

WASTEWATER-BASED EPIDEMIOLOGY FOR TUBERCULOSIS SURVEILLANCE IN VIETNAM: SCIENTIFIC BASIS AND POTENTIAL APPLICATIONS

Vu Duc Canh^{1*}, Do Thi Thuy Quyen², Tran Thuc Thien¹, Nguyen Thuy Lien³, Tran Thi Viet Nga³

¹Faculty of Environment and Labour Safety, Ton Duc Thang University

²Faculty of Environment, University of Science, Vietnam National University Ho Chi Minh City

³Faculty of Environmental Engineering, Hanoi University of Civil Engineering

Received: 02/03/2026

Revised: 01/05/2026; Accepted: 26/07/2026

ABSTRACT

Tuberculosis (TB) continues to pose a major public health concern in Vietnam, with a high disease burden. Traditional epidemiological surveillance systems, which primarily rely on clinical data, may not fully reflect the true prevalence of tuberculosis in the community. Wastewater-based epidemiology (WBE) is increasingly recognized as a useful method for monitoring population-level health trends, enabling the proactive and cost-effective assessment of pathogen presence and circulation trends at the community level. This narrative review evaluates the feasibility of WBE for tuberculosis surveillance in Vietnam by synthesizing and analyzing existing scientific evidence on TB. Recent studies have demonstrated that *Mycobacterium tuberculosis* has been reported in wastewater, and bacterial signals in wastewater are associated with the TB burden in communities. However, the implementation of WBE for TB surveillance still faces several technical challenges, including low bacterial concentrations, limitations of current recovery methods, and constraints related to wastewater infrastructure in Vietnam. Based on these findings, this paper proposes future research idea and practical implementation strategies, underscoring the potential of WBE as a complementary approach to enhance surveillance capacity and support tuberculosis prevention and control efforts in Vietnam.

Keywords: Wastewater-based epidemiology (WBE), *Mycobacterium tuberculosis*, wastewater, Vietnam

*Corresponding author

Email: vuduccanh@tdtu.edu.vn Phone: (+84) 973132489 DOI: 10.52163/yhc.v67iCD11.6057

DỊCH TỄ HỌC NƯỚC THẢI (WBE) TRONG GIÁM SÁT BỆNH LAO TẠI VIỆT NAM: CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG

Vũ Đức Cảnh^{1*}, Đỗ Thị Thuý Quyên², Trần Thức Thiện¹, Nguyễn Thuý Liên³, Trần Thị Việt Nga³

¹Khoa Môi trường và Bảo hộ lao động, Trường Đại học Tôn Đức Thắng

²Khoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

³Khoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

Ngày nhận: 02/03/2026

Ngày sửa: 01/05/2026; Ngày đăng: 26/07/2026

TÓM TẮT

Công tác giám sát lao tại Việt Nam vẫn đối mặt với nhiều thách thức. Các hệ thống giám sát dịch tễ truyền thống, chủ yếu dựa trên dữ liệu lâm sàng, do đó chưa phản ánh đầy đủ tình hình lưu hành thực tế của bệnh lao trong cộng đồng. Dịch tễ học dựa trên nước thải (WBE) ngày càng được ghi nhận như là một phương pháp giám sát có nhiều triển vọng, cho phép đánh giá sự hiện diện và xu hướng lưu hành mầm bệnh ở quy mô cộng đồng một cách hiệu quả. Nghiên cứu tổng quan tường thuật này được thực hiện nhằm khảo sát tính khả thi của WBE trong giám sát bệnh lao tại Việt Nam. Các nghiên cứu gần đây đã phát hiện vi khuẩn lao trong nước thải và tín hiệu vi khuẩn trong nước thải có mối liên hệ với gánh nặng bệnh lao trong cộng đồng. Tuy nhiên, việc triển khai WBE trong giám sát bệnh lao vẫn gặp phải nhiều trở ngại liên quan đến kỹ thuật, bao gồm nồng độ vi khuẩn thấp, hạn chế của các phương pháp thu hồi hiện nay, cũng như những rào cản về hạ tầng thoát nước tại Việt Nam. WBE được xem là một giải pháp giám sát bổ sung tiềm năng, có thể hỗ trợ hiệu quả công tác phòng, chống bệnh lao.

Từ khóa: Dịch tễ học dựa trên nước thải (WBE), vi khuẩn lao, nước thải, Việt Nam.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bệnh lao (TB) là một trong những nguyên nhân gây tử vong hàng đầu toàn cầu, với khoảng 10,8 triệu ca mắc mới và 1,25 triệu ca tử vong năm 2023. Tại Việt Nam, mỗi năm ghi nhận khoảng 182.000 ca mắc mới và gần 11.000 ca tử vong, xếp thứ 12 thế giới về gánh nặng bệnh lao [1].

Hệ thống giám sát hiện nay chủ yếu dựa vào chẩn đoán lâm sàng và hồ sơ bệnh viện nên dễ bỏ sót ca nhẹ hoặc không triệu chứng, khiến việc giám sát TB gặp nhiều khó khăn. Giám sát dịch tễ học dựa trên nước thải (WBE) được đánh giá là một cách tiếp cận đầy triển vọng để giám sát tình trạng sức khỏe cộng đồng, cho phép phát hiện sớm mầm bệnh và cảnh báo nguy cơ bùng phát dịch. Mặc dù đã được triển khai hiệu quả trong việc giám sát nhiều dịch bệnh như COVID-19 [2], cúm mùa [3], WBE hiện vẫn chưa được phát triển để giám sát bệnh lao trong cộng đồng.

Vì vậy, nghiên cứu tổng quan tường thuật này được thực hiện nhằm đánh giá tính khả thi của việc ứng dụng WBE trong giám sát bệnh lao tại Việt Nam, đồng thời đánh giá các hạn chế và thách thức kỹ thuật còn tồn tại, qua đó đề xuất những định hướng nghiên cứu nhằm thúc đẩy việc áp dụng WBE trong việc kiểm soát bệnh lao tại Việt Nam.

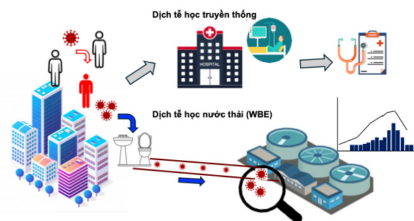
2. PHƯƠNG PHÁP TỔNG QUAN TÀI LIỆU

Nghiên cứu này được thực hiện theo phương pháp tổng quan tường thuật (narrative review). Việc tìm kiếm tài liệu được tiến hành trên hai cơ sở dữ liệu khoa học là PubMed và Scopus, sử dụng tổ hợp từ khóa: (“wastewater-based epidemiology” OR “wastewater surveillance”) AND (“tuberculosis” OR “*Mycobacterium tuberculosis*” OR “MTBC”). Kết quả ban đầu thu được 66 bài (17 từ PubMed, 49 từ Scopus). Sau khi loại trùng lặp và sàng lọc theo tiêu chí: (1) nghiên cứu gốc về phát hiện *Mycobacterium tuberculosis* /MTBC trong nước thải; (2)

bài báo tiếng Anh, còn lại 3 nghiên cứu được đưa vào phân tích (Bảng 2).

3. CƠ SỞ KHOA HỌC CHO VIỆC GIÁM SÁT BỆNH LAO THÔNG QUA NƯỚC THẢI

WBE là công cụ hiệu quả để giám sát bệnh truyền nhiễm ở quy mô cộng đồng thông qua phát hiện mầm bệnh được bài tiết vào hệ thống thoát nước, cho phép đánh giá gián tiếp, không xâm lấn, chi phí thấp và có khả năng bao phủ cả các trường hợp bệnh nhẹ, không triệu chứng hoặc đang ủ bệnh. Trong đại dịch COVID-19, WBE đã nghiên cứu tại nhiều quốc gia và cho thấy hiệu cao trong việc giám sát sự lây nhiễm của SARS-CoV-2, thậm chí phát hiện SARS-CoV-2 trong nước thải sớm hơn dữ liệu y tế. Thành công này đã thúc đẩy mở rộng áp dụng WBE sang giám sát các bệnh truyền nhiễm khác như cúm, Mpox và sốt xuất huyết.



Hình 1. Sơ đồ minh họa hai phương pháp giám sát dịch tễ: (1) Dịch tễ học truyền thống – dựa trên dữ liệu lâm sàng từ bệnh viện; và (2) Dịch tễ học nước thải (WBE) – phát hiện tác nhân gây bệnh trong hệ thống thoát nước đô thị thông qua quan trắc nước thải. (Nguồn: tác giả)

Bệnh lao (TB), do vi khuẩn *Mycobacterium tuberculosis*

*Tác giả liên hệ

Email: vuducanh@tdtu.edu.vn Điện thoại: (+84) 973132489 DOI: 10.52163/yhc.v67iCD11.6057

(*M. tuberculosis*) và các loài thuộc phức hợp *Mycobacterium tuberculosis* complex (MTBC) gây ra. Mặc dù con đường lây truyền chính của lao là qua hệ hô hấp, *M. tuberculosis* và MTBC cũng được phát hiện trong phân của người bệnh [4]. Phát hiện này tạo nền tảng khoa học quan trọng cho việc triển khai WBE nhằm theo dõi bệnh lao ở quy mô cộng đồng. Tuy nhiên, cần thận trọng khi diễn giải kết quả, bởi không phải tất cả bệnh nhân lao đều bài tiết vi khuẩn qua đường tiêu hóa, hoặc nếu có thì nồng độ có thể không đủ để phát hiện trong nước thải.

Một số nghiên cứu tiêu biểu gần đây liên quan đến việc phát hiện *M. tuberculosis*/ MTBC trong nước thải được tổng hợp trong Bảng 2. Tại Durban (Nam Phi), MTBC được ghi nhận trong hầu hết mẫu nước thải thô với nồng độ $2,0 \times 10^2$ – $1,6 \times 10^4$ copies/mL [5], bao gồm nhiều loài như *M. bovis*, *M. tuberculosis*, *M. caprae*, và *M. africanum* cung cấp bằng chứng quan trọng cho tiềm năng giám sát lao bằng WBE. Ở phạm vi lớn hơn, thực hiện tại sáu quốc gia ở châu Phi cũng phát hiện MTBC trong cả nước thải thô và nước thải sau xử lý, cho thấy quy trình xử lý hiện hành chưa loại bỏ hoàn toàn mầm bệnh, đặt ra nguy cơ sức khỏe cộng đồng khi tái sử dụng nước.

Bên cạnh các nghiên cứu tại châu Phi, nghiên cứu gần đây tại Ottawa (Canada), Nunangat (Canada) và Mumbai (Ấn Độ) cũng ghi nhận các kết quả tương tự [6]. Cụ thể,

M. tuberculosis đã được phát hiện trong nước thải tại các khu vực có ca nhiễm lao. Đáng chú ý, tại Mumbai, khu vực có gánh nặng bệnh lao rất cao với ước tính khoảng 67.000 ca bệnh, nồng độ vi khuẩn phát hiện trong nước thải cũng ở mức cao, dao động từ 2483,98 đến 5012,99 cp/phản ứng. Trong khi đó, tại Ottawa và Nunangat, nơi có số ca mắc thấp hơn (61 ca), nồng độ vi khuẩn ghi nhận chỉ dao động từ 0,15 đến 1,07 cp/phản ứng. Điều này cho thấy tín hiệu vi khuẩn trong nước thải có thể phản ánh mức độ gánh nặng bệnh lao trong cộng đồng, qua đó cho thấy tiềm năng của WBE trong việc theo dõi và đánh giá tình hình bệnh lao ở quy mô cộng đồng. Tuy nhiên, ngưỡng phát hiện cụ thể để phân biệt giữa các khu vực có gánh nặng bệnh lao cao, trung bình và thấp vẫn chưa được xác định. Do đó, cần có thêm các nghiên cứu trong tương lai nhằm đánh giá và thiết lập các ngưỡng phát hiện phù hợp cho mục đích giám sát dịch tễ. Tuy nhiên, mặc dù sự hiện diện của *M. tuberculosis*/MTBC trong nước thải phản ánh sự lưu hành của bệnh ở quy mô cộng đồng, nồng độ của các vi khuẩn này không nên được diễn giải như một chỉ số định lượng trực tiếp của tỷ lệ hiện mắc hoặc số ca bệnh. Điều này là do vẫn tồn tại nhiều hạn chế đáng kể về phương pháp luận trong việc thiết lập mối liên hệ định lượng giữa tín hiệu trong nước thải và dữ liệu dịch tễ học.

Bảng 1. Một số nghiên cứu tiêu biểu đánh giá tiềm năng ứng dụng WBE trong việc giám sát bệnh lao trong cộng đồng

Khu vực nghiên cứu	Loại mẫu nước thải	Tác nhân gây bệnh	Phương pháp phân tích	Kết quả chính	Ý nghĩa đối với WBE-TB	Tài liệu tham khảo
Canada (Ottawa, Nunangat), Ấn Độ (Mumbai)	Nước thải thô, bùn sơ cấp	MTBC, <i>M. tuberculosis</i> , <i>M. bovis</i>	qPCR	Phát hiện MTBC tại các khu vực có ca lao; Vi khuẩn phân bố chủ yếu trong pha rắn	Chứng minh tính khả thi và chỉ ra vai trò then chốt của pha rắn trong WBE-TB	[6]
Nam Phi (Durban)	Nước thải thô và đã xử lý	MTBC, <i>M. bovis</i> , <i>M. africanum</i> , <i>M. tuberculosis</i> và <i>M. caprae</i>	ddPCR, PCR	Phức hợp vi khuẩn lao (MTBC) cùng nhiều tác nhân gây lao khác đã được ghi nhận ở hàm lượng đáng kể trong mẫu nước thải đầu vào	Minh chứng thực nghiệm ban đầu về khả năng định lượng vi khuẩn lao trong nước thải bằng kỹ thuật ddPCR	[5]
6 quốc gia châu Phi	Nước thải thô và đã xử lý	MTBC và các loài liên quan	ddPCR	Phát hiện MTBC và các loài gây bệnh lao ở tất cả quốc gia khảo sát; nồng độ cao tại khu vực gánh nặng lao lớn	Khẳng định tiềm năng WBE trong giám sát TB xuyên quốc gia và đánh giá nguy cơ môi trường	[7]

4. TIỀM NĂNG VÀ THÁCH THỨC TRONG TRIỂN KHAI WBE TẠI VIỆT NAM

4.1. Tiềm năng

Tỷ lệ phát hiện bệnh lao tại Việt Nam còn ở mức thấp mới chỉ đạt xấp xỉ 59% (năm 2023), cho thấy nhiều ca bệnh chưa được chẩn đoán và ghi nhận trong hệ thống y tế. Trong bối cảnh đó, WBE cho thấy nhiều lợi thế tiềm năng khi áp dụng tại Việt Nam. Về lý thuyết, WBE có thể giám sát được tình hình bệnh ở cấp độ cộng đồng theo hướng chủ động, bao quát cả các trường hợp không triệu chứng, triệu chứng nhẹ hoặc tri hoãn thăm khám do rào cản kinh tế và kỳ thị xã hội—những yếu tố vẫn là trở ngại trong công tác phòng, chống lao hiện nay. Hơn nữa, giám sát thông qua nước thải được xem là giải pháp chi phí hiệu quả, khi chỉ cần một số lượng hạn chế mẫu nước thải vẫn có thể phản ánh tình trạng lưu hành mầm bệnh của cộng đồng dân cư ở quy mô lớn. Đặc điểm này khiến WBE có nhiều lợi thế khi áp dụng tại Việt Nam, nơi nguồn lực giám sát y

tế công cộng vẫn còn hạn chế.

Mặc dù công tác phát hiện lao đã cải thiện sau COVID-19, năm 2023 vẫn ghi nhận tiến độ đạt chỉ tiêu còn chậm, nhất là ở nhóm nguy cơ cao và khu vực khó khăn. Trong bối cảnh đó, WBE có thể đóng vai trò bổ trợ cho hệ thống giám sát bệnh lao hiện hành. Khi được triển khai và đánh giá phù hợp, WBE có thể là một công cụ hỗ trợ tiềm năng trong việc giám sát bệnh lao tại Việt Nam. WBE có thể phục vụ các mục tiêu dịch tễ học khác nhau tùy theo thiết kế triển khai: (1) cảnh báo sớm xu hướng gia tăng lưu hành lao trước khi số ca lâm sàng tăng rõ rệt; (2) xác định khu vực nguy cơ cao ("điểm nóng") để ưu tiên nguồn lực sàng lọc và can thiệp; (3) theo dõi xu hướng dài hạn trong cộng đồng; (4) đánh giá hiệu quả can thiệp sau khi triển khai các chương trình phòng chống lao. Tuy nhiên, cần lưu ý rằng mỗi mục tiêu nêu trên đòi hỏi các chiến lược lấy mẫu, tần suất giám sát, chỉ số phân tích và diễn giải dữ liệu khác nhau.

4.2. Thách thức kỹ thuật

Dù được có nhiều tiềm năng, việc triển khai WBE trong giám sát lao vẫn gặp không ít trở ngại. Đáng chú ý, hàm lượng vi khuẩn lao trong nước thải thường ở mức thấp, đặc biệt tại những nơi có tỷ lệ mắc bệnh thấp. So với các tác nhân virus như SARS-CoV-2, việc phát hiện vi khuẩn lao đòi hỏi các phương pháp phân tích có độ nhạy và độ đặc hiệu cao [6]. Hiện nay phần lớn các phương pháp và quy trình cô đọng mẫu trong giám sát nước thải được phát triển nhằm thu hồi các loại vi rút, điển hình là các virus đường ruột như norovirus hoặc virus SARS-CoV-2 [8]. Tuy nhiên, vi khuẩn lao có kích thước, hình thái hoàn toàn khác so với virus. Hơn nữa, vi khuẩn lao có xu hướng phân bố chủ yếu trong pha rắn của nước thải, bao gồm bùn và các hạt lơ lửng, thay vì pha lỏng như trường hợp của virus [6]. Do đó, việc áp dụng trực tiếp các phương pháp thu hồi được phát triển cho virus có thể không đạt hiệu quả tối ưu, dẫn đến sai lệch trong định lượng và đánh giá dịch tễ. Ngoài ra, thành tế bào giàu lipid của vi khuẩn lao và sự hiện diện của các chất ức chế PCR trong nước thải cũng có thể ảnh hưởng đến hiệu quả tách chiết và phân tích nucleic acid, làm tăng nguy cơ phản ứng khuếch đại không đặc hiệu hoặc âm tính giả. Do đó, để mở rộng và nâng cao hiệu quả ứng dụng dịch tễ học dựa trên nước thải trong giám sát bệnh lao, cần có thêm các nghiên cứu tập trung vào phát triển các phương pháp thu hồi và chiết tách DNA chuyên biệt dành cho vi khuẩn lao.

Bên cạnh đó, việc phát hiện DNA của *M. tuberculosis*/MTBC trong nước thải chủ yếu dựa trên các kỹ thuật sinh học phân tử (ví dụ qPCR/dPCR), vốn không phân biệt được DNA có nguồn gốc từ tế bào sống hay tế bào đã chết. Trong điều kiện môi trường nước thải, DNA ngoại bào có thể tồn tại tương đối ổn định ngay cả khi vi khuẩn đã mất khả năng sống hoặc bị bất hoạt bởi các yếu tố môi trường. Do đó, tín hiệu DNA thu được có thể phản ánh “dấu vết” của vi khuẩn hơn là nguy cơ lây nhiễm thực sự. Ngược lại, việc xác định vi khuẩn sống (ví dụ thông qua nuôi cấy) mới có ý nghĩa trực tiếp hơn đối với đánh giá nguy cơ lây truyền. Sự không tương đồng giữa hai chỉ số này có thể dẫn đến sai lệch trong diễn giải dịch tễ nếu không được xem xét cẩn trọng.

Giá trị “copies/phản ứng” phản ánh số lượng DNA mục tiêu trong mẫu phân tích, nhưng để liên hệ với số ca bệnh thực tế cần trải qua nhiều bước quy đổi với các giả định phức tạp. Những hạn chế chính bao gồm: (i) mức độ và tần suất bài tiết *M. tuberculosis*/MTBC qua phân giữa các bệnh nhân là rất khác nhau và chưa được đặc trưng đầy đủ; (ii) sự pha loãng và biến động lưu lượng trong hệ thống thoát nước; (iii) sự phân hủy của DNA trong quá trình vận chuyển và lưu giữ trong môi trường; (iv) hiệu suất thu hồi và chiết tách DNA; và (v) sai số đo lường của phương pháp phân tích. Do đó, mối quan hệ giữa tải lượng DNA đo được và số ca bệnh là phi tuyến, không ổn định và phụ thuộc mạnh vào bối cảnh địa phương. Điều này khiến việc xây dựng các mô hình định lượng đáng tin cậy để ước tính số ca bệnh từ dữ liệu nước thải trở nên đặc biệt thách thức.

Bên cạnh đó, các nghiên cứu hiện được thực hiện tại Nam Phi, các quốc gia châu Phi, Canada và Ấn Độ—những khu vực có sự khác biệt đáng kể so với Việt Nam về hạ tầng thoát nước, mô hình xả thải, điều kiện khí hậu và tải lượng vi sinh nền. Do đó, cần có thêm các nghiên cứu thực nghiệm để đánh giá và kiểm chứng khả năng áp dụng WBE trong bối cảnh đặc thù của Việt Nam.

4.3. Chiến lược triển khai tại Việt Nam

Tỷ lệ thu gom và xử lý nước thải tại Việt Nam hiện còn hạn chế (khoảng 15% trên toàn quốc), làm giảm tính đại diện và khả năng triển khai WBE ở quy mô rộng. Tuy nhiên, sự khác biệt về hạ tầng giữa các khu vực là đáng kể. Tại các đô thị lớn như TP. Hồ Chí Minh và Hà Nội, hệ thống thoát

nước tập trung và mức độ kết nối dân cư cao hơn, tạo điều kiện thuận lợi hơn cho việc triển khai các nghiên cứu thí điểm. Ngược lại, tại khu vực nông thôn hoặc các vùng chưa có hệ thống thu gom tập trung, việc áp dụng WBE gặp nhiều thách thức về tính đại diện mẫu và khả năng suy luận ở quy mô cộng đồng.

Đặc biệt, việc lựa chọn các điểm giám sát trọng điểm (sentinel sites) có thể đóng vai trò quan trọng trong giai đoạn thí điểm. Các địa điểm như bệnh viện chuyên khoa lao/phổi, trung tâm phòng chống lao, trại giam, khu ký túc xá sinh viên và các khu dân cư có mật độ cao được xem là những lựa chọn phù hợp, do có nguy cơ lưu hành bệnh cao hơn và thường có hệ thống thoát nước nội bộ tương đối khép kín, thuận lợi cho việc thu thập mẫu và diễn giải dữ liệu ở quy mô xác định. Cách tiếp cận này cũng cho phép đánh giá mối liên hệ giữa tín hiệu trong nước thải và dữ liệu lâm sàng trong các quần thể có đặc điểm dịch tễ tương đối đồng nhất.

Bên cạnh đó, việc tích hợp dữ liệu nước thải với các nguồn dữ liệu dịch tễ học truyền thống—bao gồm ca bệnh lâm sàng và thông tin nhân khẩu học—là cần thiết để nâng cao giá trị diễn giải của WBE. Trong khuôn khổ cách tiếp cận Một Sức Khỏe (One Health), sự kết hợp này có thể góp phần cung cấp cái nhìn toàn diện hơn về động lực lây truyền bệnh lao trong cộng đồng, đồng thời hỗ trợ các nhà quản lý y tế trong việc đưa ra quyết định can thiệp phù hợp và kịp thời.

5. KẾT LUẬN

Các bằng chứng hiện có cho thấy vi khuẩn lao có thể được phát hiện trong nước thải tại những khu vực có lưu hành bệnh lao. Tuy nhiên, giám sát bệnh lao qua nước thải vẫn đang ở giai đoạn nghiên cứu ban đầu và còn tồn tại nhiều thách thức. Đặc biệt, hiện vẫn thiếu các phương pháp được chuẩn hóa liên quan đến thu hồi vi khuẩn lao từ nước thải, quy trình định lượng, cũng như các tiêu chí và phương pháp diễn giải dữ liệu. Bên cạnh đó, tính đại diện của mẫu nước thải đối với quần thể dân cư và mối liên hệ định lượng giữa tín hiệu phát hiện và tình hình dịch tễ học thực tế vẫn chưa được thiết lập rõ ràng. Do đó, cần tiếp tục triển khai các nghiên cứu nhằm chuẩn hóa quy trình thu hồi, phân tích và định lượng, đồng thời đánh giá tính khả thi của WBE thông qua các nghiên cứu thí điểm tại những khu vực có hạ tầng thoát nước phù hợp và gánh nặng bệnh cao. Khi được phát triển và tích hợp một cách thận trọng với các hệ thống giám sát hiện có, WBE có thể trở thành một công cụ bổ trợ hữu ích, góp phần nâng cao năng lực giám sát và hỗ trợ công tác phòng, chống bệnh lao trong tương lai.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 106.02-2025.137.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] WHO. Vietnam TB profile 2023. https://world-healthorg.shinyapps.io/tb_profiles/?_inputs_&tab=%22charts%22&lan=%22EN%22&iso2=%22VN%22&entity_type=%22country%22 (accessed January 30, 2025).
- [2] Haramoto E, Malla B, Thakali O, Kitajima M. First environmental surveillance for the presence of SARS-CoV-2 RNA in wastewater and river water in Japan. *Science of the Total Environment* 2020;737:140405. <https://doi.org/10.1016/j.scito>

- tenv.2020.140405.
- [3] Lee AJ, Carson S, Reyne MI, Marshall A, Moody D, Allen DM, et al. Wastewater monitoring of human and avian influenza A viruses in Northern Ireland: a genomic surveillance study. *Lancet Microbe* 2024;5. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(24\)00175-7](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(24)00175-7).
 - [4] Kay A, Vasiliu A, Carratala-Castro L, Mtafya B, Mendez Reyes JE, Maphalala N, et al. Performance of a stool-based quantitative PCR assay for the diagnosis of tuberculosis in adolescents and adults: a multinational, prospective diagnostic accuracy study. *Lancet Microbe* 2024;5:e433–41. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(23\)00391-9](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(23)00391-9).
 - [5] Mtetwa HN, Amoah ID, Kumari S, Bux F, Reddy P. Molecular surveillance of tuberculosis-causing mycobacteria in wastewater. *Heliyon* 2022;8. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e08910>.
 - [6] Nguyen T, Mercier E, Wong CH, Hegazy N, Kabir MP, Tomalty E, et al. Partitioning and probe-based quantitative PCR assays for the wastewater monitoring of *Mycobacterium tuberculosis* complex, *M. tuberculosis*, and *M. bovis*. *J Water Health* 2025;23:1163–79. <https://doi.org/10.2166/wh.2025.102>.
 - [7] Mtetwa HN, Amoah ID, Kumari S, Bux F, Reddy P. Exploring the role of wastewater-based epidemiology in understanding tuberculosis burdens in Africa. *Environ Res* 2023;231. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115911>.
 - [8] Ahmed W, Bertsch PM, Bivins A, Bibby K, Farkas K, Gathercole A, et al. Comparison of virus concentration methods for the RT-qPCR-based recovery of murine hepatitis virus, a surrogate for SARS-CoV-2 from untreated wastewater. *Science of the Total Environment* 2020;739:139960. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139960>.