Cd, với mức độ từ nhẹ đến nghiêm trọng, các kim loại nặng còn lại Cu, Hg, Cr, Zn chưa thấy dấu hiệu ô nhiễm hoặc ô nhiễm nhẹ trong trầm tích.

3.3. Đánh giá rủi ro sinh thái

Từ kết quả phân tích nồng độ KLN trong mẫu trầm tích (Bảng 3), tiến hành tính toán giá trị rủi ro sinh thái E_r^i , RI, sử dụng các công thức (2), (3), (4). Sau đó, đánh giá các rủi ro sinh thái tiềm năng liên quan đến KLN dựa trên thang đánh giá tại Bảng 2. Kết quả tính toán giá trị E_r^i được trình bày tại Bảng 6.

Bảng 6. Kết quả đánh giá yếu tố rủi ro sinh thái

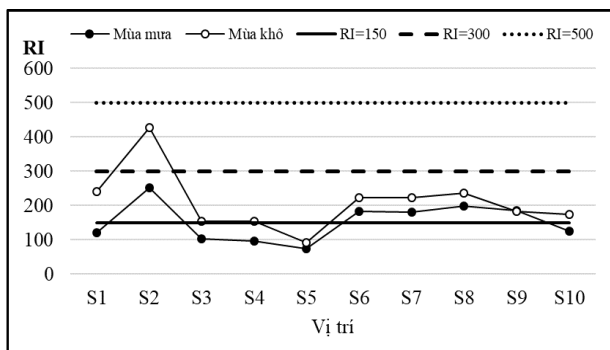
| Vị trí | Giá trị yếu tố rủi ro sinh thái E_r^i giữa hai mùa | | | | | | | | | | | | | |
|--------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | As | | Pb | | Hg | | Cd | | Cr | | Cu | | Zn | |
| | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 | Đợt 1 | Đợt 2 |
| S1 | 76,2 | 113,7 | 13,6 | 30,1 | 20,2 | 79,7 | 8,66 | 15,1 | 0,23 | 0,35 | 0,46 | 1,13 | 0,16 | 0,44 |
| S2 | 200,7 | 254,4 | 20,7 | 25,6 | 16,6 | 124,0 | 12,9 | 21,4 | 0,42 | 0,45 | 1,15 | 1,99 | 0,24 | 0,56 |
| S3 | 58,4 | 79,9 | 19,4 | 28,2 | 15,6 | 21,4 | 8,31 | 23,7 | 0,35 | 0,59 | 0,80 | 0,73 | 0,26 | 0,34 |
| S4 | 50,0 | 88,1 | 20,8 | 27,1 | 16,2 | 21,7 | 8,06 | 15,1 | 0,33 | 0,40 | 0,76 | 0,55 | 0,23 | 0,28 |
| S5 | 41,5 | 55,9 | 11,8 | 12,1 | 11,0 | 14,9 | 7,80 | 7,14 | 0,31 | 0,30 | 0,67 | 0,60 | 0,20 | 0,17 |
| S6 | 137,8 | 161,8 | 20,5 | 20,9 | 13,8 | 29,4 | 10,5 | 9,01 | 0,32 | 0,45 | 0,47 | 0,61 | 0,22 | 0,24 |
| S7 | 126,0 | 174,9 | 26,2 | 22,7 | 15,3 | 12,1 | 11,5 | 12,1 | 0,31 | 0,43 | 0,52 | 0,66 | 0,27 | 0,31 |
| S8 | 144,2 | 158,9 | 27,6 | 39,1 | 15,1 | 13,4 | 10,4 | 22,3 | 0,39 | 0,56 | 0,63 | 1,07 | 0,25 | 0,40 |
| S9 | 144,8 | 230,5 | 18,1 | 22,5 | 12,4 | 14,7 | 8,40 | 9,14 | 0,35 | 0,40 | 0,58 | 0,51 | 0,23 | 0,25 |
| S10 | 72,4 | 180,0 | 27,1 | 31,0 | 14,6 | 19,3 | 9,17 | 15,7 | 0,30 | 0,33 | 0,69 | 0,60 | 0,27 | 0,36 |

Qua kết quả tính toán giá trị yếu tố rủi ro sinh thái (E_r^i) cho từng thông số kim loại nặng, cho thấy sự biến thiên theo mùa của các yếu tố rủi ro sinh thái, ở mùa mưa giá trị E_r^i (As) dao động 41,5 - 200,7 với mức rủi ro sinh thái từ

trung bình đến rủi ro cao; mức độ rủi ro của các thông số còn lại ở mức thấp, giá trị E_r^i (Pb) dao động 11,8 - 27,6; E_r^i (Hg) dao động 11,0 - 20,2; E_r^i (Cd) dao động 7,8 - 13,0; E_r^i (Cr) dao động 0,23 - 0,42; E_r^i (Cu) dao động 0,46 - 1,15;

E_r^i (Zn) dao động 0,16 - 0,27. Đối với mùa khô, mức độ rủi ro sinh thái của các KLN tương tự mùa mưa, tuy nhiên giá trị rủi ro E_r^i ở mùa khô cao hơn mùa mưa, giá trị E_r^i của các KLN dao động lần lượt, đối với As (55,9-254,4), Pb (12,1-39,0), Cd (7,14 - 23,7), Cr (0,3 - 0,58), Cu (0,51 - 1,99), Zn (0,16 - 0,55), ngoại trừ Hg tại vị trí S1 và S2 có mức rủi ro vừa phải và đáng quan tâm, giá trị E_r^i của Hg tại vị trí S1, S2 lần lượt 79,6 và 124, các vị trí còn lại ở mức rủi ro thấp E_r^i (13,4 - 29,3).

Như vậy, mức độ rủi ro sinh thái cho các thông số kim loại nặng tại khu vực sông Bồng Miêu ở mức rủi ro thấp đến rủi ro đáng quan tâm, mức độ rủi ro sinh thái của các KLN được sắp xếp giảm dần theo thứ tự E_r^i (As) > E_r^i (Hg) > E_r^i (Pb) > E_r^i (Cd) > E_r^i (Cu) > E_r^i (Cr) > E_r^i (Zn), qua đó cho thấy As là yếu tố rủi ro cao nhất trong 7 kim loại nặng được nghiên cứu. Kết quả đánh giá mức độ tích lũy ô nhiễm theo I_{geo} của Pb cao hơn As (Bảng 5), tuy nhiên yếu tố rủi ro sinh thái của As ở mức cao hơn Pb, điều này được giải thích do yếu tố phản ứng với chất độc của As ($T_R^i = 10$) cao hơn Pb ($T_R^i = 5$). Tương tự, đối với thông số Hg và Cd, giữa mức độ tích lũy ô nhiễm và rủi ro sinh thái có sự đối lập nhau do phản ứng độc tính của Hg ($T_R^i = 40$) cao hơn Cd ($T_R^i = 30$), Zn có mức rủi ro thấp nhất mặc dù mức độ tích lũy cao hơn Cu và Cr, do nhân tố phản ứng với chất độc của Zn ($T_R^i = 1$) thấp hơn Cu ($T_R^i = 5$) và Cr ($T_R^i = 2$). Qua đó cho thấy, khả năng tác động đến môi trường sinh thái của các KLN, bên cạnh nồng độ KLN trong môi trường, khả năng tác động còn phụ thuộc rất lớn vào tính độc của chúng đối với hệ sinh thái. Theo đánh giá rủi ro sinh thái của Lars Hakanson (Bảng 2), As có mức rủi ro sinh thái đáng quan tâm, cũng là yếu tố rủi ro chính tại khu vực nghiên cứu, các kim loại còn lại ở mức rủi ro thấp.



Hình 2. Biểu đồ biểu diễn mức độ rủi ro sinh thái (RI) theo vị trí

Qua kết quả tính toán chỉ số rủi ro sinh thái tiềm năng RI và được thể hiện qua biểu đồ Hình 2, cho thấy, ở mùa mưa giá trị chỉ số RI tại khu vực nghiên cứu dao động từ 73,4 - 252,8; giá trị RI trung bình tại khu vực nghiên cứu 151,7 có mức độ rủi ro sinh thái tiềm năng từ thấp đến trung bình. Đối với mùa khô, giá trị RI dao động từ 91,2 đến 428,4, trung bình 173,1 tương ứng với mức rủi ro từ thấp đến đáng quan tâm. Cả hai mùa, chỉ số rủi ro cao nhất thuộc các khu vực chịu tiếp nhận chất thải từ hoạt động khai thác vàng (S2, S8). Như vậy, mức độ rủi ro sinh thái tiềm năng của 7 thông số kim loại nặng trong trầm tích khu vực sông Bồng Miêu ở mức rủi ro trung bình, mức độ tác động đến hệ sinh thái ở mùa khô cao hơn mùa mưa.

Trong nghiên cứu của Surri Chen và cộng sự về tích lũy

và rủi ro sinh thái của As và các kim loại khác trong trầm tích sông xung quanh khu vực khai thác vàng phía Tây Nam, Trung Quốc; kết quả nghiên cứu cho thấy, giá trị E_r^i của As thể hiện mức rủi ro từ thấp đến rủi ro đáng quan tâm, tương tự với kết quả nghiên cứu tại khu vực sông Bồng Miêu [16]. Nghiên cứu của Silva và cộng sự tại một số lưu vực sông ở Brazil, cũng cho kết quả yếu tố rủi ro sinh thái của As ở mức đáng quan tâm ở vùng hạ lưu của các sông, các kim loại Cd, Cu, Zn, Cr ở mức rủi ro sinh thái thấp, giá trị RI trung bình dao động trong khoảng 110 và 342, thể hiện mức rủi ro sinh thái vừa phải và đáng quan tâm, tương ứng ở vùng thượng nguồn và hạ lưu [17].

Trong nghiên cứu của Zhifeng Huang và cộng sự, để đánh giá rủi ro sinh thái của kim loại nặng trong trầm tích mặt sông Xiangjiang, miền Nam Trung Quốc, nhóm tác giả đã sử dụng chỉ số rủi ro E_r^i , RI để đánh giá; Kết quả nghiên cứu cho thấy, mức độ rủi ro tại khu vực sông Xiangjiang ở mức cao, giá trị RI dao động 422,3 - 4854,4, trung bình 2246,6, nghiên cứu cũng chỉ ra Cd là yếu tố rủi ro cao nhất trong toàn bộ vị trí nghiên cứu ($E_r^i > 320$), các kim loại khác (Pb, Cu, Ni, Co, Zn, Cr) có mức rủi ro thấp cho tất cả mẫu trầm tích ($E_r^i < 40$) [18].

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã xác định được mức độ ô nhiễm của các kim loại nặng trong trầm tích, trong 7 kim loại nặng (As, Pb, Hg, Cd, Cu, Cr, Zn), As và Pb có mức độ ô nhiễm cao trong trầm tích tại khu vực nghiên cứu, vượt nhiều lần so với mức cho phép của QCVN 43:2017/BTNMT, nồng độ As vượt từ 4,1 - 25,4 lần nồng độ Pb vượt từ 2,3 - 7,8 lần. Các kim loại nặng còn lại Cd, Hg, Cr, Zn, Cu đều thấp hơn so với mức cho phép của QCVN 43:2017/BTNMT. Tại 10 vị trí lấy mẫu nồng độ kim loại nặng tập trung cao nhất tại vị trí S2 - vị trí gần nhà máy khai thác vàng về phía hạ lưu.

Mức độ rủi ro sinh thái tại khu vực nghiên cứu, khi sử dụng chỉ số RI, cho kết quả mức độ rủi ro từ thấp đến rủi ro đáng quan tâm, giá trị RI dao động từ 73,4 đến 428,4. Mức độ rủi ro tại các khu vực lấy mẫu được sắp xếp giảm dần theo thứ tự S2 > S8 > S6 > S7 > S9 > S1 > S10 > S3 > S4 > S5. Xác định yếu tố rủi ro sinh thái của các kim loại nặng (E_r^i) có sự khác nhau còn liên quan đến tính độc của từng kim loại. Kết quả nghiên cứu cũng xác định được yếu tố rủi ro sinh thái của As là yếu tố rủi ro chính, giá trị E_r^i dao động 41,5 - 254,4 thể hiện mức rủi ro từ trung bình đến rủi ro cao, các thông số còn lại ở mức rủi ro thấp ($E_r^i < 40$), mức độ rủi ro của từng kim loại được sắp xếp giảm dần theo thứ tự E_r^i (As) > E_r^i (Hg) > E_r^i (Pb) > E_r^i (Cd) > E_r^i (Cu) > E_r^i (Cr) > E_r^i (Zn).

Hạn chế trong nghiên cứu này là chưa công bố được kết quả phân tích nồng độ các KLN trong nước sông Bồng Miêu và trong các mẫu sinh vật tại khu vực sông. Vì vậy để đánh giá rủi ro sinh thái một cách toàn diện và đề xuất khả năng sử dụng nguồn nước, khai thác thủy sản tại khu vực sông Bồng Miêu, nhóm tác giả xin đề xuất hướng phát triển tiếp theo cho nghiên cứu này, đó là thực hiện đánh giá tác động của kim loại nặng trên mẫu sinh vật thủy sinh, tạo cơ sở khoa học đánh giá rủi ro về mặt sinh thái một cách toàn diện tại khu vực nghiên cứu.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số VINIF.2022.ThS.027 và quỹ GSGES (Kyoto University, Japan).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] *English-Vietnamese Chemical Dictionary*, Science and Technology Publishing House, 2002.
- [2] L. H. Ba, "Basic Environmental Toxicology", Ho Chi Minh National University Publishing House, 2004.
- [3] L. Hakanson, "An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control – A Sedimentological Approach", *Water Research*, vol. 14, pp. 975-1001, 1980.
- [4] V. G. Muller, "Schadstoffe in Sedimenten - Sedimente als Schadstoffe Von", *Umweltgeologie Band*, vol. 79, pp. 107-126, 1986.
- [5] K. K. Turekian, K. H. Wedepohl, "Distribution of the elements in some major units of the earth's crust", *Geological Society of America Bulletin*, vol. 72, no. 2, pp. 175-192, 1961.
- [6] Ministry of Natural Resources and Environment, VNTR 43:2017/MONRE – National Technical Regulations on Sediment Quality, 2017, <https://luatvietnam.vn/tai-nguyen/quy-chuan-qcvn-43-2017-btntm-chat-luong-tram-tich-166191-d3.html> [Accessed 25/5/2023].
- [7] A. E. Duncan, N. Vrie, K. B. Nyarko, "Assessment of Heavy Metal Pollution in the Sediments of the River Pra and Its Tributaries", *Water Air Soil Pollut*, vol. 229, pp. 1-10, 2018.
- [8] L. T. Trinh, "Assessment of accumulation and ecological risks of some heavy metals in sediments of Han River estuary, Danang city", *Journal of Nature and Technology of Hanoi National University*, vol. 3, no. 33, pp. 112-119, 2017.
- [9] B. T. Thu, C. H. Anh, "Assessment of the accumulation level of some heavy metals in sediments of Ma River flowing through Thanh Hoa province", *Journal of Natural Resources and Environmental Sciences*, vol. 36, pp. 37-45, 2021.
- [10] P. T. Dung, "Assessing the level of heavy metal accumulation in Nhue River sediment", University of Natural Sciences-Hanoi National University, 2009.
- [11] P. T. Xuan, T. T. Anh, D. T. T. Tra, H. T. T. Nga, P. T. Dang, "Environmental issues of mineral exploitation in the Central Highlands", *Journal of Earth Sciences*, vol. 37, no. 2, pp. 139-147, 2015.
- [12] L. Chen, Q. Wei, G. Xu, M. Wei, H. Chen, "Contamination and Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in Surface Sediments of Huangshui River, Northwest China", *Journal of Chemistry*, vol. 2022, pp 1-9, 2022.
- [13] H. Astatkie, A. Ambelu, E. Mengistie, "Contamination of Stream Sediment With Heavy Metals in the Awetu Watershed of Southwestern Ethiopia", *Frontiers in Earth Science*, vol. 9, pp.1-13, 2021.
- [14] P. Luo, C. Xu, S. Kang, A. Huo, J. Lyu, M. Zhou, D. Nover, "Heavy metals in water and surface sediments of the Fenghe River Basin, China", *Water Science & Technology*, vol. 84, pp.3072-3090, 2021.
- [15] R. Chen, L. Han, Z. Liu, Y. Zhao, R. Li, L. Xia, Y. Fan, "Assessment of Soil-Heavy Metal Pollution and the Health Risks in a Mining Area from Southern Shaanxi Province, China", *toxics*, vol. 10, no. 7, pp.1-17, 2022.
- [16] S. Chen, P. Wu, X. Zha, B. Zhou, J. Liu, E. Long, "Arsenic and Heavy Metals in Sediments Affected by Typical Gold Mining Areas in Southwest China: Accumulation, Sources and Ecological Risks", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 20, no. 2, pp.1-15, 2023.
- [17] Y. J. A. B. Silva, J. R. B. Cantalice, V. P. Singh, C. W. A. Nascimento, B. P. Wilcox, Y. J. A. B. Silva, "Heavy metal concentrations and ecological risk assessment of the suspended sediments of a multi-contaminated Brazilian watershed", *Acta Scientiarum*, vol. 41, pp.1-11, 2019.
- [18] Z. Huang, C. Liu, X. Zhao, J. Dong, B. Zheng, "Risk assessment of heavy metals in the surface sediment at the drinking water source of the Xiangjiang River in South China", *Environmental Sciences Europe*, vol. 23, pp.1-9, 2020.