



Xác định hàm lượng một số nguyên tố trong rong mơ (*Sargassum sp.*) bằng kỹ thuật phân tích kích hoạt neutron

Determination of chemical elements' concentration in *Sargassum* seaweed (*Sargassum sp.*) using neutron activation analysis technique

Đoàn Phan Thảo Tiên^{a,b*}, Trịnh Thị Thu Mỹ^b, Đặng Ngọc Toàn^{c,d}, Đỗ Văn Dũng^a,
Trần Văn Huynh^a, Hoàng Thanh Phi Hùng^e
Doan Phan Thao Tien^{a,b*}, Trinh Thi Thu My^b, Dang Ngoc Toan^{c,d}, Do Van Dung^a,
Tran Van Huynh^a, Hoang Thanh Phi Hung^e

^aViện Nghiên cứu và Ứng dụng công nghệ Nha Trang, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Nha Trang, Việt Nam

^aNhatrang Institute of Technology Research and Application, VAST, Nha Trang, 650000, Viet Nam

^bPhòng thí nghiệm Frank về vật lý neutron, Viện Liên hiệp Nghiên cứu hạt nhân Dubna, Liên bang Nga

^bFrank Laboratory of Neutron Physics, Joint Institute for Nuclear Research, Russia

^cViện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

^cInstitute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam

^dKhoa Môi trường và Khoa học Tự nhiên, Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

^dFaculty of Environment and Natural Science, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Viet Nam

^eCơ sở Chiếu xạ Đà Nẵng, Trung tâm Nghiên cứu và Triển khai Công nghệ Bức xạ, VINATOM, Đà Nẵng, Việt Nam

^eDanang Irradiation Facility, Research and Development Center for Radiation Technology, VINATOM, Da Nang, 550000, Viet Nam

(Ngày nhận bài: 13/08/2024, ngày phản biện xong: 30/09/2024, ngày chấp nhận đăng: 10/10/2024)

Tóm tắt

Bảy mẫu rong mơ (*Sargassum sp.*) được thu thập dọc bờ biển thành phố Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa. Hai mươi nguyên tố đã được xác định trong mẫu rong bằng kỹ thuật phân tích kích hoạt neutron với sai số tương đối từ 3% đến 15%, trong đó có các nguyên tố khoáng chất như natri, kali, canxi, magie và nguyên tố kim loại nặng như kẽm, coban mangan và sắt. Kết quả cho thấy đa số các nguyên tố có hàm lượng cao trong các mẫu thu ở vị trí Hòn Chồng (RHC) và Hòn Đò (RHD), khu vực đông dân cư và tập trung tàu thuyền nhỏ. Đây là bước đầu thăm dò đối tượng làm chỉ thị sinh học ứng dụng điều tra ô nhiễm kim loại nặng trong môi trường nước biển.

Từ khóa: phân tích kích hoạt neutron; rong mơ; nguyên tố kim loại nặng.

Abstract

Seven seaweed samples (*Sargassum sp.*) were collected along the coast of Nha Trang city, Khanh Hoa province. Twenty chemical elements in these samples were determined by neutron activation analysis with relative errors from 3% to 15%, including mineral elements such as sodium, potassium, calcium, magnesium and heavy metal elements such as zinc, cobalt, manganese and iron. The results showed that most of the high concentration elements were from the samples collected at Hon Chong (RHC) and Hon Do (RHD)- population- dense areas with many small fishing-boats gathering. This is the beginning of investigations into heavy metal pollution in marine environment using bio-indicators.

Keywords: neutron activation analysis; seaweed (*Sargassum sp.*); heavy metal.

*Tác giả liên hệ: Đoàn Phan Thảo Tiên

Email: thaotien2109@gmail.com

1. Giới thiệu

Hiện nay, ô nhiễm môi trường là vấn đề rất được quan tâm bởi các nhà quản lý cũng như nhà khoa học trong và ngoài nước. Trên thế giới các tổ chức đã và đang nghiên cứu để tìm ra những nguyên nhân và giải pháp cải tạo tình trạng ô nhiễm môi trường. Ô nhiễm nguyên tố hóa học, đặc biệt là các nguyên tố kim loại nặng, có độc tính cao gây ảnh hưởng xấu đến sức khỏe sinh vật và cả con người. Việc sử dụng chỉ thị sinh học để thăm dò ô nhiễm môi trường là hướng nghiên cứu dựa trên sự tích lũy nguyên tố hóa học trong đối tượng dùng làm chỉ thị sinh học sống trong môi trường đó. Ô nhiễm nguyên tố hóa học thường được chia thành ô nhiễm hữu cơ và ô nhiễm vô cơ, có thể được bao gồm kim loại, axit, carbon dioxide, hợp chất nitơ và photpho, ... [1]. Trong môi trường biển, nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước đã sử dụng các đối tượng như cá, trầm tích, sò, rong biển... làm chất chỉ thị để đánh giá ô nhiễm kim loại nặng [2 - 6, 18].

Thành phố Nha Trang có tổng diện tích tự nhiên khoảng 252km², dân số 427.963 người (số liệu năm 2021). Thành phố Nha Trang tiếp giáp với thị xã Ninh Hòa ở phía Bắc, thành phố Cam Ranh ở phía Nam, huyện Diên Khánh ở phía Tây và giáp biển ở phía Đông. Nha Trang có khí hậu nhiệt đới xavan, tương đối ôn hòa, nhiệt độ trung bình năm khoảng 26,3°C. Khí hậu có hai mùa rõ rệt gồm mùa khô (nắng) từ tháng 1 đến tháng 8 và mùa mưa từ tháng 9 đến hết tháng 12, ít lạnh, lượng mưa chiếm gần 80% lượng mưa cả năm [7]. Cơ cấu kinh tế của thành phố Nha Trang nói riêng cũng như của Khánh Hòa nói chung chủ yếu là dịch vụ - nông nghiệp - công nghiệp. Trong đó, ngành nuôi trồng thủy hải sản có tiềm năng phát triển rất lớn [8].

Rong (tảo) biển là một nhóm thực vật bậc thấp, là một nguồn tài nguyên của biển có giá trị kinh tế cao. Rong được phân chia theo 3 loại chính dựa theo đặc trưng màu sắc gồm: rong nâu (*Phaeophyceae*), rong lục (*Chlorophyta*), rong đỏ (*Rhodophyta*) [9, 10].

Một số nghiên cứu trước đây của chúng tôi đã sử dụng đối tượng rêu và kỹ thuật phân tích kích hoạt neutron để đánh giá ô nhiễm môi trường không khí [11 - 13]. Trong nghiên cứu này, chúng tôi thực hiện kỹ thuật phân tích kích hoạt neutron trên các mẫu rong mơ (*Sargassum sp.*) thuộc nhóm rong nâu, thu thập tại các vị trí bờ biển thuộc thành phố Nha Trang.

2. Phương pháp thực nghiệm

2.1. Phương pháp thu mẫu



Hình 1. Hình ảnh rong mơ *Sargassum sp.*

Các mẫu rong mơ *Sargassum sp.* (Hình 1) được thu thập dọc bờ biển Nha Trang, trong năm 2014. Các điểm thu mẫu tại khu vực gần bờ biển từ Bãi Tiên đến Bãi Dài (phía Bắc) (Bảng 1).

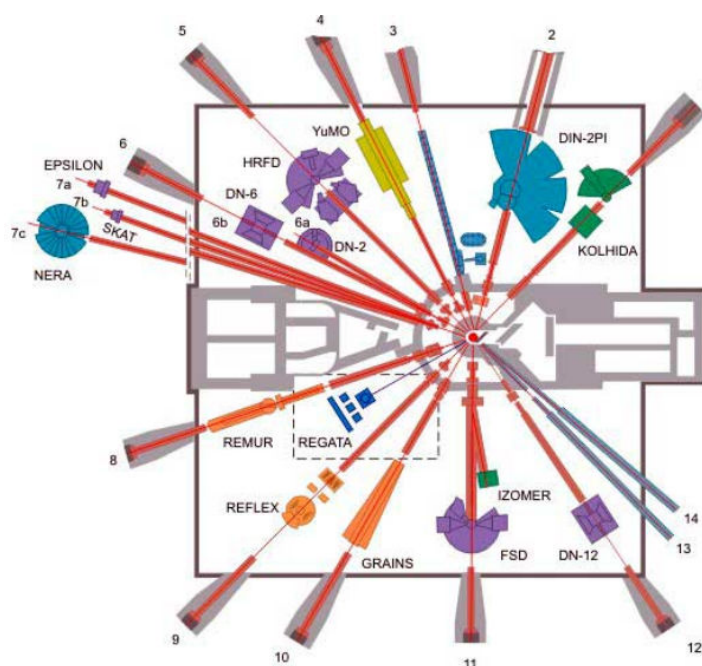
Bảng 1. Thông tin vị trí thu mẫu rong mơ (*Sargassum sp.*) dọc bờ biển Nha Trang

	Kí hiệu	Khu vực thu mẫu	Đặc điểm
1	RBT	Bãi Tiên	Dân cư thưa thớt, có hoạt động xây dựng
2	RNM	Hòn Núi Một	Xa khu dân cư, có hoạt động thu mua hải sản
3	RHC	Hòn Chồng	Tập trung đông dân cư, gần cống thoát nước thành phố
4	RHD	Hòn Đỏ	Nhiều tàu thuyền đánh bắt gần bờ, gần cửa sông lớn cầu Trần Phú
5	RCD	Cầu Đá	Bãi đá
6	RSL	Sông Lô	Xa khu dân cư
7	RBD	Bãi Dài	Xa khu dân cư

Mỗi vị trí mẫu đặc trưng được thu thập ở độ sâu cách mặt nước từ 1 - 1,5m, cách bờ 20m, dọc chiều dài 50m. Các mẫu rong sau khi được thu nhận tiến hành xử lý sơ bộ bằng nước ngọt, tiếp đó các mẫu được treo lên giá phơi khô tự nhiên. Các mẫu sau khi được phơi khô được lưu trữ và chuyển mẫu đến phòng phân tích.

2.2. Kỹ thuật phân tích xác định hàm lượng nguyên tố

Phân tích kích hoạt neutron công cụ (INAA) sử dụng nguồn neutron từ lò phản ứng xung IBR2 thuộc phòng thí nghiệm neutron Frank (FLNP) - Viện Nghiên cứu Liên hiệp Hạt nhân Dubna (JINR) - Liên bang Nga (Hình 2). Việc chiếu xạ được tiến hành trên các kênh của bộ phận REGATA, với thông lượng neutron cỡ $10^{12} \cdot n \cdot cm^{-2} \cdot s^{-1}$.



Hình 2. Cấu trúc lò phản ứng hạt nhân IBR2 - JINR - Dubna [12].

Kỹ thuật chiếu mẫu thực vật: mẫu rong được sấy khô cho đến khối lượng mẫu không thay đổi, mỗi mẫu được định lượng khoảng 300mg. Hàm lượng của các nguyên tố được xác định thông qua các đồng vị phóng xạ của chúng và được

chia theo nhóm dựa vào thời gian sống. Để xác định hàm lượng các nguyên tố với đồng vị phóng xạ có thời gian sống ngắn (dưới 15giờ), mẫu được đặt trong túi polyetylen, mỗi mẫu được chiếu xạ từ 3 đến 5phút ở kênh 2, sau đó để mẫu

phân rã từ 3 - 5phút, tiến hành đo 2 lần với thời gian lần lượt là 5phút và 15phút. Để xác định hàm lượng các nguyên tố với đồng vị phóng xạ có thời gian sống dài, các mẫu được đóng trong hộp chứa mẫu (container) khoảng từ 10 đến 12 mẫu trong một container và được chiếu xạ 3 - 4ngày tại kênh 1 (kênh 1 được bọc Cadmium để lọc neutron nhiệt). Sau thời gian phân rã 4 - 5ngày, mẫu được đóng gói lại và đo lần 1 trong thời gian 45phút, và sau 20ngày, với thời gian đo là 2giờ30phút [14, 15, 16]. Các mẫu được chiếu kèm với mẫu chuẩn (SRM - Standard Reference Material) do Cơ quan Năng lượng Nguyên tử Quốc tế và Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Quốc gia (NIST - National Institute of Standards and

Technology) chứng nhận. Đo và xử lý số liệu của kết quả đo dùng các chương trình phần mềm được xây dựng tại phòng thí nghiệm FLNP, JINR [16].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả hàm lượng nguyên tố trong các mẫu rong bằng kỹ thuật phân tích kích hoạt neutron

Kết quả phân tích hàm lượng nguyên tố trong các mẫu rong bằng kỹ thuật kích hoạt neutron đã xác định được 20 nguyên tố hóa học với sai số tương đối từ 3% đến 15%. Các nguyên tố hóa học bao gồm: Al, Ba, Br, Ca, Cl, Co, Cs, Fe, I, K, Mg, Mn, Na, Sb, Sc, Sr, Tb, Th, U, Zn (Bảng 2).

Bảng 2. Giá trị hàm lượng (mg/kg) các nguyên tố và sai số (%) tương ứng trong bảy mẫu rong

Tên NT (±sai số %)	Hàm lượng nguyên tố (mg/kg)								Khoảng hàm lượng
	RBT	RNM	RHC	RHD	RCD	RSL	RBD	Trung vị	
Al (±3%)	88	292	1210	1020	152	421	560	421	88-1210
Ba (±7%)	19,2	15,0	14,3	21,0	15,7	36,0	19,0	19,0	14,3-36,0
Br (±3%)	1430	1150	1920	1180	998	1040	1010	1150	998-1920
Ca (±7%)	1690	3380	3280	4170	3160	7260	5460	3380	1690-7260
Cl (±9%)	27000	107000	86700	92200	88600	65200	84800	86700	27000- 107000
Co (±10%)	0,340	0,178	0,315	0,450	0,098	0,215	0,195	0,215	0,098-0,450
Cs (±4%)	0,194	0,230	0,158	0,196	0,168	0,330	0,118	0,194	0,118-0,33
Fe (±9%)	143	188	489	469	81	170	218	188	81-489
I (±15%)	20,7	97,0	124,0	98,0	104,0	44,5	50,0	97,0	20,7-124,0
K (±8%)	31600	110000	101000	106000	102000	78100	96800	101000	31600- 110000
Mg (±6%)	2110	5450	4640	6180	5020	6980	6220	5450	2110-6980
Mn (±3%)	6,4	13,0	18,7	57,0	7,6	19,3	31,0	19,3	6,4-57,0
Na (±6%)	4280	19600	11600	9910	13900	9800	13500	11600	4280-19600
Sb (±13%)	0,021	0,021	0,042	0,039	0,028	0,025	0,035	0,028	0,021-0,042
Sc (±8%)	0,040	0,052	0,150	0,187	0,037	0,050	0,070	0,050	0,037-0,187
Sr (±9%)	1290	1230	1200	1280	1330	1460	1430	1290	1200-1460
Tb (±7%)	0,016	0,019	0,011	0,037	0,009	0,013	0,009	0,013	0,009-0,037
Th (±7%)	0,064	0,090	0,290	0,350	0,045	0,074	0,110	0,090	0,045-0,350
U (±10%)	0,15	0,22	0,39	1,16	0,66	0,30	0,25	0,30	0,15-1,16
Zn (±5%)	8,4	7,8	8,9	37,0	7,4	9,6	5,9	8,4	5,9-37,0

Ghi chú: In đậm là giá trị hàm lượng nguyên tố lớn nhất

Kết quả nghiên cứu ở Bảng 2 cho thấy rằng khoảng hàm lượng (mg/kg) các nguyên tố khoáng chất trong rong mơ có hàm lượng cao như: Na (4280-19600), Ca (1690-7260), K (31600-110000), Mg (2110-6980). Rong biển được coi là nguồn khoáng chất tốt. Hàm lượng khoáng chất trong rong biển cao hơn so với rau

trên cạn nên chúng có thể được sử dụng làm nguồn bổ sung khoáng chất cho con người và động vật [17, 18, 19].

Ngoài ra một số nguyên tố có công dụng đặc biệt như I, Br, Sr, Ba được so sánh với các số liệu của các vùng biển khác (Bảng 3).

Bảng 3. Hàm lượng Iodine và Bromine, Strontium và Barium trong một số loại rong biển nâu

Tên	Hàm lượng (mg/kg)				Tài liệu
	I	Br	Sr	Ba	
Các loại rong nâu	78 - 1600	240 - 990	-	-	Roscoff - La Manche (Pháp) [20]
Các loại rong nâu	47 - 5600	280 - 1300	-	-	Vostok và Posiet (Nga) [21]
Các loại rong nâu	200 - 4500	150 - 5500	-	-	Okhotsk sea (Nhật) [21]
Các loại rong nâu	-	-	428 - 1240	5,6 - 23	Kênh Anh (English channel) [23]
Rong nâu - loài rong mơ (<i>Sargassum sp.</i>)	20,7-124,0	998-1920	1200 - 1460	14,3 - 36	Nha Trang - Việt Nam (Bảng 2)

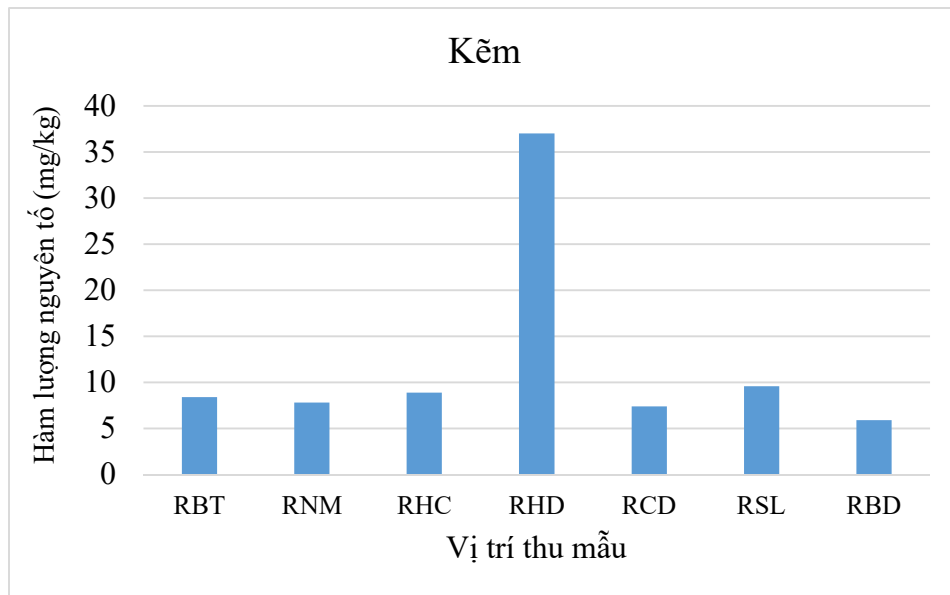
Các ion halogen (Cl⁻, Br⁻, I⁻) có vai trò quan trọng như một tác nhân chống oxy hóa, đóng góp trong việc hỗ trợ quá trình giải độc tự nhiên của cơ thể, khả năng lưu trữ và chuyển hóa khí halogen [20 - 22]. Kết quả ở Bảng 3 cho thấy hàm lượng halogen chứa trong các loại rong nâu ở các vùng biển khác, rong mơ vùng biển Nha Trang có chứa hàm lượng iod tương đối thấp, trong khi hàm lượng brom tương đối cao. Các nguyên tố Sr và Ba trong các mẫu nghiên cứu có hàm lượng tương đối cao so với hàm lượng chứa trong các loại rong nâu ở các vùng biển khác. Tỷ số giữa hàm lượng Ba và Sr được ứng dụng trong lãnh vực khảo cổ như đánh giá sự tái tạo năng suất biển trong quá khứ và khí hậu toàn cầu [24].

3.2. Đánh giá sơ bộ hàm lượng một số nguyên tố kim loại trong các mẫu rong

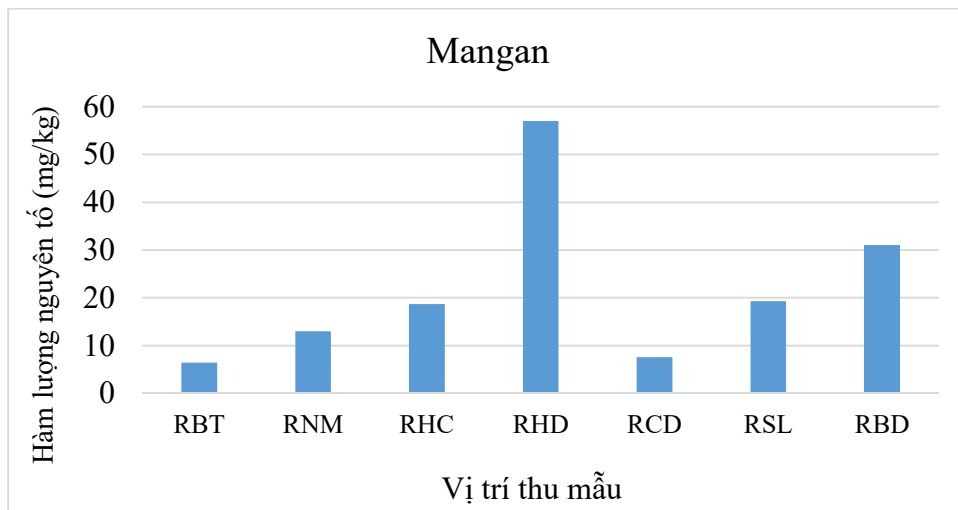
Hàm lượng các nguyên tố trong rong mơ được thu thập ở bảy vị trí khác nhau, cho thấy ngoài nhóm nguyên tố đặc trưng của nước biển Mg, Na, Ca, Br, I, Cl có hàm lượng cao hoặc khá cao, không có sự ô nhiễm của các nguyên tố khác

ở các khu biển thuộc Bãi Tiên, Núi Một, Cầu Đá, Sông Lô và Bãi Dài. Riêng các mẫu RHC, RHD có hàm lượng của Al, Mn, Br, Fe, Co, Zn, Th, U tương đối cao, hoặc cao nhất; điều này có thể tương ứng với các hoạt động trong khu vực thu mẫu là Hòn Chông và Hòn Đỏ (Bảng 1).

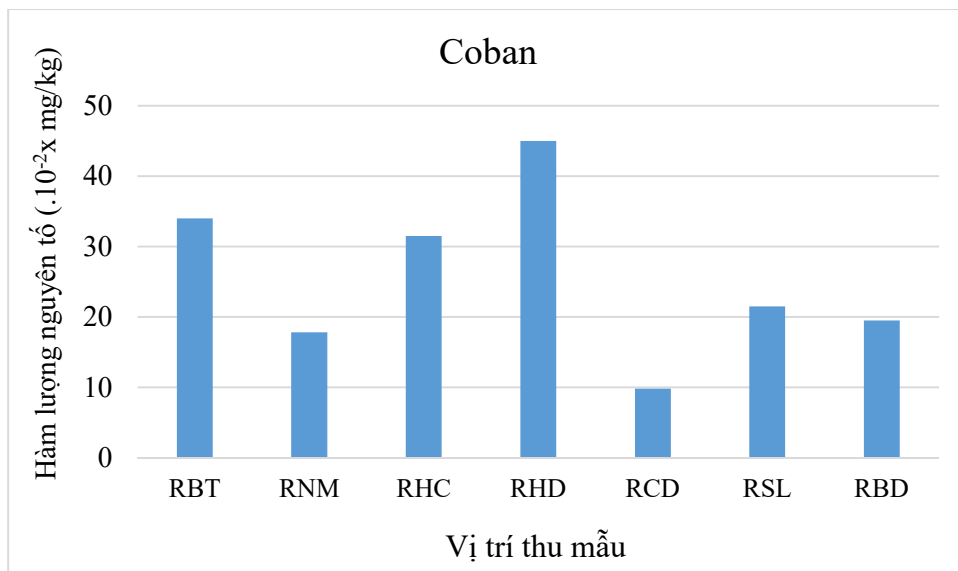
Kết quả đánh giá hàm lượng một số nguyên tố kim loại nặng cho thấy rằng: hàm lượng nguyên tố kẽm, mangan và coban có giá trị lớn nhất trong mẫu RHD (Hình 3 - Hình 5); đáng chú ý hàm lượng nguyên tố kẽm (37mg/kg) cao gần gấp 5 lần so với các vị trí còn lại (Hình 3), hàm lượng nguyên tố mangan (57mg/kg) cao gấp 2 lần so với mẫu RBD và gấp hơn 3 lần so với các mẫu còn lại (Hình 4). Thêm vào đó hàm lượng nguyên tố sắt (469 mk/kg) cao thứ hai sau giá trị lớn nhất 489 mg/kg. Đây là các nguyên tố được xác định có trong thành phần dầu diesel [25] và có thể bị ảnh hưởng từ hoạt động con người [26]. Hai điểm thu mẫu RHC và RHD thuộc khu vực phía Bắc thành phố Nha Trang, tập trung đông dân cư, tàu thuyền nhỏ của ngư dân đánh bắt gần bờ [27].



Hình 3. Hàm lượng nguyên tố kim loại Kẽm



Hình 4. Hàm lượng nguyên tố kim loại Mangan.



Hình 5. Hàm lượng nguyên tố kim loại Coban.

4. Kết luận

Kỹ thuật phân tích kích hoạt neutron đã xác định hàm lượng 20 nguyên tố hóa học trong 7 mẫu rong mơ (*Sargassum sp.*). Mặc dù phương pháp phân tích INAA có những hạn chế đối với một số nguyên tố độc hại như Cd, Pb, Hg, nhưng nghiên cứu đã đưa ra một cái nhìn tổng quan về hàm lượng của các nguyên tố hóa học phân tích, đặc biệt là kim loại nặng như kẽm, coban, mangan, sắt tại những điểm thu mẫu gần bờ trong vùng biển Nha Trang. Kết quả phân tích đã phản ánh phù hợp với nguồn ô nhiễm từ một số hoạt động tại địa phương. Đây là bước đầu định hướng nghiên cứu sử dụng đối tượng rong làm chỉ thị sinh học để thăm dò các nguyên tố hóa học, đặc biệt là kim loại nặng trong môi trường nước biển.

Tài liệu tham khảo

- [1] Sergei, K., Valerii, T., Osmo, H. (2013). "Biomonitoring of Environmental Pollution" (Vol. II). *PHYSIOLOGY AND MAINTENANCE* - E-book: Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS) eISBN: 978-1-84826-040-5).
- [2] Ho, Y. (1987). "Metals in Nineteen Intertidal Seaweeds in Hong Kong Waters". *Marine Pollution Bulletin* 1(18), 564-566. [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(87\)90542-X](https://doi.org/10.1016/0025-326X(87)90542-X).
- [3] Olade, M.A. (1987). "HM Pollution and the Need for Monitoring: Illustrated for Developing Countries in West Africa. In: Hutchinson, T.C. and Meema, K.M., Eds., Lead, Mercury, Cadmium, and Arsenic in the Environment". *John Wiley & Sons Ltd., Hoboken* (Chapter 20), 335-341.
- [4] Ali, D.S., Alireza, N., Seyed, M. B. N., Alireza, S. and Mehrdad, K.M. (2011). "Environmental Monitoring of Heavy Metals in Seaweed and Associated Sediment from the Strait of Hormuz, I.R. Iran". *World Journal of Fish and Marine Sciences* (3 (6)): 576-589. ISSN 2078-4589.
- [5] Vincent, V. G., and Evert, de V. (2018). "Seaweeds as Biomonitoring System for Heavy Metal (HM) Accumulation and Contamination of Our Oceans". *American Journal of Plant Sciences* (9), 1514-1530. doi: 10.4236/ajps.2018.97111.
- [6] Trâm, L.N., Thiện, N.V., Nga, Đ. T., Hà, L.T., và Đức, N.Đ. (1991). "Thành phần hóa học trong các loài rong biển vùng biển Phú yên - Khánh Hòa - Minh Hải". *Tuyển tập nghiên cứu biển III*, trang 192-207.
- [7] Giới thiệu. (2021). "Điều kiện tự nhiên". *Trang thông tin điện tử Thành phố Nha Trang*. Ngày truy cập: 06/08/2024. (từ <https://nhatrang.khanhhoa.gov.vn/vi/gioi-thieu/dieu-kien-tu-nhien>).
- [8] Hải, V. H. (2022). Phát triển nuôi trồng thủy sản tỉnh Khánh Hòa. *Tạp chí khoa học kinh tế* (Trường Đại học Kinh tế - Đại học Đà Nẵng) (số 10(02)).
- [9] Hộ, P.H. (1969). "Rong biển Việt Nam". *Trung tâm học liệu Sài Gòn*. 559 trang.
- [10] Thanh, Đ. N. và Tiên, N. V. (2003). "Chương VIII: Nguồn lợi rong biển. Chương trình điều tra nghiên cứu biển cấp Nhà nước KH-CN-06 (1996-2000)", *Tập VI: Sinh vật và Sinh thái biển*. Nxb. Đại học Quốc gia Hà Nội. Tr.140-157.
- [11] Tien, D.P.T, Khiem, L.H., Trinh, T.T.M., Frontasyeva, M.V., Sang, N.T.M, Son, N.A. (2020). "Comparing atmospheric trace element accumulation of three moss speices". *Science & Technology Development Journal*, (23 (4)), 752 – 757. DOI: 10.32508/stdj.v23i4.2417.
- [12] Tien, D.P.T, Trinh, T.T.M., Khiem, L.H., Frontasyeva, M.V., Quyet, N.H., (2019). « Study of Airborne Trace Element Pollution in Central and Southern Vietnam Using Moss (Barbula) Technique and Neutron Activation Analysis". *Asia-Pacific J Atmos Sci.* (55), 247-253. <https://doi.org/10.1007/s13143-018-0065-4>.
- [13] Khiem, L. H., Sera, K., Hosokawa, T., Quyet, N.H., Frontasyeva, M.V., Trinh, T.T.M., My, N.T.B., Nghia, N.T., Trung, T.D., Nam, L.D., Hong, K.T., Mai, N.N., Thang, D.V., Son, N.A., Thanh, T.T., Tien, D.P.T. (2020). "Assessment of atmospheric deposition of metals in Ha Noi using the moss bio-monitoring technique and proton induced X-ray emission". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry.* (Vol 324 (No.1)), Pages: 43 – 54. <https://doi.org/10.1007/s10967-020-07066-z>.
- [14] Frontasyeva, M.V. (2005). "Scientific reviews: Radioanalytical investigations at the IBR-2 reactor in Dubna". *Neutron News* (16(3)), 24–27. <https://doi.org/10.1080/10448630500454387>.
- [15] Barandovski, L., Frontasyeva, M.V., Stafilov, T., Sajin, R., Pavlov, S., Enimiteva, V. (2012). "Trends of atmospheric deposition of trace elements in Macedonia studied by the moss biomonitoring technique". *J. Environ. Sci. Health. Part A Toxic/Hazardous Subst. Environ. Eng* (47(13)), 2000-2015. <https://doi.org/10.1080/10934529.2012.695267>.
- [16] ОИЯИ Ф.П.1.31.2021.41736 МП. (2021). "Определение содержания (массовой доли) химических элементов (Na, Al, Cl, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, As, Sr, Rb, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Tb, Hf, Ta, Th, U) в твердых объектах окружающей среды и технологических сред инструментальным нейтронно-активационным

- методом”. № свидетельства об аттестации (348)/2021-01.00115-2013.
- [17] Ruperez, P. (2002). “Mineral content of edible marine seaweeds”. *Food Chemistry* (79), 23-26.
- [18] Tabarsa, M., Rezaei M., Ramezanpour Z. and Waaland, J.R. (2012). “Chemical compositions of the marine algae *Gracilaria salicornia* (Rhodophyta) and *Ulva lactuca* (Chlorophyta) as a potential food source”. *Journal of the Science of Food and Agriculture* (92), 2500-2506.
- [19] [19] Monsuang, Y. (2017). “Chemical and Mineral compositions of *Sargassum* spp. From Bo Mao Beach, Chumphon Province, Thailand”. *Journal of fisheries and environment* (vol 41(3)).
- [20] Leblanc, F. C. K., Potin, W. M., and Feiters M.C. (2014). “Different speciation for bromine in brown and red algae, revealed by in vivo x-ray absorption spectroscopic studies”. *J. Phycological Society of America* (50), 652-664. DOI: 10.1111/jpy.12199.
- [21] Saenko, G.N., Kravtsova, Y.Y., Ivanenko, V.V. et al. (1978). “Concentration of iodine and bromine by plants in the seas of Japan and Okhotsk”. *Mar. Biol.* (47), 243-250. <https://doi.org/10.1007/BF00541002>.
- [22] Parekh, R.G., Bhatt, S.B., Chauhan, V.D., Rao, P.S. (1984). “Bromine content of some Indian marine algae”. *Indian journal of marine sciences* (Vol.13), pp 88-89.
- [23] Bowen, H.J.M. (1956). “Strontium and Barium in sea water and marine organisms”. *J. mar. boil. Ass. UK* (35), 451-460.
- [24] Burton, J. H., and Price, T. D. (1990). “The ratio of barium to strontium as a paleodietary indicator of consumption of marine resources”. *Journal of Archaeological Science* (vol. 17 (issue 5)), pp. 547-557 DOI: 10.1016/0305-4403(90)90035-4.
- [25] Anjos, S. L., Almeida J. S., Teixeira L.S.G., da Silva A.C.M., Santos A. P., Queiroz, A.F.S., Ferreira, S’ L.C., Mattedi, S. (2021). “Determination of Cu, Ni, Mn and Zn in diesel oil samples using energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry after solid phase extraction using sisal fiber”. *Talanta* (225), 121910, <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121910>.
- [26] Chernova, E. N., and Sergeeva, O. S. (2008). “Metal Concentrations in *Sargassum* Algae from Coastal Waters of Nha Trang Bay (South China Sea)”. *Russian Journal of Marine Biology* (Vol. 34 (No. 1)), pp. 57-63. ISSN 1063-0740. DOI: 10.1134/S1063074008010082.
- [27] Môi trường. (14/07/2023). “Kiểm tra, xử lý các trường hợp dầu nổi nước thải không đúng quy định”. Trang Thông tin điện tử Thành phố Nha Trang. Ngày truy cập 06/08/2024. từ <https://nhatrang.khanhhoa.gov.vn/vi/moi-truong-rac-thai/kiem-tra-xu-ly-cac-truong-hop-dau-noi-nuoc-thai-khong-dung-quy-dinh-3649>).