

HEALTH RISK-BASED MANAGEMENT OF SURFACE WATER IN THE MEKONG DELTA: AN INTEGRATED REVIEW

Truong Quang Phong^{1*}, Nguyen Ngoc Duy¹, Tran Thi Ngoc Bich²

¹*Faculty of Environment, Van Lang School of Technology, Van Lang University -
69/68 Dang Thuy Tram, Binh Loi Trung Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam*

²*College of Engineering and Technology, Tra Vinh University -
126 Nguyen Thien Thanh, Hoa Thuan Ward, Vinh Long Province, Vietnam*

Received: 21/10/2025

Revised: 13/11/2025; Accepted: 28/11/2025

ABSTRACT

Objective: To synthesize evidence on health risks from surface water exposure in the Mekong delta using a probabilistic environmental health risk assessment (EHRA) framework integrating Monte Carlo simulation and GIS mapping.

Method: A structured narrative review based on PubMed, Scopus, Web of Science, and guidelines from WHO, USEPA, IAEA, OECD, and Vietnamese QCVN (2020-2025). Studies reporting HQ/HI/CR, with or without GIS integration, were included.

Results: Evidence reveals gaps between QCVN and WHO/USEPA health-based standards for As, Pb, and Mn; highlights the need for localized exposure parameters (EF, ET, SA, BW) and probabilistic modeling [$P(HQ > 1)$, $P(CR > 10^{-4})$]. Integrating Monte Carlo-GIS identifies high-risk hotspots for targeted public health interventions.

Conclusion: Probabilistic health risk assessment with GIS mapping supports a shift from compliance-based monitoring to risk-based public health management in the Mekong delta.

Keywords: Health risk assessment, surface water, Monte Carlo, GIS, Mekong delta, QCVN, WHO.

*Corresponding author

Email: phong.2594403010001@vanlanguni.vn Phone: (+84) 934318600 Doi: 10.52163/yhc.v66iCD23.3934

QUẢN LÝ DỰA TRÊN RỦI RO SỨC KHỎE ĐỐI VỚI NƯỚC MẶT Ở ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG: TỔNG QUAN TÍCH HỢP

Trương Quang Phong^{1*}, Nguyễn Ngọc Duy¹, Trần Thị Ngọc Bích²

¹Khoa Môi trường, Trường Công nghệ Văn Lang, Trường Đại học Văn Lang - 69/68 Đặng Thùy Trâm, P. Bình Lợi Trung, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Trà Vinh - 126 Nguyễn Thiện Thành, P. Hòa Thuận, Tỉnh Vĩnh Long, Việt Nam

Ngày nhận: 21/10/2025

Ngày sửa: 13/11/2025; Ngày đăng: 28/11/2025

TÓM TẮT

Mục tiêu: Nghiên cứu tổng hợp bằng chứng về rủi ro sức khỏe do phơi nhiễm nước mặt ở đồng bằng sông Cửu Long theo khung đánh giá EHRA xác suất, tích hợp mô phỏng Monte Carlo và bản đồ hóa GIS.

Phương pháp: Tổng quan tường thuật có cấu trúc từ PubMed, Scopus, Web of Science và các hướng dẫn của WHO, USEPA, IAEA, OECD, QCVN (2020-2025). Các tài liệu được sàng lọc theo tiêu chí HQ/HI/CR, có hoặc không tích hợp GIS.

Kết quả: Bằng chứng đồng quy chỉ ra khoảng cách giữa QCVN và chuẩn sức khỏe WHO/USEPA cho một số kim loại nặng (As, Pb, Mn), nhấn mạnh nhu cầu nội địa hóa tham số phơi nhiễm (EF, ET, SA, BW) và mô hình hóa rủi ro xác suất [$P(HQ > 1)$, $P(CR > 10^{-4})$]. Tích hợp Monte Carlo-GIS giúp nhận diện hotspot nguy cơ cao phục vụ ưu tiên can thiệp y tế công cộng.

Kết luận: Đánh giá rủi ro xác suất và bản đồ hóa rủi ro là hướng tiếp cận cần thiết để chuyển từ giám sát tuân thủ môi trường sang quản lý dựa trên rủi ro sức khỏe tại đồng bằng sông Cửu Long.

Từ khóa: Đánh giá rủi ro sức khỏe, nước mặt, Monte Carlo, GIS, đồng bằng sông Cửu Long, QCVN, WHO.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nước an toàn là nền tảng của y tế công cộng, và các hướng dẫn mới của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) nhấn mạnh giá trị dựa trên sức khỏe cùng thích ứng theo bối cảnh địa phương [1]. Gánh nặng bệnh tật do nước không an toàn, vệ sinh và rửa tay kém vẫn đáng kể ở các quốc gia thu nhập trung bình, đòi hỏi giám sát rủi ro sức khỏe, không chỉ giám sát ô nhiễm [2]. Khung EHRA (environmental health risk assessment) của WHO và các bộ công cụ độc học của USEPA (United States Environmental Protection Agency) cho phép quy đổi nồng độ sang liều để suy ra rủi ro không ung thư (Hazard Quotient - HQ / Hazard Index - HI) và rủi ro ung thư (Cancer Risk - CR) theo chuẩn quốc tế, đồng thời liên thông với IRIS (integrated risk information system) và hướng dẫn RAGS (risk assessment guidance for Superfund) part E cho đường phơi nhiễm qua da [3-5]. Đối với đồng vị phóng xạ tự nhiên trong nước mặt, IAEA SRS

No.114 (International Atomic Energy Agency safety reports series) đưa ra các mốc sàng lọc và quy trình đánh giá liều, tạo nền tảng cho tích hợp vào mô hình EHRA [6].

Tại Việt Nam, bộ QCVN 08:2023/BTNMT của Bộ Tài nguyên và Môi trường quy định ngưỡng cho nước mặt theo mục đích sử dụng, còn bộ QCVN 01-1:2024/BYT của Bộ Y tế quy định nước sạch cho sinh hoạt [7-8]. Tuy nhiên, so với ngưỡng sức khỏe WHO/USEPA, một số giới hạn kim loại nặng trong QCVN còn cao hơn, tiềm ẩn nguy cơ bỏ sót rủi ro đối với nhóm dễ tổn thương [1-3], [7]. OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) và UNEP (United Nations Environment Programme) kêu gọi “quản lý dựa trên rủi ro” tích hợp dữ liệu, mô hình và quyết định chính sách, thay vì chỉ dựa trên tuân thủ công nghệ [9-10].

*Tác giả liên hệ

Email: phong.2594403010001@vanlanguni.vn Điện thoại: (+84) 934318600 Doi: 10.52163/yhc.v66iCD23.3934

Xuất hiện khoảng trống bằng chứng trong lĩnh vực y tế cộng đồng ở đồng bằng sông Cửu Long gồm: (1) Thiếu chuỗi dữ liệu đa mùa/đa điểm cho 4 nhóm tác nhân (lý-hóa, vi sinh, kim loại nặng, phóng xạ); (2) Tham số phơi nhiễm (Intake Rate hoặc Ingestion Rate - IR, Exposure Frequency - EF, Exposure Time - ET, Skin Surface - SA, Body Weight - BW) chưa nội địa hóa cho các nhóm tuổi/sinh kế; (3) Mô phỏng Monte Carlo và phân tích độ nhạy chưa phổ biến; (4) Chưa tích hợp rủi ro xác suất vào GIS (geographic information system) để nhận diện hotspot; (5) Thiếu đối chiếu hệ thống QCVN-WHO-USEPA-IAEA trong diễn giải y tế công cộng.

Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm lượng hóa rủi ro sức khỏe do phơi nhiễm nước mặt ở đồng bằng sông Cửu Long theo khung EHRA xác suất, tích hợp mô phỏng Monte Carlo và bản đồ hóa GIS để xác định vùng nguy cơ cao và đề xuất định hướng quản lý y tế công cộng. Theo khung PICO thích ứng cho y tế môi trường là P (population): cộng đồng nông thôn đồng bằng sông Cửu Long phụ thuộc nước mặt; I (intervention): đánh giá rủi ro xác suất (EHRA + Monte Carlo), nội địa hóa tham số phơi nhiễm và tích hợp GIS; C (comparison): so sánh đa chuẩn (QCVN-WHO-USEPA-IAEA); O (outcome): chỉ số HQ/HI/CR và lớp hotspot phục vụ ưu tiên can thiệp cấp phường/xã [1-8], [10].

2. PHƯƠNG PHÁP TỔNG QUAN

Đây là tổng quan tường thuật có cấu trúc nhằm tổng hợp bằng chứng phục vụ quyết định y tế công cộng. Nguồn dữ liệu gồm PubMed, Scopus, Web of Science và tài liệu hướng dẫn/chính sách của WHO, USEPA, IAEA, OECD, cùng hệ QCVN hiện hành. Chiến lược tìm kiếm dùng tổ hợp Boolean: (“drinking water” OR “surface water”) AND (“health risk assessment” OR “EHRA”) AND (“Monte Carlo” OR “probabilistic”) AND (“GIS” OR “spatial”) AND (Vietnam OR Mekong), bổ sung các thuật ngữ MeSH: Water Pollutants, Risk Assessment, Monte Carlo Method, Geographic Information Systems, Public Health.

- Tiêu chí chọn: tài liệu 2020-2025; hướng dẫn/chuẩn chính thức; nghiên cứu định lượng HQ/HI/CR; có hoặc không tích hợp GIS; bối cảnh Việt Nam/châu Á ưu tiên.

- Loại trừ: báo cáo hội nghị, ý kiến chuyên gia, mô tả thuần túy môi trường không liên kết đến chỉ số sức khỏe.

- Sàng lọc: hai nhà nghiên cứu độc lập tiêu đề/tóm tắt và toàn văn; bất đồng giải quyết qua thảo luận.

- Đánh giá chất lượng: nghiên cứu can thiệp/quan sát dùng tiêu chí phù hợp (ví dụ báo cáo phân bố đầu vào, xử lý < LOD (limit of detection), cỡ mẫu, đánh

giá độ nhạy của mô hình), tài liệu hướng dẫn/chuẩn đánh giá theo tính cập nhật và độ tin cậy cơ quan ban hành [1-8], [10].

Quá trình tìm kiếm và sàng lọc thu được tổng cộng 42 tài liệu từ các nguồn PubMed, Scopus, Web of Science, cùng hướng dẫn chính thức của WHO, USEPA, IAEA, OECD và QCVN. Sau khi loại bỏ các báo cáo hội nghị, ý kiến chuyên gia và các nghiên cứu không có chỉ số HQ/HI/CR, 20 tài liệu đáp ứng tiêu chí được đưa vào tổng quan cuối cùng. Do bài thuộc dạng tổng quan tường thuật có cấu trúc, không áp dụng đầy đủ quy trình PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses); tuy nhiên, quá trình sàng lọc được ghi nhận minh bạch.

3. KẾT QUẢ VÀ PHÁT HIỆN CHÍNH

Bằng chứng đồng quy từ tài liệu hướng dẫn và nghiên cứu thực địa chỉ ra 3 trục then chốt cho quyết định y tế công cộng: đối chiếu chuẩn sức khỏe và quy chuẩn quốc gia; lượng hóa xác suất rủi ro với bất định rõ ràng; và không gian hóa rủi ro để ưu tiên can thiệp.

3.1. Hệ chuẩn sức khỏe và đối chiếu quy chuẩn quốc gia

WHO và cơ sở dữ liệu IRIS cung cấp HBGVs (Health-Based Guidance Values), RfD (Reference Dose)/CSF (Cancer Slope Factor) cho nhiều chất ô nhiễm chủ chốt, là đầu vào bắt buộc của EHRA [1-2], [4-5]. Đối chiếu QCVN 08:2023/BTNMT với WHO 2024 cho thấy giới hạn As/Pb/Mn trong QCVN cao hơn 2-5 lần tại một số mục đích sử dụng; chỉ tiêu vi sinh đã tương đương WHO, gợi ý QCVN đang thiên về khả năng công nghệ hơn là ngưỡng sức khỏe [1-2], [7-8]. Bảng 1 dưới đây trình bày so sánh định lượng ở các cột A1-B2 và ngưỡng WHO, minh họa vì sao WQI (Water Quality Index) không thể thay thế cho chỉ số rủi ro sức khỏe [1-2], [4-8].

Bảng 1. So sánh ngưỡng QCVN 08:2023/BTNMT theo cột A1-B2 với WHO 2024 (một số chỉ tiêu chọn lọc, đơn vị mg/L) [1], [7]

Chỉ tiêu	A1	A2	B1	B2	WHO 2024 (GDWQ)
As	0,01	0,02	0,05	0,10	0,01
Pb	0,01	0,02	0,05	0,10	0,01
Mn	0,10	0,20	0,50	1,00	0,40
<i>E. coli</i> (CFU/100 mL)	0	20	20	100	0

WQI hữu ích để mô tả hiện trạng môi trường, nhưng không phản ánh trực tiếp rủi ro sức khỏe; đối chiếu WQI với P(HQ > 1)/P(CR > 10⁻⁴) thường cho thấy

không tương đồng tại một số khu vực do WQI không dùng RfD/CSF và không phân tách theo đường phơi nhiễm [11-12]. Vì vậy, nên song hành WQI với chỉ số xác suất sức khỏe trong giám sát.

3.2. Lượng hóa rủi ro xác suất và bất định

Trong bối cảnh sông nước nhiệt đới, hành vi tắm giặt, trong đó phơi nhiễm qua da chiếm tỷ trọng cao trong nhóm nghề nuôi trồng thủy sản. Khảo sát vùng nhiệt đới ghi nhận diện tích da tiếp xúc 6.000-18.000 cm² mỗi lần, thời gian 20-45 phút, tần suất 5-7 ngày/tuần; trong điều kiện nóng ẩm, hệ số thẩm da tăng, khiến liều hấp thu qua da có thể chiếm một phần đáng kể tổng liều. Mô hình trong nước vì thế cần mô-đun qua da chuẩn RAGS Part E và nội địa hóa EF/ET/SA/BW theo tuổi và nghề, đặc biệt cho trẻ ≤ 5 tuổi và nhóm nghề nghiệp làm việc trong lĩnh vực thủy sản [5], [13].

Các nghiên cứu gần đây áp dụng Monte Carlo để lan truyền biến thiên và bất định của nồng độ, hành vi và độc học, báo cáo phân vị P50-P95, P(HQ > 1), P(CR > 10⁻⁴) và xếp hạng tham số chi phối bằng PRCC (Partial Rank Correlation Coefficient) [11], [14-17]. Ở quy mô lưu vực và sông đô thị, tiếp cận xác suất giúp nhận diện chất/đường phơi nhiễm chi phối và so sánh kịch bản quản lý (nguồn trọng điểm, kiểm soát theo mùa) [11], [15-16].

WHO/IAEA khuyến nghị sàng lọc gross alpha và gross beta, nếu vượt ngưỡng thì định lượng đồng vị để tính liều [6]. Bảng 2 tổng hợp các mốc sàng lọc phổ biến dùng trong EHRA xác suất với nhóm phóng xạ.

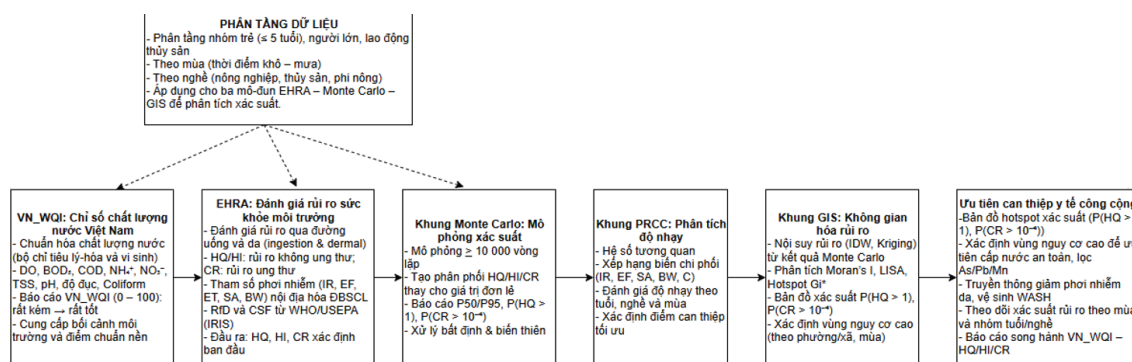
Bảng 2. Ngưỡng sàng lọc phóng xạ tự nhiên theo WHO/IAEA [1], [6]

Chỉ tiêu	Ngưỡng sàng lọc
Gross alpha	≤ 0,5 Bq/L
Gross beta	≤ 1,0 Bq/L
²²⁶ Ra	≤ 0,185 Bq/L
²³⁸ U (xấp xỉ)	≤ 0,74 Bq/L
Liều hiệu dụng do uống (mục tiêu WHO)	Eing ≤ 0,1 mSv/năm

3.3. Không gian hóa rủi ro để ưu tiên can thiệp

Tích hợp kết quả Monte Carlo vào GIS với Kriging và kiểm định Moran's I, LISA (local indicators of Spatial Association), Getis-Ord Gi* cho phép biến HQ/HI/CR tại điểm thành lớp xác suất liên tục, phát hiện vùng nguy cơ cao “hotspot” ở cấp phường/xã, định vị ưu tiên can thiệp y tế công cộng (cấp nước an toàn, lọc hộ gia đình, truyền thông thay đổi hành vi) [17-20].

Ở Việt Nam, các nghiên cứu gần đây tại kênh rạch thành thị và vùng ven biển/hạ lưu cho thấy kim loại nặng và vi sinh là mối quan tâm chính; mô hình xác suất cho phép ước lượng nguy cơ không ung thư và ung thư theo mùa/nhóm dân cư [18]. Phân tích hiệu ứng quy mô nhắc nhở rằng thiết kế lấy mẫu và nội suy ảnh hưởng đáng kể đến việc nhận diện vùng nguy cơ cao yêu cầu chuẩn hóa giao thức từ lấy mẫu đến phân tích không gian [20].



Hình 1. Quy trình tích hợp rủi ro sức khỏe, môi trường và không gian [1], [5], [7], [12]

4. BÀN LUẬN

Bằng chứng hợp lưu ủng hộ chuyển từ giám sát tuân thủ môi trường sang quyết định dựa trên rủi ro sức khỏe. Khoảng cách giữa một số ngưỡng kim loại nặng của QCVN với giá trị dựa trên sức khỏe của WHO/USEPA có thể làm tăng xác suất bỏ sót rủi ro ở nhóm trẻ nhỏ, phụ nữ mang thai và nhóm nghề nghiệp làm việc trong lĩnh vực thủy sản; mô hình EHRA xác suất vì vậy cho phép lượng hóa rủi ro theo phân vị và xác suất vượt ngưỡng, thay vì chỉ dựa vào so sánh giá trị

điểm [1-2], [5], [7]. So sánh với nghiên cứu trước tại Trung Quốc và Peru cho thấy Monte Carlo-EHRA làm rõ tỷ trọng đóng góp của đường da/đường uống và thứ bậc tham số chi phối (IR, EF, SA, BW), phù hợp với định hướng WHO/USEPA [11], [14-16]. Tại thành phố Hồ Chí Minh và đồng bằng sông Cửu Long, kết quả tương thích đặc biệt khi phân tích theo mùa và nghề nghiệp, nhấn mạnh nhu cầu nội địa hóa tham số phơi nhiễm [17-19]. Khác biệt giữa WQI và rủi ro sức khỏe bắt nguồn từ bản chất chỉ số: WQI tổng hợp chất lượng môi trường, trong khi HQ/HI/CR phụ

thuộc độc học (RfD/CSF) và hành vi phơi nhiễm [1-2], [4], [12]. Mặt khác, quy mô phân tích và phương pháp nội suy ảnh hưởng đến phát hiện hotspot, đòi hỏi chuẩn hóa không gian-thời gian [20].

Việc song hành VN_WQI với HQ/HI/CR vừa giải quyết yêu cầu truyền thông tình trạng môi trường dễ hiểu cho cộng đồng, vừa cung cấp thông tin rủi ro y tế hành động cho cán bộ y tế và môi trường. Trong triển khai, nên báo cáo P50/P95, P(HQ > 1), P(CR > 10⁻⁴) tại các cụm dân cư theo mùa thủy văn, đồng thời tham chiếu đa chuẩn (QCVN-WHO-USEPA-IAEA) để bảo đảm tính an toàn cho nhóm dễ tổn thương. Lớp hotspot từ GIS với xác suất vượt ngưỡng sẽ là công cụ quy hoạch cấp nước an toàn, lựa chọn công nghệ lọc tại hộ và định hướng truyền thông thay đổi hành vi phù hợp bối cảnh sinh kế.

Hàm ý thực tiễn: (1) Giám sát thường quy dựa trên rủi ro: báo cáo P50/P95 và P(HQ > 1)/P(CR > 10⁻⁴) song hành WQI ở các điểm trọng yếu; (2) Bản đồ vùng nguy cơ cao cấp phường/xã để ưu tiên can thiệp (mở rộng cấp nước an toàn, lọc As/Pb/Mn tại hộ, truyền thông giảm tiếp xúc da) [1-2], [7], [12]; (3) Tiệm cận chuẩn quốc tế: xem xét điều chỉnh dần một số ngưỡng kim loại nặng về giá trị sức khỏe WHO đối với vùng cấp nước sinh hoạt [1-2], [7]; (4) Chuẩn hóa quy trình: QA/QC cho < LOD, cấu hình Monte Carlo ≥ 10.000 vòng, báo cáo PRCC và kiểm định bền vững theo mùa/nhóm [11], [14-17].

Hạn chế và hướng nghiên cứu tiếp theo: tổng quan này có hạn chế nội tại của tổng quan tường thuật khi chưa tổng hợp định lượng do khác biệt thiết kế và thước đo; lớp phóng xạ tự nhiên và chuỗi đa mùa/đa điểm trong nước còn hạn chế; PRCC/Sobol' và GIS-Monte Carlo chưa phổ biến nên có nguy cơ sai lệch không gian nếu cỡ mẫu thưa. Hướng tiếp theo gồm bổ sung dữ liệu phóng xạ đa mùa gắn QA/QC theo IAEA, khảo sát cộng đồng để xây dựng phân bố EF/ET/SA/IR/BW theo tuổi/nghề/mùa, tích hợp Monte Carlo-GIS với kiểm định cụm và liên kết rủi ro xác suất với chỉ tiêu y tế trong giám sát thường quy [1-3], [5-7].

5. KẾT LUẬN

Theo định hướng y tế công cộng, đánh giá rủi ro sức khỏe do nước mặt ở đồng bằng sông Cửu Long cần được lượng hóa và báo cáo dưới dạng xác suất HQ/HI/CR song hành VN_WQI, có mô-đun qua đa chuẩn và tham số nội địa hóa theo tuổi/nghề/mùa, được bản đồ hóa hotspot bằng GIS để ưu tiên can thiệp cấp cơ sở, đồng thời tiệm cận ngưỡng sức khỏe WHO cho kim loại nặng. Khung tích hợp này giúp chuyển từ giám sát tuân thủ sang quản lý dựa trên rủi ro sức khỏe, đúng với tinh thần của y tế công cộng hiện đại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] World Health Organization, Guidelines for drinking water quality, 5th ed. Geneva, 2024.
- [2] World Health Organization. Burden of disease attributable to unsafe drinking water, sanitation and hygiene, 2019 update. Geneva, 2023.
- [3] World Health Organization. WHO human health risk assessment toolkit: chemical hazards, 2nd ed. Geneva, 2021.
- [4] USEPA. Integrated risk information System (IRIS) Database, 2024. <https://www.epa.gov/iris>. Cơ sở dữ liệu Hệ thống thông tin rủi ro tích hợp (IRIS).
- [5] USEPA. Risk assessment guidance for superfund: Volume I - Supplemental guidance for dermal risk assessment (part E), 2023. U.S. Environmental Protection Agency.
- [6] IAEA. Radiological health risk evaluation for surface water and groundwater systems, Vienna, 2024.
- [7] Bộ Tài nguyên và Môi trường. QCVN 08:2023/BTNMT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước mặt, 2023.
- [8] Bộ Y tế. QCVN 01-1:2024/BYT - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng nước sạch sử dụng cho mục đích sinh hoạt, 2024.
- [9] Organisation for Economic Co-operation and Development. Government risk management approaches used for chemicals management, 2022.
- [10] United Nations Environment Programme. Global framework on chemicals - For a planet free of harm from chemicals and waste, 2023.
- [11] Zhang C et al. An integrated risk assessment framework using information theory coupling for basin scale water quality management. *Sci Total Environ*, 2023, 875: 162716.
- [12] Bộ Tài nguyên và Môi trường. Hướng dẫn tính toán và áp dụng Chỉ số chất lượng nước VN_WQI, 2019.
- [13] Ayejoto D.A et al. Evaluation of oral and dermal health risk exposures of contaminants in groundwater for nine age groups in Nigeria. *Heliyon*, 2023, 9: e15483.
- [14] Custodio M et al. Microbial and potentially toxic elements risk assessment in high Andean river water based on Monte Carlo simulation (Peru). *Sci Rep*, 2023, 13: 2553.
- [15] Chen X et al. Source specific probabilistic health risk assessment of heavy metals in surface water of the Yangtze River Basin. *Sci Total Environ*, 2024, 926: 171923.
- [16] Yadav R, Kalkal R. Probabilistic risk assessment of arsenic and heavy metals via ingestion and dermal exposure pathways. *J Environ Manag*, 2024, 357: 120736.
- [17] Doan V.T.L et al. Comprehensive statistical analysis for characterizing water quality assessment in the Mekong delta: Trends, vari-

- ability, and key influencing factors. Sustainability, 2025. 17 (12): 5375.
- [18] Tong N.X, Nguyen T.T.T, Le H.A. Assessment of water quality, heavy metal pollution and human health risks in the canal system of Ho Chi Minh city, Vietnam. Environ Res Commun, 2024, 6: 075007.
- [19] Tran D.A et al. Groundwater quality evaluation and health risk assessment in coastal lowland areas of the Mekong delta, Vietnam. Groundw Sustain Dev, 2021, 15: 100679.
- [20] Wu H et al. Considering scale effects in water quality analysis to enhance the precision of assessment and management. Ecol Indic, 2024, 163: 112091.

