P-ISSN 1859-4794 * E-ISSN 2615-9929

TẬP 68, SỐ 5, THÁNG 5 NĂM 2026
VOLUME 68, NUMBER 5, MAY 2026

TẠP CHÍ KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

Vietnam Journal of Science and Technology - MOST

B

TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

Tập 68 - Số 5 - Tháng 5 năm 2026

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

Chủ tịch

Châu Văn Minh - *Hội Liên hiệp Khoa học và Kỹ thuật Việt Nam*

Thành viên

Nguyễn Việt Anh - *Trường Đại học Xây dựng, Việt Nam*
Bùi Chí Bửu - *Viện Khoa học Kỹ thuật Nông nghiệp miền Nam, Việt Nam*
Vũ Dũng - *Hội Tâm lý học Việt Nam, Việt Nam*
Trần Thọ Đạt - *Đại học Kinh tế Quốc dân, Việt Nam*
Nguyễn Đình Đức - *Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam*
Vũ Minh Giang - *Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam*
Trương Nam Hải - *Viện Công nghệ Sinh học, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, Việt Nam*
Trần Thanh Hải - *Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam*
Phạm Huy Khang - *Trường Đại học Giao thông Vận tải, Việt Nam*
Phạm Gia Khánh - *Hội Ghép tạng Việt Nam, Việt Nam*
Hồ Đắc Lộc - *Trường Đại học Công nghệ TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*
Nguyễn Thị Mỹ Lộc - *Trường Đại học Giáo dục, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam*
Bành Tiến Long - *Đại học Bách khoa Hà Nội, Việt Nam*
Lê Quan Nghiệm - *Đại học Y Dược TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*
Mai Trọng Nhuận - *Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam*
Trần Hữu Phúc - *Hội đồng Giáo sư Nhà nước, Việt Nam*
Nguyễn Thanh Phương - *Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam*
Nguyễn Thanh Thủy - *Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam*
Phạm Hùng Việt - *Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam*

Tổng biên tập

Nguyễn Thị Hương Giang - *Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam*

Phó Tổng biên tập

Trần Anh Tú - *Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam*
Phạm Thị Minh Nguyệt - *Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam*

Ban biên tập

Phí Công Thường - *Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam*
Nguyễn Lan Phương - *Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam*
Lê Thị Bắc - *Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam*
Lê Thu Hiền - *Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam*
Hà Thị Minh Lộc - *Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam*
Phùng Thị Tuyết Mai - *Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam*
Tăng Xuân Bình - *Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam*
Trương Thị Thảo Dương - *Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam*

EDITORIAL BOARD

Chairman

Chau Van Minh - *Vietnam Union of Science and Technology Associations*

Members

Nguyen Viet Anh - *National University of Civil Engineering, Vietnam*
Bui Chi Buu - *Institute of Agricultural Science for Southern Vietnam, Vietnam*
Vu Dung - *Vietnam Association of Social Psychology, Vietnam*
Tran Tho Dat - *National Economics University, Vietnam*
Nguyen Dinh Duc - *University of Engineering and Technology, VNU, Hanoi, Vietnam*
Vu Minh Giang - *VNU, Hanoi, Vietnam*
Truong Nam Hai - *Institute of Biotechnology, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam*
Tran Thanh Hai - *Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*
Pham Huy Khang - *University of Transport and Communications, Vietnam*
Pham Gia Khanh - *Vietnam Society of Organ Transplantation, Vietnam*
Ho Dac Loc - *HUTECH University*
Nguyen Thi My Loc - *University of Education, VNU, Hanoi, Vietnam*
Banh Tien Long - *Hanoi University of Science and Technology, Vietnam*
Le Quan Nghiem - *University of Medicine and Pharmacy at Ho Chi Minh City, Vietnam*
Mai Trong Nhuan - *VNU, Hanoi, Vietnam*
Tran Huu Phuc - *The State Council for Professorship, Vietnam*
Nguyen Thanh Phuong - *Can Tho University, Vietnam*
Nguyen Thanh Thuy - *University of Engineering and Technology, VNU, Hanoi, Vietnam*
Pham Hung Viet - *University of Science, VNU, Hanoi, Vietnam*

Editor-in-Chief

Nguyen Thi Huong Giang - *Ministry of Science and Technology, Vietnam*

Deputy Editors-in-Chief

Tran Anh Tu - *Ministry of Science and Technology, Vietnam*
Pham Thi Minh Nguyet - *Ministry of Science and Technology, Vietnam*

Managing Editors

Phi Cong Thuong - *Ministry of Science and Technology, Vietnam*
Nguyen Lan Phuong - *Ministry of Science and Technology, Vietnam*
Le Thi Bac - *Ministry of Science and Technology, Vietnam*
Le Thu Hien - *Ministry of Science and Technology, Vietnam*
Ha Thi Minh Loc - *Ministry of Science and Technology, Vietnam*
Phung Thi Tuyet Mai - *Ministry of Science and Technology, Vietnam*
Tang Xuan Binh - *Ministry of Science and Technology, Vietnam*
Truong Thi Thao Duong - *Ministry of Science and Technology, Vietnam*

TÒA SOẠN

115 Trần Duy Hưng, Phường Yên Hòa, Hà Nội, Việt Nam
Tel: (84.24) 39436793; Fax: (84.24) 39436794
Email: khcnvn@mst.gov.vn
Tạp chí điện tử: b.vjst.vn

GIẤY PHÉP XUẤT BẢN

Số 459/GP-BTTTT ngày 20/7/2021
Số 50/GP-BTTTT ngày 01/02/2023

Giá: 18000^{d}

EDITORIAL OFFICE

115 Tran Duy Hung Street, Yen Hoa Ward, Hanoi, Vietnam
Tel: (84.24) 39436793; Fax: (84.24) 39436794
Email: khcnvn@mst.gov.vn
E-journal: b.vjst.vn

PUBLICATION LICENCE

No. 459/GP-BTTTT 20th July 2021
No. 50/GP-BTTTT 1st February 2023

Nâng cao độ chính xác cân băng tải bằng bộ lọc Median và EMA trong xử lý tín hiệu cảm biến tải trọng

Hoàng Ngọc Nhân[1], Lê Mạnh Hùng[1*], Đặng Kiên Quyết[2]

[1]Viện Đổi mới sáng tạo Quốc gia, Bộ Khoa học và Công nghệ, C6, phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam
[2]Công ty Cổ phần Nhiệt điện Phả Lại, phường Chí Linh, TP. Hải Phòng, Việt Nam

Ngày nhận bài 24/6/2025; ngày chuyển phản biện 26/6/2025; ngày nhận phản biện 15/7/2025; ngày chấp nhận đăng 21/7/2025

Tóm tắt:

Hệ thống cân băng tải đóng vai trò quan trọng trong các dây chuyền sản xuất công nghiệp như khai thác khoáng sản, nhà máy nhiệt điện, xi măng hay chế biến vật liệu rời. Nhiệm vụ chính của hệ thống này là đo lường khối lượng vật liệu được vận chuyển liên tục, giúp doanh nghiệp theo dõi sản lượng, tối ưu hóa quá trình sản xuất và duy trì chất lượng sản phẩm đầu ra. Bài báo trình bày một phương pháp lọc tín hiệu kết hợp giữa bộ lọc trung vị (Median) và bộ lọc trung bình động lũy thừa (EMA) nhằm cải thiện độ ổn định và độ chính xác của tín hiệu cảm biến tải trọng trong hệ thống cân băng tải. Hệ thống được xây dựng trên nền tảng vi điều khiển STM32H743ZIT tích hợp ADC 24-bit và hệ điều hành thời gian thực FreeRTOS. Tín hiệu được xử lý qua chuỗi lọc Median bậc 7 và EMA với hệ số α=0,3 trước khi hiệu chuẩn và tính toán lưu lượng. Thử nghiệm tại dây chuyền thực tế cho thấy, giải pháp giúp giảm nhiễu xung hơn 68%, độ lệch chuẩn tín hiệu giảm hơn 62%, độ trễ chỉ khoảng 104 ms, sai số đo khối lượng duy trì dưới ±1,2%. Kết quả cho thấy phương pháp có tiềm năng ứng dụng cao trong các môi trường công nghiệp có nhiễu mạnh.

Từ khóa: **bộ lọc trung bình động lũy thừa, cảm biến tải trọng, cân băng tải, giảm nhiễu, STM32, xử lý tín hiệu số.**

Chỉ số phân loại: **1.3, 2.1, 2.2**

Enhancing the accuracy of conveyor belt weighing systems using Median and Exponential Moving Average filters in load cell signal processing

Ngoc Nhan Hoang[1], Manh Hung Le[1*], Kien Quyet Dang[2]

[1]National Academy for Advanced Technology and Innovation, Ministry of Science and Technology, C6 Building, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Pha Lai Thermal Power Joint Stock Company, Chi Linh Ward, Hai Phong City, Vietnam

Received 24 June 2025; revised 15 July 2025; accepted 21 July 2025

Abstract:

The belt weighing system plays a vital role in industrial production lines such as mineral mining, thermal power plants, cement manufacturing, and bulk material processing. Its main function is to measure the mass of material being continuously conveyed, enabling businesses to monitor throughput, optimise production processes, and maintain the quality of the output products. This article presents a signal filtering method that combines the Median filter and the Exponential Moving Average (EMA) filter to improve the stability and accuracy of load cell signals in conveyor belt weighing systems. The system is implemented on an STM32H743ZIT microcontroller platform, featuring an integrated 24-bit ADC and the FreeRTOS real-time operating system. The signal is processed using a seven-point Median filter followed by an EMA filter with a smoothing factor α=0.3, prior to calibration and flow calculation. Experimental results from a real-world industrial conveyor line demonstrate that the proposed method reduces impulse noise by over 68%, decreases signal standard deviation by more than 62%, maintains latency at approximately 104 ms, and keeps mass measurement error below ±1.2%. These results verify the feasibility and high efficiency of the proposed approach in harsh industrial environments with significant noise interference.

Keywords: **conveyor belt weighing, digital signal processing, Exponential Moving Average filter, load cell, noise reduction, STM32.**

Classification numbers: **1.3, 2.1, 2.2**

[*]Tác giả liên hệ: Email: lemanhhung@mst.gov.vn

1. Đặt vấn đề

Hệ thống cân băng tải là thành phần thiết yếu trong các dây chuyền sản xuất công nghiệp như khai thác khoáng sản, nhiệt điện, xi măng và chế biến vật liệu rời. Chức năng chính của hệ thống là đo khối lượng vật liệu di chuyển liên tục, giúp doanh nghiệp kiểm soát sản lượng, tối ưu hóa vận hành và đảm bảo chất lượng đầu ra. Độ chính xác của hệ thống phụ thuộc trực tiếp vào tín hiệu thu được từ cảm biến tải trọng. Tuy nhiên, trong môi trường công nghiệp, tín hiệu này thường bị ảnh hưởng bởi nhiễu điện từ, rung động cơ học và biến thiên nhiệt độ - gây ra dao động không mong muốn và sai số đo [1, 2].

Để cải thiện chất lượng tín hiệu, nhiều nghiên cứu đã áp dụng các kỹ thuật lọc số trong khâu xử lý tín hiệu load cell. İ. Yabanova (2017) [2] đã ứng dụng các phương pháp xử lý tín hiệu số nhằm giảm nhiễu động trong hệ thống cân băng tải, trong khi D. Richiedei và cs (2022) [3] đề xuất bộ lọc thích nghi dạng Shaper-Based giúp rút ngắn thời gian ổn định tín hiệu. F. Liang và cs (2021) [4] triển khai bộ lọc trung bình trượt cải tiến cho hệ thống cân điện tử cho thấy, khả năng làm mịn tín hiệu nhưng độ phản hồi còn chậm khi tải biến thiên nhanh. Ngoài ra, B. Sun và cs (2021) [5] và M. Meller và cs (2014) [6] đã nghiên cứu các bộ lọc thích nghi như LMS và Kalman có khả năng tự điều chỉnh theo đặc tính nhiễu, tuy nhiên yêu cầu mô hình hệ thống chi tiết và chi phí tính toán cao, hạn chế khi ứng dụng trên vi điều khiển công suất thấp.

Trong khi đó, các bộ lọc phi tuyến như Median có ưu điểm nổi bật trong việc loại bỏ nhiễu xung ngắn mà không làm biến dạng tín hiệu gốc [7]. Tuy nhiên, Median chưa đủ hiệu quả khi đối mặt với nhiễu tần thấp. Để khắc phục, EMA với hệ số suy giảm α=0,3 được sử dụng nhằm làm mượt tín hiệu và duy trì độ trễ thấp [8, 9]. Việc kết hợp hai bộ lọc này cho phép tận dụng ưu điểm của từng loại - Median loại nhiễu đột biến, EMA ổn định tín hiệu theo thời gian - qua đó cải thiện độ chính xác và tính đáp ứng của hệ thống đo trong môi trường nhiễu cao.

Trong bối cảnh đó, bài báo này đề xuất một phương pháp lọc tín hiệu kết hợp giữa Median bậc 7 và EMA với α=0,3, được triển khai trên vi điều khiển STM32H743ZIT tích hợp bộ chuyển đổi tương tự - số (ADC) 24-bit ADS125H02 và hệ điều hành thời gian thực FreeRTOS. Giải pháp được đánh giá trên hệ thống cân băng tải thực tế tại nhà máy nhiệt điện nhằm kiểm chứng khả năng giảm nhiễu, nâng cao độ ổn định tín hiệu và giảm độ trễ xử lý, đáp ứng yêu cầu đo lường liên tục trong môi trường nhiễu công nghiệp phức tạp.

2. Cơ sở lựa chọn bộ lọc

Trong hệ thống cân băng tải, cảm biến tải trọng có nhiệm vụ đo lực tác dụng từ vật liệu di chuyển trên băng tải, sau đó chuyển đổi lực này thành tín hiệu điện tương ứng. Tuy nhiên, trong môi trường công nghiệp, tín hiệu đầu ra từ load cell thường bị nhiễu bởi các yếu tố như dao động cơ học, nhiễu điện từ (EMI) từ động cơ, nhiễu nguồn và biến thiên nhiệt độ. Những yếu tố này gây biến động tín hiệu và ảnh hưởng trực tiếp đến độ chính xác của phép đo trọng lượng tức thời [1, 2].

Theo S. Haykin (2014) [10], tín hiệu từ load cell có thể được biểu diễn dưới dạng:

$$x(t)=s(t)+n(t) \quad (1)$$

trong đó: $x(t)$: tín hiệu đo được; $s(t)$: tín hiệu thực tế từ tải trọng; $n(t)$: nhiễu tổng hợp [1, 4].

Nhiễu $n(t)$ bao gồm các thành phần:

(i) Nhiễu trắng Gaussian: $n_g(t) \sim N(0, \sigma^2)$ (2)

trong đó: $n_g(t)$: tín hiệu nhiễu trắng Gaussian tại thời điểm t; $N(0, \sigma^2)$: phân bố chuẩn với trung bình 0 và phương sai σ^2; σ^2: phương sai (mức cường độ nhiễu).

(ii) Nhiễu xung: $n_i(t) = \Sigma_k a_k \delta(t - t_k)$ (3)

trong đó: $n_i(t)$: tín hiệu nhiễu xung tại thời điểm t; a_k: biên độ xung thứ k; $\delta(t - t_k)$: hàm Dirac delta, biểu diễn xung xảy ra tại thời điểm t_k; t_k: thời điểm xuất hiện xung thứ k.

(iii) Nhiễu tần số thấp: $n_j(t) = A \sin(2\pi f_i t + \phi)$ (4)

trong đó: $n_j(t)$: tín hiệu nhiễu tần số thấp tại thời điểm t; A: biên độ của nhiễu; f_i: tần số thấp của nhiễu; t: thời gian; ϕ: pha ban đầu của sóng sin.

Để loại bỏ các thành phần nhiễu và khôi phục tín hiệu mang ý nghĩa vật lý, các kỹ thuật xử lý tín hiệu số (Digital signal processing - DSP) được áp dụng, trong đó các bộ lọc số là công cụ then chốt. Một số bộ lọc phổ biến gồm [3, 4, 10]:

Bộ lọc trung bình cộng: Bộ lọc tuyến tính đơn giản, lấy trung bình một cửa sổ mẫu trượt. Dễ triển khai nhưng phản hồi chậm trước tín hiệu thay đổi nhanh.

Bộ lọc Median: Bộ lọc phi tuyến, hiệu quả cao trong loại bỏ nhiễu xung hoặc đột biến, bằng cách lấy giá trị trung vị trong tập mẫu. Phù hợp với tín hiệu có nhiều nhiễu ngẫu nhiên [2, 7].

Bộ lọc EMA: Bộ lọc tuyến tính đệ quy, làm mịn tín hiệu bằng công thức:

$$y[n] = \alpha x[n] + (1 - \alpha)y[n - 1] \quad (5)$$

trong đó: α $(0<\alpha<1)$ là hệ số làm mịn, quyết định mức độ phản ứng của bộ lọc; y là giá trị tín hiệu sau khi đã qua bộ lọc EMA. EMA đơn giản, nhẹ tài nguyên, phù hợp với vi điều khiển [11].

Bộ lọc Kalman: Bộ lọc tối ưu theo nghĩa bình phương tối thiểu, hiệu quả cao trong môi trường có mô hình động học rõ ràng. Tuy nhiên, việc thiết lập tham số phù hợp đòi hỏi hiểu biết sâu về hệ thống [11].

Bộ lọc LMS (Least Mean Squares Filter): Bộ lọc tự thích nghi, điều chỉnh trọng số dựa trên sai số giữa đầu ra và tín hiệu mong muốn. Tuy mạnh trong môi trường có nhiễu thay đổi, LMS cần có tín hiệu "desired" xác định - điều khó đảm bảo trong đo tải trọng thời gian thực [12].

2.1. Đánh giá các bộ lọc

Độ phức tạp tính toán và tài nguyên hệ thống của các bộ lọc được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. So sánh đặc tính các bộ lọc [2-6, 8, 10, 11].

Bộ lọc	Số phép tính mỗi mẫu	Yêu cầu bộ nhớ (RAM)	Đặc điểm tính toán
Median (bậc 7)	≈20 phép so sánh + sắp xếp	7 mẫu (buffer 1 chiều)	Phi tuyến, cần sắp xếp lại dữ liệu mỗi chu kỳ
EMA (α=0,3)	1 phép nhân + 1 phép cộng	1 mẫu trước đó + 1 hệ số α	Tuyến tính, nhẹ tài nguyên, không cần buffer
Trung bình cộng (bậc 7)	6 phép cộng + 1 chia	7 mẫu (buffer)	Tuyến tính, đơn giản, nhưng có độ trễ lớn
Kalman	~10-20 phép nhân/ cộng + 1 phép nghịch đảo ma trận (tùy mô hình)	~10 biến trạng thái (ma trận + vector)	Tính toán phức tạp, cần xử lý ma trận
LMS	≈2N phép nhân + 2N phép cộng (N=số hệ số)	N hệ số + N giá trị mẫu	Tự thích nghi, cần nhiều RAM khi N lớn

Các thông số trong bảng 1 được xác định dựa trên nguyên lý hoạt động của từng bộ lọc và số phép toán cần thực hiện để xử lý một mẫu dữ liệu. Việc ước lượng này được tham khảo từ công thức tính toán đặc trưng của từng bộ lọc.

Kết quả đánh giá hiệu quả lọc nhiễu của các bộ lọc được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. So sánh các bộ lọc số dùng trong xử lý tín hiệu load cell [2-9].

Bộ lọc	Ưu điểm	Nhược điểm	Độ phức tạp tính toán	Yêu cầu tài nguyên	Khả năng loại nhiễu xung	Khả năng làm mịn tín hiệu
Median (bậc 7)	Loại bỏ tốt nhiễu xung, không làm biến dạng biên tín hiệu	Có độ trễ pha, không thích hợp với nhiễu tần thấp liên tục	Trung bình	Thấp	★★★★★	★★★☆☆
EMA (α=0,3)	Làm mịn tốt, nhẹ tài nguyên, dễ tính toán	Không xử lý hiệu quả nhiễu xung lớn	Thấp	Rất thấp	★★☆☆☆	★★★★★
Kalman	Tối ưu hoá dựa trên mô hình hệ thống, loại nhiễu tốt	Cần mô hình chính xác, phức tạp khi triển khai thực tế	Cao	Trung bình	★★★★☆	★★★★★
LMS	Tự thích nghi theo môi trường thay đổi, tốt cho tín hiệu biến thiên	Cần tín hiệu mong muốn (desired), khó có trong thời gian thực	Cao	Cao	★★★☆☆	★★★★☆
Trung bình cộng	Dễ triển khai, hiệu quả với nhiễu tần thấp	Độ trễ pha lớn, kém hiệu quả với nhiễu xung	Thấp	Thấp	★☆☆☆☆	★★★☆☆

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã khảo sát nhiều thuật toán và lựa chọn hai bộ lọc phù hợp cho hệ thống cân băng tải: Median bậc 7 và EMA với α=0,3 với những lý do sau đây:

2.2. Bộ lọc Median bậc 7 [2, 4, 7, 9]

Lý do chọn bậc 7: i) Cửa sổ 7 mẫu cho phép loại bỏ nhiễu xung ngắn hiệu quả (có thể loại bỏ tối đa 3 mẫu nhiễu liên tiếp); ii) Thời gian đáp ứng khoảng 75 ms (với tần số lấy mẫu 40 Hz) - phù hợp với yêu cầu thời gian thực; iii) Độ trễ pha cố định và có thể dự đoán được; iv) Tốn ít tài nguyên tính toán hơn so với bậc cao hơn.

Hiệu suất: i) Loại bỏ hiệu quả nhiễu xung có biên độ lớn; ii) Bảo toàn các cạnh tín hiệu tốt hơn so với bộ lọc trung bình cộng; iii) Không làm biến dạng tín hiệu gốc.

2.3. Bộ lọc EMA với α=0,3 [8, 10, 11]

Lý do chọn α=0,3:

i) Thời gian đáp ứng: $\tau_{resp}^{95\%} \approx 3 \times \frac{1-\alpha}{\alpha} \times T_s = 175\ ms.$

ii) Độ trễ tín hiệu đặc trưng: ~29 ms.

iii) Băng thông: $f_c \approx \frac{\alpha}{2\pi(1-\alpha)} \times f_s \approx 2{,}73\ Hz.$

iv) Cân bằng tốt giữa độ ổn định và thời gian đáp ứng.

v) Phù hợp với tần số thay đổi tải trọng thực tế trên băng tải.

Đặc điểm:

i) Làm mịn tín hiệu hiệu quả.
ii) Đáp ứng nhanh với thay đổi tải trọng.
iii) Tốn ít bộ nhớ (chỉ cần lưu 1 giá trị trước đó).
iv) Tính toán đơn giản, phù hợp với vi điều khiển.

2.4. Kết hợp hai bộ lọc [2, 6, 8]

Thứ tự xử lý: Median → EMA.

Lợi ích: Median loại bỏ nhiễu xung trước; EMA làm mịn tín hiệu sau; độ trễ tín hiệu tổng hợp: ~104 ms; tổng thời gian đáp ứng: ~275-300 ms; độ ổn định cao với nhiễu đa dạng.

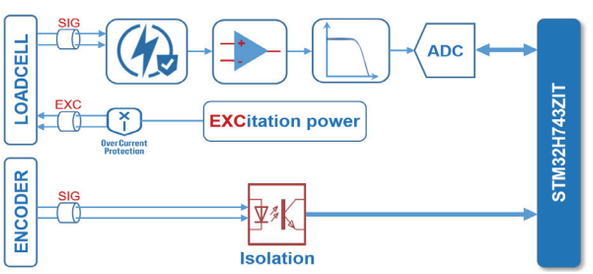
Hiệu suất tổng thể: giảm nhiễu xung: ~68%; giảm nhiễu tần số thấp: >70%; độ ổn định tín hiệu: ±0,1% fs; thời gian đáp ứng: phù hợp với yêu cầu thực tế.

Việc kết hợp tuần tự hai bộ lọc này giúp tận dụng ưu điểm của từng phương pháp - Median loại bỏ nhiễu đột biến hiệu quả, trong khi EMA ổn định tín hiệu theo thời gian. Từ đó, hình thành chuỗi lọc có khả năng loại nhiễu tốt, đảm bảo tín hiệu đầu ra vừa ổn định vừa đáp ứng nhanh với biến động trọng lượng.

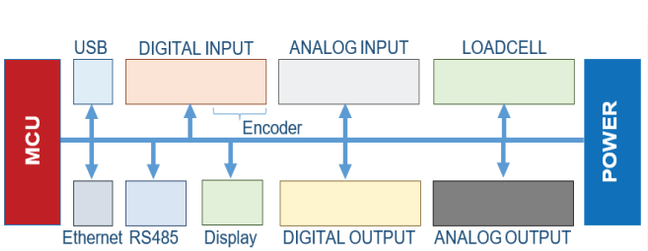
3. Phương pháp và thiết kế hệ thống

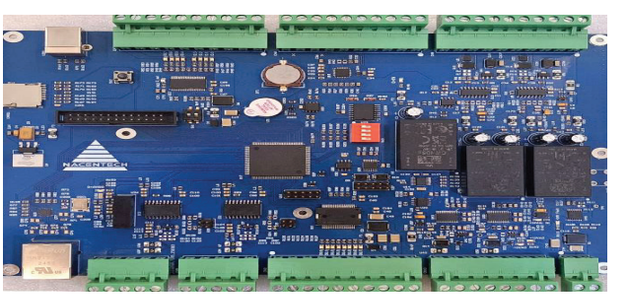
3.1. Kiến trúc phần cứng

Hệ thống được thiết kế nhằm thực hiện xử lý tín hiệu tải trọng theo thời gian thực, đáp ứng yêu cầu chính xác và độ ổn định cao trong môi trường công nghiệp. Cấu hình phần cứng chính (hình 1, 2) bao gồm:



Hình 1. Sơ đồ khối hệ thống.





Hình 2. Sơ đồ khối và mạch phần cứng thiết bị.

Vi điều khiển STM32H743ZIT: Vi điều khiển hiệu năng cao của STMicroelectronics với nhân ARM Cortex-M7 @480 MHz, RAM 1 MB, hỗ trợ xử lý tín hiệu số và hệ điều hành thời gian thực FreeRTOS [12-15].

Bộ chuyển đổi ADC ADS125H02: Chuyển đổi tín hiệu từ load cell với độ phân giải 24-bit và độ nhiễu thấp, đảm bảo tín hiệu đo có độ chính xác cao [16-18].

Load cell: Cảm biến tải trọng kiểu cầu điện trở strain gauge, nối trực tiếp đến ADC thông qua mạch khuếch đại.

Cảm biến tốc độ: Được gắn trên trục quay hoặc băng tải để đo tốc độ chuyển động, từ đó tính toán lưu lượng vật liệu.

Giao tiếp RS485/Modbus và Modbus TCP: Truyền dữ liệu đã xử lý đến hệ thống giám sát và HMI.

3.2. Luồng xử lý tín hiệu

Hệ thống xử lý tín hiệu theo chu kỳ lấy mẫu cố định (10-20 ms), sử dụng FreeRTOS để phân chia và quản lý luồng dữ liệu:

Xử lý tín hiệu tải trọng:

B1: ADC ADS125H02 lấy mẫu tín hiệu analog từ load cell.

B2: Bộ lọc Median bậc 7 loại bỏ nhiễu xung đột biến.

B3: Bộ lọc EMA (α=0,3) làm mịn và ổn định tín hiệu.

B4: Kết quả lọc được hiệu chuẩn để tính ra khối lượng tức thời (kg).

Xử lý tín hiệu tốc độ:

B1: Bộ định thời (TIM3) đếm số xung từ cảm biến tốc độ.

B2: Cứ sau T ms (cho phép cài đặt, mặc định 100 ms), hệ thống tính tốc độ băng tải theo công thức:

$$v = \frac{N_{xung} \times C}{\mathrm{T}} \quad (6)$$

trong đó: N_{xung}: số xung đếm được trong thời gian T; C: hệ số quy đổi từ xung sang mm.

B3: Tốc độ này được dùng để tính lưu lượng vật liệu:

$$Q = \text{khối lượng tức thời} \times v \quad (7)$$

3.3. Quản lý đa tác vụ với FreeRTOS

FreeRTOS được sử dụng để thực hiện song song với các chức năng chính của hệ thống (bảng 3).

Bảng 3. Tác vụ FreeRTOS được sử dụng để thực hiện các chức năng chính của hệ thống.

Tác vụ	Chức năng chính
Task_ADC	Đọc tín hiệu từ ADS125H02, lọc, hiệu chuẩn
Task_SpeedSensor	Đếm xung tốc độ, tính vận tốc băng tải
Task_Calculation	Tính lưu lượng (kg/s, tấn/h), tổng tấn, lưu trữ dữ liệu
Task_Communication	Gửi dữ liệu lên HMI/máy tính qua TCP/Modbus
Task_Monitor	Giám sát lỗi cảm biến, báo động, reset hệ thống…

Việc phân chia rõ ràng giúp hệ thống hoạt động ổn định, dễ mở rộng và tăng cường khả năng giám sát - điều rất quan trọng trong ứng dụng công nghiệp liên tục.

4. Thực nghiệm và đánh giá kết quả

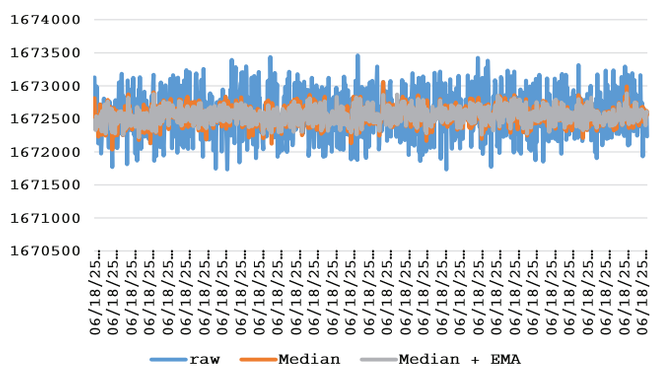
4.1. Môi trường thực nghiệm

Hệ thống được triển khai và kiểm thử tại cân băng 4B dây chuyền 2 - Công ty Cổ phần Nhiệt điện Phả Lại. Thử nghiệm nhằm đánh giá khả năng lọc nhiễu, độ ổn định tín hiệu, thời gian đáp ứng và sai số đo khối lượng trong điều kiện công nghiệp thực tế (rung động, nhiễu điện từ, biến thiên nhiệt độ).

Thông số cài đặt: tốc độ lấy mẫu: 40 Hz; bộ lọc Median: cửa sổ 7 mẫu; EMA: hệ số α=0,3; thời gian cập nhật tốc độ: 100 ms.

4.2. Đồ thị tín hiệu và nhận xét ban đầu

Tập dữ liệu gồm 1.000 mẫu được thu thập từ cảm biến tải trọng trong trạng thái vận hành ổn định. Hình 3 minh họa tín hiệu gốc (raw), sau lọc Median và sau chuỗi lọc Median + EMA.



Hình 3. Tín hiệu cảm biến tải trọng.

Kết quả cho thấy, tín hiệu sau lọc có độ dao động thấp hơn, loại bỏ hiệu quả nhiễu xung và dao động không mong muốn, trong khi vẫn giữ được đặc trưng vật lý của tải trọng.

4.3. So sánh định lượng tín hiệu

Bảng 4 trình bày các chỉ số thống kê gồm: giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, phương sai, giá trị cực trị, các tứ phân vị và hệ số biến thiên (CV).

Bảng 4. Chỉ số thống kê số liệu.

Chỉ số thống kê	Raw	Median 7 mẫu	Median 7+EMA (α=0,3)
Số lượng mẫu (n)	1.000	1.000	1.000
Trung bình (Mean)	1.672.563,93	1.672.541,12	1.672.543,70
Độ lệch chuẩn (Std)	333,11	139,53	111,63
Phương sai (Var)	110.960,32	19.467,41	12.460,58
Min	1.671.733	1.672.034	1.672.219
Q1 (25%)	1.672.324	1.672.445	1.672.472
Median (50%)	1.672.554	1.672.540	1.672.539
Q3 (75%)	1.672.791	1.672.633	1.672.616
Max	1.673.461	1.673.058	1.672.887
CV (%)	0,0199	0,0083	0,0067

Độ lệch chuẩn sau lọc giảm hơn 62%, CV (%) giảm từ 0,0199 xuống 0,0067, thể hiện tín hiệu trở nên ổn định và tin cậy hơn.

Độ trễ của chuỗi lọc được xác định khoảng ~104 ms, nằm trong giới hạn yêu cầu của cân băng tải công nghiệp.

4.4. Phân tích chất lượng tín hiệu

Để đánh giá hiệu quả lọc tín hiệu, các chỉ số nâng cao được sử dụng (bảng 5).

Bảng 5. Đánh giá tổng hợp chất lượng tín hiệu sau lọc.

Chỉ số đánh giá	Raw	Median 7 mẫu	Median+EMA (α=0,3)
Giảm nhiễu xung (∑|Δy|)	380.392	150.146	120.348
Giảm nhiễu tần số thấp (Std)	333,11	139,53	111,63
Độ mượt (zigzag)	658	641	636 (mượt nhất)
Tương quan với r (với raw)	1,000	0,364	0,219

Chuỗi lọc Median+EMA mang lại độ mượt tốt nhất (zigzag giảm), loại bỏ nhiễu xung đến 68%, đồng thời vẫn duy trì đáp ứng thời gian thực.

4.5. Độ chính xác và thời gian đáp ứng của hệ thống cân

Hệ thống được so sánh với cân thương mại đã hiệu chuẩn, kết quả cho thấy sai số trung bình duy trì ở mức ±1,2% so với giá trị chuẩn, trong khi biến thiên tín hiệu trong 5 phút vận hành liên tục nhỏ hơn 0,5 kg. Về động học tín hiệu, sau khi áp dụng chuỗi lọc Median bậc 7 và EMA (α=0,3), tín hiệu ổn định trong khoảng 275-300 ms kể từ khi xảy ra biến động tải trọng, trong đó độ trễ do

quá trình lọc chỉ khoảng ~104 ms. Khoảng thời gian này đáp ứng yêu cầu phản hồi kịp thời cho vận hành thực tế của cân băng tải công nghiệp.

Ngoài ra, hệ thống sử dụng tín hiệu từ cảm biến tốc độ để tính lưu lượng tức thời theo công thức:

$$Q(t) = m(t) \times v(t) \quad (8)$$

trong đó: $m(t)$ là khối lượng tức thời và $v(t)$ là tốc độ băng tải.

Tín hiệu tốc độ được lọc nhẹ bằng EMA với hệ số α=0,2 nhằm loại bỏ dao động ngắn hạn, giảm sai lệch và đảm bảo độ ổn định của giá trị lưu lượng.

5. Kết luận

Giải pháp lọc kết hợp Median bậc 7 và EMA (α=0,3) đã cải thiện rõ rệt độ ổn định và độ chính xác của tín hiệu cân băng tải công nghiệp, đồng thời đáp ứng yêu cầu thời gian thực và dễ triển khai trên phần cứng vi điều khiển STM32H743ZIT trong môi trường nhiễu cao.

Trong thời gian tới, nhóm nghiên cứu sẽ tập trung vào việc tối ưu thuật toán nhằm giảm hơn nữa độ trễ xử lý, nghiên cứu phần cứng hiệu năng cao nhưng tiết kiệm năng lượng, và mở rộng sang các thuật toán lọc thích nghi hoặc lai ghép để nâng cao khả năng chống nhiễu trong nhiều điều kiện vận hành khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] W. Hernández (2006), "Improving the response of a load cell by using optimal filtering", *Sensors*, **6(7)**, pp.697-711, DOI: 10.3390/s6070697.

[2] İ. Yabanova (2017), "*Digital* signal processing-based dynamic mass measurement system for egg weighing process", *Measurement & Control*, **50(4-5)**, pp.101-111, DOI: 10.1177/0020294017713768.

[3] D. Richiedei, A. Moro, A. Padovani (2022), "Adaptive shaper-based filters for fast dynamic filtering of load cell measurements", *Mechanical Systems and Signal Processing*, **188**, DOI: 10.1016/j.ymssp.2021.108541.

[4] F. Liang, Q. Ou (2021), "Design of weighing system based on improved moving average filter algorithm", *Journal of Artificial Intelligence Practice*, **4**, pp.74-77, DOI: 10.23977/jaip.2020.040212.

[5] B. Sun, Z. Teng, Q. Hu, et al. (2021), "A novel LMS-based self-adaptive noise cancellation (SANC) for conveyor belt-type checkweigher", *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, **70(1)**, DOI: 10.1109/TIM.2020.3019618.

[6] M. Meller, M. Niedźwiecki, P. Pietrzak (2014), "Adaptive filtering approach to dynamic weighing: A checkweigher case study", *Proceedings of The 19th World Congress of the International Federation of Automatic Control*, pp.2355-2360, DOI: 10.3182/20140824-6-ZA-1003.00395.

[7] L. Xiong (2024), "Research on filtering algorithm of vehicle dynamic weighing signals", *World Electric Vehicle Journal*, **15(6)**, DOI: 10.3390/wevj15060254.

[8] M. Pereira, E. Espindola, M. Pinto (2024), "Evaluation of different filtering methods devoted to magnetometer data denoising", *Electronics*, **13(11)**, DOI: 10.3390/electronics13112006.

[9] Q. Zhang, L. Xu, J. Jia (2014), "100+ times faster weighted median filter", *Proceedings of The IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp.2830-2837, DOI: 10.1109/CVPR.2014.362.

[10] S. Haykin (2014), *Adaptive Filter Theory*, Pearson Education, 889pp.

[11] G. Welch, G. Bishop (2006), *An Introduction to The Kalman Filter*, University of North Carolina at Chapel Hill, 16pp.

[12] STMicroelectronics (2023a), *STM32H742xI/G STM32H743xI/G*, https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32h743vi.pdf, accessed 15 March 2025.

[13] STMicroelectronics (2023b), *STM32Cube MCU Package for STM32H7 series (HAL, Low-Layer APIs and CMSIS, USB, TCP/IP, File System, RTOS, Graphic - and Examples Running on ST Boards)*, https://www.st.com/en/embedded-software/stm32cubeh7.html, accessed 15 March 2025.

[14] STMicroelectronics (2024), *UM1718 User Manual*, https://www.st.com/resource/en/user_manual/dm00104712-stm32cubemx-for-stm32-configuration-and-initialization-c-code-generation-stmicroelectronics.pdf, accessed 15 March 2025.

[15] STMicroelectronics (2025), *UM2609 User manual*, https://www.st.com/resource/en/user_manual/um2609-stm32cubeide-user-guide-stmicroelectronics.pdf, accessed 15 March 2025.

[16] Texas Instruments (2019), *ADS125H02 ±20-V Input, 2-Channel, 40-kSPS, 24-Bit, Delta-Sigma ADC With PGA and Voltage Reference*, https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads125h02.pdf, accessed 15 March 2025.

[17] Texas Instruments (2023), *Digital Filter Types in Delta-Sigma ADCs*, https://www.ti.com/lit/an/sbaa230a/sbaa230a.pdf, accessed 15 March 2025.

[18] Texas Instruments (2024), *Calculating Conversion Latency and System Cycle Time for Delta-Sigma ADCs*, https://www.ti.com/lit/an/sbaa535a/sbaa535a.pdf, accessed 15 March 2025.

Tổng hợp ZnAl-LDH bằng phương pháp đồng kết tủa và nghiên cứu tính chất đặc trưng

Cao Thị Hồng[1, 2], Nguyễn Thị Thơm[1*], Phạm Thị Năm[1], Phạm Đức Trung[3], Phạm Thị Thu Giang[4], Trần Đại Lâm[1]

[1]Viện Khoa học Vật liệu, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam
[2]Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam
[3]Trường Đại học Sư phạm Hà Nội, 136 Xuân Thủy, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam
[4]Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, 298 Cầu Diễn, phường Tây Tựu, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 17/6/2025; ngày chuyển phản biện 19/6/2025; ngày nhận phản biện 30/6/2025; ngày chấp nhận đăng 5/7/2025

Tóm tắt:

Vật liệu hydroxit cấu trúc lớp kép (LDH) với cấu trúc hai chiều (2D) đang thu hút sự quan tâm lớn nhờ tiềm năng ứng dụng trong các lĩnh vực như lưu trữ năng lượng, xúc tác, cảm biến, điện tử và xử lý môi trường. Trong nghiên cứu này, phương pháp đồng kết tủa đơn giản đã được sử dụng để tổng hợp vật liệu ZnAl-LDH từ các tiền chất chứa kẽm và nhôm. Ảnh hưởng của tỷ lệ Zn^{2+}/Al^{3+} và giá trị pH của dung dịch phản ứng đến đặc tính cấu trúc và hình thái của ZnAl-LDH đã được nghiên cứu. Phân tích phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) xác nhận sự tồn tại của các nhóm hydroxyl và carbonat đặc trưng trong cấu trúc lớp. Kết quả nhiễu xạ tia X (XRD) cho thấy các đỉnh nhiễu xạ điển hình của pha ZnAl-LDH với độ tinh thể cao. Ảnh hiển vi điện tử quét (SEM) cho thấy hình thái lớp dạng vảy và cấu trúc phân nhánh ba chiều dạng cụm. Phân tích phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX) xác thực sự hiện diện của các nguyên tố Zn và Al với tỷ lệ mol phù hợp, tương ứng với mô hình lý thuyết của ZnAl-LDH. Kết quả nghiên cứu đóng góp thêm cơ sở cho việc thiết kế và phát triển các vật liệu LDH có thành phần và cấu trúc đa dạng, đáp ứng các yêu cầu ngày càng nghiêm ngặt của ngành công nghiệp và môi trường.

Từ khóa: **đặc trưng vật liệu, đồng kết tủa hóa học, hydroxit cấu trúc lớp kép, ZnAl-LDH.**

Chỉ số phân loại: **1.3, 2.4, 2.5**

Synthesis and characterisation of ZnAl-LDH by co-precipitation

Thi Hong Cao[1, 2], Thi Thom Nguyen[1*], Thi Nam Pham[1], Duc Trung Pham[3], Thi Thu Giang Pham[4], Dai Lam Tran[1]

[1]Institute for Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam
[3]Hanoi National University of Education, 136 Xuan Thuy Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam
[4]Hanoi University of Industry, 298 Cau Dien Street, Tay Tuu Ward, Hanoi, Vietnam

Received 17 June 2025; revised 30 June 2025; accepted 5 July 2025

Abstract:

Two-dimensional layered double hydroxides (LDHs) have attracted considerable interest due to their potential applications in energy storage, catalysis, sensing, electronics, and environmental treatment. In this study, zinc-aluminum layered double hydroxides (ZnAl-LDHs) were synthesised using a simple co-precipitation method involving zinc and aluminum precursors. The effects of the Zn^{2+}/Al^{3+} molar ratio and the pH value of the reaction solution on the structural and morphological characteristics of ZnAl-LDH were investigated. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy confirmed the presence of characteristic hydroxyl and carbonate groups in the layered structure. X-ray diffraction (XRD) analysis revealed characteristic diffraction peaks of the ZnAl-LDH phase with high crystallinity. Scanning electron microscopy (SEM) demonstrated flake-like layered structures and three-dimensional coral-like clustered morphologies. Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) further verified the presence of Zn and Al with an appropriate molar ratio, consistent with the theoretical model of ZnAl-LDH. The results provide a basis for the design and development of LDH materials with diverse compositions and structures to meet increasing industrial and environmental demands.

Keywords: **chemical co-precipitation, layered double hydroxide, material characterisation, ZnAl-LDH.**

Classification numbers: **1.3, 2.4, 2.5**

[*]Tác giả liên hệ: Email: nguyenthomsp@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Hydroxit cấu trúc lớp kép (LDH) là vật liệu vô cơ cấu trúc phân lớp, được quan tâm rộng rãi trong nghiên cứu nhờ đặc tính trao đổi ion linh hoạt, khả năng hấp phụ cao và độ ổn định tốt. Cấu trúc điển hình của LDH gồm các lớp hydroxit kim loại hóa trị hai và ba, xen kẽ bởi các anion và phân tử nước, thường biểu diễn bởi công thức tổng quát $[M^{2+}_{1-x}M^{3+}_{x}(OH)_2]^{x+}(A^{n-})_{x/n}\cdot yH_2O$. Sự linh hoạt trong việc thay thế cation và anion cho phép điều chỉnh tính chất của LDH theo mục đích sử dụng [1-5].

Nhờ vào cấu trúc lớp đặc trưng và khả năng biến đổi linh hoạt về thành phần, LDH đã được ứng dụng hiệu quả trong nhiều lĩnh vực như hấp phụ ion kim loại nặng, loại bỏ chất hữu cơ ô nhiễm, xúc tác, siêu tụ điện, chống ăn mòn, và xử lý nước thải. Đặc biệt, hiệu quả hấp phụ cao đối với các ion mang điện tích âm như phosphate, thuốc nhuộm hoặc chất diệt cỏ khiến LDH trở thành vật liệu tiềm năng cho các hệ xử lý môi trường [1-4, 6-13].

Trong số các tổ hợp kim loại phổ biến, hệ ZnAl-LDH thu hút sự chú ý do tính ổn định hóa học và khả năng tương tác tốt với nhiều anion trong dung dịch. Vật liệu này có thể được tổng hợp bằng nhiều phương pháp, trong đó phương pháp đồng kết tủa là ưu tiên hàng đầu nhờ quy trình đơn giản, dễ kiểm soát và chi phí thấp [13-17]. Yếu tố pH và tỷ lệ mol giữa Zn^{2+}/Al^{3+} đóng vai trò then chốt trong việc kiểm soát hình thái học và đặc tính cấu trúc của sản phẩm cuối cùng, từ đó ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất hấp phụ hoặc khả năng trao đổi ion [18-23].

Trong nghiên cứu này, ZnAl-LDH được tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa từ các muối nitrat trong môi trường kiềm. Chúng tôi khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ mol Zn^{2+}/Al^{3+} và pH dung dịch đến cấu trúc tinh thể, thành phần nguyên tố và hình thái vật liệu nhằm tối ưu hóa điều kiện tổng hợp cho ứng dụng xử lý môi trường.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Hóa chất, thiết bị

Các hóa chất sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: $Zn(NO_3)_2\cdot 6H_2O$ (98%), $Al(NO_3)_3\cdot 9H_2O$ (98%), và NaOH (98%) - đều do Sigma Aldrich (Mỹ) cung cấp. Khí nitơ (N_2, độ tinh khiết 99,999%) và C_2H_5OH (98%) được sản xuất trong nước. Các thiết bị thí nghiệm chính bao gồm: cân phân tích năm chữ số Mettler Toledo (Đức), máy khuấy từ gia nhiệt VELP (Ý), máy ly tâm Hermle Z366K (Đức) và tủ sấy chuyên dụng (Đức).

2.2. Tổng hợp ZnAl-LDH

Dung dịch chứa $Zn(NO_3)_2$ và $Al(NO_3)_3$ được chuẩn bị bằng cách hòa tan các tiền chất trong nước cất đã được khử CO_2 bằng cách sục khí N_2, với các tỷ lệ mol Zn^{2+}/Al^{3+} lần lượt là 1:1, 2:1, 3:1 và 4:1, tương ứng với nồng độ mol của $Zn(NO_3)_2$ và $Al(NO_3)_3$ là 0,15:0,15; 0,30:0,15; 0,45:0,15 và 0,60:0,15 M. Dung dịch này sau đó được nhỏ từ từ vào 150 ml dung dịch NaOH 0,03 M dưới điều kiện khuấy liên tục.

Trong quá trình đồng kết tủa, pH dung dịch được duy trì trong khoảng 7-10 bằng cách nhỏ giọt bổ sung dung dịch NaOH 1 M với tốc độ 5 ml/phút. Quá trình phản ứng được thực hiện ở nhiệt độ 70°C trong vòng 24 giờ, sau đó hỗn hợp được để nguội và tiếp tục ủ ở nhiệt độ phòng trong 12 giờ. Sản phẩm kết tủa thu được được ly tâm, rửa nhiều lần bằng nước cất cho đến khi đạt pH trung tính, sau đó sấy khô dưới điều kiện chân không để thu nhận vật liệu ZnAl-LDH.

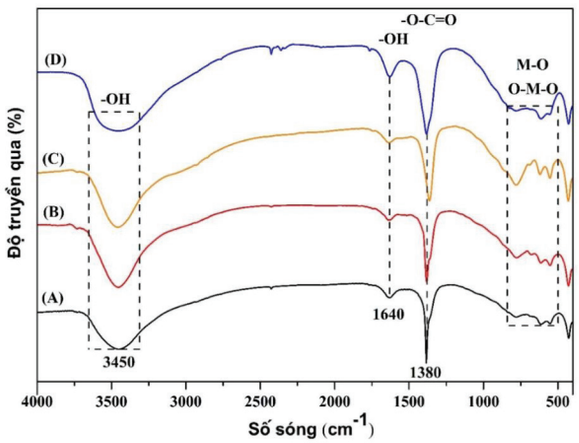
2.3. Phân tích đặc trưng tính chất của ZnAl-LDH

Vật liệu ZnAl-LDH tổng hợp được phân tích để xác định các đặc trưng tính chất quan trọng bao gồm: nhóm chức trong phân tử, hình thái học bề mặt, thành phần pha, và thành phần nguyên tố sử dụng phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR), kính hiển vi điện tử quét (SEM), tán xạ năng lượng tia X (EDX) và phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD).

3. Kết quả và bàn luận

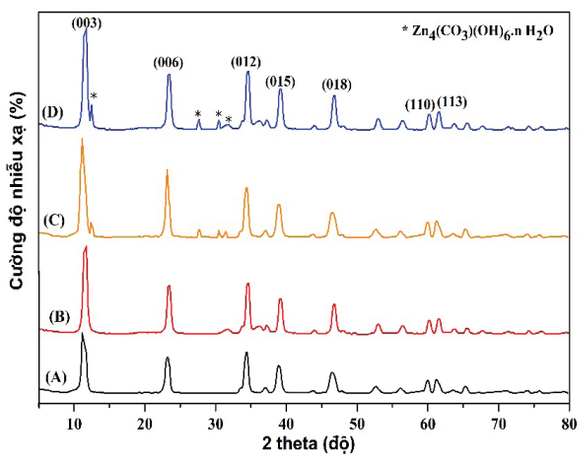
3.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ thành phần

Sự hình thành cấu trúc của vật liệu ZnAl-LDH phụ thuộc đáng kể vào tỷ lệ mol giữa các cation kim loại trong dung dịch tiền chất [24]. Trong nghiên cứu này, tỷ lệ Zn^{2+}/Al^{3+} được điều chỉnh lần lượt là 1, 2, 3 và 4, ký hiệu tương ứng là Zn_1Al, Zn_2Al, Zn_3Al và Zn_4Al. Phổ FTIR (hình 1) của tất cả các mẫu đều xuất hiện dải hấp thụ mạnh và rộng tại khoảng 3450 cm^{-1}, đặc trưng cho nhóm hydroxyl (-OH) và nước liên kết trong cấu trúc lớp của ZnAl-LDH. Dải hấp thụ tại khoảng 1640 cm^{-1} cũng xác nhận sự hiện diện của nước liên kết, có thể tồn tại ở dạng phân tử tự do hoặc gắn với anion trong lớp xen kẽ. Ngoài ra, pic tại khoảng 1380 cm^{-1} biểu hiện sự có mặt của ion carbonate (CO_3^{2-}), đóng vai trò ổn định cấu trúc lớp. Sự dịch chuyển nhẹ của đỉnh này giữa các mẫu cho thấy ảnh hưởng của tỷ lệ Zn/Al đến cấu trúc và cách sắp xếp anion. Các dải hấp thụ trong vùng 500-700 cm^{-1} là đặc trưng cho liên kết Zn-O và Al-O, xác nhận sự hình thành pha ZnAl-LDH điển hình [25-27].



Hình 1. Phổ IR của ZnAl-LDH được tổng hợp với tỷ lệ Zn/Al khác nhau: Zn_1Al (A), Zn_2Al (B), Zn_3Al (C) và Zn_4Al (D).

Giản đồ nhiễu xạ tia X của các mẫu ZnAl-LDH tổng hợp với các tỷ lệ mol Zn/Al lần lượt là 1, 2, 3 và 4 được trình bày trong hình 2. Tất cả các mẫu đều thể hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng cho pha hydrotalcite lớp, bao gồm các mặt phẳng (003), (006), (012), (015), (018), (110) và (113), tại các góc 2θ khoảng 11,7°, 23,5° và từ 35 đến 70° [28]. Khi tỷ lệ Zn/Al là 1 và 2, cường độ các đỉnh, đặc biệt là đỉnh (003), tăng rõ rệt, cho thấy mức độ kết tinh cao và cấu trúc lớp phát triển ổn định. Trong đó, mẫu Zn_2Al có đỉnh sắc nét và cường độ mạnh nhất, phản ánh sự hình thành tinh thể tối ưu. Tuy nhiên, khi tăng tỷ lệ lên 3 và 4 (Zn_3Al, Zn_4Al), ngoài các đỉnh LDH vẫn còn giữ, còn xuất hiện thêm các đỉnh phụ (ký hiệu *), tương ứng với pha tạp $Zn_4(CO_3)(OH)_6{\cdot}nH_2O$ do dư lượng Zn. Như vậy, việc điều chỉnh hợp lý tỷ lệ Zn/Al đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát chất lượng tinh thể, trong đó tỷ lệ 2:1 được xác định là thích hợp cho quá trình tổng hợp ZnAl-LDH có độ tinh khiết cao và cấu trúc ổn định [28, 29].



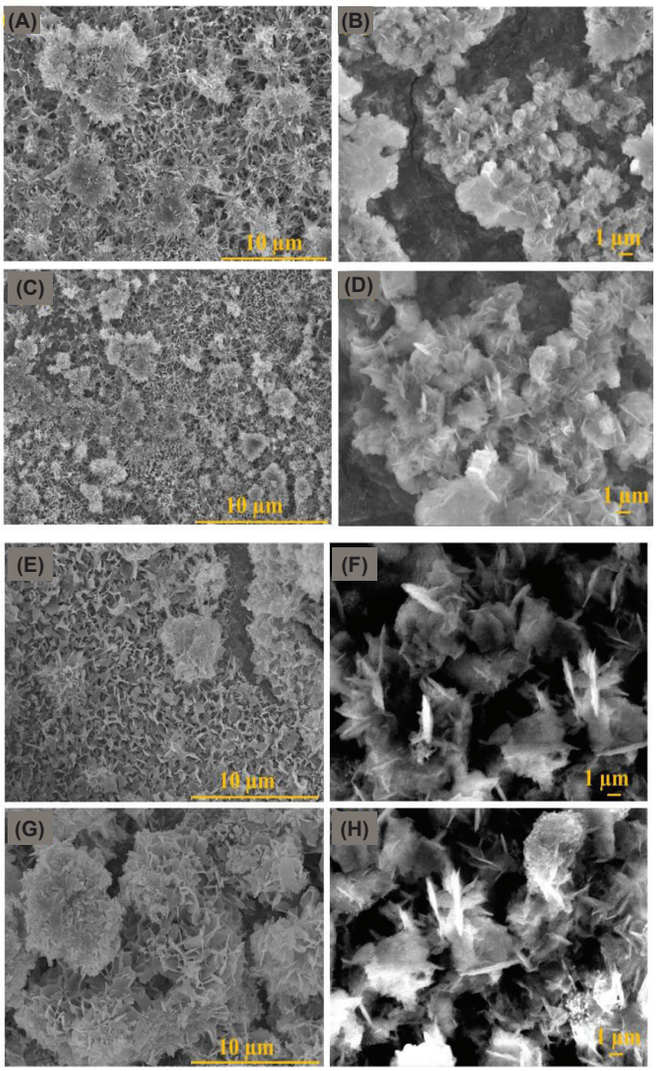
Hình 2. Giản đồ XRD của ZnAl-LDH được tổng hợp với tỷ lệ Zn/Al khác nhau: Zn_1Al (A), Zn_2Al (B), Zn_3Al (C) và Zn_4Al (D).

Kết quả bảng 1 cho thấy, các giá trị d_{003} dao động quanh khoảng 7,886-8,114 Å, tương ứng với c≈23,7-24,3 Å, giá trị này nằm trong khoảng đặc trưng của hệ ZnAl-LDH xen cài CO_3^{2-} có một lớp nước hydrat. Kết quả này thể hiện rằng tất cả các mẫu ZnAl-LDH đều hình thành cấu trúc lớp điển hình. Sự thay đổi của d_{003} và c là khá nhỏ khi thay đổi tỷ lệ Zn/Al, chứng tỏ khoảng cách giữa các lớp hầu như không bị "co - giãn" mạnh, chỉ phản ánh nhẹ sự khác biệt về mật độ điện tích lớp và lượng nước liên lớp cho từng tỷ lệ. Thông số a xấp xỉ 3,0 Å và gần như không đổi giữa bốn mẫu, điều này phù hợp với bản chất mạng brucit của lớp kim loại (Zn/Al). Đường kính tinh thể trung bình được tính theo phương trình Scherer (bảng 1) cho thấy khi tỷ lệ Zn/Al tăng, đường kính tinh thể trung bình của vật liệu tăng. Kết quả thu được trong nghiên cứu này có sự tương đồng với kết quả nghiên cứu khác về tổng hợp Zn_2Al-CO_3 [28].

Bảng 1. Các thông số mạng và đường kính tinh thể trung bình D của vật liệu ZnAl-LDH tổng hợp với tỷ lệ Zn/Al khác nhau.

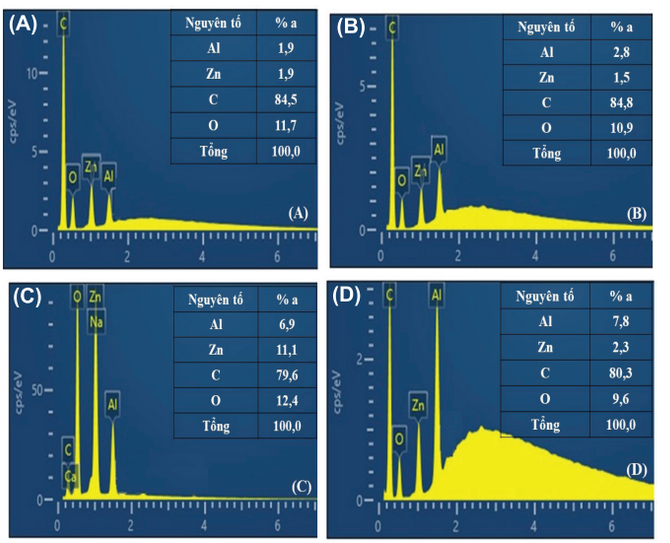
Mẫu	d_{003} (Å)	d_{006} (Å)	d_{110} (Å)	a (Å)	c (Å)	D (nm)
Zn_1Al	8,114	3,770	1,534	3,067	24,341	85,81
Zn_2Al	7,886	3,746	1,497	2,994	23,694	87,09
Zn_3Al	8,114	3,866	1,517	3,033	24,341	95,85
Zn_4Al	7,898	3,842	1,523	3,050	23,690	119,81

Ảnh hiển vi điện tử quét của các mẫu ZnAl-LDH tổng hợp với tỷ lệ mol Zn/Al khác nhau cho thấy sự thay đổi đáng kể về hình thái bề mặt theo thành phần kim loại (hình 3). Với mẫu Zn_1Al, quan sát thấy các lớp mỏng xếp chồng đồng đều, bề mặt nhẵn và các hạt phân bố khá đồng nhất, phản ánh cấu trúc kết tinh chặt chẽ, đặc trưng cho pha hydroxit cấu trúc lớp kép. Khi tỷ lệ Zn/Al tăng lên 2 (Zn_2Al), cấu trúc xốp mở được quan sát rõ hơn, với các tấm mỏng dạng vảy, hình thái phân nhánh ba chiều dạng cụm và một số nhánh tinh thể nhỏ xuất hiện, cho thấy quá trình kết tinh có sự biến đổi. Mẫu Zn_3Al cho thấy hình thái chuyển sang dạng cụm tinh thể như cánh hoa, cùng các hạt nhỏ rải rác, làm tăng độ rỗng bề mặt. Ở mẫu Zn_4Al, cấu trúc trở nên phức tạp hơn với sự kết hợp giữa các tấm mỏng, gai nhỏ và cụm tinh thể lớn, tạo ra bề mặt đa dạng và xốp hơn. Những thay đổi này cho thấy sự gia tăng hàm lượng Zn thúc đẩy sự phát triển của cấu trúc phân nhánh, có lợi cho các ứng dụng xúc tác hoặc hấp phụ. Dựa trên hình thái và độ kết tinh tổng thể, tỷ lệ Zn/Al=2 được xác định là phù hợp nhất để thu được vật liệu ZnAl-LDH có cấu trúc đồng đều và ổn định trong nghiên cứu này.



Hình 3. Ảnh SEM của ZnAl-LDH được tổng hợp với tỷ lệ Zn/Al khác nhau: Zn_1Al (A, B), Zn_2Al (C, D), Zn_3Al (E, F) và Zn_4Al (G, H).

Phổ tán xạ năng lượng tia X (EDX) của các mẫu ZnAl-LDH với các tỷ lệ mol Zn/Al khác nhau được thể hiện trong hình 4, cho thấy sự biến đổi đáng kể về thành phần nguyên tố bề mặt, đặc biệt là Zn, Al, C và O. Ở mẫu Zn1Al, với tỷ lệ Zn/Al thấp nhất, hàm lượng Zn và Al gần tương đương (~1,9%), trong khi cacbon và oxy chiếm tỷ lệ cao (84,5 và 11,7%). Điều này phản ánh sự hiện diện chủ yếu của nhóm cacbonat (CO_3^{2-}) và nước hoặc hydroxyl liên kết trong cấu trúc, đặc trưng của vật liệu lớp ZnAl-LDH. Khi tăng tỷ lệ Zn/Al lên 2 (Zn_2Al), hàm lượng Zn giảm nhẹ trong khi Al tăng, cho thấy sự thay đổi trong cơ chế kết hợp giữa các ion kim loại và anion lớp. Hàm lượng cacbon vẫn duy trì ở mức cao (~84,8%), khẳng định sự ổn định của nhóm cacbonat trong lớp mạng. Mẫu Zn_3Al thể hiện sự gia tăng rõ rệt hàm lượng Zn (11,1%) và Al (6,9%), đồng thời tỷ lệ cacbon giảm xuống 79,6%. Điều này cho thấy quá trình kết tinh mạnh hơn với hàm lượng kim loại cao hơn, đồng thời phản ánh sự thay đổi trong tương tác giữa các lớp dương và anion. Ở mẫu Zn_4Al, hàm lượng Zn giảm còn 2,3%, Al tăng lên 7,8%, trong khi cacbon và oxy gần như không thay đổi. Sự suy giảm hàm lượng Zn có thể do hiện tượng bão hòa hoặc tạo pha tạp chứa Zn trong điều kiện tổng hợp. Hàm lượng cacbon cao và ổn định trong tất cả các mẫu cho thấy sự hiện diện bền vững của ion CO_3^{2-}, góp phần duy trì cấu trúc lớp ổn định của vật liệu. Như vậy, việc điều chỉnh tỷ lệ Zn/Al trong quá trình tổng hợp ảnh hưởng rõ rệt đến thành phần hóa học bề mặt và cấu trúc của ZnAl-LDH, từ đó quyết định các tính chất vật lý - hóa học và tiềm năng ứng dụng của vật liệu.

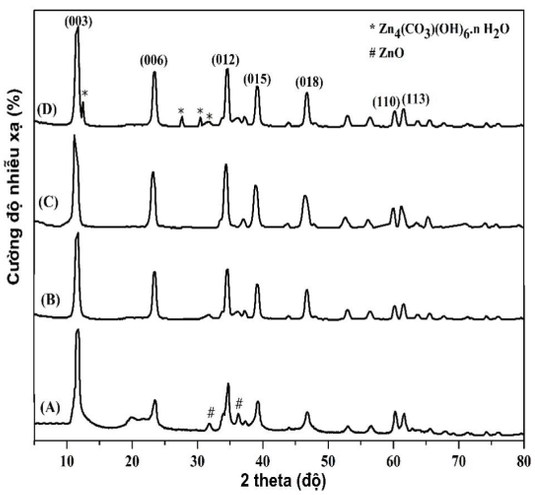


Hình 4. Phổ EDX của ZnAl-LDH được tổng hợp với tỷ lệ Zn/Al khác nhau: Zn_1Al (A), Zn_2Al (B), Zn_3Al (C) và Zn_4Al (D).

3.2. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của pH dung dịch

Giản đồ nhiễu xạ tia X của các mẫu vật liệu tổng hợp dưới các điều kiện pH dung dịch khác nhau (pH 7, 8, 9 và 10) được trình bày trong hình 5. Các phổ đều cho thấy sự hiện diện của các đỉnh đặc trưng thuộc pha chính ZnAl-LDH (JCPDS 48-1023), cùng với một số tín hiệu bổ sung tương ứng với pha tạp $Zn_4(CO_3)(OH)_6{\cdot}nH_2O$ (PDF 00-007-0148) và ZnO (JCPDS 36-1451, ký hiệu # trên phổ). Ở pH 7, giản đồ XRD thể hiện các đỉnh pha tạp rõ rệt, cho thấy sự không đồng nhất trong cấu trúc vật liệu do điều kiện phản ứng chưa tối ưu. Khi pH tăng lên đến 8 và 9, các đỉnh liên quan đến pha tạp giảm đáng kể, đồng thời các đỉnh đặc trưng của pha chính trở nên sắc nét hơn,

phản ánh sự cải thiện về độ tinh khiết và kết tinh của vật liệu. Tuy nhiên, ở pH 10, sự xuất hiện trở lại của các đỉnh pha tạp cho thấy việc tăng pH quá mức có thể gây ra sự tái kết tinh không mong muốn, ảnh hưởng tiêu cực đến độ ổn định pha. Dựa trên các đỉnh nhiễu xạ chủ đạo, các tham số mạng tinh thể a và c của hệ lục giác được xác định bằng phương pháp phân tích vị trí đỉnh 2θ và công thức Bragg kết hợp với phương trình mạng tinh thể. Cụ thể, các mặt phẳng (003), (006) và (110) được sử dụng để tính toán các thông số này (bảng 2). Các giá trị tính toán của a và c phù hợp với giá trị của tinh thể ZnAl-LDH với các lớp anion CO_3^{2-} như các lớp xen kẽ đã được báo cáo [26].



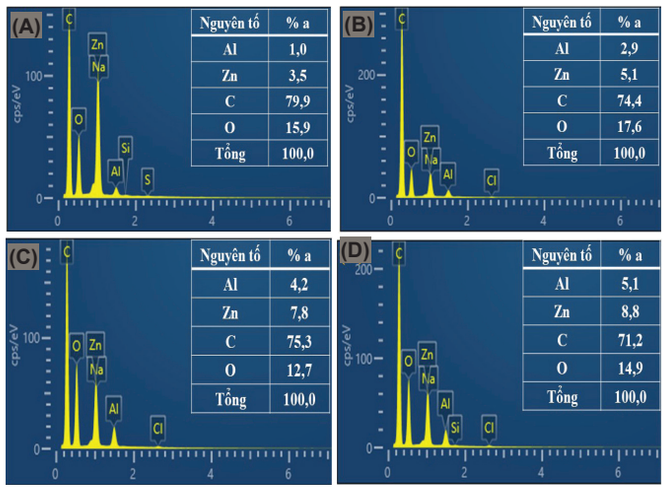
Hình 5. Giản đồ XRD của vật liệu tổng hợp ở pH dung dịch khác nhau: pH 7 (A), 8 (B), 9 (C) và 10 (D).

Các thông số mạng của tinh thể ZnAl-LDH được tổng hợp ở pH dung dịch 8 và 9 được tính toán và đưa ra trong bảng 2. Kích thước tinh thể trung bình D của mẫu ZnAl-LDH tăng đáng kể khi pH tăng từ 8 lên 9, cho thấy quá trình kết tinh phát triển mạnh mẽ hơn ở pH cao hơn. Điều này cho thấy, pH cao hơn giúp hình thành các tinh thể lớn hơn và ổn định hơn. Nhìn chung, pH trong khoảng từ 8 đến 9 được xác định là điều kiện tốt, vừa đảm bảo độ tinh khiết pha cao, vừa duy trì cấu trúc mạng tinh thể ổn định.

Bảng 2. Thông số mạng và đường kính tinh thể trung bình D của vật liệu ZnAl-LDH tổng hợp ở pH 8 và 9.

pH tổng hợp	d_{003} (Å)	d_{006} (Å)	d_{110} (Å)	a (Å)	c (Å)	D (nm)
8	7,889	3,738	1,486	2,988	23,689	87.32
9	8,025	3,749	1,493	3,016	23,786	96.60

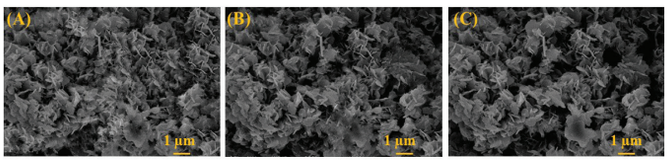
Phổ EDX của các mẫu ZnAl-LDH tổng hợp tại các giá trị pH khác nhau (7-10) được trình bày trong hình 6. Tất cả các mẫu đều cho thấy sự hiện diện ổn định của các nguyên tố Zn, Al, O và C. Khi pH tăng, hàm lượng Zn và Al có xu hướng tăng. Cụ thể, tại pH 7, tỷ lệ Zn và Al thấp nhất (3,5 và 1,0%). Ở pH 8, Zn và Al tăng lên (5,1 và 2,9%), kèm theo mức O cao nhất (17,6%), phản ánh sự hình thành mạnh hơn của pha hydroxit. Khi tiếp tục nâng pH lên 9, hàm lượng Zn và Al tiếp tục tăng (7,8 và 4,2%), trong khi O giảm nhẹ, cho thấy sự phát triển tốt hơn của mạng lớp ZnAl-LDH. Mẫu ở pH 10 đạt hàm lượng Zn và Al cao nhất (8,8 và 5,1%), cho thấy môi trường kiềm mạnh thúc đẩy quá trình tạo kết tủa. Tuy nhiên, C vẫn duy trì ở mức cao (>70%), cho thấy vật liệu có thể vẫn chứa tạp hoặc dư lượng chưa loại bỏ hoàn toàn sau tổng hợp.



Hình 6. Phổ EDX của ZnAl-LDH được tổng hợp ở pH dung dịch khác nhau: pH 7 (A), 8 (B), 9 (C) và 10 (D).

Hình 7 minh họa hình thái bề mặt của vật liệu ZnAl-LDH được tổng hợp trong dung dịch có độ pH lần lượt là 8, 9 và 10. Dễ dàng nhận thấy rằng vật liệu hình thành cấu trúc lớp điển hình của hydroxit cấu trúc lớp kép với sự sắp xếp dạng phiến mỏng chồng lớp và phân bố tương đối đồng đều. Tại pH 8 (hình 7A), vật liệu thể hiện hình thái dạng tấm mỏng có độ cong nhẹ, xếp chồng và phân bố khá dày đặc, gợi ý quá trình kết tinh diễn ra ổn định ở mức độ cao. Khi pH tăng lên 9 (hình 7B), các phiến nano trở nên rõ nét hơn, tuy vẫn duy trì kiểu phân bố chồng lớp nhưng có xu hướng tạo thành khối kết tụ lớn hơn, có thể là hệ quả của tốc độ kết tủa tăng. Ở pH 10 (hình 7C), vật liệu bắt đầu xuất hiện hiện tượng bất đồng đều trong phân bố kích thước hạt, nhiều phiến bị uốn cong và gấp nếp, cho thấy điều kiện kiềm mạnh có thể ảnh hưởng

đến tốc độ nucleation và sự phát triển tinh thể, từ đó làm giảm tính đồng nhất hình thái. Tổng thể, hình ảnh SEM cho thấy điều kiện pH ảnh hưởng rõ rệt đến quá trình hình thành cấu trúc lớp của ZnAl-LDH. pH 8 được đánh giá là tối ưu trong nghiên cứu này, vì tạo ra vật liệu có cấu trúc đồng đều, kết tinh tốt và bề mặt liên kết chặt chẽ giữa các lớp nano.



Hình 7. Ảnh SEM của vật liệu ZnAl-LDH tổng hợp ở pH 8 (A), 9 (B) và 10 (C).

4. Kết luận

Vật liệu hydroxit cấu trúc lớp kép ZnAl-LDH đã được tổng hợp thành công bằng phương pháp đồng kết tủa. Bài báo này đã đánh giá vai trò của tỷ lệ tiền chất Zn^{2+}/Al^{3+} và pH dung dịch đến các đặc trưng tính chất của vật liệu tổng hợp được bao gồm: các nhóm chức đặc trưng trong phân tử, thành phần pha, thành phần nguyên tố trong mẫu và hình thái học bề mặt vật liệu. Bằng cách so sánh các đặc trưng tính chất của vật liệu tổng hợp được, chúng tôi kết luận rằng, ZnAl-LDH tổng hợp với tỷ lệ Zn/Al là 2:1 ở pH dung dịch 8 cho vật liệu có độ kết tinh tốt với hình thái phân nhánh ba chiều dạng cụm. Nghiên cứu này mở ra hướng phát triển các vật liệu cấu trúc 2D có tính chất và cấu trúc điều chỉnh được, đáp ứng yêu cầu đa dạng cho những mục đích ứng dụng khác nhau. Tiềm năng ứng dụng của vật liệu ZnAl-LDH trong xử lý ion kim loại nặng và ion nước cứng sẽ được chúng tôi báo cáo trong các công bố tiếp theo.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ (ĐTĐLCN.66/22). Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] W.M.A.E. Rouby, S.I.E. Dek, M.E. Goher, et al. (2020), "Efficient water decontamination using layered double hydroxit beads nanocomposites", *Environmental Science and Pollution Research*, **27(16)**, pp.18985-19003, DOI: 10.1007/s11356-018-3257-7.

[2] P. Koilraj, K. Srinivasan (2011), "High sorptive removal of borate from aqueous solution using calcined ZnAl layered double hydroxides", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, **50**, pp.6943-6951, DOI: 10.1021/ie102395m.

[3] S. Daniel, S. Thomas (2020), "Layered double hydroxides: Fundamentals to applications", *Layered Double Hydroxide Polymer Nanocomposites*, pp.1-76, DOI: 10.1016/B978-0-08-101903-0.00001-5.

[4] N. Kano, S. Zhang (2018), "Adsorption of heavy metals on layered double hydroxides (LDHs) intercalated with chelating agents", *Advanced Sorption Process Applications*, DOI: 10.5772/intechopen.80865.

[5] J. Lee, S. Kim, N. Kim, et al. (2020), "Enhancing the desalination performance of capacitive deionization using a layered double hydroxide coated activated carbon electrode", *Applied Sciences*, **10(1)**, DOI: 10.3390/app10010403.

[6] C. Yan, L. Zou, R. Short (2012), "Single-walled carbon nanotubes and polyaniline composites for capacitive deionization", *Desalination*, **290**, pp.125-129, DOI: 10.1016/j.desal.2012.01.017.

[7] S. Nadakatti, M. Tendulkar, M. Kadam (2011), "Use of mesoporous conductive carbon black to enhance performance of activated carbon electrodes in capacitive deionization technology", *Desalination*, **268**, pp.182-188, DOI: 10.1016/j.desal.2010.10.020.

[8] J. Choi, P. Dorji, H.K. Shon, et al. (2019), "Applications of capacitive deionization: Desalination, softening, selective removal", *Desalination*, **449**, pp.118-130, DOI: 10.1016/j.desal.2018.10.013.

[9] K. Rasool, R.P. Pandey, P.A. Rasheed, et al. (2019), "Water treatment and environmental remediation applications of two-dimensional metal carbides (MXenes)", *Materials Today*, **30**, pp.80-102, DOI: 10.1016/j.mattod.2019.05.017.

[10] R.M. Ronchi, J.T. Arantes, S.F. Santos (2019), "Synthesis, structure, properties and applications of MXenes: Current status and perspectives", *Ceramics International*, **45(15)**, pp.18167-18188, DOI: 10.1016/j.ceramint.2019.06.114.

[11] F.Z. Mahjoubi, A. Khalidi, M. Abdennouri, et al. (2017), "ZnAl layered double hydroxides intercalated with carbonate, nitrate, chloride and sulphate ions: Synthesis, characterisation and dye removal properties", *Journal of Taibah University for Science*, **11(1)**, pp.90-100, DOI: 10.1016/j.jtusci.2015.10.007.

[12] B. Li, Y. Zhang, X. Zhou, et al. (2016), "Different dye removal mechanisms between monodispersed and uniform hexagonal thin plate-like MgAl-CO_3^{2-} LDH and its calcined product in efficient removal of Congo red from water", *Journal of Alloys and Compounds*, **673**, pp.265-271, DOI: 10.1016/j.jallcom.2016.02.248.

[13] R. Wijitwongwan, S.I. Ard, M. Ogawa (2019), "Preparation of layered double hydroxides toward precisely designed hierarchical organization", *ChemEngineering*, **68(3)**, DOI: 10.3390/chemengineering3030068.

[14] E. Butenko (2018), "Use of layered double hydroxides to create new environmental technologies", *International Journal of Scientific Research in Environmental Sciences and Toxicology*, **3**, pp.1-5, DOI: 10.15226/2572-3162/3/2/00121.

[15] Y. Tan, X. Yin, C. Wang, et al. (2019), "Sorption of cadmium onto Mg-Fe layered double hydroxide (LDH)-kiwi branch biochar", *Environmental Pollution and Bioavailability*, **31**, pp.189-197, DOI: 10.1080/26395940.2019.1604165.

[16] F. Ogata, N. Nagai, M. Kishida, et al. (2019), "Interaction between phosphate ions and Fe-Mg type hydrotalcite for purification of wastewater", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **7**, DOI: 10.1016/j.jece.2019.102897.

[17] N. Hashim, S.N.M. Sharif, M.Z. Hussein, et al. (2017), "Layered hydroxide anion exchanger and their applications related to pesticides: A brief review", *Materials Research Innovations*, **21**, pp.129-145, DOI: 10.1080/14328917.2016.1192717.

[18] M. Daud, A. Hai, F. Banat, et al. (2019), "A review on the recent advances, challenges and future aspect of layered double hydroxides (LDH) - Containing hybrids as promising adsorbents for dyes removal", *Journal of Molecular Liquids*, **288**, DOI: 10.1016/j.molliq.2019.110989.

[19] P. Wang, X. Zhang, B. Zhou, et al. (2023), "Recent advance of layered double hydroxides materials: Structure, properties, synthesis, modification and applications in wastewater treatment", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **11(6)**, DOI: 10.1016/j.jece.2023.111191.

[20] C. Dai, X. Wu, Q. Wang, et al. (2025), "Layered double hydroxides for efficient treatment of heavy metals and organic pollutants: Recent progress and future perspectives", *Separation and Purification Technology*, **352**, DOI: 10.1016/j.seppur.2024.128277.

[21] Z.L. Liu, H. Yu, Y.N. Chen, et al. (2024), "A new hydrotalcite-like absorbent OSA-LDH and its adsorption capacity for Pb^{2+} ions in water", *Chemistry*, **6(6)**, pp.1523-1534, DOI: 10.3390/chemistry6060092.

[22] A. Farhan, A. Khalid, N. Maqsood, et al. (2024), "Progress in layered double hydroxides (LDHs): Synthesis and application in adsorption, catalysis and photoreduction", *Science of The Total Environment*, **912**, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.169160.

[23] S. Mallakpour, M. Hatami, C.M. Hussain (2020), "Recent innovations in functionalized layered double hydroxides: Fabrication, characterization and industrial applications", *Advances in Colloid and Interface Science*, **283**, DOI: 10.1016/j.cis.2020.102216.

[24] F. Cavani, F. Trifirò, A. Vaccari (1991), "Hydrotalcite-type anionic clays: Preparation, properties and applications", *Catalysis Today*, **11(2)**, pp.173-301, DOI: 10.1016/0920-5861(91)80068-K.

[25] B. Nagendra, C.V.S. Rosely, A. Leuteritz, et al. (2017), "Polypropylene/layered double hydroxide nanocomposites: Influence of LDH intralayer metal constituents on the properties of polypropylene", *ACS Omega*, **2(1)**, pp.20-31, DOI: 10.1021/acsomega.6b00485.

[26] K. Xu, G. Chen, J. Shen (2013), "Exfoliation and dispersion of micrometer-sized LDH particles in poly(ethylene terephthalate) and their nanocomposite thermal stability", *Applied Clay Science*, **75**, pp.114-119, DOI: 10.1016/j.clay.2013.02.004.

[27] S.I. Omonmhenle, I.J. Shannon (2019), "Effect of interlamellar composition on ZnAl hydrotalcites: Synthesis and characterization", *European Scientific Journal*, **15(12)**, pp.307-317, DOI: 10.19044/esj.2019.v15n12p307.

[28] J.Q. Liu, J. Song, H. Xiao, et al. (2014), "Synthesis and thermal properties of ZnAl layered double hydroxide by urea hydrolysis", *Powder Technology*, **253**, pp.41-45, DOI: 10.1016/j.powtec.2013.11.042.

[29] A. Dabizha, M. Kersten (2022), "Aqueous solubility of Zn incorporated into Mg-Al layered double hydroxides", *Clays and Clay Minerals*, **70(1)**, pp.34-47, DOI: 10.1007/s42860-021-00153-4.

 DOI: 10.31276/VJST.2025.3168

Xác định một số hợp chất dioxin/furan trong trầm tích tại làng nghề đúc đồng Đại Bái, Bắc Ninh

Bùi Quang Minh[1], Bùi Thị Quỳnh[1], Nguyễn Xuân Hưng[1, 2], Lê Văn Nhân[1, 2*], Nguyễn Hoàng Khánh[1], Trần Hà Minh Đức[1]

[1]Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ cao, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam
[2]Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 7/2/2025; ngày chuyển phản biện 10/2/2025; ngày nhận phản biện 20/2/2025; ngày chấp nhận đăng 26/2/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu này nhằm mục đích xác định một số hợp chất dioxin trong các mẫu trầm tích thu thập tại kênh dẫn nước thải và ao chứa nước thải của làng nghề đúc đồng Đại Bái (xã Gia Bình, tỉnh Bắc Ninh). Các hợp chất dioxin/furan được chiết xuất và phân tích bằng thiết bị sắc ký khí HRGC/HRMS (Thermo, Mỹ) kết hợp với hệ thống phổ khối có độ phân giải cao DFS Thermo Trace 1310 (Thermo, Mỹ). Kết quả nghiên cứu cho thấy, tổng nồng độ của dioxin/furan trong các mẫu trầm tích dao động từ 8,340 đến 98,600 ng/kg d.w (trung bình 41,290 ng/kg d.w) với nồng độ độc tương đương với 0,319 đến 6,990 ng TEQ/kg d.w (trung bình 2,390 ng TEQ/kg d.w), không vượt quá ngưỡng quy định trong Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng trầm tích (QCVN 43:2017/BTNMT). Tuy nhiên, dioxin/furan là các hợp chất hữu cơ khó phân hủy và có khả năng tích lũy sinh học trong môi trường, ảnh hưởng đến sự sinh trưởng, phát triển của các loài động thực vật ở các khu vực xung quanh và tiềm ẩn nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Do đó, các cơ quan chức năng cần ban hành các chế tài và biện pháp hợp lý để giám sát và quản lý hoạt động của làng nghề đúc đồng, nhằm giảm thiểu phát thải và phát sinh các độc chất dioxin/furan có thể gây ảnh hưởng tiêu cực đến môi trường sinh thái và sức khỏe con người.

Từ khóa: **chất độc dioxin, dioxin/furan, đúc đồng.**

Chỉ số phân loại: **1.5, 2.4, 2.7**

Identification of dioxin/furan compounds in sediments collected from the Dai Bai bronze casting village, Bac Ninh province

Quang Minh Bui[1], Thi Quynh Bui[1], Xuan Hung Nguyen[1, 2], Van Nhan Le[1, 2*], Hoang Khanh Nguyen[1], Ha Minh Duc Tran[1]

[1]Centre for High Technology Research and Development, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam

Received 7 February 2025; revised 20 February 2025; accepted 26 February 2025

Abstract:

This study aims to determine several dioxin compounds in sediment samples collected from the wastewater channel and wastewater pond of the Dai Bai bronze casting village (Gia Binh commune, Bac Ninh province). Dioxin/furan compounds were extracted and analysed using high-resolution gas chromatography/high-resolution mass spectrometry (HRGC/HRMS, Thermo, USA) combined with a DFS Thermo Trace 1310 high-resolution mass spectrometer (Thermo, USA). The total concentrations of dioxin/furan in sediment samples ranged from 8.340 to 98.600 ng/kg d.w (mean: 41.290 ng/kg d.w), with the toxic equivalent (TEQ) concentrations ranging from 0.319 to 6.990 ng TEQ/kg d.w (mean: 2.39 ng TEQ/kg d.w), which did not exceed the thresholds specified in the National Technical Regulation on Sediment Quality (QCVN 43:2017/BTNMT). However, dioxin/furan are persistent organic compounds capable of bioaccumulation in the environment, affecting the growth and development of flora and fauna in surrounding areas and posing potential risks to human health. Therefore, the relevant authorities need to issue appropriate sanctions and measures to monitor and manage the activities of bronze casting villages, thereby minimising emissions and the generation of dioxin/furan compounds that may adversely affect the ecological environment and human health.

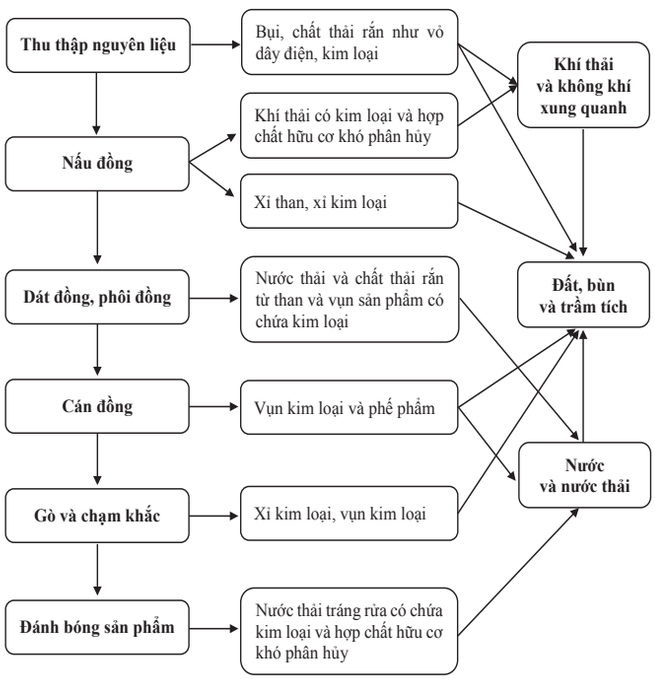
Keywords: **bronze casting, dioxin/furan, dioxin toxicity.**

Classification numbers: **1.5, 2.4, 2.7**

[*]Tác giả liên hệ: levannhan.na@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Làng Đại Bái (xã Gia Bình, tỉnh Bắc Ninh) nổi tiếng với nghề đúc đồng thủ công truyền thống. Hoạt động sản xuất của làng nghề đã phát triển và mở rộng quy mô với hơn 1.700 hộ làm nghề, tiêu thụ khoảng 200 tấn đồng mỗi năm. Quy trình đúc đồng gồm các công đoạn chính như: nấu chảy phế liệu đồng, đúc sản phẩm, gia công cơ khí và xử lý chất thải. Trong đó, các công đoạn nấu chảy phế liệu đồng (đặc biệt khi nguyên liệu chứa tạp chất hữu cơ như nhựa, dầu mỡ), quá trình đốt lò không kiểm soát nhiệt độ, và xử lý tro xỉ được xác định là nguồn phát thải dioxin/furan tiềm ẩn ra môi trường (hình 1). Các chất ô nhiễm này tích tụ trong đất, nước và không khí, làm gia tăng nguy cơ ô nhiễm môi trường và ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe cộng đồng.



Hình 1. Quy trình đúc đồng tại làng nghề đúc đồng Đại Bái, tỉnh Bắc Ninh.

Dioxin là tên gọi chung của nhóm hóa chất độc hại bao gồm polychlorinated dibenzo-p-dioxin (PCDD) và polychlorinated dibenzofuran (PCDF), là độc chất hình thành không chủ định do quá trình đốt cháy các hợp chất hữu cơ có chứa clo ở nhiệt độ từ 250 đến 450°C, được lưu chuyển từ các lò đốt thải ra môi trường gây ô nhiễm hữu cơ khó phân hủy, tồn lưu lâu dài trong môi trường, có khả năng tích lũy trong cơ thể sinh vật. Nhóm chất này bao gồm hàng trăm hợp chất khác nhau, trong đó chỉ có một số hợp chất nhất định là độc hại, đặc biệt là những hợp chất có nguyên tử clo nằm ở các vị trí cụ thể nhất định [1].

Các môi trường trầm tích như ao, hồ và các lưu vực là nơi lưu trữ tự nhiên các chất ô nhiễm dioxin, chủ yếu tồn tại ở dạng liên kết với thành phần hữu cơ trong trầm tích, nguồn gốc chủ yếu từ hoạt động sản xuất của con người. Các hợp chất có thể tích tụ trong trầm tích theo thời gian, sau đó xâm nhập vào chuỗi thức ăn gây ảnh hưởng đến con người và hệ sinh thái [2-4]. Mặc dù không phải là hợp chất tự nhiên, dioxin được tìm thấy ở nhiều nơi trên thế giới. Ở các quốc gia có sự phát triển công nghiệp lâu đời, như châu Âu và Mỹ, các nghiên cứu cũng chỉ ra sự hiện diện của dioxin gây ô nhiễm trầm tích trong các con sông. Tại Đức, dioxin được tìm thấy trong trầm tích sông Elbe do chất thải từ nhà máy sản xuất Mangan ở thượng nguồn [5]. Ở Việt Nam, một số hợp chất dioxin được phát hiện trong trầm tích ở một số khu vực ven biển huyện Cần Giờ thuộc TP. Hồ Chí Minh (trước sáp nhập), một số ao hồ tại Hà Nội và TP. Huế [6]. Tuy nhiên, các nghiên cứu về dioxin tại Việt Nam vẫn còn nhiều hạn chế, chủ yếu tập trung vào các khu vực ô nhiễm nghiêm trọng là các điểm nóng chất độc màu da cam hình thành trong chiến tranh [7, 8], chưa có nhiều nghiên cứu về sự xuất hiện của dioxin từ hoạt động của làng nghề truyền thống.

Xuất phát từ thực tế trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm làm rõ thực trạng phát sinh và ô nhiễm các hợp chất dioxin trong môi trường liên quan đến hoạt động của làng nghề đúc đồng Đại Bái, huyện Gia Bình, tỉnh Bắc Ninh. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để các cơ quan chức năng xem xét để ban hành các chế tài và biện pháp giám sát, quản lý hoạt động của làng nghề đúc đồng Đại Bái nói riêng và các làng nghề tái chế kim loại nói chung trên cả nước nhằm giảm thiểu phát thải các hợp chất dioxin/furan gây ảnh hưởng môi trường sinh thái và sức khỏe con người.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

2.1.1. Hóa chất

Acid hydrochloric (37%), toluen từ công ty Merck Inc. (Massachusetts, Mỹ). Bộ chất chuẩn theo phương pháp 1613B-US EPA do hãng Cerilliant Corporation Cambridge Isotope Laboratories, Inc. (Mỹ) sản xuất. Bộ

dung dịch dựng đường chuẩn (1613_CS1÷1613_CS5; nồng độ: 0,5-2000 pg/µl). Dung dịch kiểm tra đường chuẩn (1613_CS3; nồng độ: 10-100 pg/µl). Dung dịch chuẩn chuẩn bị cho các mẫu thêm chuẩn (gồm 17 chất chuẩn của các hợp chất PCDD và PCDF, ký hiệu 1613_NS, mã sản phẩm EDF-9999, nồng độ: 400-4000 pg/µl). Dung dịch chuẩn đồng vị đánh dấu (ký hiệu 1613_LbS, mã sản phẩm EDF-8999, nồng độ : 100-200 pg/µl). Dung dịch chuẩn làm sạch (ký hiệu 1613_CS1, nồng độ 0,8 pg/µl). Dung dịch chuẩn xác định hiệu suất thu hồi (ký hiệu 1613_RS, mã sản phẩm EDF-7999, nồng độ 200 pg/µl).

Dung dịch chuẩn đơn của các hợp chất gồm: 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-p-dioxin (2,3,7,8-TCDD), 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzofuran (2,3,7,8-TCDF), 1,2,3,7,8-Pentachlorodibenzo-p-dioxin (1,2,3,7,8-PeCDD), 2,3,4,7,8-Pentachlorodibenzofuran (2,3,4,7,8-PeCDF), 1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzo-p-dioxin (1,2,3,6,7,8-HxCDD), 1,2,3,7,8,9-Hexachlorodibenzo p-dioxin (1,2,3,7,8,9-HxCDD), 1,2,3,4,6,7-Hexachlorodibenzofuran (1,2,3,4,6,7-HxCDF), 1,2,3,6,7,8-Hexachlorodibenzofuran (1,2,3,6,7,8-HxCDF), 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzo-p-dioxin (1,2,3,4,6,7,8-HpCDD), 1,2,3,4,6,7,8-Heptachlorodibenzofuran (1,2,3,4,6,7,8-HpCDF), Octachlorodibenzo-p-dioxin (OCDD) và Octachlorodibenzofuran (OCDF) được sử dụng với nồng độ 25 ng/ml. Từ dung dịch chuẩn gốc, tiến hành pha loãng thành các dung dịch chuẩn làm việc tương ứng với loại chất chuẩn bằng dung môi nonane.

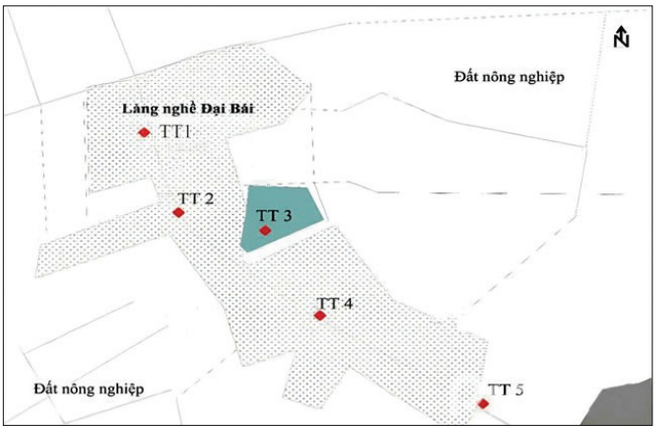
2.1.2. Dụng cụ và thiết bị

Thiết bị sắc ký khí (HRGC/HRMS, Thermo, Mỹ) ghép nối với hệ thống phổ khối phân giải cao DFS Thermo Trace 1310 (Thermo, Mỹ) của Phòng Thí nghiệm trọng điểm nghiên cứu về Dioxin - Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển công nghệ cao, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam được sử dụng để phân tích các hợp chất dioxin/furan trong các mẫu trầm tích. Thiết bị có độ phân giải phổ khối tối đa lên đến 70,000; nguồn ion hóa có thể chạy 02 chế độ electron hóa (EI) và ion hóa hóa học (CI); độ chính xác khối thấp nhất 2 ppm; Cột tách sử dụng là cột TG - Dioxin (Thermo Scientific, Mỹ) với các thông số: chiều dài cột 60 m; đường kính trong 0,25 mm, chiều dài lớp phim pha tĩnh 0,25 µm.

Thiết bị chiết gia tốc dung môi Thermo ASE 350 sản xuất bởi hãng Thermo, (Mỹ). Thiết bị chiết mẫu tự động có thể chiết mẫu trong điều kiện nhiệt độ tối đa 200°C; áp suất tối đa 1500 psi. Cân phân tích Ohaus (Mỹ), chính xác đến 0,0001 g. Thiết bị cô quay chân không Buchi R-300. Màng lọc cellulose cho cell chiết của thiết bị ASE. Cột thủy tinh làm sạch mẫu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp lấy mẫu



Hình 2. Các vị trí thu thập mẫu trầm tích tại làng đúc đồng Đại Bái.

Mẫu trầm tích tại kênh dẫn nước thải (TT1, TT2 và TT5) và ao chứa nước thải (TT 3, TT4) của làng nghề đúc đồng Đại Bái được thu thập bằng gầu lấy mẫu Ekman theo quy trình lấy mẫu trầm tích bùn đáy ban hành ở TCVN 6663-13:2015 [9]. Thực hiện thả thanh trượt để đóng miệng gầu đồng thời lấy và giữ mẫu trầm tích trong gầu, kéo gầu lên và chuyển mẫu vào xô, loại bỏ phần nước và rác thải, sau đó chuyển mẫu vào lọ thủy tinh tối màu, ghi tên mẫu, loại mẫu, địa điểm và thời gian lên nhãn túi rồi niêm phong, bảo quản và chuyển về phòng thí nghiệm. Tại mỗi địa điểm thu thập 10 mẫu trầm tích, trộn đều các mẫu lại với nhau để tạo thành một mẫu tổng hợp đại diện cho địa điểm đó, sau đó lấy 3 mẫu đại diện để phân tích. Các vị trí thu thập mẫu được mô tả ở hình 2 và bảng 1.

Bảng 1. Ký hiệu, tên mẫu, tọa độ vị trí lấy mẫu trầm tích tại làng đúc đồng Đại Bái.

Ký hiệu	Tên mẫu	Tọa độ vị trí lấy mẫu	Vị trí lấy mẫu
TT 1	Trầm tích 1	21,0487200 N; 106,1422310 E	Trầm tích đầu kênh
TT 2	Trầm tích 2	21,0449590 N; 106,1436810 E	Trầm tích giữa kênh
TT 3	Trầm tích 3	21,0428460 N; 106,1464900 E	Trầm tích ao 1
TT 4	Trầm tích 4	21,0431570 N; 106, 1464900 E	Trầm tích ao 2
TT 5	Trầm tích 5	21,0372320 N; 106; 1545800 E	Trầm tích cuối kênh

2.2.2. Phương pháp xử lý mẫu

Chiết mẫu bằng phương pháp chiết gia tốc dung môi (ASE): Trộn đều mẫu với chất chuẩn ^{13}C-PCDD và ^{13}C-PCDF, đất chiết, cho mẫu vào ống chiết của thiết bị chiết. Sử dụng dung môi chiết là toluen dùng cho HPLC, nhiệt độ chiết là 130^{o}C, thời gian gia nhiệt là 7 phút, 2 chu kỳ, thời gian khí đi qua ống chiết là 100 giây, khí mang sử dụng là khí nitơ có độ tinh khiết >99,999%, chế độ chiết chuẩn trên thiết bị Thermo Scientific Dionex ASE 350 Accelerated Solvent Extractor.

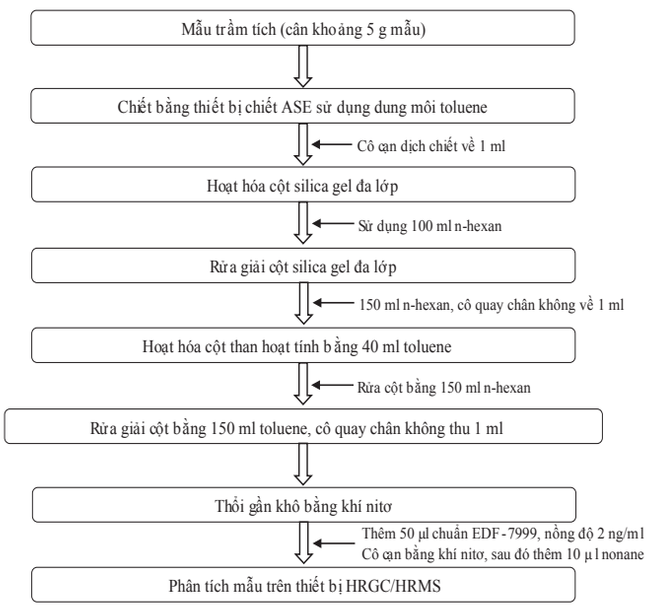
Làm sạch dịch chiết và làm giàu mẫu: Dịch chiết chứa nhiều tạp chất ảnh hưởng đến quá trình phân tích, do đó, dung dịch sau khi chiết được lọc qua cột silica gel đa lớp và cột than hoạt tính để loại bỏ các chất bẩn và các chất không cần phân tích. Sử dụng khí nitơ để loại bỏ dung môi, giảm thể tích mẫu và tăng nồng độ các hợp chất PCDD và PCDF trong dịch chiết. Thêm dung dịch nonane để hòa tan cặn và chuyển mẫu vào insert vial, tiến hành phân tích trên thiết bị sắc ký khối phổ phân giải cao HRGC/HRMS DFS.

2.2.3. Dựng đường chuẩn

Đường chuẩn của các hợp chất PCDD và PCDF được xây dựng từ các bộ dung dịch chất chuẩn CS1, CS2, CS3, CS4 và CS5. Phần mềm Targetquan 3.0 được sử dụng để xây dựng mối liên hệ giữa nồng độ, diện tích sắc đồ của các hợp chất PCDD và PCDF, chất nội chuẩn. Các dung dịch chuẩn có nồng độ từ 0,05 đến 20 ng/ml đối với nhóm Tetra-CDD và Tetra-CDF; 0,25 đến 10 ng/ml với nhóm Penta-D/Fs; Hexa-D/Fs; Hepta-D/Fs và 0,5 đến 200 ng/ml với nhóm Octa-D/Fs được lần lượt phân tích trên thiết bị HRGC/HRMS DFS [10].

2.2.4. Phân tích mẫu thiết bị sắc ký khí ghép nối phổ khối phân giải cao HRGC/HRMS DFS

Dựng đường chuẩn của 17 đồng phân có hệ số độc dioxin/furans bằng cách sử dụng kết quả phân tích các điểm chuẩn MCS1-MCS5 theo phương pháp US EPA 1613b từ Hãng Cambridge Isotope (Mỹ). Các mẫu sau khi chiết và làm sạch được phân tích bằng thiết bị HRGC/HRMS DFS sử dụng cột sắc ký TG-Dioxin có độ dài 60 m, đường kính trong 0,25 mm, độ dày pha tĩnh 0,25 µm, được sử dụng để tách đồng phân, kết hợp với phổ khối phân giải cao (HRMS) có độ phân giải ít nhất là 10.000 và nhiệt độ nguồn là 250°C, nhiệt độ cổng bơm mẫu 290^{o}C, chế độ không chia dòng, khí mang sử dụng helium với tốc độ dòng 1,2 ml/phút, chế độ ion hóa là EI^{+} để phát hiện định tính và định lượng 17 đồng vị 2,3,7,8-PCDD và 2,3,7,8-PCDF được thay thế dioxin bằng phương pháp pha loãng đồng vị (15 đồng vị) và phương pháp nội chuẩn (1,2,3,7,8,9-HxCDD và OCDF) theo phương pháp US EPA 1613b. Tất cả các đồng phân không thay thế 2,3,7,8 được phân tích định lượng bằng đường chuẩn của các đồng phân có cùng số nguyên tử clo được mô tả bằng phương pháp US EPA 1613b và Fishman [11]. Dung dịch đồng vị rửa giải hiệu suất đầu tiên, cuối cùng và cột (Phòng thí nghiệm Isotope Cambridge, Mỹ) của các nhóm có cùng số nguyên tử clo được trộn bên trong và dán nhãn dung dịch chuẩn US EPA 1613B để phân tích trên thiết bị HRGC/HRMS. Tất cả các đồng phân phải có thời gian lưu giữa các đồng phân rửa giải đầu tiên và cuối cùng. Giá trị trung bình của các hệ số đáp ứng của hiệu suất cột đầu tiên và cột cuối cùng được sử dụng cho các đồng vị khác.



Hình 3. Sơ đồ quy trình phân tích các hợp chất polychlorinated dibenzo-p-dioxin và polychlorinated dibenzofuran trên thiết bị HRGC/HRMS [12].

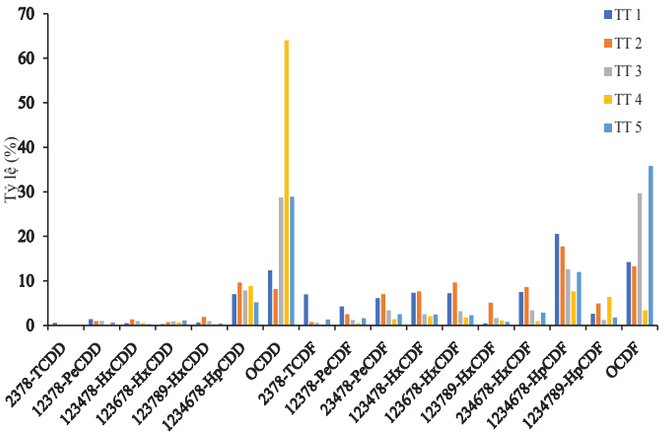
3. Kết quả và bàn luận

Trong quá trình nấu chảy đồng, sự có mặt của tạp chất, xúc tác của kim loại, clo là điều kiện hình thành dioxin/furan. Dioxin/furan được hình thành và phát thải qua khí thải và tro thải, sau đó phát thải ra môi trường, rồi theo không khí, nước và các hiện tượng thời tiết như mưa gió, các dòng chảy, theo các hạt sương lắng đọng xuống bề mặt đất hoặc các lưu vực [13-15]. Trong môi trường nước, dioxin rất ít tan, hấp phụ trên bề mặt các hạt lơ lửng, theo thời gian lắng đọng xuống trầm tích đáy.

Bảng 2. Hàm lượng các hợp chất polychlorinated dibenzo-p-dioxin và polychlorinated dibenzofuran trong mẫu trầm tích thu thập tại làng nghề đúc đồng Đại Bái.

TT	Tên chất - ký hiệu mẫu	TT 1	TT 2	TT 3	TT 4	TT 5	Trung bình
		(ng/kg d.w)					
1	2,3,7,8-TCDD	0,251	0,049	0,011	0,033	0,027	0,074
2	1,2,3,7,8-PeCDD	0,632	0,954	0,083	0,021	0,226	0,383
3	1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,227	1,330	0,079	0,099	0,088	0,365
4	1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,126	0,736	0,078	0,130	0,414	0,297
5	1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,292	1,870	0,079	0,048	0,155	0,488
6	1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	3,130	9,490	0,655	1,680	1,860	3,360
7	OCDD	5,510	8,070	2,400	12,200	10,400	7,716
8	2,3,7,8-TCDF	3,110	0,721	0,052	0,017	0,464	0,872
9	1,2,3,7,8-PeCDF	1,890	2,480	0,103	0,100	0,580	1,030
10	2,3,4,7,8-PeCDF	2,730	6,900	0,281	0,271	0,895	2,220
11	1,2,3,4,7,8-HxCDF	3,280	7,530	0,210	0,391	0,870	2,460
12	1,2,3,6,7,8-HxCDF	3,230	9,490	0,267	0,337	0,826	2,830
13	2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,203	5,020	0,136	0,211	0,279	1,170
14	1,2,3,7,8,9-HxCDF	3,360	8,510	0,280	0,184	1,040	2,670
15	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	9,170	17,500	1,050	1,460	4,290	6,690
16	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	1,160	4,840	0,101	1,220	0,627	1,590
17	OCDF	6,350	13,100	2,480	0,647	12,800	7,090
	Tổng PCDD	10,200	22,500	3,380	14,200	13,100	12,680
	Tổng PCDF	34,500	76,100	4,960	4,830	22,700	28,620
	Tổng Dioxin/Furan	44,700	98,600	8,340	19,000	35,800	41,290
	Tổng TEQ	3,280	6,990	0,319	0,328	1,030	2,390

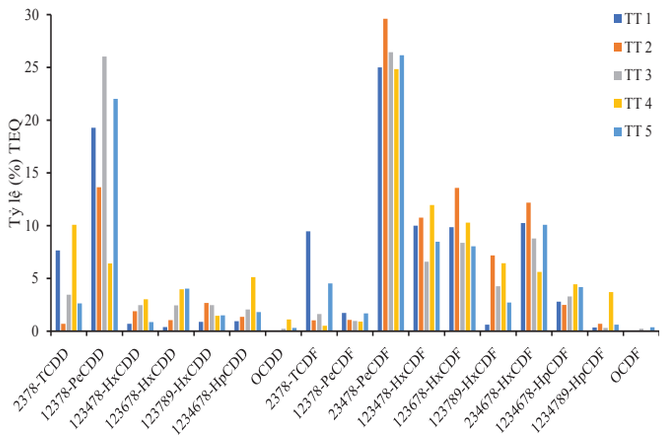
Kết quả phân tích các hợp chất PCDD và PCDF trong mẫu trầm tích tại làng đúc đồng Đại Bái thể hiện trên bảng 2. Nồng độ các hợp chất PCDD và PCDF nằm trong khoảng 8,340-98,600 ng/kg d.w, trung bình 41,290 ng/kg d.w. Mẫu trầm tích TT 2 thu thập trên vị trí giữa kênh dẫn nước giữa làng có hàm lượng các hợp chất PCDD và PCDF cao nhất (98,600 ng/kg d.w). Mẫu TT 3 lấy trên ao số 1 thấp nhất (8,340 ng/kg d.w). Nhìn chung tổng dioxin/furan các nồng độ mẫu trầm tích TT 1; TT 2 và TT 5 được thu thập trên kênh (kết quả lần lượt là 44,700 ng/kg d.w; 98,600 và 35,800 ng/kg d.w) cao hơn mẫu trầm tích TT 3 và TT 4 được thu thập tại ao trong làng (8,340 và 19,000 ng/kg d.w). Đây có thể do nước thải từ hoạt động tái chế và đúc đồng từ các cơ sở sản xuất xả thải trực tiếp ra các con kênh dẫn nước thải, khiến cho phần lớn các hợp chất dioxin/furan được tích tụ tại đây, còn một phần theo dòng nước thu gom về các ao chứa nước thải.



Hình 4. Tỷ lệ phần trăm các hợp chất polychlorinated dibenzo-p-dioxin và polychlorinated dibenzofuran trong mẫu trầm tích thu thập tại làng đúc đồng Đại Bái.

Hình 4 thể hiện thành phần của 17 hợp chất độc của các hợp chất PCDD và PCDF trong mẫu trầm tích thu thập tại làng nghề đúc đồng Đại Bái. Nhìn chung, 3 hợp chất OCDD, OCDF và 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF đóng góp nhiều nhất vào tổng hàm lượng dioxin/furan. Về đóng góp của từng nhóm với tổng số các hợp chất PCDD và PCDF, 4/5 mẫu trầm tích trên kênh và ao số 1 (TT 3) đều có tỷ lệ PCDD thấp hơn tỷ lệ của PCDF (tỷ lệ các hợp chất PCDD và PCDF<1), ngoại trừ mẫu TT 4 lấy tại ao giữa làng có tỷ lệ đóng góp của PCDF thấp hơn PCDD (tỷ lệ PCDD/PCDF=2,9). Tỷ lệ PCDD/PCDF nhỏ hơn 1 là đặc trưng của nguồn dioxin được hình thành từ quá trình đốt, cơ chế De novo là cơ chế hình thành chủ đạo [16-18]. Mẫu trầm tích TT 4 lấy trên ao chứa nước thải có tỷ lệ PCDD/PCDF>1, cùng với tỷ lệ đồng phân OCDD đóng góp vào tổng nồng độ rất cao (64%), đặc điểm này xuất hiện trong thành phần dioxin trong trầm tích có nguồn gốc từ sự lắng đọng từ không khí xuống trầm tích [13, 19, 20].

Giá trị tổng độ độc tương đương (TEQ) của các hợp chất PCDD và PCDF trong các mẫu trầm tích thu thập ở kênh và ao nước thải tại làng nghề đúc đồng Đại Bái dao động trong khoảng từ 0,319 ng TEQ/kg d.w đến 6,990 ng TEQ/kg d.w. Kết quả này thấp hơn nhiều so với tổng hàm lượng dioxin trong các mẫu trầm tích thu thập xung quanh khu vực sân bay Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai (4,010-1.729,780 ng TEQ/kg d.w.) [21], và nằm trong giới hạn cho phép của QCVN 43:2017/BTNMT về chất lượng trầm tích (21,500 ng TEQ/kg d.w) [22].



Hình 5. Tỷ lệ (%) giá trị tổng độ độc tương đương các đồng **vị polychlorinated dibenzo-p-dioxin và polychlorinated dibenzofuran trong các mẫu trầm tích thu thập tại làng nghề đúc đồng Đại Bái.**

Sự đóng góp của các hợp chất dioxin/furan trong tổng hàm lượng độc tương của các hợp chất PCDD và PCDF trong các mẫu trầm tích thu thập tại làng nghề Đại Bái được thể hiện trong hình 5. Trong đó, 2,3,4,7,8-PeCDF và 1,2,3,7,8-PeCDD là 02 hợp chất đóng góp nhiều nhất vào tổng hàm lượng độc tương của dioxin trong mẫu trầm tích (tương ứng 25-29,6% và 6,0-26,0%). Tiếp đến là đóng góp của đồng vị nhóm hexafuran. Các hợp chất thế 7 và 8 nguyên tử clo đóng góp không đáng kể vào TEQ do hệ số độc thấp mặc dù nồng độ khối lớn. Hợp chất độc nhất 2,3,7,8-TCDD đóng góp tỷ lệ nhỏ (0,7-10,0%) vào trong tổng TEQ của dioxin/furan trong các mẫu trầm tích tại đây.

Kết quả nghiên cứu này tương tự với sự đóng góp của các hợp chất 2,3,4,7,8-PeCDF (chiếm 27,0%) trong giá trị TEQ của các hợp chất dioxin/furan phát hiện được trong chất thải của làng nghề tái chế nhôm ở Việt Nam và các quốc gia trên thế giới [13, 23-25]. Điều này cho thấy, hoạt động sản xuất của các làng nghề tái chế kim loại nói chung và làng nghề đúc đồng Đại Bái nói riêng đã làm phát thải vào môi trường các hợp chất dioxin/furan, tiềm ẩn các nguy cơ ảnh hưởng đến môi trường sinh thái và các rủi ro sức khỏe liên quan đến con người. Kết quả nghiên cứu này có thể là căn cứ sơ khai để phát triển các nghiên cứu khác tại các làng nghề tái chế kim loại nói chung và tái chế đồng nói riêng ở các địa điểm, địa phương khác trên cả nước, từ đó có bộ dữ liệu tổng thể về sự phát thải của các hợp chất dioxin/furan ra môi trường. Đây cũng là cơ sở để các cơ quan chức năng ban hành các chế tài giám sát và quản lý hoạt động tái chế, sản xuất của làng nghề tái chế kim loại trên cả nước, nhằm giảm thiểu tác động đến môi trường và các rủi ro liên quan đến sức khỏe con người.

4. Kết luận

Nghiên cứu này bước đầu đã xác định được 17 hợp chất dioxin/furans có trong các mẫu trầm tích thu thập tại làng đúc đồng Đại Bái, Gia Bình, tỉnh Bắc Ninh. Hàm lượng trung bình của các hợp chất dioxin/furans trong các mẫu trầm tích dao động trong khoảng 0,074-7,716 (ng/kg d.w). Các mẫu trầm tích có tổng TEQ từ 0,319 đến 6,990 ng TEQ/kg d.w, nhỏ hơn so với Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về chất lượng trầm tích QCVN 43:2017/BTNMT giới hạn cho phép đối với dioxin trong trầm tích nước ngọt (21,500 ng TEQ/kg d.w). Tuy nhiên, hoạt động sản xuất của làng nghề đúc đồng Đại Bái đã làm phát thải ra môi trường các hợp chất dioxin/furan, tiềm ẩn các nguy cơ ảnh hưởng đến môi trường sinh thái và sức khỏe con người. Việc phát triển, mở rộng quy mô và phạm vi nghiên cứu, đánh giá về mức độ phát thải các hợp chất dioxin/furan từ các làng nghề tái chế kim loại giúp cơ quan chức năng có cơ sở ban hành các chế tài và biện pháp để giám sát, quản lý các làng nghề tái chế trên cả nước một cách hiệu quả, giảm thiểu ô nhiễm môi trường và các rủi ro liên quan đến đời sống con người.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ từ nguồn kinh phí thực hiện của nhiệm vụ khoa học và công nghệ cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam: "Đánh giá nguy cơ ô nhiễm Dioxin phát thải vào môi trường từ một số hoạt động làng nghề truyền thống", mã số TĐDIOX.01/22-24.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] H. Fiedler (1996), "Sources of PCDD/PCDF and impact on the environment", *Chemosphere*, **32(1)**, pp.55-64, DOI: 10.1016/0045-6535(95)00228-6.

[2] H.T. Duong, K. Kadokami, S. Pan, et al. (2014), "Screening and analysis of 940 organic micro-pollutants in river sediments in Vietnam using an automated identification and quantification database system for GC-MS", *Chemosphere*, **107**, pp.462-472, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2014.01.064.

[3] L. Ma, C. Han (2019), "Water quality ecological risk assessment with sedimentological approach", *Water Quality-Science, Assessments and Policy*, pp.1-6, DOI: 10.5772/intechopen.88594.

[4] N. Tateishi, Y. Takagi, S. Oshima, et al. (2013), "The rapid analysis for dioxin derived from agent orange in soil~II analytical method with flow immunosensor", *Organohalogen Compounds*, **75**, pp.347-350.

[5] R. Götz, M. Bergemann, B. Stachel, et al. (2017), "Dioxin in the river Elbe", *Chemosphere*, **183**, pp. 229-241, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2017.05.090.

[6] M. Kishida, K. Imamura, N. Takenaka, et al. (2010), "Characteristics of the abundance of polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofurans, and dioxin-like polychlorinated biphenyls in sediment samples from selected Asian regions in Can Gio, Southern Vietnam and Osaka, Japan", *Chemosphere*, **78(2)**, pp.127-133, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2009.10.003.

[7] N.T. Tuan, H.A. Le, B.D. Linh, et al. (2024), "Unveiling respiratory health risks: PCDD/Fs adhering to particulate matter (PM10 and PM2.5) in Bien Hoa City, Dong Nai, Vietnam", *Environmental Advances*, **17**, DOI: 10.1016/j.envadv.2024.100560.

[8] K.S. Trinh (2024), "Temporal, spatial, and seasonal variations in airborne PCDD/F and dl-PCB concentrations around Bien Hoa hot spot, Vietnam, and health risk assessments", *Chemosphere*, **364**, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.143238.

[9] Ministry of Natural Resources and Environment (2015), *TCVN 6663-13:2015 (ISO 5667-13:2011) - Water Quality - Sampling - Part 13: Guidelines for Sludge Sampling*, https://caselaw.vn/van-ban-phap-luat/249197-tieu-chuan-quoc-gia-tcvn-6663-13-2015-iso-5667-13-2011-ve-chat-luong-nuoc-lay-mau-phan-13-huong-dan-lay-mau-bun-nam-2015, accessed 13 June 2025 (in Vietnamese).

[10] Association of Official Analytical Chemists International (2012), *Guidelines for Standard Method Performance Requirements, AOAC,* https://www.aoac.org/wp-content/uploads/2019/08/app_f.pdf, accessed 13 June 2025.

[11] United States Environmental Protection Agency (2024), *Exposure and Human Health Reassessment of 2,3,7,8-Tetrachlorodibenzo-P-Dioxin (TCDD) and Related Compounds: National Academy Sciences (External Review Draft)*, https://cfpub.epa.gov/ncea/dioxin/recordisplay.cfm?deid=55265, accessed 13 June 2025.

[12] H.X. Nguyen, X.T. Nguyen, H.T.H. Mai, et al. (2024), "A comprehensive evaluation of dioxins and furans occurrence in river sediments from a secondary steel recycling craft village in Northern Vietnam", *Molecules*, **29**, DOI: 10.3390/molecules29081788.

[13] M. Khairy, K. Mohammed, R. Lohmann (2016), "Changing sources of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and furans in sediments and ecological risk for nekton in the lower Passaic River and Newark Bay, New Jersey, USA", *Environmental Toxicology and Chemistry*, **35(3)**, pp.550-562, DOI: 10.1002/etc.3223.

[14] M.M. Trinh, M.B. Chang (2018a), "Review on occurrence and behavior of PCDD/Fs and dl-PCBs in atmosphere of East Asia", *Atmospheric Environment*, **180**, pp.23-36, DOI: 10.1016/j.atmosenv.2018.02.037.

[15] M.M. Trinh, C.L. Tsai, T.T. Hien, et al. (2018b), "Atmospheric concentrations and gas-particle partitioning of PCDD/Fs and dioxin-like PCBs around Hochiminh City", *Chemosphere*, **202**, pp.246-254, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2018.03.087.

[16] E.R. Altwicker (1996), "Relative rates of formation of polychlorinated dioxins and furans from precursor and de novo reactions", *Chemosphere*, **33(10)**, pp.1897-1904, DOI: 10.1016/0045-6535(96)00312-8.

[17] A. Buekens, L. Stieglitz, K. Hell, et al. (2001), "Dioxins from thermal and metallurgical processes: Recent studies for the iron and steel industry", *Chemosphere*, **42(5-7)**, pp.729-735, DOI: 10.1016/S0045-6535(00)00247-2.

[18] J. Wei, H. Li, J. Liu, et al. (2022), "National and provincial dioxin emissions from municipal solid waste incineration in China", *Science of The Total Environment*, **851**, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.158128.

[19] O. Correa, L. Raun, H. Rifai, et al. (2006), "Depositional flux of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans in an urban setting", *Chemosphere*, **64(9)**, pp.1550-1561, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.11.020.

[20] R. Lohmann, K.C. Jones (1998), "Dioxins and furans in air and deposition: A review of levels, behaviour and processes", *Science of The Total Environment*, **219(1)**, pp.53-81, DOI: 10.1016/s0048-9697(98)00237-x.

[21] United States Agency for International Development (2016), *Environmental Assessment Report on Dioxin Pollution at Bien Hoa Airport* (in Vietnamese).

[22] Ministry of Natural Resources and Environment (2017), *QCVN 43:2017/BTNMT - National Technical Regulation on Sediment Quality*, http://moitruong.vioit.org.vn/PublicFile/2021/10/18/QCVN%2043-2017-BTNMT.pdf, accessed 13 June 2025 (in Vietnamese).

[23] K. Wang, H. Tian, S. Hua, et al. (2016), "A comprehensive emission inventory of multiple air pollutants from iron and steel industry in China: Temporal trends and spatial variation characteristics", *Science of the Total Environment*, **559**, pp.7-14, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.03.125.

[24] W.S. Hinton, A.M. Lane (1991), "Characteristics of municipal solid waste incinerator fly ash promoting the formation of polychlorinated dioxins", *Chemosphere*, **22(5-6)**, pp.473-483, DOI: 10.1016/0045-6535(91)90059-M.

[25] M. Zhan, S.X. Xu, P.T. Cai, et al. (2019), "Parameters affecting the formation mechanisms of dioxins in the steel manufacture process", *Chemosphere*, **222**, pp.250-257, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2019.01.126.

Nghiên cứu đặc tính ống ghép mạch máu hỗ trợ tế bào nội mô bám dính trong điều kiện nuôi cấy dòng chảy

Lâm Minh Hoàng[1], Trương Thanh Vân[1, 2], Nguyễn Thuần Nho[2], Lê Việt Hoàng[1], Bùi Quốc Thắng[3], Trần Lê Bảo Hà[1, 2, 3], Nguyễn Thị Ngọc Mỹ[2, 3*]

[1]Phòng Thí nghiệm Kỹ nghệ mô và Vật liệu Y sinh, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, khu Đô thị Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, phường Đông Hòa, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam
[2]Bộ môn Sinh lý học và Công nghệ Sinh học Động vật, Khoa Sinh học - Công nghệ Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 227 Nguyễn Văn Cừ, phường Chợ Quán, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam
[3]Bệnh viện Chợ Rẫy, 201B Nguyễn Chí Thanh, phường Chợ Lớn, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 18/7/2025; ngày chuyển phản biện 22/7/2025; ngày nhận phản biện 25/8/2025; ngày chấp nhận đăng 28/8/2025

Tóm tắt:

Tế bào nội mô tạo lớp lót chống đông máu và ổn định sinh lý mạch máu. Do đó, việc nuôi cấy và khảo sát tương tác giữa ống ghép mạch máu với tế bào nội mô cung cấp thông tin về tiềm năng ứng dụng trong cấy ghép mạch máu. Trong nghiên cứu này, hệ thống bioreactor được thiết lập nhằm tạo điều kiện nuôi cấy dòng chảy. Hệ thống được điều chỉnh về tốc độ phù hợp để duy trì trạng thái dòng kín và vô trùng. Ở điều kiện dòng chảy mô phỏng, tế bào nội mô được lưu chuyển theo dòng chảy vận hành bằng bioreactor và theo dõi khả năng sống và bám dính trên bề mặt ống ghép. Ống ghép mạch máu thể hiện khả năng hỗ trợ tế bào nội mô bám dính. Trong nuôi cấy dòng chảy, hình ảnh nhuộm calcein thể hiện tế bào nội mô bám dính sau 72 giờ khảo sát. Ống ghép mạch máu đã được chứng minh hỗ trợ sự bám dính của các tế bào nội mô trong nuôi cấy *in vitro*. Hệ thống nuôi cấy dòng chảy phù hợp cho nghiên cứu tái lập lớp nội mô tế bào, qua đó giúp dự đoán hiệu ứng tương tự sau cấy ghép ống mạch máu *in vivo*.

Từ khóa: **bioreactor, khung nền ngoại bào, nuôi cấy dòng chảy, ống ghép mạch máu, tế bào nội mô.**

Chỉ số phân loại: **1.6, 2.6, 3.2**

Study on vascular grafts characteristics supporting endothelial cell attachment under flow culture conditions

Minh Hoang Lam[1], Thanh Van Truong[1, 2], Thuan Nho Nguyen[2], Viet Hoang Le[1], Quoc Thang Bui[3], Le Bao Ha Tran[1, 2, 3], Thi Ngoc My Nguyen[2, 3*]

[1]Laboratory of Tissue Engineering and Biomedical Materials, University of Science, VNU-HCM, Ho Chi Minh City National University Urban Area, Dong Da Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam
[2]Department of Physiology and Animal Biotechnology, Faculty of Biology and Biotechnology, University of Science, VNU-HCM, 227 Nguyen Van Cu Street, Cho Quan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam
[3]Cho Ray Hospital, 201B Nguyen Chi Thanh Street, Cho Quan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 18 July 2025; revised 25 August 2025; accepted 28 August 2025

Abstract:

Endothelial cells form the innermost vascular layer, regulating blood coagulation and vascular physiology. Therefore, culturing and investigating the interaction of vascular grafts and endothelial cells provide insight into their potential applications in vascular transplantation. In this study, a bioreactor system was established to enable flow culture conditions. The flow rate was appropriately adjusted to maintain a closed and sterile culture environment. Under simulated flow conditions, endothelial cells were circulated using a bioreactor, and cell viability and attachment were evaluated on the graft surface. The vascular grafts showcased the ability to support endothelial cell attachment. Under flow culture conditions, the calcein staining images also addressed endothelial cell adhesion on vascular grafts after 72-hour culture. The vascular grafts were also demonstrated to support the adhesion of endothelial cells in *in vitro* culture. The flow culture system is suitable for cellular studies, thereby enabling prediction of potential endothelialisation effects following vascular graft implantation *in vivo*.

Keywords: **bioreactor, endothelial cells, extracellular matrix, flow culture, vascular graft.**

Classification numbers: **1.6, 2.6, 3.2**

[*]Tác giả liên hệ: Email: ntnmy@hcmus.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Sự phát triển công nghệ vật liệu y sinh cung cấp hướng tiếp cận mới trong sử dụng các nguyên liệu mô động vật tạo ra các sản phẩm cấy ghép. Các ống mạch máu từ lợn và bò được nghiên cứu loại bỏ các yếu tố gây đáp ứng miễn dịch và giữ lại khung nền ngoại bào phù hợp cấy ghép. Thành phần khung nền ngoại bào từ protein collagen, elastin, laminin và các glucosaminoglycan thể hiện đặc tính định hướng cho sự bám dính, di cư, tăng sinh và biệt hóa của tế bào, từ đó được sáp nhập và phát triển cùng với mô chủ [1, 2]. Vì vậy, vật liệu có nguồn gốc khung nền ngoại bào có tiềm năng ứng dụng lâm sàng nói chung và trong lĩnh vực cấy ghép mạch máu nói riêng.

Các nghiên cứu về cấu trúc thay thế cho mạch máu đã và đang được triển khai, đặc biệt trên đối tượng ống mạch máu có đường kính nhỏ (đường kính <6 mm) do nguy cơ hình thành huyết khối cao. Với ống mạch máu có bản chất từ khung ngoại bào, tỷ lệ huyết khối lòng mạch được ghi nhận cao đáng kể (33,3%) so với mạch máu tự thân 12,5% [3]. Nhằm khắc phục tình trạng này, hướng chế tạo ống ghép mạch máu có biến đổi bề mặt chống đông máu được tiếp cận. Heparin là hoạt chất chống đông máu được sử dụng phổ biến trong cố định lên bề mặt ống ghép mạch máu, nhờ tác dụng giảm sự hấp thụ protein huyết tương, nguy cơ tiểu cầu bám dính và hoạt hóa trên bề mặt vật liệu. Xu hướng thải heparin cũng được ghi nhận, nhờ đó cho phép tạo vi môi trường chống đông máu cho ống ghép mạch máu [4, 5]. Tuy nhiên, xu hướng này cho thấy khả năng tạo vi môi trường chống đông máu chỉ được duy trì trong khoảng thời gian giới hạn và rủi ro huyết khối lòng mạch vẫn tồn tại.

Về mặt cấu trúc, mạch máu trong cơ thể được lót bởi một lớp tế bào nội mô (endothelial cell) tương tác trực tiếp với dòng máu. Các tế bào nội mô tiết ra các chất: nitric oxide, heparin, plasmin… có vai trò điều hòa quá trình đông máu và phân hủy fibrin, ổn định tính thấm thành mạch và vận mạch. Nghiên cứu tạo ống ghép từ mô mạch máu, kết quả tương tác tế bào đã chỉ ra sự bám dính của tế bào nội mô có liên quan đến khả năng chống đông máu trong lòng ống ghép [6-8]. Điển hình là kết quả ghép động mạch cảnh vô bào từ lợn được tái lập tế bào nội mô tự thân đạt chỉ số thông mạch 71% sau 60 ngày. Kết quả thử nghiệm lâm sàng trên 12 bệnh nhân, tĩnh mạch vô bào đồng loài được tái lập tế bào nội mô tự thân đã cho kết quả khoảng 80% tình trạng thông mạch sau 6 tháng ghép [8]. Đặt trong bối cảnh ống ghép mạch máu có cố định heparin, sau một giai đoạn thải cụ thể, bề mặt ống ghép mạch máu hỗ trợ sự bám dính của tế bào nội mô có thể cho phép dự đoán khả năng hình thành lại lớp lót nội mô và đóng góp vào việc duy trì đặc tính kháng đông máu trong giai đoạn sau. Do đó, các khảo sát nhằm đánh giá đặc tính nội mô hóa được xem là cần thiết để dự đoán khả năng tồn tại và đặc tính tương hợp máu lâu dài của ống ghép mạch máu dị loài.

Trong điều kiện *in vitro*, đặc tính hỗ trợ tế bào bám dính có thể được thực hiện và đánh giá bằng cách cấy trực tiếp tế bào lên bề mặt vật liệu. Phức hợp tế bào - mẫu vật liệu được nuôi cấy trong điều kiện tĩnh, sau đó ghi nhận sự hiện diện của tế bào trên mẫu [9]. Thực tế, trong điều kiện sinh lý, tế bào nội mô trực tiếp chịu tác động của dòng máu, thích nghi và duy trì trên lòng mạch [10]. Do đó, để phản ánh phù hợp về đặc tính bám dính của tế bào nội mô trên bề mặt vật liệu *in vitro*, điều kiện nuôi cấy với dòng chảy mô phỏng cần thiết được tiếp cận. Trong đó, môi trường nuôi cấy tế bào được luân chuyển liên tục với áp lực, tốc độ dòng và lưu lượng dòng được điều chỉnh thông qua hệ thống phản ứng sinh học (còn gọi là hệ thống bioreactor). Các hệ thống bioreactor (Tisxell, Singapore; myControl, Hà Lan; LumeGen, Ấn Độ; Aptus Bioreactors, Hoa Kỳ) cho phép điều chỉnh điều kiện nuôi cấy về nhiệt độ và hàm lượng CO_2, có thể tăng thể tích nuôi, số lượng vật liệu thao tác và kéo dài thời gian theo dõi [11, 12]. Hệ thống bioreactor dạng dòng chảy với cấu phần gồm bơm và hệ ống dẫn giúp tạo điều kiện thuận lợi trong đánh giá các vật liệu dạng ống, trong trường hợp này là ống mạch máu nhân tạo.

Trong bối cảnh Việt Nam, ống ghép mạch máu được chế tạo thành công bằng công nghệ khử tế bào động mạch cảnh của lợn [13]. Ống ghép mạch máu được chứng minh đạt được tiêu chuẩn vô bào và độ bền cơ tính phù hợp cho cấy ghép. Trong nghiên cứu này, đặc tính hỗ trợ tế bào nội mô bám dính được tiếp tục khảo sát, nhằm hướng tới tạo ra nguồn ống ghép mạch máu cung cấp cho liệu pháp điều trị tái tạo.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Ống ghép mạch máu (gọi tắt là OGMM) được chế tạo theo quy trình đã công bố của nhóm nghiên cứu [13] với những thay đổi nhỏ cho phù hợp với điều kiện thí nghiệm. Trong đó, mẫu được gia cường và cố định heparin với hàm lượng 5 mg/ml. Thử nghiệm ban đầu đã ghi nhận được khả năng chống đông máu cùng với đặc tính thải heparin của mẫu OGMM. Sau 28 ngày khảo sát ở điều kiện ủ sinh lý, phần lớn hàm lượng heparin đã được giải phóng. Ở giai đoạn này, việc xác định đặc tính tương tác tế bào nội mô có ý nghĩa về khả năng tương hợp máu lâu dài của mẫu OGMM.

Dòng tế bào nội mô từ tĩnh mạch dây rốn người (HUVEC) gọi tắt là tế bào nội mô được mua từ Ngân hàng Chủng chuẩn Hoa Kỳ (ATCC, PCS-100-010, Hoa Kỳ). Hệ thống bioreactor (3D Biotek, Hoa Kỳ) bao gồm các bộ phận chính: (1) Bình chứa môi trường nuôi cấy, (2) Bình trao đổi khí, (3) Hệ dây dẫn truyền dịch, (4) Bơm nhu động.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

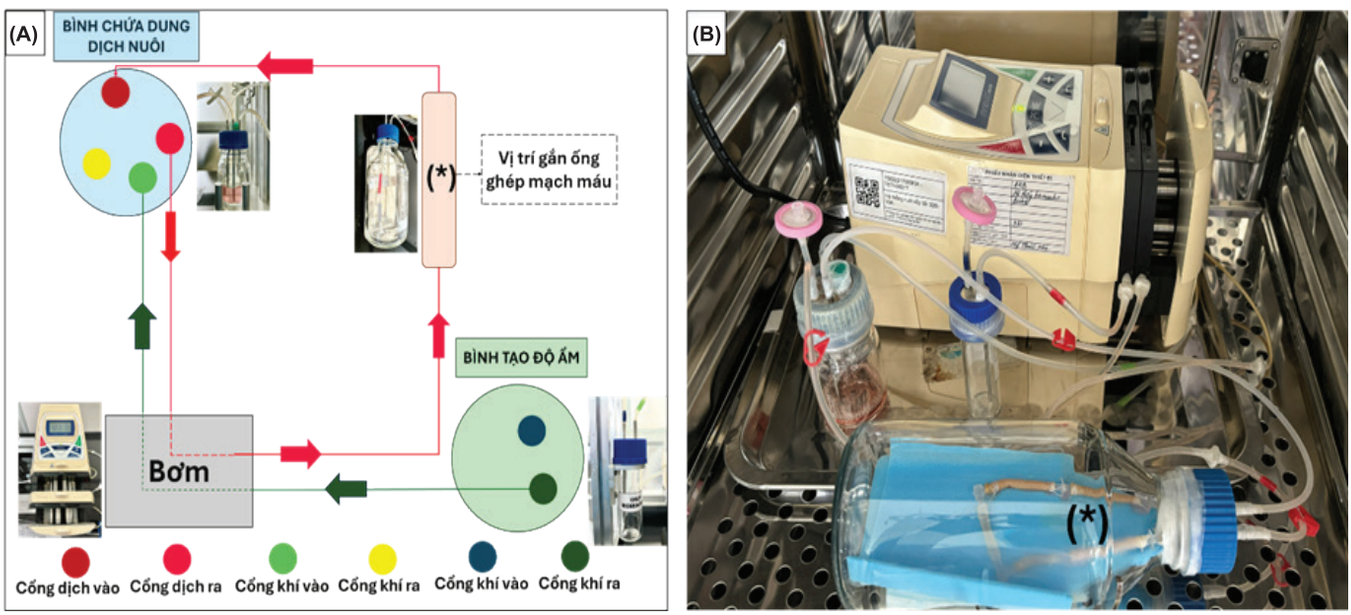
Phương pháp thiết lập hệ thống bioreactor: Hệ thống bioreactor được lắp ráp theo sơ đồ từ Hãng sản xuất 3D Biotek - Hoa Kỳ (hình 1A). Trong đó, một phân đoạn dây dẫn được thiết kế mang buồng chứa mẫu OGMM nhằm vận hành trong điều kiện vô trùng (hình 1B, ký hiệu *). Hệ thống được vận hành với tốc độ dòng chảy 10-500 µl/phút và được đánh giá khả năng duy trì truyền dịch kín. Sau thời gian vận hành, dịch truyền trong hệ thống được thu nhận và xác định độ đục ở bước sóng 600 nm. Mẫu dịch truyền được cấy trải và ủ trên môi trường thạch vi sinh, ở 37°C trong 48 giờ, nhằm xác định tính vô trùng của hệ thống.

Phương pháp đánh giá ảnh hưởng của mẫu OGMM đến khả năng sống của tế bào nội mô: Tế bào nội mô được cấy vào các đĩa nuôi (đường kính 35 mm, với $5x10^4$ tế bào/đĩa) (Nunc, Hoa Kỳ) và nuôi cấy ổn định ở 37^0C, 5% CO_2 trong 24 giờ. Mẫu OGMM (tỷ lệ kích thước 1/10 diện tích đĩa nuôi) được đặt lên trên bề mặt lớp tế bào nội mô và duy trì trong 24 giờ. Khả năng sống của tế bào nội mô được đánh giá thông qua hình thái tế bào được nhuộm Crystal Violet (Sigma Aldrich, Hoa Kỳ) xung quanh mẫu OGMM.

Phương pháp cấy tĩnh và xác định sự bám dính tế bào nội mô trên mẫu OGMM: Mẫu OGMM được cắt mở lòng ống và điều chỉnh kích thước (dạng tròn với đường kính 8 mm) để cố định lên bề mặt giếng của đĩa nuôi 96 giếng. Theo đó, tế bào được định hướng tiếp xúc trực tiếp với bề mặt trong của mẫu OGMM, mô phỏng cấu trúc tự nhiên của lớp trong lòng mạch máu. Tế bào nội mô (mật độ $2×10^5$ tế bào/ml) được cấy vào đĩa 96 giếng chứa mẫu OGMM và nuôi ổn định trong 24 giờ tiếp theo. Sự bám dính của tế bào trên mẫu OGMM được xác định bằng thử nghiệm Calcein và nhuộm mô học Hematoxyline và Eosin (nhuộm H&E). Trong đó, thuốc thử Calcein (Thermo Scientific, Hoa Kỳ) được bổ sung vào các giếng khảo sát và ủ trong 45 phút.

Mẫu được thu nhận, rửa bằng dung dịch PBS1X và quan sát dưới kính hiển vi huỳnh quang (Olympus, Nhật Bản) để phát hiện sự hiện diện của các tế bào bám dính. Ngoài ra, sau khi được cấy tế bào, mẫu OGMM được thu nhận và cố định trong dung dịch 10% Formalin và nhuộm H&E để quan sát hình thái dưới kính hiển vi quang học (Olympus, Nhật Bản).

Phương pháp nuôi cấy dòng chảy và đánh giá khả năng sống của tế bào nội mô trong hệ thống bioreactor: Để xác định khả năng sống của tế bào nội mô trong điều kiện nuôi cấy dòng chảy, tế bào nội mô được chuẩn bị dưới dạng dung dịch huyền phù với mật độ $2x10^4$ tế bào/ml



Hình 1. Sơ đồ hệ thống bioreactor. (A) Sơ đồ thiết kế vận hành hệ thống bioreactor; **(B)** Hệ thống bioreactor kết hợp buồng nuôi OGMM. Ký hiệu (*) chỉ vị trí buồng mang mẫu OGMM.

để nạp vào hệ thống bioreactor. Trong quá trình vận hành hệ thống bioreactor, 100 ml mẫu dịch nuôi chứa tế bào được thu nhận sau mỗi 24 giờ. Mật độ tế bào sống được xác định bằng kỹ thuật nhuộm Trypan Blue (Sigma Aldrich, Hoa Kỳ) và đếm bằng buồng đếm tế bào.

Khảo sát sự bám của tế bào nội mô trên mẫu OGMM trong điều kiện nuôi cấy dòng chảy: Để khảo sát sự bám dính của tế bào nội mô trong điều kiện nuôi cấy dòng chảy, hệ thống bioreactor mang buồng chứa mẫu OGMM được thiết lập (hình 1B, ký hiệu *). Tại thời điểm bắt đầu, dung dịch huyền phù (mật độ $2x10^4$ tế bào/ml) được nạp bình chứa môi trường. Bơm nhu động được khởi động để truyền dung dịch huyền phù tế bào luân chuyển trong hệ thống, qua đó tương tác với bề mặt mẫu OGMM. Hệ thống bioreactor được duy trì vận hành ở điều kiện 37°C, 5% CO_2. Sự bám dính của tế bào trên mẫu OGMM được xác định bằng thử nghiệm Calcein và quan sát dưới kính hiển vi huỳnh quang (Olympus, Nhật Bản).

Phương pháp xử lý số liệu: Các đánh giá được thực hiện với độ lặp lại 3 lần. Đồ thị được thể hiện ở dạng trung bình ± độ lệch chuẩn và phân tích thống kê bằng phần mềm Prism 6 (GraphPad Software, Hoa Kỳ). Khác biệt so sánh có ý nghĩa thống kê khi giá trị p<0,05.

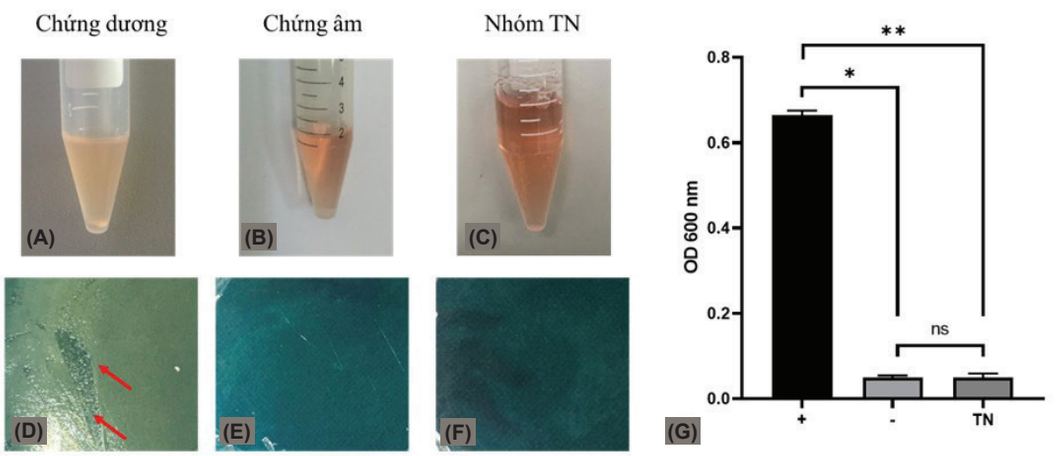
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Vận hành hệ thống bioreactor nuôi cấy dòng chảy kín và vô trùng

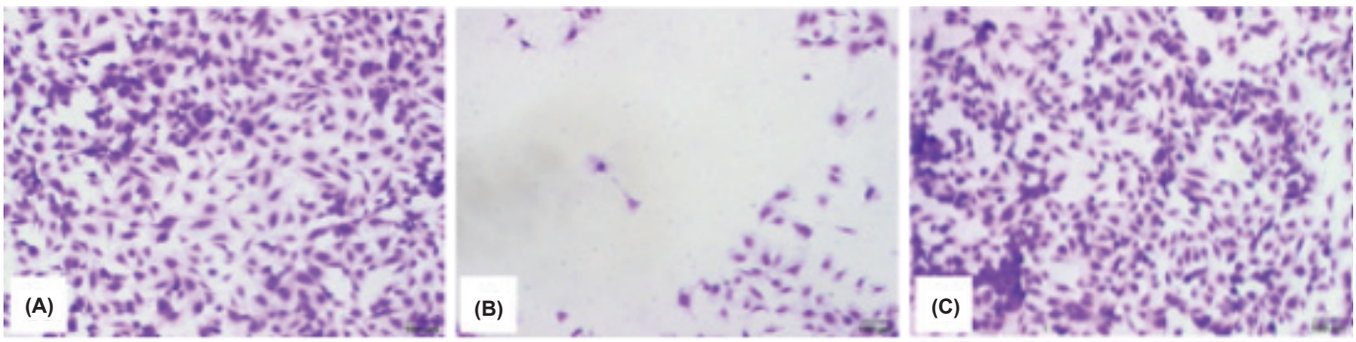
Nhằm khảo sát ảnh hưởng của dòng chảy mô phỏng sinh lý đến đặc tính bám dính của tế bào nội mô trên mẫu ống ghép mạch máu, hệ thống bioreactor được sử dụng. Trong đó, ống ghép mạch máu cần được tích hợp vào đường dẫn dung dịch nuôi cấy, đặt ra yêu cầu về thiết lập mới về buồng chứa mẫu, hệ dây dẫn và điều kiện vận hành vô trùng. Thông số tốc độ dòng chảy mô phỏng sinh lý cũng cần được tối ưu trên hệ thống này. Theo đó, hệ thống bioreactor mang ống ghép mạch máu được thiết lập và đánh giá về tốc độ dòng chảy và tình trạng vô trùng trong thời gian vận hành. Sau khi thiết lập hệ thống bioreactor (hình 1A), bơm nhu động được điều chỉnh với 10, 100, 150, 200, 250, 500 µl/phút để xác định tốc độ phù hợp cho vận hành hệ thống kín.

Quan sát tại vị trí liên kết dây - bơm nhu động - các bình chứa, các mức tốc độ 10-500 µl/phút đã duy trì được hệ thống ở trạng thái khép kín, không gặp phải tình trạng xê dịch dây truyền và rò rỉ dịch nuôi cấy. Sau 7 ngày vận hành, dịch nuôi cấy được thu nhận và xác định tình trạng vô trùng. So sánh với đối chứng dương (hình 2A, 2D) có nhiễm khuẩn, mẫu dịch nuôi của hệ thống bioreactor (hình 2C, 2F, ký hiệu nhóm TN) tương đồng với mẫu đối chứng âm (hình 2B, 2E, không nhiễm khuẩn) và với chỉ số độ đục tại OD600 nm không có sự khác biệt thống kê (hình 2G, ký hiệu ns so sánh giữa (-) và TN). Theo đó, các tốc độ dòng chảy trong khoảng 10-500 µl/phút có thể được xem xét vận hành và đảm bảo được hệ thống truyền dịch kín và vô trùng cho khảo sát nuôi dòng chảy cho mẫu OGMM.

Trong giai đoạn đầu khảo sát đặc tính bám dính tế bào, tốc độ dòng chảy cần được lựa chọn phù hợp nhằm duy trì được sự sống của tế bào và tạo điều kiện cho dòng



Hình 2. Kết quả đánh giá độ vô trùng của hệ thống bioreactor. (A, D) Mẫu chứng dương: môi trường nhiễm vi khuẩn; **(B, E)** Mẫu chứng âm: môi trường nuôi cấy vô trùng; **(C, F)** Nhóm thí nghiệm: môi trường thử nghiệm được thu từ hệ thống bioreactor sau khi vận hành 7 ngày; **(G)** Biểu đồ so sánh sự khác biệt về chỉ số OD đo độ đục của mẫu môi trường ở bước sóng 600 nm (OD600) (+: mẫu chứng dương, -: mẫu chứng âm, TN: mẫu thí nghiệm). *: p<0,05; **: p<0,01 sự khác biệt có ý nghĩa thống kê; ns: sự khác biệt không mang ý nghĩa thống kê.



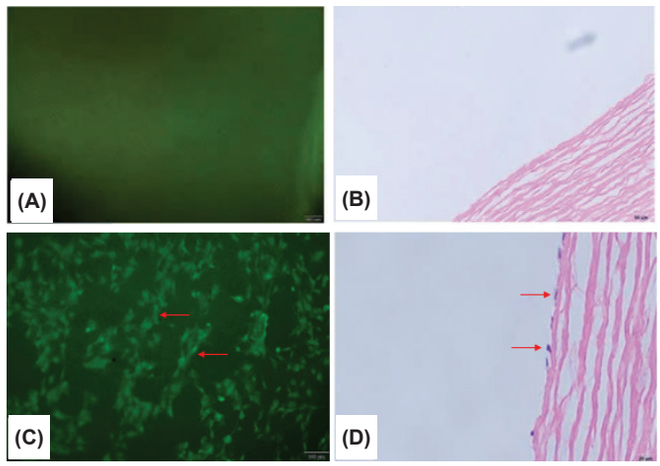
Hình 3. Hình thái tế bào sau khi tiếp xúc với mẫu vật liệu và được nhuộm Crystal violet. (A) Môi trường nuôi tế bào; **(B)** Màng cao su Latex; **(C)** Mẫu OGMM. Độ phóng đại 100 lần.

huyền phù tế bào tiếp xúc với bề mặt giá thể OGMM. Trong đó, nghiên cứu của N. Ucciferri và cs (2013) [14] đã chỉ ra các tốc độ 0, 80, 100, 250 µl/phút hạn chế ảnh hưởng đến khả năng sống của HUVECs duy trì bên trong hệ thống dòng chảy. J. Schmid và cs (2018) [15] đã ghi nhận ở tốc độ dòng chảy 10-250 µl/phút, hệ thống bioreactor tạo ra dòng chảy phân bố đồng đều xuyên suốt giá thể, giúp đảm bảo cung cấp oxy và dưỡng chất hiệu quả cho toàn bộ thể tích giá thể. Theo đó, tốc độ 150 µl/phút được lựa chọn cho khảo sát nuôi cấy dòng chảy tế bào HUVEC và xem xét khả năng bám dính của HUVEC lên bề mặt lòng ống của giá thể OGMM.

3.2. Mẫu ống ghép mạch máu an toàn và hỗ trợ sự bám dính của tế bào nội mô

Trong mô hình thử nghiệm mẫu vật liệu tiếp xúc trực tiếp tế bào, môi trường nuôi cấy (hình 3A) và mẫu vật liệu gây độc tế bào - mẫu cao su Latex (hình 3B) được sử dụng tương ứng làm đối chứng âm và đối chứng dương. Tế bào nội mô duy trì hình dạng bám trải đặc trưng ở nhóm đối chứng âm. Trong điều kiện tiếp xúc đối chứng dương, hình thái tế bào được ghi nhận biến dạng và bong tách khỏi bề mặt đĩa nuôi. Đối với nhóm tế bào được đặt mẫu OGMM (hình 3C) có mật độ và hình thái tế bào ở tương đương nhóm đối chứng âm, chỉ ra tính an toàn *in vitro* của mẫu OGMM đối với tế bào nội mô.

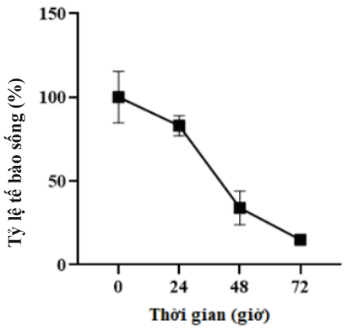
Tế bào nội mô được cấy lên trên bề mặt mẫu OGMM và nuôi cấy ở điều kiện tĩnh. Sau 24 giờ, sự bám dính của tế bào nội mô được phát hiện thông qua tín hiệu tế bào phát huỳnh quang màu xanh lá (hình 4C, ký hiệu mũi tên). Tín hiệu huỳnh quang cũng thể hiện tình trạng sống của tế bào, do khả năng chuyển hóa nội bào đối với thuốc thử Calcein. Ngoài ra, sự hiện diện của tế bào nội mô trên bề mặt mẫu OGMM cũng được phát hiện bằng nhuộm mô học H&E (hình 4D, ký hiệu mũi tên), với vùng nhân tế bào gồ về phía lòng mạch và bắt màu xanh tím. Tại điều kiện nuôi cấy tĩnh, các hình ảnh kết quả giúp xác định về đặc tính hỗ trợ tế bào nội mô bám dính của mẫu OGMM.



Hình 4. Tế bào nội mô bám trên bề mặt mẫu OGMM điều kiện nuôi cấy tĩnh. (A) Nhuộm Calcein - Mẫu trống; **(B)** Nhuộm H&E - Mẫu trống; **(C)** Nhuộm Calcein - Mẫu được cấy tế bào nội mô; **(D)** Nhuộm H&E - Mẫu được cấy tế bào nội mô. Mũi tên đỏ chỉ các tế bào nội mô. **(A, C)**: Độ phóng đại 100 lần; **(B, D)**: Độ phóng đại 200 lần.

3.3. Khả năng sống của tế bào nội mô trong điều kiện nuôi cấy bằng hệ thống bioreactor

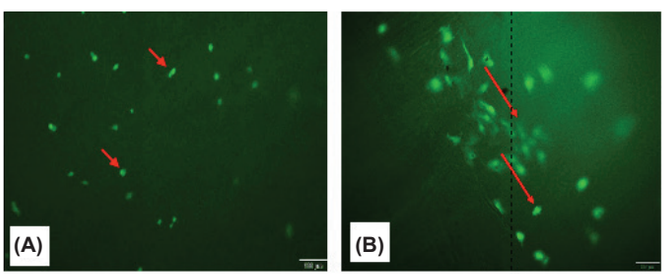
Sau khoảng 24 giờ vận hành bioreactor với tốc độ 150 µl/phút, tỷ lệ tế bào sống được ghi nhận khoảng 80%. Ở mốc thời gian 48 và 72 giờ sau vận hành, tỷ lệ tế bào sống có sự giảm đáng kể, với lần lượt xấp xỉ 20 và 10% so với thời điểm nuôi cấy ban đầu (hình 5). Số liệu này cho thấy khả năng sống tế bào nội mô giới hạn trong khoảng 24 giờ khi nuôi cấy dạng huyền phù trong dòng chảy. Theo đó, thử nghiệm liên quan đến đánh giá tương tác nội mô và mẫu OGMM bằng dòng chảy động cần xem xét tiến hành trong khoảng thời gian trong vòng 24 giờ kể từ khi nạp dịch huyền phù tế bào.



Hình 5. Biểu đồ biểu diễn tỷ lệ sống của dịch tế bào nội mô trong điều kiện nuôi cấy dòng chảy.

3.4. Khảo sát sự bám dính của tế bào nội mô trên mẫu OGMM trong điều kiện nuôi cấy dòng chảy

Mẫu OGMM được đặt trong buồng chứa (hình 1B, ký hiệu *). Hệ thống bioreactor được vận hành với dòng huyền phù tế bào nội mô trong vòng 24 giờ ở nhiệt độ 37°C và 5% CO_2. Bằng thử nghiệm với calcein, tế bào nội mô được phát hiện trên mẫu OGMM (hình 6A, ký hiệu mũi tên) với mật độ thưa thớt. Để gia tăng thời gian vận hành và đảm bảo tỷ lệ sống cao cho tế bào nội mô trong dịch nuôi, huyền phù tế bào nội mô được thay mới vào hệ thống và tiếp tục duy trì nuôi cấy dòng chảy.



Hình 6. Tế bào bám dính trên bề mặt OGMM trong điều kiện nuôi cấy dòng chảy. (A) Sau 24 giờ nuôi cấy dòng chảy; **(B)** Sau 72 giờ nuôi cấy dòng chảy. Độ phóng đại 200 lần.

Sau 72 giờ, mẫu OGMM được thu nhận cho thử nghiệm calcein. Quan sát dưới kính hiển vi huỳnh quang cũng ghi nhận được sự hiện diện của các tế bào nội mô trên mẫu OGMM (hình 6B, ký hiệu mũi tên). Tế bào bám với dạng vươn dài hoặc đa giác, với mật độ gia tăng và có xu hướng phân bố theo dòng dịch truyền, giúp dự đoán hình thái thích nghi dưới tác động của dòng dung dịch nuôi cấy.

Trong điều kiện dòng chảy mô phỏng *in vitro*, quá trình tương tác với bề mặt vật liệu giúp tế bào dần hình thành và ổn định các liên kết, từ đó duy trì trạng thái bám trải của tế bào theo thời gian [10, 16, 17]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, bằng cách áp dụng nuôi cấy dòng chảy với vận tốc 150 µl/phút đã xác định được đặc tính hỗ trợ tế bào nội mô bám dính của mẫu OGMM. Kết quả này có sự tương đồng với nghiên cứu của S. Rizzi và cs (2022) [18], trong đó nhóm tác giả khảo sát ống mạch nhân tạo từ fibroin tơ tằm, kết hợp tế bào nội mô bằng phương pháp nuôi cấy động trong 72 giờ. Tế bào nội mô thể hiện dạng bám trải đặc trưng và sản xuất laminin. Như vậy, kết quả *in vitro* của nghiên cứu đã xác định được mẫu OGMM đã hỗ trợ tế bào nội mô bám dính ở cả điều kiện nuôi cấy tĩnh và dưới tác động dòng chảy động. Nghiên cứu có ý nghĩa dự đoán quá trình tái lập lớp nội mô chức năng và đảm bảo tính tương hợp máu *in vivo* của ống ghép mạch máu chế tạo.

4. Kết luận

Hệ thống phản ứng sinh học đã thể hiện khả năng vận hành khép kín và đảm bảo độ vô trùng phù hợp cho nghiên cứu ống ghép mạch máu ở điều kiện nuôi cấy dòng chảy. Trong mô phỏng gắn - thải heparin, ống ghép mạch máu chế tạo từ động mạch cảnh lợn đã thể hiện đặc tính hỗ trợ tế bào nội mô bám dính, cụ thể trong điều kiện nuôi cấy dòng chảy 24-72 giờ. Các kết quả *in vitro* về bám dính của tế bào nội mô trên ống ghép mạch máu giúp dự đoán khả năng tương thích và cho phép tế bào nội mô tái khu trú trên bề mặt ống ghép sau cấy ghép.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ thông qua Chương trình phát triển khoa học cơ bản trong lĩnh vực Hóa học, Khoa học sự sống, Khoa học trái đất và Khoa học biển giai đoạn 2017-2025 (Chương trình 562), trong khuôn khổ đề tài mã số ĐTĐL.CN-49/22. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] U. Mendibil, R.R. Hernandez, S.R. Carrion, et al. (2020), "Tissue-specific decellularization methods: Rationale and strategies to achieve regenerative compounds", *International Journal of Molecular Sciences*, **21(15)**, DOI: 10.3390/ijms21155447.

[2] G.I. Barbulescu, F.M. Bojin, V.L. Ordodi, et al. (2022), "Decellularized extracellular matrix scaffolds for cardiovascular tissue engineering: Current techniques and challenges", *Int. J. Mol. Sci*, **23(21)**, pp.1-20, DOI: 10.3390/ijms232113040.

[3] R. Palek, M.S. Massaro, L. Cervenkova, et al. (2024), "Decellularized porcine vena cava grafts are fully repopulated after orthotopic implantation", *Discover Applied Sciences*, **6(5)**, pp.242-259, DOI: 10.1007/s42452-024-05910-5.

[4] M.T.N. Nguyen, H.L.B. Tran (2022), "Heparinization of the bovine pericardial scaffold by layer-by-layer (LBL) assembly technique", *Journal of Science: Advanced Materials and Devices*, **7(2)**, DOI: 10.1016/j.jsamd.2021.11.007.

[5] J. Cheng, C. Wang, L. Guo, et al. (2024), "Development of heparinized and hepatocyte growth factor-coated acellular scaffolds using porcine carotid arteries", *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, **112(1)**, DOI: 10.1002/jbm.b.35317.

[6] A. Goins, A.R. Webb, J.B. Allen (2019), "Multi-layer approaches to scaffold-based small diameter vessel engineering: A review", *Materials Science and Engineering: C*, **97**, pp.896-912, DOI: 10.1016/j.msec.2018.12.067.

[7] X. Wang, V. Chan, P.R.J.F. Corridon, et al. (2022), "Decellularized blood vessel development: Current state-of-the-art and future directions", *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, **10**, DOI: 10.3389/fbioe.2022.951644.

[8] S. Fang, D.G. Ellman, D.C. Andersen (2021), "Review: Tissue engineering of small-diameter vascular grafts and their *in vivo* evaluation in large animals and humans", *Cells*, **10(3)**, DOI: 10.3390/cells10030713.

[9] H.H.G. Song, R.T. Rumma, C.K. Ozaki, et al. (2018), "Vascular tissue engineering: Progress, challenges, and clinical promise", *Cell Stem Cell*, **22(3)**, pp.340-354, DOI: 10.1016/j.stem.2018.02.009.

[10] A.G. Kutikhin, M.Y. Sinitsky, A.E. Yuzhalin, et al. (2018), "Shear stress: An essential driver of endothelial progenitor cells", *Journal of Molecular and Cellular Cardiology*, **118**, pp.46-69, DOI: 10.1016/j.yjmcc.2018.03.007.

[11] N. Castro, S. Ribeiro, M. Fernandes, et al. (2020), "Physically active bioreactors for tissue engineering applications", *Advanced Biosystems*, **4(10)**, DOI: 10.1002/adbi.202000125.

[12] E. Bayir, M. Sahinler, M.M. Celtikoglu, et al. (2020), *Biomaterials for Organ and Tissue Regeneration*, Elsevier, DOI: 10.1016/B978-0-08-102906-0.00018-0.

[13] N.T. Nguyen, H.M. Lam, T.Q. Bui, et al. (2024), "Freezing and bioreactor in the low-concentration detergents: A novel approach in the decellularization of small-diameter arteries", *Int. J. Artif. Organs*, **47(11)**, pp.816-825, DOI: 10.1177/03913988241288369.

[14] N. Ucciferri, E.M. Collnot, B.K. Gaiser, et al. (2014), "*In vitro* toxicological screening of nanoparticles on primary human endothelial cells and the role of flow in modulating cell response", *Nanotoxicology*, **8(6)**, pp.697-708, DOI: 10.3109/17435390.2013.831500.

[15] J. Schmid, S. Schwarz, R. Meier-Staude, et al. (2018), "A perfusion bioreactor system for cell seeding and oxygen-controlled cultivation of three-dimensional cell cultures", *Tissue Eng. Part C Methods*, **24(10)**, pp.585-595, DOI: 10.1089/ten.TEC.2018.0204.

[16] L. Li, H. Tang, J. Wang, et al. (2018), "Rolling adhesion of cell in shear flow: A theoretical model", *Journal of The Mechanics and Physics of Solids*, **119,** pp.369-381, DOI: 10.1016/j.jmps.2018.07.013.

[17] C.E. Evans, M.L. Iruela-Arispe, Y.Y. Zhao (2021), "Mechanisms of endothelial regeneration and vascular repair and their application to regenerative medicine", *The American Journal of Pathology*, **191(1)**, pp.52-65, DOI: 10.1016/j.ajpath.2020.10.001.

[18] S. Rizzi, S. Mantero, F. Boschetti, et al. (2022), "Luminal endothelialization of small caliber silk tubular graft for vascular constructs engineering", *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, **9**, DOI: 10.3389/fcvm.2022.1013183.

 DOI: 10.31276/VJST.2026.3879

Nghiên cứu khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào của *Cordyceps militaris* trong lên men bề mặt dịch thể

Vũ Xuân Tạo[1*], Trần Thu Hiền[2], Đào Ngọc Ánh[1], Trần Bảo Trâm[1], Trương Thị Chiên[1], Đỗ Thị Kim Trang[1], Trần Văn Tuấn[2]

[1]Viện Phát triển Công nghệ tiên tiến, Viện Đổi mới sáng tạo Quốc gia, Bộ Khoa học và Công nghệ, nhà C6, phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam
[2]Khoa Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 17/3/2026; ngày chuyển phản biện 18/3/2026; ngày nhận phản biện 1/4/2026; ngày chấp nhận đăng 8/4/2026

Tóm tắt:

***Cordyceps militaris* được sử dụng phổ biến trong y học cổ truyền và làm thực phẩm. Loài nấm này có khả năng sinh cordycepin và pentostatin, đây là những hoạt chất có hoạt tính kháng vi sinh vật gây bệnh, tăng cường miễn dịch, gây độc đối với tế bào ung thư... Tuy nhiên, nấm *C. militaris* chủ yếu được sản xuất dạng quả thể làm nguyên liệu. Hiện nay, phương pháp lên men bề mặt dịch thể đã bước đầu cho thấy tiềm năng ứng dụng cao trong sản xuất các hoạt chất ngoại bào ở nấm. Nghiên cứu này đã tuyển chọn được 3 chủng nấm *C. militaris* (HL8, BN25.2 và TN25.1) có khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào cao. Cả 3 chủng nấm đều có khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào ổn định qua 5 thế hệ liên tiếp. Hơn nữa, nghiên cứu đã xác định được các điều kiện thích hợp trong lên men bề mặt dịch thể nấm *C. militaris* bao gồm sử dụng ánh sáng LED trắng, môi trường lên men với nguồn cacbon là glucose, nguồn nitơ là tryptone, pH 6 và thời gian lên men là 45 ngày. Ở điều kiện lên men thích hợp, khả năng sinh cordycepin ngoại bào của 3 chủng nấm HL8, BN25.2 và TN25.1 tương ứng trung bình đạt là 1220, 1415 và 1225; trong khi pentostatin đạt 45,6, 35,6 và 37,6 mg/l dịch lên men. Đây là nguồn nguyên liệu tiềm năng cho phát triển các loại thực phẩm và dược phẩm.**

***Từ khóa*: cordycepin, *Cordyceps militaris*, lên men bề mặt dịch thể, ngoại bào, pentostatin.**

***Chỉ số phân loại:* 1.6, 4.6**

Study on extracellular production of cordycepin and pentostatin by *Cordyceps militaris* under liquid surface fermentation

Xuan Tao Vu[1*], Thu Hien Tran[2], Ngoc Anh Dao[1], Bao Tram Tran[1], Thi Chien Truong[1], Thi Kim Trang Do[1], Van Tuan Tran[2]

[1]Institute for Advanced Technology Development, National Academy for Advanced Technology and Innovation, Ministry of Science and Technology, C6 Building, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Faculty of Biology, University of Science, Vietnam National University - Hanoi, 334 Nguyen Trai Street, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam

Received 17 March 2026; revised 1 April 2026; accepted 8 April 2026

Abstract:

***Cordyceps militaris* is widely used in traditional medicine and as a food source. This fungus is capable of producing cordycepin and pentostatin, two bioactive compounds with antimicrobial, immunomodulatory, and cytotoxic activities against cancer cells. However, *C. militaris* is predominantly produced in the form of fruiting bodies for use as raw material. Recently, liquid-state surface fermentation has shown considerable potential for enhancing extracellular metabolite production in fungi. This study selected three *C. militaris* strains (HL8, BN25.2, and TN25.1) with high extracellular production of cordycepin and pentostatin. All three strains demonstrated stable extracellular production of cordycepin and pentostatin over five consecutive generations. Furthermore, the study identified suitable conditions for surface liquid-state fermentation of *C. militaris*, including the use of white LED light, a fermentation medium containing glucose as the carbon source and tryptone as the nitrogen source, an initial pH of 6, and a fermentation duration of 45 days. Under the suitable fermentation conditions, the average extracellular production of cordycepin by strains HL8, BN25.2, and TN25.1 reached 1220, 1415, and 1225 mg/l, respectively, while pentostatin production reached 45.6, 35.6, and 37.6 mg/l fermentation broth. The fermentation broth represents a promising source of raw material for the development of food and pharmaceutical products.**

***Keywords:* cordycepin, *Cordyceps militaris*, extracellular, liquid surface fermentation, pentostatin.**

***Classification numbers:* 1.6, 4.6**

[*]Tác giả liên hệ: Email: taovx.tsa@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Chi nấm *Cordyceps* được ghi nhận gồm nhiều loài nấm có giá trị dược liệu và được sử dụng rộng rãi trong y học cổ truyền ở nhiều nước trên thế giới. Trong số các loài nấm thuộc chi *Cordyceps*, *C. militaris* là loài nấm dược liệu quý, được nghiên cứu và nuôi trồng phổ biến nhất. Loài này có tác dụng hỗ trợ điều trị nhiều bệnh lý bao gồm ung thư, suy giảm miễn dịch, rối loạn chức năng gan thận, viêm phế quản mạn tính, suy giảm sinh lý nam, tăng cholesterol và tình trạng mệt mỏi kéo dài [1, 2]. Hoạt chất được quan tâm nhiều nhất là cordycepin, với khả năng điều hòa miễn dịch, chống ung thư, chống oxi hóa, kháng viêm và tiềm năng hỗ trợ điều trị COVID-19 [2-4]. Ngoài ra, nấm *C. militaris* đã được phát hiện có khả năng sinh pentostatin. Pentostatin và cordycepin được sinh tổng hợp bởi cùng một cụm gen duy nhất ở nấm *C. militaris*. Pentostatin tham gia bảo vệ cordycepin khỏi quá trình khử amin bằng cách ức chế hoạt động của adenosine deaminase (ADA) [5]. Cục Quản lý Thực phẩm và Dược phẩm Hoa Kỳ (FDA) đã phê duyệt pentostatin là thuốc, tên thương mại là Nipent, dùng trong điều trị các bệnh về bạch cầu [6]. Như vậy, việc khai thác các hoạt chất cordycepin và pentostatin từ nấm *C. militaris* là hoàn toàn khả thi và cần thiết.

Hiện nay, nấm *C. militaris* chủ yếu được nuôi trồng để thu quả thể với các quy mô khác nhau. Việc sản xuất quả thể nấm *C. militaris* đòi hỏi diện tích lớn, thời gian nuôi kéo dài. Công nghệ lên men đã được ứng dụng trong sản xuất các hoạt chất từ nấm *C. militaris*. Công nghệ lên men chìm có tiềm năng trong việc rút ngắn thời gian, nhưng hàm lượng cordycepin trong hệ sợi nấm *C. militaris* thu được thấp hơn so với quả thể, đồng thời quy trình phức tạp và đòi hỏi chi phí đầu tư ban đầu cao [7]. Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã khẳng định tiềm năng và tính phù hợp của phương pháp lên men bề mặt dịch thể trong sản xuất các hoạt chất ngoại bào [8-10]. So với phương pháp lên men chìm, lên men bề mặt dịch thể đơn giản hơn, không yêu cầu các thiết bị phức tạp, hiện đại như hệ thống lên men, hệ thống cấp khí... Hơn nữa, phương pháp lên men bề mặt dịch thể phù hợp với điều kiện của các cơ sở nuôi trồng nấm tại Việt Nam. Hiện nay, tại Việt Nam, chưa ghi nhận đề tài nghiên cứu hay công bố khoa học nào đề cập tới việc ứng dụng công nghệ lên men bề mặt dịch thể nấm *C. militaris* để sản xuất hoạt chất cordycepin và pentostatin ngoại bào. Nghiên cứu này là cơ sở khoa học quan trọng cho việc sản xuất các hoạt chất ngoại bào từ nấm dược liệu *C. militaris* bằng phương pháp lên men bề mặt dịch thể tạo nguồn nguyên liệu mới cho phát triển các loại thực phẩm và dược phẩm.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

10 mẫu quả thể nấm thu thập tại các đơn vị nuôi trồng thương mại nấm Đông trùng hạ thảo tại Việt Nam (Bắc Ninh, Thái Nguyên, Lào Cai, Quảng Ngãi) ký hiệu là: BN25.1, BN25.2, BN25.3, TN25.1, TN25.2, TN25.3, LC25.1, LC25.2, QN25.1 và QN25.2. Các mẫu được giữ nguyên trạng và đưa ngay về phòng thí nghiệm để phân lập.

20 chủng nấm *C. militaris* từ bộ sưu tập của Viện Phát triển Công nghệ tiên tiến, Viện Đổi mới sáng tạo Quốc gia (đã có mã số đăng ký trên GenBank) bao gồm các chủng: HN01 (OQ674539.1); HN02 (OQ674545.1); TN01 (OQ674547.1); TN02 (OQ674549.1); TN03 (OQ674702.1); TN04 (OQ674703.1); LC01 (OQ676501.1); SH01 (OQ674705.1); SH02 (OQ674708.1); SH03 (OQ674709.1); SH04 (OQ676497.1); SH05 (OQ676499.1); SH06 (OQ674711.1); QN6 (OQ676502.1); DL01 (OQ674717.1); HL6 (OQ676498.1); HL8 (OQ674722.1); HL11 (OQ676500.1); HL12 (OQ674732.1); HL13 (OQ674731.1).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp phân lập và xác định đặc điểm hình thái các chủng nấm C. militaris: Quả thể nấm được tách ra khỏi hộp nuôi nấm, loại bỏ hai đầu, cắt thành lát nhỏ và đặt lên môi trường PDA (potato dextrose agar) có chứa chloramphenicol (nồng độ 100 µg/ml). Đĩa môi trường chứa lát cắt quả thể được ủ tối ở 22-25°C. Sau 3-5 ngày, hệ sợi nấm màu trắng xuất hiện và được thuần khiết bằng cách cấy chuyển sang đĩa môi trường PDA mới. Các chủng nấm được nuôi cấy trên môi trường PDA để thu bào tử [11]. Bào tử các chủng nấm được nuôi cấy trực tiếp trên tiêu bản hiển vi vô trùng có chứa môi trường PDA, sau 3 ngày tiến hành quan sát đặc điểm hình thái của hệ sợi và bào tử nấm dưới kính hiển vi quang học [12].

Phương pháp đánh giá khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào của các chủng nấm: Quá trình nhân giống nấm *C. militaris* dạng dịch thể được thực hiện theo T.X. Vu và cs (2024) [2]. Các chủng nấm được tiến hành lên men bề mặt dịch thể ở cùng điều kiện trong 30 ngày ở 25°C, chiếu sáng 10 giờ/ngày bằng ánh sáng đèn LED trắng với cường độ chiếu sáng trung bình là 55±5 µmol/m^2/s. Thành phần môi trường dùng trong lên men dịch thể bao gồm (1 l): dịch chiết 200 g khoai tây, 40 g glucose, 15 g tryptone, pH 7. Dịch môi trường (200 ml/hộp 650 ml), được khử trùng và làm nguội đến nhiệt độ phòng, sau đó cấy giống với tỷ lệ 5%. Hộp nuôi sau khi cấy giống được lên men trong điều kiện tối 7 ngày để hệ sợi nấm phát triển một lớp mỏng trên bề mặt môi trường dịch, sau đó bắt đầu chiếu sáng. Sau 30 ngày lên men, dịch lên men được ly tâm ở 8.000 vòng/phút trong 20 phút để thu phần dịch, phục vụ phân tích hàm lượng cordycepin và pentostatin. Hàm lượng cordycepin được xác định trên hệ thống HPLC theo L. Huang và cs (2009) [7]. Hàm lượng pentostatin trong dịch lên men được xác định bằng phương pháp HPLC theo V.X. Tao và cs (2023) [13].

Đánh giá tính ổn định về khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào của các chủng nấm C. militaris đã tuyển chọn: Để đánh giá tính ổn định về khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào của các chủng nấm *C. militaris* đã tuyển chọn, bào tử các chủng nấm được cấy chuyển liên tiếp trên môi trường thạch PDA để thu bào tử liên tục 5 thế hệ [14]. Bào tử các chủng nấm ở các thế hệ được nuôi cấy trên môi trường PDA sử dụng cho nhân giống dịch thể dùng cho quá trình lên men. Hàm lượng cordycepin và pentostatin trong dịch lên men được xác định ở mỗi thế hệ.

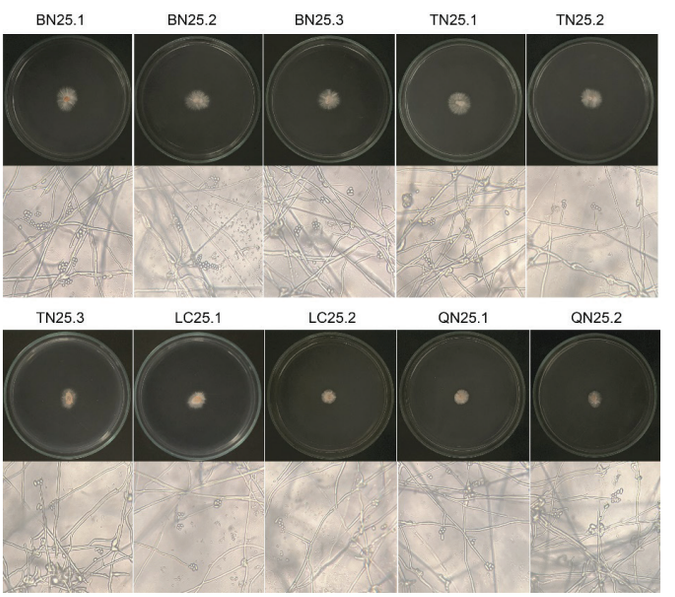
Định danh chủng nấm đã tuyển chọn dựa trên phân tích trình tự vùng ITS của rDNA: Các chủng nấm đã phân lập, tuyển chọn được nuôi trong môi trường PDB (lắc 150 vòng/phút ở 25°C trong tối), sau 4 ngày tiến hành thu hệ sợi nấm sử dụng cho việc tách chiết DNA. DNA tổng số được tách chiết từ hệ sợi nấm theo quy trình nhóm nghiên cứu đã công bố [15]. Mẫu DNA tổng số được sử dụng cho phản ứng PCR khuếch đại vùng ITS sử dụng cặp mồi ITS1 (5'-TCCGTAGGTGAACCTGCGG-3')/ ITS4 (5'-TCC TCCGCTTATTGATATGC-3') [16]. Sản phẩm PCR được điện di kiểm tra, tinh sạch và được giải trình tự bởi công ty Apical Scientific Sdn. Bhd. (Malaysia). Trình tự ITS được so sánh với dữ liệu trong GenBank sử dụng công cụ BLAST. Cây phát sinh chủng loại dựa trên trình tự ITS được xây dựng sử dụng phần mềm MEGA6.

Xác định một số điều kiện thích hợp cho lên men bề mặt dịch thể nấm dược liệu C. militaris sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào: Điều kiện lên men thích hợp được xác định bằng cách so sánh hàm lượng cordycepin và pentostatin của dịch lên men nấm ở các điều kiện khác nhau. Hàm lượng cordycepin và pentostatin được xác định bằng phương pháp HPLC [7, 13]. Các điều kiện được xác định lần lượt bao gồm: ánh sáng, nguồn cacbon, nitơ, pH và thời gian lên men. Các điều kiện được nghiên cứu độc lập với nhau bằng cách thay đổi yếu tố khảo sát trong điều kiện lên men cơ bản đã được trình bày ở thí nghiệm trên. Kết quả lựa chọn phù hợp của thí nghiệm trước sẽ được áp dụng cho các thí nghiệm tiếp theo. Ánh sáng gồm 7 công thức (CT) chiếu sáng khác nhau: CT1: LED trắng (vùng quang phổ rộng); CT2: LED đỏ (Red-630 nm); CT3: LED xanh (450 nm); CT4, 5, 6 LED đỏ - xanh (ở các tỷ lệ LED đỏ - xanh là 5:5, 7:3, 3:7); CT7: Đèn huỳnh quang. Nguồn cacbon gồm: sucrose, maltose, lactose và tinh bột với hàm lượng là 40 g/l. Các nguồn nitơ bao gồm: tryptone, peptone, cao nấm men, $NaNO_3$, NH_4Cl với hàm lượng 15 g/l. pH môi trường gồm các pH 5, 6, 7 và 8). Thời gian lên men gồm 15, 30, 45 và 60 ngày.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Phân lập, tuyển chọn chủng nấm có khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào cao

Nhằm có được bộ sưu tập các chủng nấm C. militaris dùng cho nghiên cứu tuyển chọn các chủng có khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào cao, ngoài 20 chủng nấm *C. militaris* (đã có mã số đăng ký trên GenBank) thuộc bộ sưu tập giống nấm được cung cấp bởi Viện Phát triển Công nghệ tiên tiến, nghiên cứu tiến hành phân lập thêm các chủng nấm khác từ nguồn nấm *C. militaris* đang nuôi trồng tại Việt Nam. Trong nghiên cứu này, từ 10 mẫu quả thể nấm *C. militaris* đã phân lập được 10 chủng nấm ký hiệu là BN25.1, BN25.2, BN25.3, TN25.1, TN25.2, TN25.3, LC25.1, LC25.2, QN25.1 và QN25.2. Các chủng nấm phân lập được sinh trưởng tạo hệ sợi màu trắng trên môi trường PDA. Các chủng nấm sau phân lập được tiến hành thu bào tử dùng cho nuôi cấy trên tiêu bản hiển vi. Quan sát dưới kính hiển vi với độ phóng đại 400 lần cho thấy, trên hệ sợi các chủng nấm hình thành cấu trúc cuống sinh bào tử, bào tử có dạng hình trứng (hình 1). Với các đặc điểm về mẫu quả thể thu thập, hệ sợi, bào tử và cấu trúc sinh bào tử cho thấy đây là những đặc điểm đặc trưng của loài *C. militaris* [17].



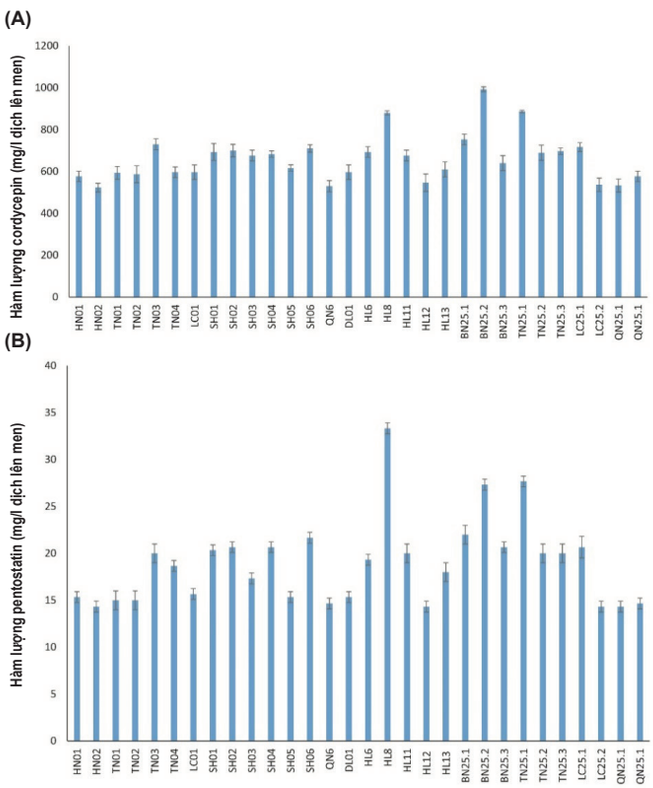
Hình 1. Hệ sợi các chủng nấm phân lập từ mẫu quả thể nấm *C. militaris* thu thập.

Để tuyển chọn được chủng nấm có khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào cao, 30 chủng nấm được tiến hành lên men bề mặt dịch thể (hình 2). Sau 30 ngày, dịch lên men được thu để xác định hàm lượng cordycepin và pentostatin. Kết quả nghiên cứu cho thấy, hàm lượng cordycepin ngoại bào dao động trong khoảng 523-993 mg/l dịch lên men. Hàm lượng pentostatin



Hình 2. Lên men bề mặt dịch thể nấm *C. militaris*.

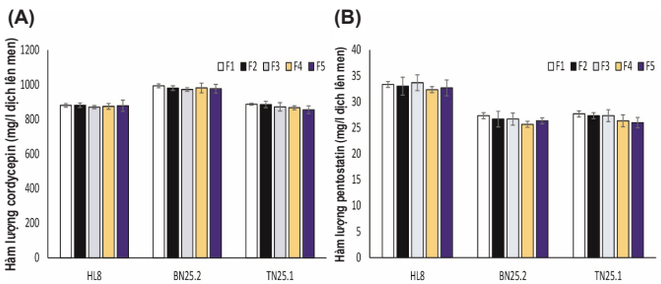
ngoại bào dao động trong khoảng 14-33 mg/l dịch lên men. Trong đó, chủng nấm *C. militaris* HL8 và 2 chủng nấm mới phân lập là BN25.2 và TN25.1 cho khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào cao nhất. Hàm lượng cordycepin ngoại bào tương ứng của 3 chủng nấm trung bình là 880, 993 và 886 mg/l dịch lên men. Hàm lượng pentostatin trong dịch lên men tương ứng trung bình là 33,3; 27,3 và 27,6 mg/l dịch lên men (hình 3). Hàm lượng hoạt chất cordycepin và pentostatin trong quả thể đã được xác định trong nhiều nghiên cứu về nấm *C. militaris* [2, 3, 18]. Y. Xia và cs (2017) [5] đã chứng minh pentostatin và cordycepin được sinh tổng hợp từ cùng một cụm gen ở *C. militaris*, đồng thời pentostatin giữ vai trò trong việc bảo vệ cordycepin thông qua ức chế adenosine deaminase (ADA), ngăn cản quá trình khử amin. Tuy nhiên, hiện nay chưa có nhiều nghiên cứu đề cập tới hàm lượng cordycepin và pentostatin ngoại bào từ nấm *C. militaris*.



Hình 3. Hàm lượng cordycepin và pentostatin trong dịch lên men các chủng nấm sau 30 ngày. (A) Hàm lượng cordycepin; **(B)** Hàm lượng pentostatin.

3.2. Đánh giá tính ổn định về khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào của các chủng nấm đã tuyển chọn

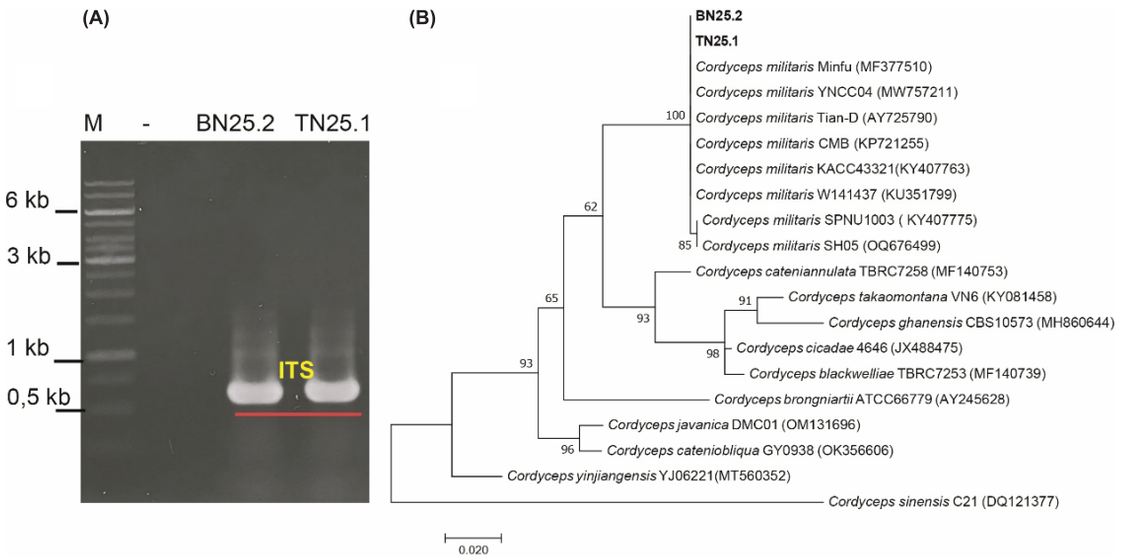
Tính ổn định về khả năng sinh hoạt chất của chủng nấm đóng vai trò quan trọng trong sản xuất. Do đó, trong nghiên cứu này, 3 chủng nấm đã tuyển chọn (BN25.2, TN25.1 và *C. militaris* HL8) được đánh giá khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào qua 5 thế hệ liên tiếp sau 30 ngày lên men. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào của 3 chủng nấm không có sự khác biệt nhiều qua 5 thế hệ (hình 4). Ở thế hệ thứ nhất, hàm lượng cordycepin ngoại bào của 3 chủng nấm BN25.2, TN25.1 và HL8 tương ứng trung bình đạt là 993, 886 và 880 mg/l dịch lên men. Ở thế hệ thứ 5, hàm lượng cordycepin ngoại bào của 3 chủng nấm tương ứng trung bình đạt là 976, 855 và 878 mg/l dịch lên men. Tương tự, hàm lượng pentostatin ngoại bào của 3 chủng nấm BN25.2, TN25.1 và HL8 ở thế hệ thứ nhất tương ứng trung bình đạt là 27,3; 27,6 và 33,3 mg/l dịch lên men. Ở thế hệ thứ 5, hàm lượng pentostatin ngoại bào của 3 chủng nấm tương ứng trung bình đạt là 26,3; 26 và 32,7 mg/l dịch lên men. Việc nuôi trồng nấm *C. militaris* đã ghi nhận sự thoái hóa nhanh của các chủng giống, biểu hiện là sự giảm mạnh về năng suất quả thể và hàm lượng hoạt chất trong quả thể, thông thường giảm mạnh từ thế hệ thứ 3 và tới thế hệ thứ 5 có thể mất hoàn toàn khả năng hình thành quả thể [14, 19]. Như vậy, nghiên cứu này đã tuyển chọn được 3 chủng nấm BN25.2, TN25.1 và HL8 có khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào cao và ổn định.



Hình 4. Hàm lượng cordycepin và pentostatin ngoại bào của các chủng nấm qua 5 thế hệ. (A) Hàm lượng cordycepin; **(B)** Hàm lượng pentostatin.

3.3. Định danh chủng nấm đã tuyển chọn dựa trên phân tích trình tự vùng ITS của rDNA

Ba chủng nấm BN25.2, TN25.1 và *C. militaris* HL8 được tuyển chọn do khả năng sinh tổng hợp cordycepin và pentostatin ngoại bào cao và ổn định. Trong đó, chủng HL8 đã được xác định là *C. militaris* [2] và có mã số trên GenBank là OQ674722.1. Hai chủng BN25.2 và TN25.1 có đặc điểm hình thái điển hình của loài *C. militaris* và được tiếp tục phân loại chính xác đến loài thông qua phân tích trình tự vùng ITS của rDNA.



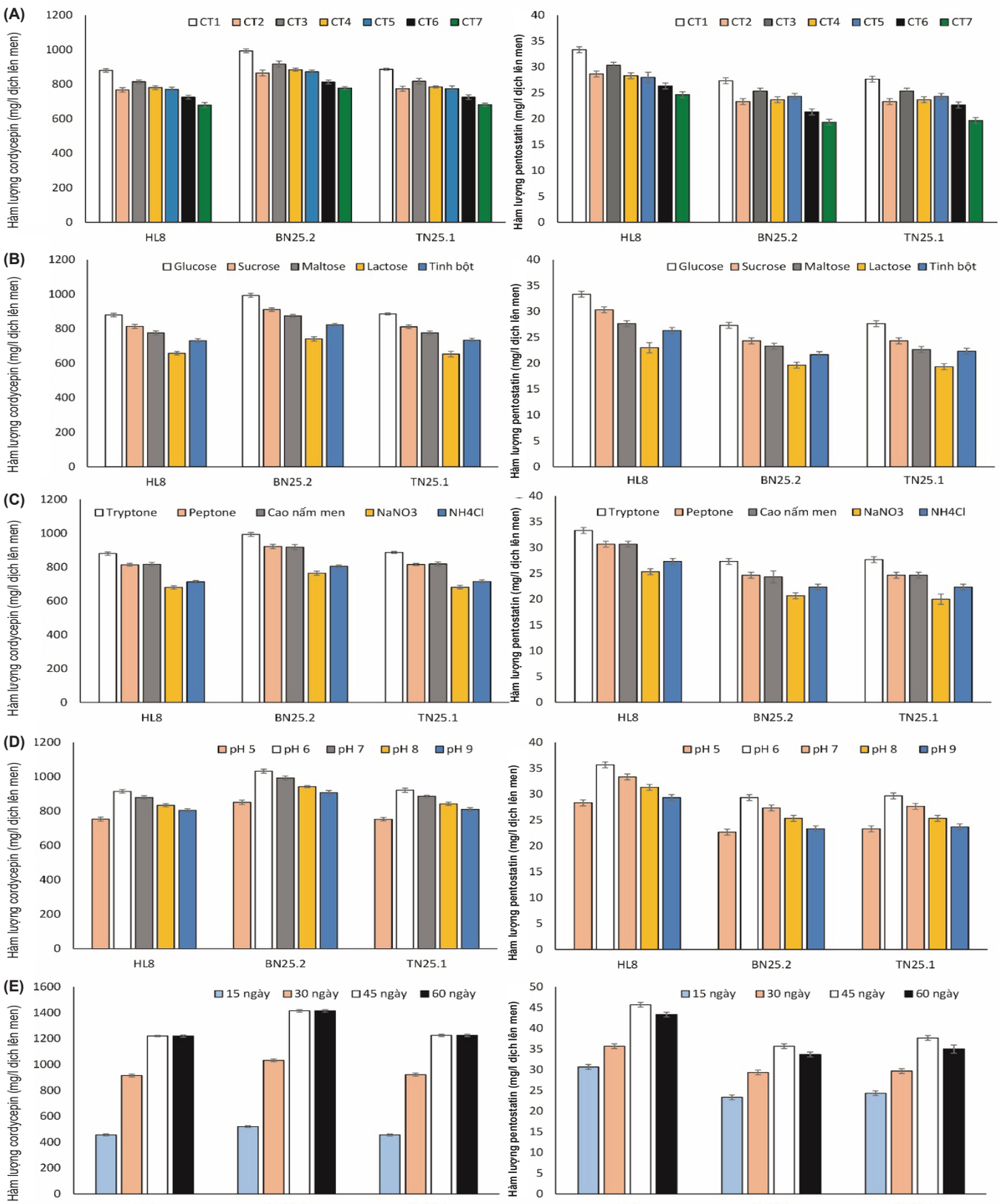
Hình 5. Định danh chủng nấm BN25.2 và TN25.1 dựa trên phân tích trình tự ITS. (A) Hình ảnh điện di sản phẩm PCR vùng ITS; **(B)** Cây phát sinh loài dựa trên phân tích trình tự vùng ITS; (-): đối chứng âm; M: marker DNA 1 kb.

Trình tự vùng ITS của rDNA được sử dụng phổ biến trong phân loại nấm do vừa chứa các trình tự bảo thủ và trình tự có độ biến đổi cao giữa các loài [20]. Do đó, trong nghiên cứu này, chủng nấm BN25.2 và TN25.1 được nuôi cấy thu hệ sợi để tách chiết DNA dùng cho khuếch đại vùng ITS bằng cặp mồi ITS1/ITS4. Kết quả PCR cho thấy, xuất hiện một băng DNA duy nhất với kích thước khoảng trên 500 bp (hình 5A). Sản phẩm PCR được điện di kiểm tra, tinh sạch và được giải trình tự bởi công ty Apical Scientific Sdn. Bhd. (Malaysia). Kết quả giải trình tự cho thấy, trình tự vùng ITS của 2 chủng nấm BN25.2 và TN25.1 có chiều dài tương ứng là 535 và 539 bp. Trình tự ITS được so sánh với dữ liệu trong GenBank sử dụng công cụ BLAST chỉ ra rằng, 2 chủng nấm BN25.2, TN25.1 có độ tương đồng về trình tự ITS của nấm *C. militaris* là 99,81%. Cây phát sinh chủng loại được xây dựng dựa trên trình tự ITS thu được xác nhận 2 chủng nấm BN25.2 và TN25.1 thuộc loài *C. militaris* (hình 5B).

3.4. Xác định một số điều kiện thích hợp cho lên men bề mặt dịch thể nấm C. militaris sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào

Dinh dưỡng môi trường, ánh sáng, thời gian được xác định là các yếu tố quan trọng ảnh hưởng tới sự sinh trưởng của nấm *C. militaris* [21]. Trong nghiên cứu này, các điều kiện thích hợp cho lên men bề mặt dịch thể nấm *C. militaris* được xác định nhằm thu được hàm lượng cordycepin và pentostatin ngoại bào cao nhất. Kết quả nghiên cứu cho thấy, các chủng nấm *C. militaris* có khả năng sinh cordycepin và pentostatin cao nhất ở điều kiện lên men bề mặt dịch thể sử dụng ánh sáng LED trắng, môi trường lên men với nguồn cacbon là glucose, nguồn nitơ là tryptone, pH 6 và thời gian lên men là 45 ngày (hình 6). Hiện nay, công nghệ chiếu sáng LED đã và đang được ứng dụng nhiều trong nuôi trồng nấm với đặc tính tuổi thọ cao và phát nhiệt thấp. Ánh sáng LED khác nhau đã được chứng minh có ảnh hưởng đến màu sắc hệ sợi, khả năng sinh tổng hợp cordycepin, carotenoid, trong đó ánh sáng LED trắng cũng đã được xác định là loại ánh sáng thích hợp cho nấm *C. militaris* [22]. Trong nuôi trồng nấm *C. militaris*, nguồn cacbon là glucose và nguồn nitơ là pepton, nhộng tằm thường được sử dụng [14]. Tuy nhiên, nghiên cứu này cho thấy, tryptone là nguồn nitơ thích hợp hơn cho sự sản xuất cordycepin và pentostatin ngoại bào ở nấm *C. militaris*. Sự vượt trội của tryptone có thể được giải thích bởi đặc tính giàu peptide ngắn, cấu trúc dễ hấp thu và khả năng cung cấp đầy đủ acid amin [23]. pH là yếu tố quan trọng ảnh hưởng tới khả năng sinh trưởng và sinh tổng hợp hoạt chất ở nấm. Nấm *C. militaris* thích hợp với pH môi trường hơi acid [24].

Như vậy, nghiên cứu này đã xác định được các điều kiện thích hợp trong lên men bề mặt dịch thể nấm *C. militaris* sinh tổng hợp cordycepin và pentostatin ngoại bào, bao gồm sử dụng ánh sáng LED trắng, môi trường lên men với nguồn cacbon là glucose, nguồn nitơ là tryptone, pH 6 và thời gian lên men là 45 ngày. Với điều kiện lên men thích hợp, 3 chủng nấm *C. militaris* HL8, BN25.2 và TN25.1 có khả năng sinh cordycepin ngoại bào tương ứng trung bình đạt là 1220, 1415 và 1225 mg/l dịch lên men. Hàm lượng pentostatin ngoại bào tương ứng trung bình đạt là 45,6, 35,6 và 37,6 mg/l dịch lên men. So với phương pháp nuôi trồng quả thể nấm *C. militaris* thường kéo dài 60-65 ngày [2, 3], quá trình lên men bề mặt dịch thể sẽ rút ngắn được thời gian sản xuất hoạt chất cordycepin và pentostatin. Theo nghiên cứu của M. Masuda và cs (2007) [25], lên men bề mặt chủng nấm *C. militaris* NBRC 9787 sau 33 ngày thu được



Hình 6. Kết quả nghiên cứu điều kiện lên men bề mặt dịch thể nấm *C. militaris*. (A) Ánh sáng; **(B)** Nguồn cacbon; **(C)** Nguồn nitơ; **(D)** pH môi trường nuôi cấy; **(E)** Thời gian lên men.

dịch lên men có hàm lượng cordycepin đạt 2500 mg/l. Tuy nhiên, nghiên cứu của nhóm tác giả thực hiện với thể tích lên men là 100 ml/bình lên men, trong khi nghiên cứu này thể tích lên men sử dụng với lượng gấp đôi (200 ml/hộp). Hơn nữa, môi trường lên men theo nghiên cứu của M. Masuda và cs (2007) có bổ sung adenine là tiền chất tổng hợp lên cordycepin và bổ sung glycine [25]. Việc môi trường lên men sử dụng các nguyên liệu có giá thành cao (như adenine, glycine) có thể làm tăng chi phí cho sản xuất, là khó khăn khi sản xuất quy mô lớn. Với kết quả nghiên cứu thu được cho thấy, dịch lên men nấm *C. militaris* là nguồn nguyên liệu tiềm năng cho khai thác hoạt chất cordycepin và pentostatin ứng dụng trong thực phẩm và dược phẩm.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã tuyển chọn được 3 chủng nấm *C. militaris* HL8, BN25.2 và TN25.1 có khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào cao trong lên men bề mặt dịch thể. Cả 3 chủng nấm đều có khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào ổn định qua 5 thế hệ liên tiếp. Đặc biệt, nghiên cứu đã xác định được các điều kiện thích hợp trong lên men bề mặt dịch thể nấm *C. militaris* sinh tổng hợp cordycepin và pentostatin ngoại bào, bao gồm sử dụng ánh sáng LED trắng, môi trường lên men với nguồn cacbon là glucose, nguồn nitơ là tryptone, pH 6 và thời gian lên men là 45 ngày. Ở điều kiện lên men thích hợp, khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào của 3 chủng nấm HL8, BN25.2 và TN25.1 tương ứng trung bình đạt là 1220, 1415, 1225 và 45,6, 35,6 và 37,6 mg/l dịch lên men. Dịch lên men nấm *C. militaris* là nguồn nguyên liệu tiềm năng cho nghiên cứu tách chiết hoạt chất cordycepin và pentostatin dùng trong phát triển dược phẩm và thực phẩm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện với sự hỗ trợ về kinh phí từ nhiệm vụ KH&CN của Bộ Khoa học và Công nghệ: "Nghiên cứu công nghệ chiếu sáng đèn LED trong lên men bề mặt sản xuất hoạt chất cordycepin và pentostatin ngoại bào từ nấm dược liệu *Cordyceps militaris* tạo nguyên liệu sản xuất thực phẩm bảo vệ sức khỏe". Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S.K. Das, M. Masuda, A. Sakurai, et al. (2010), "Medicinal uses of the mushroom *Cordyceps militaris*: Current state and prospects", *Fitoterapia*, **81(8)**, pp.961-968, DOI: 10.1016/j.fitote.2010.07.010.

[2] T.X. Vu, T.B. Tran, H.H. Vu, et al. (2024), "Ethanolic extract from fruiting bodies of *Cordyceps militaris* HL8 exhibits cytotoxic activities against cancer cells, skin pathogenic yeasts, and postharvest pathogen *Penicillium digitatum*", *Archives of Microbiology*, **206(3)**, pp.1-11, DOI: 10.1007/s00203-024-03833-8.

[3] T.X. Vu, M.T. Nguyen, A.N. Dao, et al. (2025), "Enhanced antioxidant and anti-inflammatory properties of albino *Cordyceps militaris*: A comparative study with wild-type strain", *Chemistry & Biodiversity*, **22(11)**, pp.1-14, DOI: 10.1002/cbdv.202501100.

[4] A.K. Verma, R. Aggarwal (2021), "Repurposing potential of FDA-approved and investigational drugs for COVID-19 targeting SARS-CoV-2 spike and main protease and validation by machine learning algorithm", *Chemical Biology & Drug Design*, **97(4)**, pp.836-853, DOI: 10.1111/cbdd.13812.

[5] Y. Xia, F. Luo, Y. Shang, et al. (2017), "Fungal cordycepin biosynthesis is coupled with the production of the safeguard molecule pentostatin", *Cell Chemical Biology*, **24(12)**, pp.1479-1489, DOI: 10.1016/j.chembiol.2017.09.001.

[6] R.O. Dillman (2004), "Pentostatin (Nipent®) in the treatment of chronic lymphocyte leukemia and hairy cell leukemia", *Expert Review of Anticancer Therapy*, **4(1)**, pp.27-36, DOI: 10.1586/14737140.4.1.27.

[7] L. Huang, Q. Li, Y. Chen, et al. (2009), "Determination and analysis of cordycepin and adenosine in the products of *Cordyceps* spp.", *African Journal of Microbiology Research*, **3(12)**, pp.957-961, DOI: 10.5897/AJMR.9000227.

[8] A. Suparmin, T. Kato, H. Dohra, et al. (2017), "Insight into cordycepin biosynthesis of *Cordyceps militaris*: Comparison between a liquid surface culture and a submerged culture through transcriptomic analysis", *PLOS ONE*, **12(11)**, pp.1-16, DOI: 10.1371/journal.pone.0187052.

[9] N. Kazuhiro, I. Hiroyuki, T. Soukichi (2009), "Membrane-surface liquid culture, fungi", *Encyclopedia of Industrial Biotechnology: Bioprocess, Bioseparation*, pp.1-7, DOI: 10.1002/9780470054581.eib411.

[10] T. Tanaka, S. Eguchi, T. Aoki, et al. (2007), "Production of laccase by membrane-surface liquid culture of *Trametes versicolor* using a poly (L-lactic acid) membrane", *Biochemical Engineering Journal*, **33(2)**, pp.188-191, DOI: 10.1016/j.bej.2006.10.002.

[11] V.T. Tran, X.T. Vu (2020), "Establishment of an *Agrobacterium tumefaciens*-mediated gene transfer approach for the medicinal fungus *Cordyceps militaris* G12", *Vietnam Journal of Science and Technology-MOST*, **62(5)**, pp.60-64 (in Vietnamese).

[12] T.X. Vu, T.T. Ngo, L.T.D. Mai, et al. (2018), "A highly efficient *Agrobacterium* tumefaciens-mediated transformation system for the postharvest pathogen *Penicillium digitatum* using *DsRed* and *GFP* to visualize citrus host colonization", *Journal of Microbiological Methods*, **144**, pp.134-144, DOI: 10.1016/j.mimet.2017.11.019.

[13] X.T. Vu, T.H.L. Nguyen, B.T. Tran, et al. (2023a), "Development of HPLC-DAD method for the quantification of pentostatin in the fruiting body of *Cordyceps militaris*", *Vietnam Journal of Science and Technology*, **65(7)**, pp.60-66, DOI: 10.31276/VJST.65(7).60-66 (in Vietnamese).

[14] T.X. Vu, H.D. Thai, B.H.T. Dinh, et al. (2023b), "Effects of MAT1-2 spore ratios on fruiting body formation and degeneration in the heterothallic fungus *Cordyceps militaris*", *Journal of Fungi*, **9(10)**, pp.1-11, DOI: 10.3390/jof9100971.

[15] V.T. Tran, T.B.X.L. Do, T.K. Nguyen, et al. (2017), "A simple, efficient and universal method for the extraction of genomic DNA from bacteria, yeasts, molds and microalgae suitable for PCR-based applications", *Vietnam Journal of Science, Technology and Engineering*, **59(4)**, pp.66-74, DOI: 10.31276/VJSTE.59(4).66.

[16] T.J. White, T.D. Bruns, S.B. Lee, et al. (1990), "Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics", *PCR Protocols: A Guide to Methods and Applications*, **18(1)**, pp.315-322, DOI: 10.1016/B978-0-12-372180-8.50042-1.

[17] P. Zheng, Y. Xia, G. Xiao, et al. (2012), "Genome sequence of the insect pathogenic fungus *Cordyceps militaris*, a valued traditional Chinese medicine", *Genome Biology*, **12(11)**, pp.1-22, DOI: 10.1186/gb-2011-12-11-r116.

[18] H.H. Lee, N. Kang, I. Park, et al. (2017), "Characterization of newly bred *Cordyceps militaris* strains for higher production of cordycepin through HPLC and URP-PCR analysis", *Journal of Microbiology and Biotechnology*, **27(7)**, pp.1223-1232, DOI: 10.4014/jmb.1701.0104.

[19] J. Yin, X. Xin, Y. Weng, et al. (2017), "Transcriptome-wide analysis reveals the progress of *Cordyceps militaris* subculture degeneration", *PLOS ONE*, **12(10)**, pp.1-14, DOI: 10.1371/journal.pone.0186279.

[20] J. Curran, F. Driver, J.W.O. Ballard, et al. (1994), "Phylogeny of Metarhizium: Analysis of ribosomal DNA sequence data", *Mycological Research*, **98(5)**, pp.547-552, DOI: 10.1016/S0953-7562(09)80478-4.

[21] D.N. Anh, T.T. Chien, T.B. Tram, et al. (2024), "Research on isolation, identification, and determination of suitable conditions for the cultivation of albino *Cordyceps militaris* SHBTD fruiting bodies", *Vietnam Journal of Biotechnology*, **22(2)**, pp.357-366, DOI: 10.15625/vjbt-21015.

[22] G.T. Do, D.T. Ta, N.H. Nguyen, et al. (2026), "LED light spectra modulate growth, morphogenesis, and bioactive compound production in *Cordyceps militaris* (Ascomycota)", *International Journal of Medicinal Mushrooms*, **28(4)**, pp.41-56, DOI: 10.1615/IntJMedMushrooms.2025062343.

[23] X. Liu, C. Xiao, X. Yu, et al. (2025), "Peptone source effects on recombinant protease production and cellular responses in yeast", *Enzyme Microbial Technology*, **189**, DOI: 10.1016/j.enzmictec.2025.110674.

[24] M. Adnan, S.A. Ashraf, S. Khan, et al. (2017), "Effect of pH, temperature and incubation time on cordycepin production from *Cordyceps militaris* using solid - state fermentation on various substrates", *CyTA - Journal of Food*, **15(4)**, pp.617-621, DOI: 10.1080/19476337.2017.1325406.

[25] M. Masuda, E. Urabe, H. Honda, et al. (2007), "Enhanced production of cordycepin by surface culture using the medicinal mushroom *Cordyceps militaris*", *Enzyme and Microbial Technology*, **40**, pp.1199-1205, DOI: 10.1016/j.enzmictec.2006.09.008.

 DOI: 10.31276/VJST.2025.3708

Phân tích đa dạng di truyền của các giống dâu tây (*Fragaria* spp.) bằng chỉ thị phân tử RAPD

Trịnh Ngọc Ái[1*], Lâm Bảo Lộc[2], Nghị Khắc Nhu[1], Trần Thị Thùy Dương[1], Trần Thị Kim Như[1]

[1]Viện Công nghệ Sinh học, Đại học Trà Vinh, 126 Nguyễn Thiện Thành, phường Hòa Thuận, tỉnh Vĩnh Long, Việt Nam
[2]Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh, phường Linh Xuân, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 29/10/2025; ngày chuyển phản biện 3/11/2025; ngày nhận phản biện 2/12/2025; ngày chấp nhận đăng 8/12/2025

Tóm tắt:

Cây dâu tây (*Fragaria* spp.) là một loại cây có giá trị kinh tế, dinh dưỡng và y học cao. Quả dâu tây giàu vitamin C, chất chống oxy hóa và được ưa chuộng trên thị trường trong nước lẫn quốc tế. Mục tiêu của nghiên cứu này là xác định đa dạng di truyền, mối quan hệ và hệ số tương đồng của các giống dâu tây sử dụng chỉ thị phân tử RAPD. 13 mẫu dâu tây được thu thập tại Phòng nuôi cấy mô GoodSeed, Đà Lạt. DNA từ mẫu lá được ly trích bằng bộ kit DNeasy® Plant Pro (Qiagen - Hà Lan) và được sử dụng với 10 mồi RAPD (OPA16, OPA17, OPA20, OPG09, OPG11, OPG14, OPG18, OPK01, OPK02, OPK03). Cây phân loại được xây dựng bằng phần mềm NTSYSpc 2.1 theo phương pháp phân nhóm đôi các giá trị trung bình số học UPGMA. Kết quả phân tích 10 mồi RAPD tạo ra 138 băng, trong đó có 113 băng đa hình (81,79%). Mồi OPA20 cho tỷ lệ đa hình cao nhất (100%), OPK03 thấp nhất (64,23%). Hệ số khoảng cách di truyền dao động 0,11-0,47, với giá trị trung bình là 0,29. Phân tích phân nhóm bằng UPGMA trên phần mềm NTSYSpc 2.1 chia các giống thành năm nhóm riêng biệt, phản ánh mức độ đa dạng di truyền giữa các giống và là cơ sở quan trọng cho công tác bảo tồn và chọn tạo giống dâu tây trong tương lai.

Từ khóa: **cây dâu tây, đa dạng di truyền, *Fragaria × ananassa*, mồi RAPD.**

Chỉ số phân loại: **1.6, 4.6**

Analysis of genetic diversity among strawberry (*Fragaria* spp.) genotypes using RAPD molecular markers

Ngoc Ai Trinh[1*], Bao Loc Lam[2], Khac Nhu Nghi[1], Thi Thuy Duong Tran[1], Thi Kim Nhu Tran[1]

[1]Institute of Biotechnology, Tra Vinh University, 126 Nguyen Thien Thanh Street, Hoa Thuan Ward, Vinh Long Province, Vietnam
[2]Nong Lam University, Ho Chi Minh City, Linh Xuan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 29 October 2025; revised 2 December 2025; accepted 8 December 2025

Abstract:

The strawberry plant (*Fragaria* spp.) is a crop of high economic, nutritional, and medicinal value. Strawberry fruits are rich in vitamin C and antioxidants and are widely favoured in both local and international markets. The objective of this research was to determine the genetic diversity, relationships, and similarity coefficients among some strawberry cultivars using molecular markers of Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD). 13 strawberry cultivar samples were collected from the GoodSeed tissue culture laboratory, Da Lat. DNA from leaf samples was extracted by DNeasy® Plant Pro (Qiagen, the Netherlands) and amplified with 10 RAPD markers (OPA16, OPA17, OPA20, OPG09, OPG11, OPG14, OPG18, OPK01, OPK02, OPK03). A dendrogram was constructed using NTSYSpc 2.1 software based on the Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean (UPGMA). The results showed that 10 RAPD markers generated a total of 138 bands, of which 113 were polymorphic (81.79%). Primer OPA20 showed the highest polymorphism rate (100%), while OPK03 showed the lowest (64.23%). Genetic distance coefficients ranged from 0.11 to 0.47, with an average value of 0.29. Cluster analysis using UPGMA in NTSYSpc 2.1 software classified the cultivars into five distinct groups, reflecting the level of genetic diversity among them and providing a valuable basis for strawberry conservation and breeding programmes in the future.

Keywords: ***Fragaria × ananassa*, genetic diversity, RAPD molecular markers, strawberry.**

Classification numbers: **1.6, 4.6**

[*]Tác giả liên hệ: Email: ngocai@tvu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Cây dâu tây thuộc họ Hoa hồng (*Rosaceae*), có khoảng 3000 thành viên. Theo báo cáo của Tổ chức lương thực và Nông nghiệp liên hợp quốc thế giới (FAO) năm 2023, sản lượng dâu tây đạt hơn 9,18 triệu tấn. Châu Á là khu vực sản xuất dâu tây lớn nhất (4,53 triệu tấn), theo sau là Mỹ (2,18 triệu tấn), châu Âu (1,76 triệu tấn), châu Phi (634,29 nghìn tấn) và châu Đại Dương (60,31 nghìn tấn). Cây dâu tây là một loại cây ăn quả có giá trị kinh tế và giá trị dinh dưỡng cao [1]. Kết quả nghiên cứu cũng chỉ ra trong 100 g quả dâu tây có chứa 33 kilocalories, giàu vitamin C, mangan và cung cấp một số loại vitamin cùng khoáng chất thiết yếu khác [2]. Các giống dâu tây khác nhau về kích thước quả, màu sắc, mùi vị, hình dạng quả, thời vụ chín, mức độ sinh sản và khả năng chống chịu bệnh [3].

Bạch tuyết trắng là giống dâu tây có nguồn gốc từ Nam Mỹ, từng gần như tuyệt chủng trên thế giới. Năm 2010, loại dâu này được người dân Hà Lan, Bỉ hồi sinh thành giống dâu thương mại và được người Nhật Bản nhập giống để trồng và phát triển chúng cho đến ngày nay. Giống có vỏ ngoài màu trắng, có vị ngọt, mùi thơm như dứa. Nhật Sky (Skyberry) và Hana là hai giống dâu tây cao cấp từ tỉnh Tochigi, Nhật Bản. Skyberry có kích thức quả to, độ mọng nước, màu sắc tươi sáng và có vị chua ngọt đặc trưng [4]. New Zealand là một trong các giống dâu tây cao cấp tại Đà Lạt và nguồn gốc từ châu Mỹ, sau này được lai tạo và được trồng rộng rãi từ nửa cuối thế kỷ XVIII. Giống New Zealand có màu đỏ rực rỡ, thịt giòn ngọt và đặc biệt tỏa ra hương thơm quyến rũ [5]. Giống dâu tây Pháp, Mara des Bois là một giống dâu tây, được lai tạo vào những năm 80 của thế kỷ XX bởi các nhà lai tạo người Pháp của công ty Andre, dựa trên (Gento x Ostara) x (Red Gauntlet x Korona) [5]. Trái dâu tây Pháp có kích thước trung bình đến lớn, thịt dày, quả mọng nước, có vị ngọt thanh, chua nhẹ, mùi thơm dịu và hậu vị kéo dài [6]. Giống Albion là giống được lai tạo từ giống "Diamante" với giống Cal 94.16-1. Giống Albion có khả năng kháng bệnh *Phytophthora cactorum*; tương tự với giống "Aromas", nhưng quả to hơn, chất lượng cao hơn, độ cứng và hương thơm tốt hơn [7]. Giống Monterey, được lai tạo từ giống Albion (mã số giống 97.85-6), được đưa vào thị trường năm 2002. Monterey là cây cho quả quanh năm, năng suất cao và khả năng kháng bệnh tốt, thân cây rộng và thẳng, quả có hương vị nổi bật với hậu vị ngọt [8]. Tại Hàn Quốc, giống dâu Hàn Samgong và Hàn King là hai đại diện tiêu biểu cho xu hướng lai tạo nội địa với mục tiêu nâng cao chất lượng và sản lượng. Dâu tây Hàn Quốc có kích thước trái lớn, màu đỏ tươi, quả mọng và rất ngọt. Giống Nhật Lùn, loại dâu có chiều cao thấp, dễ chăm sóc và phù hợp với không gian trồng nhỏ và mô hình nông nghiệp đô thị. Trái to, mọng nước, màu đỏ tươi, vị ngọt thanh xen lẫn chua nhẹ, thơm ngon [9]. Giống Úc cũng được lai tạo rất đa dạng, với các giống phổ biến như Albion, Ruby Gem, Gamarosa và Festival, vốn có nguồn gốc từ Mỹ, Israel và Nhật Bản. Giống có màu đỏ tươi, vị ngọt thanh mát, hương thơm nhẹ [10]. Sabrian cũng là một giống dâu tây có nguồn gốc từ châu Mỹ, có quả to [11]. Hà Lan là một quốc gia nổi tiếng trong việc lai tạo và phát triển các giống dâu tây, đặc biệt là từ thế kỷ 20. Giống HLHH có thể là một biến thể được phát triển tại Hà Lan, với đặc điểm nổi bật là khả năng chịu nhiệt tốt và hoa có màu hồng đậm, gợi liên tưởng đến hoa hồng (thuộc cùng họ Rosaceae với dâu tây) [12].

Có nhiều chương trình nhân giống được thực hiện, nhằm tạo ra các giống dâu tây mới cải thiện hương vị hoặc kéo dài thời gian thu hoạch và bảo quản [13]. Theo truyền thống, việc xác định các giống dâu tây được thực hiện bằng cách kiểm tra sự khác biệt về đặc điểm hình thái hoặc sinh lý như các thông số về lá, hoa, quả và thời gian ra hoa [11]. Tuy nhiên, những phương pháp đó không phù hợp với dâu tây vì sự khác biệt di truyền và kiểu hình giữa các giống là rất nhỏ. Các đặc điểm kiểu hình có hạn chế là chúng bị ảnh hưởng bởi các yếu tố môi trường và các giai đoạn phát triển của thực vật, đặc biệt là các nghiên cứu mức độ đa hình về kiểu hình vẫn chưa được đánh giá đầy đủ [14]. Ngược lại, các chỉ thị phân tử được dựa trên tính đa hình của trình tự DNA thì không phụ thuộc vào điều kiện môi trường và đưa ra mức độ đa hình cao. Do đó, chỉ thị phân tử DNA được phát triển để phân tích đa dạng di truyền, lập bản đồ liên kết và xác định giống dâu tây [15]. Phân tích đa dạng di truyền trong quần thể thông qua Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) cho thấy, sự đa dạng cao của các chỉ thị và tiềm năng ứng dụng của các chỉ thị phân tử trong các nghiên cứu quần thể. So sánh với phương pháp phân tích allozyme, AFLP, SSR và RFLP, phương pháp RAPD cung cấp số lượng mồi nhiều hơn và được xem là phương pháp đơn giản, hiệu quả trong việc phát hiện đa dạng di truyền [16]. Kỹ thuật RAPD, một phương pháp nhanh và chi phí tương đối thấp, được sử dụng rộng rãi để phân tích sự biến đổi di truyền của vi khuẩn, nấm và thực vật [17], được mô tả như một kỹ thuật khá mạnh để đánh giá sự đa dạng di truyền nhằm phát hiện điểm tương đồng giữa và bên trong loài mà không cần biết trước trình tự DNA. Mặc dù khả năng tái tạo thấp hơn, phương pháp RAPD thường được mong muốn hơn do các nghiên cứu về hiệu quả chi phí liên quan đến số lượng mẫu nhỏ hơn. Công nghệ RAPD đã được sử dụng để nghiên cứu sự đa dạng di truyền trong và giữa các quần thể, đã được áp dụng cho nhiều loài thực vật quý hiếm hoặc bị đe dọa như ở cây huệ trắng (*Polianthes tuberosa* L.) [18], cây ớt [19-21], nấm sò [22], cây dâu tây [23], cà tím [24] và cây chuối [25].

Phạm vi biến đổi di truyền được kiểm soát bởi hệ thống sinh sản, từ đó kiểm soát sự thay đổi thích nghi [26]. Đa dạng di truyền tương đối giữa các cá thể hoặc quần thể có thể được xác định bằng cách sử dụng các chỉ thị kiểu hình và phân tử.

Đà Lạt được xem là địa điểm lý tưởng cho quá trình canh tác các giống dâu tây như Bạch tuyết trắng, HLHH, Monterey, Úc, Pháp, Nhật lùn, Albion, Nhật Sky, Hàn Samgong, Hàn King, New Zealand, Hana, Sabrian, nhưng có rất ít nghiên cứu về sự đa dạng di truyền cũng như sự tương đồng của các giống dâu tây trên được thực hiện. Mục tiêu trong nghiên cứu này là sử dụng 10 chỉ thị phân tử RAPD để phân tích đa dạng di truyền của 13 giống dâu tây thương mại được trồng phổ biến tại Đà Lạt. Kết quả nghiên cứu có thể được sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo như bảo tồn đa dạng di truyền, các chương trình nhân giống và nghiên cứu di truyền hoặc bộ gen của các giống dâu tây.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Mười ba mẫu dâu tây được cung cấp từ phòng nuôi cấy mô GoodSeed (Thánh Mẫu, Langbiang, Đà Lạt). Cây con được thuần tại trang trại giống (Nguyên Tử Lực, phường Lâm Viên, Đà Lạt) và được trình bày ở bảng 1, hình 1. Mẫu lá dâu tây thu tại trang trại giống được bỏ vào túi zip, bảo quản lạnh và được chuyển về phòng thí nghiệm thuộc Viện Công nghệ Sinh học, Trường Đại học Trà Vinh để tiến hành ly trích DNA. Thời gian thu mẫu là tháng 5/2025.

Bảng 1. Danh sách các giống dâu được thu thập tại Đà Lạt.

STT	Tên mẫu	Mã hóa mẫu	Nguồn gốc
1	Bạch tuyết trắng	BTT	Nam Mỹ
2	Nhật Sky	NS	Nhật Bản
3	Hà Lan hoa hồng	HLHH	Hà Lan
4	New Zealand	NEW	Châu Mỹ
5	Hana	HN	Nhật Bản
6	Pháp	P	Pháp
7	Hàn Samgong	HS	Hàn Quốc
8	Úc	U	Dâu Mỹ x dâu Chile
9	Albion	ALB	California, Mỹ
10	Hàn King	HK	Hàn Quốc
11	Monterey	MON	California, Mỹ
12	Nhật lùn	NL	Nhật Bản
13	Sabrian	SAB	Châu Mỹ



Hình 1. Đặc điểm quả, lá và hoa của 13 giống dâu tây được dùng trong nghiên cứu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Tách chiết DNA và phản ứng RAPD: 0,1 g mẫu lá được tách chiết theo quy trình của DNeasy® Plant Pro Kit (Qiagen - Hà Lan). Mẫu DNA sau khi tách chiết được tiến hành kiểm tra nồng độ bằng máy Nanodrop (Thermo Scientific) và điện di trên gel 1% agarose.

Tổng thể tích của một phản ứng PCR - RAPD là 10 µl bao gồm: 5 µl Phanta flash master mix 1X, 2 µl DNA khuôn (100 ng/µl), 1 µl mồi RAPD (100 pmol) và 2 µl nước siêu sạch khử ion. Trình tự mồi được trình bày ở bảng 2. Mỗi mồi được lặp lại 2 lần. Phản ứng PCR được thực hiện trên máy PCR (Mastercycler® X50s, Eppendorf) với các thông số chu trình nhiệt như sau: Chương trình gia nhiệt cho phản ứng PCR khởi đầu bằng giai đoạn biến tính DNA ở nhiệt độ 94°C trong 5 phút, theo sau là 45 chu kỳ gia nhiệt với các giai đoạn: biến tính DNA ở 94°C trong 15 giây, gắn mồi ở 32-34°C (tùy loại mồi) trong 60 giây, tổng hợp DNA ở 72°C trong 15 giây và kết thúc phản ứng PCR bằng giai đoạn ổn định sản phẩm ở 72°C trong 5 phút và lưu trữ ở 4°C.

Bảng 2. Các primer sử dụng cho kỹ thuật RAPD dùng để đánh giá 13 giống dâu tây.

STT	Tên primer	Trình tự primer (5'-3')	Tm (°C)	Tài liệu tham khảo
1	OPA16	AGCCAGCGAA	32	[27]
2	OPA17	GACCGCTTGT	32	[27]
3	OPA20	GTTGCGATCC	32	[27]
4	OPG09	CTGACGTCAC	32	[23]
5	OPG11	TGCCCGTCGT	34	[27]
6	OPG14	GGATGAGACC	32	[27]
7	OPG18	GGCTCATGTG	32	[27]
8	OPK01	TGC CGA GCT G	34	[23]
9	OPK02	GTG AGG CGT C	34	[23]
10	OPK03	CCC TAC CGA C	34	[23]

Phân tích và xử lý số liệu: Dữ liệu thu được từ phản ứng PCR với chỉ thị RAPD trên gel sẽ được chuyển đổi thành một ma trận nhị phân trong Excel. Cách mã hóa dữ liệu sẽ như sau: Số 1 đại diện cho sự hiện diện của băng DNA, trong khi số 0 cho thấy không có băng DNA.

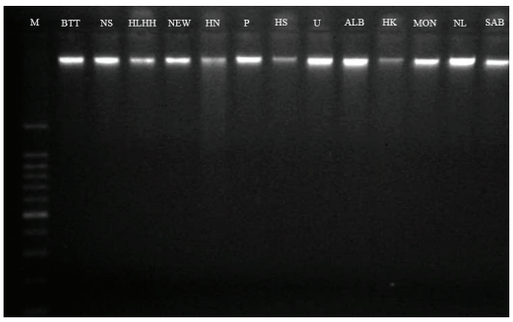
Dữ liệu này sau đó sẽ được dùng để xây dựng cây phân loại di truyền cho các giống dâu tây dựa vào phần mềm NTSYSpc 2.1 theo phương pháp phân nhóm đôi các giá trị trung bình số học UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean). Biểu đồ cây phân loại di truyền sẽ được tạo ra thông qua phương pháp SAHN (Sequential Agglomerative Hierarchical Non - overlapping) trong phần mềm NTSYSpc 2.1.

Thực hiện tính toán chỉ số đa hình PIC (Polymorphic Information Content) của mỗi băng RAPD được tính theo công thức: PIC (i)=1 - Σ Pij^2 [28]. Chỉ số sai khác giữa các cấp mồi Rp (resolving power) được tính theo công thức: Rp=Σ I_b, trong đó, I_b là giá trị đại diện cho thông tin của đoạn, I_b=1-(2x|0,5-p|), p là tỷ lệ các mẫu xuất hiện băng vạch [29].

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Kết quả tách chiết DNA tổng số

Trong nghiên cứu này, tổng số DNA được ly trích từ mẫu lá của 13 giống dâu tây đều đạt chất lượng tốt, đáp ứng đủ điều kiện cho các thí nghiệm đánh giá đa dạng di truyền dựa vào chỉ thị RAPD (hình 2).

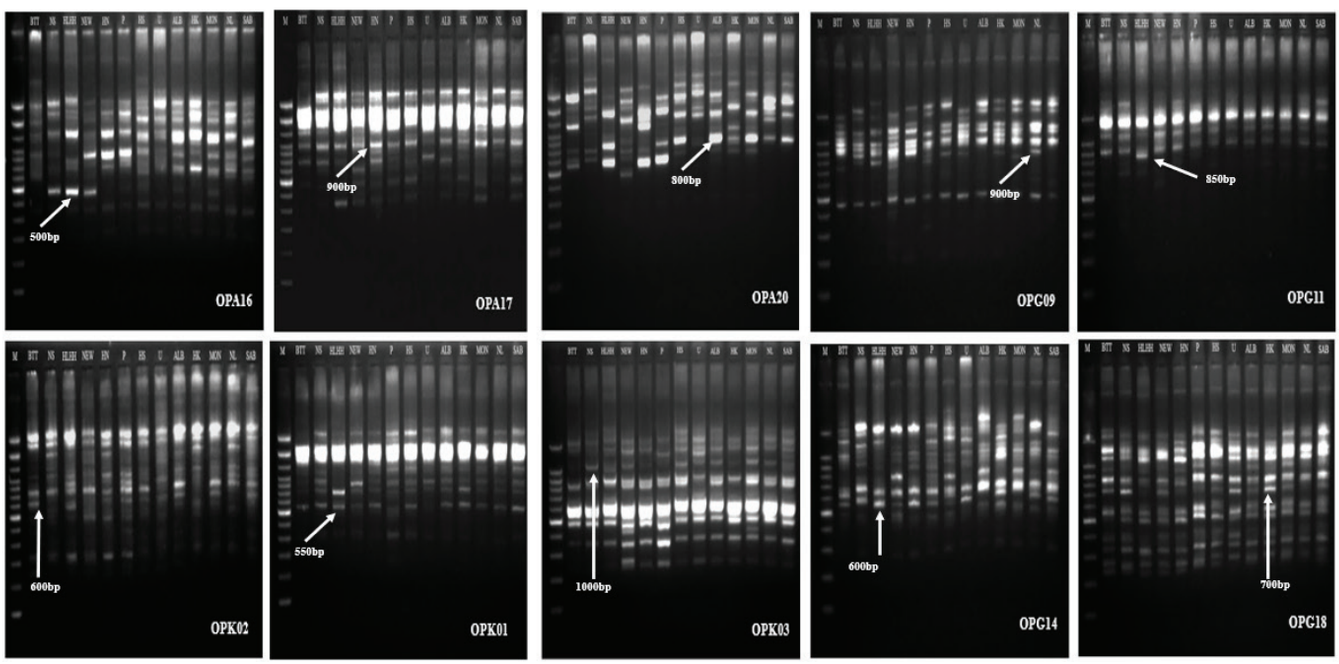


Hình 2. Kết quả điện di DNA tổng số. M là thang chuẩn (1 kb).

3.2. Đa dạng di truyền dựa trên chỉ thị RAPD

Kết quả nghiên cứu cho thấy, tất cả 10 mồi RAPD được dùng để đánh giá đa dạng di truyền của 13 giống dâu tây đều tạo ra sản phẩm khuếch đại. Tuy nhiên, có sự khác biệt rõ về số lượng băng được khuếch đại, tỷ lệ đa hình ở các mồi khác nhau (hình 3).

Kết quả bảng 3 cho thấy, tất cả các mồi đều tạo ra sản phẩm khuếch đại với số lượng băng dao động từ 11 đến 16, tỷ lệ băng đa hình từ 64,23 đến 100%, phản ánh mức độ đa dạng di truyền giữa 13 giống dâu tây được khảo sát. Trong đó, mồi OPA20 thể hiện hiệu suất vượt trội với 100% băng đa hình, kích thước từ 300 đến 2500 bp, trong khi mồi OPK03 có tỷ lệ thấp nhất (64,23%)



Hình 3. Kết quả điện di với 10 chỉ thị RAPD. M là thang chuẩn (1kb). Các băng đa hình rõ nét (300-2600 bp) được dùng để phân tích RAPD. Mũi tên chỉ ra các băng đa hình của mồi.

và 5 băng đồng hình tại kích thước 220, 350, 550, 850 và 1500 bp. Trong nghiên cứu của R.G.F. Morales và cs (2011) [27], chỉ ghi nhận một băng đa hình trong chín băng (tương đương 12,5%), nghiên cứu hiện tại cho thấy khả năng vượt trội của mồi OPA20 trong việc phát hiện sự đa hình di truyền của các giống dâu tây. Kết quả cũng chỉ ra, mồi OPK03 cho kết quả tốt hơn so với nghiên cứu của H.A.M. Khalil và cs (2019) [30], trong đó chỉ phát hiện 1 băng đa hình trong 4 băng tương đương 25%. Việc gia tăng số lượng và tỷ lệ băng đa hình cho thấy sự tối ưu trong điều kiện phản ứng và độ đa dạng của các giống khảo sát.

Một số mồi như OPA16, OPG09, OPG14 và OPK02 có tỷ lệ đa hình cao (trên 85%), cùng với chỉ số PIC (0,35, 0,33, 0,38 và 0,45) và Rp (13,38, 12,31, 15,23 và 10,15) đạt mức tương đối cho thấy độ phân giải tốt và mức độ đa hình cao của các mồi trong đánh giá sự đa dạng di truyền. Mồi OPA16 tạo ra 12 băng, trong đó có 11 băng đa hình, chiếm tỷ lệ 91,67% và một băng đồng hình tại vị trí 500 bp. Kích thước các băng dao động 300-2000 bp. Kết quả tương tự được tìm thấy trong nghiên cứu của G.R. Aristya và cs (2019) [23] ở giống dâu tây và một số giống mâm xôi. Điều này cho thấy, mồi OPA16 có tính ổn định và độ nhạy cao trong việc phát hiện đa hình ở giống dâu tây. Mồi OPG09 nghiên cứu trên cây nghệ tây cho tổng số băng là 10, với số băng đa hình là 7, chiếm tỷ lệ 70%. Chỉ số PIC là 0,27 và chỉ số sai khác Rp là 4,41. Trong nghiên cứu của M.A. Mir và cs (2021) [31] cho thấy, mồi OPG09 cho kết quả đa hình khá cao các chỉ số Rp và PIC đều đạt ở mức trên trung bình. Mồi OPG14 khuếch đại được 16 băng, trong đó có 13 băng đa hình, chiếm tỷ lệ 81,25% và 3 băng đồng hình tại các vị trí 300, 450 và 650 bp. So sánh với nghiên cứu của H.M. Kwon và cs (2020) [32], chỉ phát hiện 6 băng đa hình trong 8 băng, tương đương 75% và chỉ số PIC là 0,38. Kết quả hiện tại không chỉ ghi nhận số lượng băng cao gấp đôi mà còn đạt cùng chỉ số PIC, khẳng định tính phân biệt di truyền mạnh hơn của mồi OPG14. Mồi OPK02 tạo ra tổng cộng 15 băng, trong đó có 13 băng đa hình, chiếm tỷ lệ 86,67% và 2 băng đồng hình tại kích thước 1800 và 2100 bp. Tại vị trí 320 bp, băng xuất hiện ở tất cả các giống khảo sát, ngoại trừ giống U, cho thấy khả năng phân biệt tốt giữa các giống. Trong nghiên cứu của M.S.H. Bir và cs (2018) [33], mồi OPK02 tạo ra 10 băng, trong đó có 9 băng đa hình, chiếm tỷ lệ 90% khi phân tích 18 biến thể soma của cây dâu tây. Mặc dù số lượng băng được phát hiện trong nghiên cứu hiện tại nhiều hơn (15 so với 10), tỷ lệ đa hình nhìn chung tương đương. Điều này cho thấy mồi OPK02 có độ tin cậy và khả năng ứng dụng cao trong việc phân tích đa dạng di truyền ở nhiều loài cây khác nhau.

Ngoài ra, các mồi như OPG18 và OPK01, dù có số lượng băng đồng hình cao hơn, vẫn phát hiện được sự phân biệt rõ giữa các giống, phản ánh sự khác biệt về vật chất di truyền, có thể do điều kiện canh tác hoặc lai tạo. So sánh với một số nghiên cứu trước cho thấy, hầu hết các mồi trong nghiên cứu hiện tại cho hiệu suất cao hơn, khẳng định tính ổn định và khả năng ứng dụng thực tiễn của chúng [23, 27, 28, 32].

Phân tích hệ số PIC của 10 mồi RAPD cho thấy, mồi OPK02 có chỉ số PIC cao nhất (0,45), chứng tỏ OPK02 được sử dụng phổ biến trong nghiên cứu đa dạng di truyền. Hệ số PIC của các mồi OPA20 (0,40), OPG14 (0,38), OPA17 (0,36), OPA16 (0,35), OPG18 (0,33), OPG09 (0,33) và OPK03 (0,32) cho thấy chúng có khả

Bảng 3. Hệ số khoảng cách di truyền của 13 giống dâu tây dựa trên 10 mồi RAPD.

Mẫu	BTT	NS	HLHH	NEW	HN	P	HS	U	ALB	HK	MON	NL	SAB	Trung bình
BTT	0,00													
NS	0,27	0,00												
HLHH	0,40	0,39	0,00											
NEW	0,34	0,29	0,47	0,00										
HN	0,29	0,24	0,35	0,24	0,00									
P	0,38	0,33	0,40	0,30	0,34	0,00								
HS	0,38	0,30	0,34	0,28	0,26	0,24	0,00							
U	0,31	0,30	0,41	0,36	0,32	0,35	0,24	0,00						
ALB	0,41	0,33	0,37	0,35	0,31	0,29	0,18	0,25	0,00					
HK	0,41	0,23	0,44	0,36	0,27	0,34	0,24	0,19	0,22	0,00				
MON	0,41	0,31	0,40	0,34	0,29	0,27	0,17	0,27	0,11	0,24	0,00			
NL	0,44	0,29	0,41	0,37	0,31	0,39	0,26	0,26	0,24	0,21	0,22	0,00		
SAB	0,41	0,43	0,40	0,41	0,33	0,37	0,24	0,30	0,22	0,29	0,28	0,24	0,00	
Trung bình	**0,37**	**0,31**	**0,40**	**0,33**	**0,30**	**0,32**	**0,22**	**0,25**	**0,20**	**0,25**	**0,25**	**0,24**		**0,29**

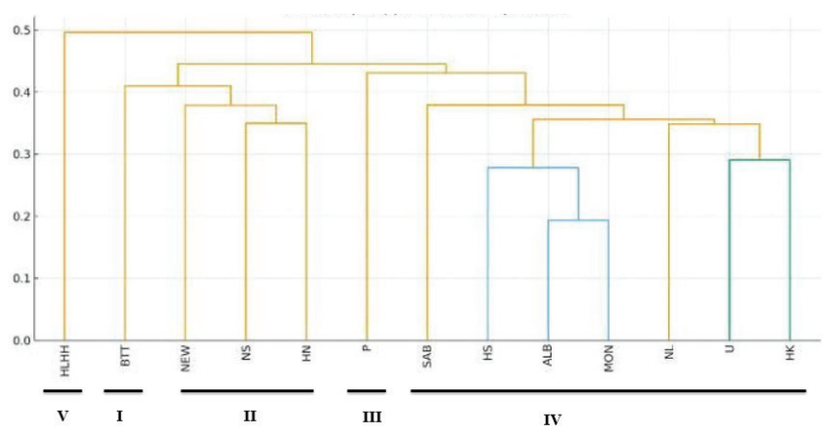
năng phân biệt đa dạng di truyền khá tốt. Các mồi như OPG11 (0,28) và OPK01 (0,24) có chỉ số PIC thấp, điều này cho thấy chúng có khả năng phân biệt kém hơn và có thể ít hiệu quả trong việc phát hiện sự đa dạng di truyền trong các mẫu (bảng 3).

Chỉ số sai khác giữa các cặp mồi (Rp) cho thấy sự tương quan giữa kiểu gen với chỉ thị phân tử DNA, chỉ số Rp càng cao chứng tỏ chỉ thị đó hiệu quả trong việc phân nhóm kiểu gen. Chỉ số Rp trung bình của 10 mồi RAPD là 11,12. Mồi OPK01, có chỉ số Rp thấp nhất là 6,15. Mồi OPA20 và OPG14 có chỉ số Rp cao nhất là 15,23. Hai mồi OPA14 và OPA20 có chỉ số Rp cao nhất là 15,23, cho thấy hai mồi này có khả năng phân biệt rất mạnh mẽ giữa các mẫu và có thể tạo ra nhiều băng đặc trưng. Các mồi OPK02, OPG09, OPA16, OPG18 có chỉ số Rp lần lượt là 10,15, 12,31, 13,38, 13,85, cũng khá cao, cho thấy khả năng phân biệt tốt. Các mồi như OPK01 (6,15), OPG11 (7,08), OPA17 (8,31), OPK03 (9,54) có chỉ số Rp thấp hơn, cho thấy khả năng phân giải của chúng là yếu, và các kết quả thu được có thể ít rõ ràng hơn.

3.3. Phân nhóm di truyền của các giống dâu tây

Khoảng cách di truyền càng nhỏ thì hai mẫu càng tương đồng, ít khác biệt về mặt di truyền và đứng gần nhau trong cây phát sinh loài. Kết quả cho thấy, hệ số khoảng cách di truyền của 13 giống dâu tây nằm trong khoảng 0,11-0,47 với giá trị trung bình là 0,29. Hai giống dâu tây là ALB và MON có mối quan hệ di truyền gần nhau nhất, với hệ số khoảng cách di truyền là 0,11. Trong khi đó, giữa các giống như HLHH và NEW có mối quan hệ di truyền khá xa nhau với hệ số khoảng cách di truyền là 0,47.

Tính hữu hiệu của các mồi RAPD trong việc giải quyết các liên kết di truyền đã được xác nhận bởi cây phân nhóm di truyền (hình 4), cho thấy sự biến đổi di truyền giữa các giống dâu tây với 2 cụm chính và 5 nhóm riêng biệt.



Hình 4. Cây phân nhóm di truyền 13 giống dâu tây dựa vào 10 mồi RAPD.

Sơ đồ phân nhóm di truyền của 13 giống dâu tây được phân thành 5 nhóm chính, các nhóm 1 giống bao gồm nhóm I chỉ có sự hiện diện của một giống là giống BTT, nhóm III có sự hiện diện của giống Pháp và nhóm V có sự hiện diện của giống HLHH. Giống BTT có nguồn gốc từ Nam Mỹ, trái màu trắng, trong khi đó, giống HLHH có hoa màu hồng. Điều này chứng tỏ giống này có sự khác biệt di truyền so với các giống còn lại và được chia riêng lẻ thành một nhóm. Kết quả nghiên cứu phù hợp với nghiên cứu của T.T.Y. Nhu và cs (2025) [34], kết quả đánh giá đa dạng di truyền của sáu giống dâu tây bằng mồi rbcL marker chỉ ra giống HLHH được tách ra thành nhóm riêng thông qua phương pháp phân tích maximum parsimony.

Nhóm II có hệ số khoảng cách di truyền nằm trong khoảng 0,23-0,27, tương ứng với hệ số tương đồng di truyền là 0,73-0,77. Nhóm II được chia thành hai nhóm phụ, nhóm phụ II.1 có 2 giống NS và HN, nhóm phụ II.2 có giống NEW. Trong đó, Nhật Sky hay Skyberry và Hana là hai giống dâu tây có chung nguồn gốc từ Nhật Bản (bảng 1). Trong khi đó, giống NEW lại có nguồn gốc từ châu Mỹ nên chúng tách biệt với giống HN và HS.

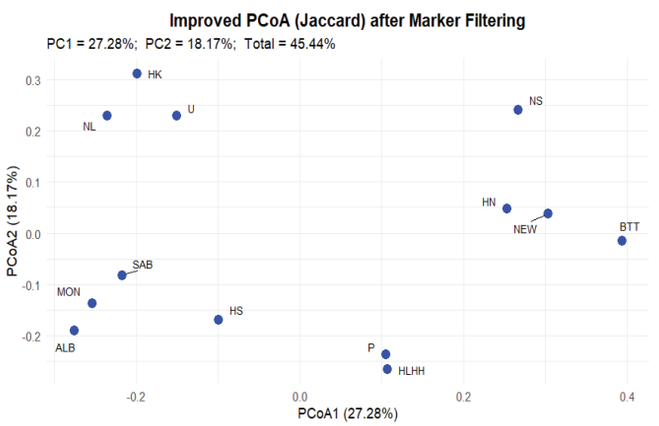
Nhóm IV bao gồm 7 giống, có hệ số khoảng cách di truyền là 0,11-0,27 tương ứng với hệ số tương đồng di truyền là 0,73-0,89, được chia thành ba nhóm bên trong. Nhóm phụ IV.1 bao gồm các giống HS, ALB và MON. Hai giống là Albion và Monterey được phát triển tại Đại học California, có hệ số khoảng cách là 0,11, điều này có thể chứng minh hai giống ALB và MON có thể cùng chung bố mẹ với nhau. Mặc dù các giống dâu tây được lai tạo từ các chương trình nhân giống khác nhau, việc trao đổi nguồn gen cũng có thể xảy ra trong các giống [35]. Các giống trong nhóm IV.2 có nguồn gốc từ nhiều quốc gia khác nhau như Úc, Hàn Quốc và Nhật Bản. Các giống được phân loại nhóm phụ IV.2 bao gồm U, HK và NL, được phân loại theo chất lượng trái (trái ngọt) [9] cho thấy có mối quan hệ gần với nhau. Nhóm phụ IV.3 phân thành nhóm nhỏ, chỉ tồn tại giống SAB. Giống SAB mặc dù có cùng nguồn gốc với NEW, nhưng có vẻ chúng được lai tạo từ các kiểu gen khác nhau.

Việc đa dạng hóa nguồn giống từ nhiều quốc gia góp phần nâng cao chất lượng sản phẩm dâu tây và vì thế, khả năng chia sẻ nguồn gene giữa chúng là rất cao, góp phần tạo nên mối quan hệ di truyền giữa chúng. Mặt khác, có những giống có nguồn gốc

khác nhưng lại có quan hệ di truyền gần với nhau, có thể do điều kiện sinh trưởng khắc nghiệt dẫn đến sự biến đổi trong bộ gene. Ngoài ra, việc trồng ở các trang trại tại Đà Lạt có thể xảy ra hiện tượng lẫn giống hoặc chia sẻ nguồn vật liệu nhân giống, dẫn đến lẫn tạp trong bộ gene của các giống, tạo nên sự tương đồng di truyền giữa chúng.

3.4. Phân tích thành phần chính

Để phản ánh tốt mối quan hệ di truyền của 13 giống dâu tây dựa trên ma trận tương đồng di truyền, phân tích thành phần chính (PCoA) được tiến hành. Trong mô hình PCoA, hai thành phần chính đóng góp 27,28 và 18,17% (tổng 45,44%) (hình 5). Các mẫu được chia thành 3 nhóm chính. Nhóm thứ nhất (NL, HK, U, MON, SAB, ALB, HS) tập trung về phía âm của trục PCoA1, thể hiện sự tương đồng di truyền cao, có thể đại diện cho nhóm bản địa hoặc cùng nguồn gốc tiến hóa. Nhóm thứ hai gồm P và HLHH nằm ở vị trí trung gian, có khả năng là kết quả của quá trình lai tạo hoặc giao thoa giữa hai nhóm còn lại. Nhóm thứ ba (NEW, HN, NS, BTT) phân bố về phía dương của trục PCoA1, thể hiện sự sai khác di truyền lớn hơn, trong đó BTT và NS là hai mẫu tách biệt rõ rệt, có thể mang đặc điểm gen đặc thù hoặc nguồn gốc ngoại lai. Tổng thể, kết quả phản ánh sự đa dạng di truyền tương đối cao giữa các mẫu, đồng thời chứng minh hiệu quả của quá trình lọc marker trong việc cải thiện chất lượng dữ liệu. Sự phân bố các nhóm di truyền này có ý nghĩa quan trọng trong chọn giống, bảo tồn nguồn gen và đánh giá quan hệ di truyền, đặc biệt khi lựa chọn các mẫu khác biệt di truyền để lai tạo nhằm tăng tính đa dạng trong quần thể. Kết quả tương tự cũng được ghi nhận trong nghiên cứu của M. Paul và cs (2018) [36] và O. Prakash và cs (2019) [37], đã sử dụng chỉ thị phân tử để đưa ra sự khác biệt di truyền trong số các giống cà chua dựa vào kết quả phân tích của PCoA.



Hình 5. Phân tích thành phần chính (PCoA analysis) của chỉ thị RAPD cho thấy sự đa dạng phân tử giữa 13 kiểu gen dâu tây.

4. Kết luận

Nghiên cứu sử dụng 10 mồi RAPD để đánh giá tính đa hình di truyền của 13 giống dâu tây, ghi nhận tổng cộng 113 băng đa hình, với trung bình 11,3 băng trên mỗi mồi. Giá trị PIC trung bình đạt 0,34, phản ánh mức độ đa dạng di truyền nhất định giữa các giống được khảo sát. Chỉ số sai khác Rp trung bình đạt 11,2 thể hiện hiệu quả cao trong việc phân nhóm kiểu gen của các mồi. Cây phân nhóm di truyền chia 13 giống dâu tây thành năm nhóm, với khoảng cách di truyền trung bình là 0,29. Trong đó, các nhóm I, III và V, mỗi nhóm chỉ gồm một giống, do sự khác biệt về nguồn gốc. Nhóm IV bao gồm phần lớn các giống, cho thấy sự tương đồng di truyền và phản ánh mối quan hệ lai tạo giữa chúng. Kết quả này góp phần làm rõ thêm về tính đa dạng di truyền của các giống dâu tây tại Việt Nam, là cơ sở quan trọng cho việc bảo tồn và chọn tạo giống mới trong tương lai.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Trà Vinh thông qua Hợp đồng số 34/2025/HĐ.HĐKH&ĐT-ĐHTV. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] J.V.W. Corrêa, G.G. Weber, A.R. Zeist, et al. (2021), "ISSR analysis reveals high genetic variation in strawberry three-way hybrids developed for tropical regions", *Plant Molecular Biology Reporter*, **39(3)**, pp.566-576, DOI: 10.1007/s11105-020-01270-7.

[2] F. Giampieri, S. Tulipani, J.M.A. Suarez, et al. (2012), "The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health", *Nutrition*, **28(1)**, pp.9-19, DOI: 10.1016/j.nut.2011.08.009.

[3] M.K. Biswas, M. Dutt, U.K. Roy, et al. (2009), "Development and evaluation of *in vitro* somaclonal variation in strawberry for improved horticultural traits", *Scientia Horticulturae*, **122(3)**, pp.409-416.

[4] Tromboncino Squash (2025), *Tochiotome Strawberries Information and Facts*, https://www.specialtyproduce.com/produce/Tochiotome_Strawberries_15084.php, accessed 15 October 2025.

[5] I. Lewis (1989), "Strawberry production in New Zealand", *Acta Hortic*, **265**, pp.719-722, DOI: 10.17660/ActaHortic.1989.265.114.

[6] P. Roudeillac, P. Creach, A. Fourel (1989), "Evolution of French strawberry production during the last years", *Acta Hortic.*, **265,** pp.679-688, DOI: 10.17660/ActaHortic.1989.265.105.

[7] V. Douglas, D. Shaw, I. Kirk, et al. (2006), "Strawberry plant name 'Albion'", *The Regents of The University of California, Oakland, CA (US) United States Patent*, 8pp.

[8] V. Douglas, D. Shaw, I. Kirk, et al. (2009), *Strawberry Plant Named MONTEREY*, U.S.P. Patent, 7pp.

[9] H.E. Minori (2020), "Improvement in the shelf-life of japanese strawberry fruits by breeding and post-harvest techniques", *The Horticulture Journal*, **89(2),** pp.115-123, DOI: 10.2503/hortj.UTD-R008.

[10] M. Gallace (1989), "Strawberry culture in the state of Victoria, Australia", *Acta Hortic.*, **265**, pp.755-755, DOI: 10.17660/ActaHortic.1989.265.123.

[11] J. Nielsen, P. Lovell (2000), "Value of morphological characters for cultivar identification in strawberry *(Fragaria × ananassa*)", *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, **28**, pp.89-96, DOI: 10.1080/01140671.2000.9514128.

[12] E.J. Meulenbroek, C.P.J. Lindeloof, W.E. Weg (1993), "Strawberry breeding in the Netherlands", *Acta Hortic.*, **348**, pp.277-277, DOI: 10.17660/ActaHortic.1993.348.52.

[13] F. Capocasa, J. Diamanti, S. Tulipani, et al. (2008), "Breeding strawberry *(Fragaria × ananassa* Duch) to increase fruit nutritional quality", *Biofactors*, **34(1)**, pp.67-72, DOI: 10.1002/biof.5520340107.

[14] V. Tatineni, R.G. Cantrell, D.D. Davis (1996), "Genetic diversity in elite cotton germplasm determined by morphological characteristics and RAPDs", *Crop Science*, **36(1),** pp.186-192, DOI: 10.2135/cropsci1996.0011183X003600010033x.

[15] A. Chambers, S. Carle, W. Njuguna, et al. (2013), "A genome-enabled, high-throughput, and multiplexed fingerprinting platform for strawberry (*Fragaria* L.)", *Molecular Breeding*, **31(3)**, pp.615-629, DOI: 10.1007/s11032-012-9819-3.

[16] M.C. Neel, N.C. Ellstrand (2003), "Conservation of genetic diversity in the endangered plant *Eriogonum ovalifolium var. vineum* (Polygonaceae)", *Conservation Genetics*, **4(3)**, pp.337-352, DOI: 10.1023/A:1024017029933.

[17] H. Nybom, I.V. Bartish (2000), "Effects of life history traits and sampling strategies on genetic diversity estimates obtained with RAPD markers in plants", *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **3(2),** pp.93-114, DOI: 10.1078/1433-8319-00006.

[18] P.D. Quynh, N.T. Giang, L.T.T. Hang (2020), "Genetic diversity of some *Polianthes tuberosa* L. by using ISSR and RAPD markers", *Biotechnology Conference*, **6**, pp.105-111 (in Vietnamese).

[19] N.N. Tuyen, N.Q. Co, N.T. Tam, et al. (2021), "Analysing genetic diversity of local Xiem Chili of Quang Ngai province by RAPD markers", *HUAF Journal of Agricultural Science & Technology*, **5(1)**, pp.2237-2242, DOI: 10.46826/huaf-jasat.v5n1y2021.382 (in Vietnamese).

[20] A.N. Nowak, D. Olszewska (2018), "Molekularna identyfikacja ustalonych i mieszańcowych form *Capsicum annuum* L. z wykorzystaniem markerów RAPD", *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, **592**, DOI: 10.22630/ZPPNR.2018..592.6.

[21] S. Rasphone, T.H N. Ho, T.L. Dang, et al. (2022), "Genetic diversity analysis of black pepper (*Piper* spp.) with RAPD markers", *Hue University Journal of Science: Natural Science*, **131(1D)**, pp.49-59, DOI: 10.26459/hueunijns.v131i1D.6715.

[22] D.T. Son, N.T.N. Anh, N.T. Hang, et al. (2023), "Genetic diversity analysis of 10 oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) accessions by RAPD and ISSR markers", *Vietnam J. Agri. Sci.*, **21(12)**, pp.1612-1621, DOI: 10.31817/tckhnnvn.2023.21.12 (in Vietnamese).

[23] G.R. Aristya, R.S. Kasiamdari, R. Setyoningrum, et al. (2019), "Genetic variations of strawberry cultivars of *Fragaria x ananassa* and *Fragaria vesca* based on RAPD", *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, **20(3)**, pp.770-775, DOI: 10.13057/biodiv/d200322.

[24] R.A. Arafa, J. Prohens, S.Ø. Solberg, et al. (2022), "Breeding and genome mapping for resistance to biotic stress in eggplant", *Genomic Designing for Biotic Stress Resistant Vegetable Crops*, pp.147-187, DOI: 10.1007/978-3-030-97785-6_4.

[25] S. Slameto (2023), "Genetic diversity and molecular analysis using RAPD markers of banana cultivars in the five regions of East Java, Indonesia", *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, **24(9)**, DOI: 10.13057/biodiv/d240947.

[26] N.W. Simmonds (1962), "Variability in crop plants, its use and conservation", *Biological Reviews*, **37**, pp.422-65.

[27] R.G.F. Morales, J.T.V. Resende, M.V. Faria, et al. (2011), "Genetic similarity among strawberry cultivars assessed by RAPD and ISSR markers", *Scientia Agricola*, **68**, pp.665-670, DOI: 10.1590/S0103-90162011000600010.

[28] R.R. Sokal, C.D. Michener (1958), "A statistical method for evaluating systematic relationships", *University of Kansas*, **28**, pp.1409-1438.

[29] A. Prevost, M.J. Wilkinson (1999), "A new system of comparing PCR primers applied to ISSR fingerprinting of potato cultivars", *Theoretical and Applied Genetics*, **98(1)**, pp.107-112, DOI: 10.1007/s001220051046.

[30] H.A.M. Khalil, M.A.I. Khalil, H.M.E. Arish, et al. (2019), "Effect of cultivars, growth regulator and sub-culture on the plantlet shoots formation and rapd analysis of strawberry cultures *in vitro*", *The Future Journal of Biology*, **3**, pp.12-25.

[31] M.A. Mir, S. Mansoor, M. Sugapriya, et al. (2021), "Deciphering genetic diversity analysis of saffron (*Crocus sativus* L.) using RAPD and ISSR markers", *Saudi Journal of Biological Sciences*, **28(2)**, pp.1308-1317, DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.11.063.

[32] H.M. Kwon, M.J. Lee, J.H. Nam, et al. (2020), "Assessing the genetic similarity of F1 strawberry plants (*Fragaria× ananassa* Duch.) using RAPD markers", *European Journal of Horticultural Science*, **85(6)**, pp.447-454, DOI: 10.17660/eJHS.2020/85.6.9.

[33] M.S.H. Bir, M.S. Haque, M. Haque, et al. (2018), "Analysis of genetic polymorphisms in somaclonal variants of strawberry by RAPD markers", *Bioscience Research*,**15(3),** pp.2840-2847.

[34] T.T.Y. Nhu, N.K. Nhu, T.T.K. Nhu, et al. (2025), "Phylogenetic tree analysis of six strawberry (*Fragaria* spp.) cultivars using DNA barcode", *Hue University Journal of Science: Natural Science*, **134(1S-2)**, pp.59-70, DOI: 10.26459/hueunijns.v134i1S-2.7990.

[35] G.M. Darrow, G.F. Waldo, C.E. Schuster (1933), "Twelve years of strawberry breeding. A summary of the strawberry breeding work of the United States Department of Agriculture", *J. Hered*, **24(10)**, pp.391-402, DOI: 10.1093/oxfordjournals.jhered.a103683.

[36] M. Paul, S.R. Saha (2018), "Assessment of genetic diversity of different tomato genotypes using RAPD markers", *Progressive Agriculture*, **29(4)**, pp.276-283, DOI: 10.3329/pa.v29i4.41341.

[37] O. Prakash, S. Choudhary, S. Kumar, et al. (2019), "Genetic divergence studies in tomato (*Solanum lycopersicum* L.)", *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, **8(3)**, pp.4486-4488, DOI: 10.20546/ijcmas.2018.709.276.

 DOI: 10.31276/VJST.2026.3818

Phân lập và tuyển chọn vi khuẩn lactic có đặc tính probiotic từ sữa lên men tự nhiên

Trần Văn Chí[1*], Nguyễn Mạnh Tuấn[2]

[1]Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Thái Nguyên, phường Quyết Thắng, tỉnh Thái Nguyên, Việt Nam
[2]Viện Khoa học Sự sống, Đại học Thái Nguyên, phường Quyết Thắng, tỉnh Thái Nguyên, Việt Nam

Ngày nhận bài 21/1/2026; ngày chuyển phản biện 22/1/2026; ngày nhận phản biện 2/2/2026; ngày chấp nhận đăng 13/2/2026

Tóm tắt:

Nghiên cứu này nhằm phân lập và đánh giá các chủng vi khuẩn lactic (LAB) có đặc tính probiotic từ sữa bò lên men tự nhiên tại Thái Nguyên. Từ năm mẫu sữa thu thập, năm chủng LAB đã được phân lập và kiểm tra đặc tính sinh học. Tất cả đều có khả năng sinh lactic acid trong điều kiện nuôi cấy *in vitro*. Trong đó, chủng LAB-TNSC-29 nổi bật với mức sinh lactic acid cao (2,96 mg/100 ml), khả năng tồn tại trong môi trường pH thấp (3,23 log CFU/ml), đồng thời thể hiện nhiều đặc tính probiotic, bao gồm khả năng ức chế vi khuẩn gây bệnh (*Escherichia coli*, *Streptococcus gallinarum*, *Staphylococcus aureus*) và khả năng đồng bám dính với *E. coli* đạt 48,35%. Phân tích trình tự gen 16S rRNA (1483 bp) cho thấy, chủng này có độ tương đồng 99,39% với *Lactobacillus acidophilus* CIP 76.13^T. Đồng thời, sơ đồ phả hệ cho thấy chủng LAB-TNSC-29 thuộc nhóm chi *Lactobacillus* và cùng nhánh đơn với *Lactobacillus acidophilus* CIP 76.13^T. Do đó, chủng LAB-TNSC-29 được xác định là *Lactobacillus acidophilus* LAB-TNSC-29, có tiềm năng ứng dụng trong sản xuất chế phẩm probiotic.

Từ khóa: ***Lactobacillus*, probiotic, tuyển chọn, vi khuẩn lactic (LAB).**

Chỉ số phân loại: **1.6, 4.6**

Isolation and selection of probiotic lactic acid bacteria from naturally fermented milk

Van Chi Tran[1*], Manh Tuan Nguyen[2]

[1]Thai Nguyen University of Agriculture and Forestry, Thai Nguyen University, Quyet Thang Ward, Thai Nguyen Province, Vietnam
[2]Institute of Life Sciences, Thai Nguyen University, Quyet Thang Ward, Thai Nguyen Province, Vietnam

Received 21 January 2026; revised 2 February 2026; accepted 13 February 2026

Abstract:

This study aimed to isolate and evaluate probiotic lactic acid bacteria (LAB) strains from naturally fermented cow's milk in Thai Nguyen. From five collected milk samples, five LAB strains were isolated and had their biological characteristics evaluated. All strains were capable of producing lactic acid under *in vitro* culture conditions. Among them, strain LAB-TNSC-29 showcased outstanding performance, with high lactic acid production (2.96 mg/100 ml), strong survival under low-pH conditions (3.23 log CFU/ml), and notable probiotic properties, including inhibition of pathogenic bacteria (*Escherichia coli*, *Streptococcus gallinarum*, and *Staphylococcus aureus*) and co-aggregation with *E. coli* at 48.35%. Analysis of the 16S rRNA gene sequence (1483 bp) revealed that this strain shared 99.39% sequence similarity with *Lactobacillus acidophilus* CIP 76.13^T. Simultaneously, the phylogenetic tree revealed that strain LAB-TNSC-29 belongs to the genus of *Lactobacillus* and forms a monophyletic clade with *Lactobacillus acidophilus* CIP 76.13^T. Therefore, LAB-TNSC-29 was identified as *Lactobacillus acidophilus* LAB-TNSC-29, holding strong potential for application in the production of probiotic formulations.

Keywords: **lactic acid bacteria (LAB), *Lactobacillus*, probiotic, selection.**

Classification numbers: **1.6, 4.6**

[*]Tác giả liên hệ: Email: tranvanchi@tuaf.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Sữa là nguồn thực phẩm giàu dinh dưỡng và chứa hệ vi sinh vật phong phú, trong đó có nhóm vi khuẩn lactic (LAB) không sinh độc tố [1]. Vi khuẩn lactic đóng vai trò quan trọng trong quá trình lên men thực phẩm, tạo hương vị và bảo quản sản phẩm. LAB được sử dụng rộng rãi trong sản xuất thực phẩm lên men, đặc biệt là các sản phẩm từ sữa như sữa chua, pho mát, đồng thời còn được ứng dụng trong chế biến các sản phẩm thịt, bánh mì, rượu vang [2] và những thực phẩm cần quá trình acid hóa nhằm ức chế sự phát triển của vi sinh vật gây hư hỏng [3]. Trong quá trình lên men, LAB tạo ra lactic acid có khả năng ức chế vi sinh vật gây bệnh thông qua việc thẩm thấu qua màng tế bào, làm giảm pH nội bào hoặc gây rối loạn hoạt động trao đổi chất, dẫn đến sự chết của các tế bào nhạy cảm [4]; ngoài ra, LAB còn sinh tổng hợp các hợp chất kháng khuẩn như diacetyl và bacteriocin, góp phần tăng cường hiệu quả ức chế vi sinh vật gây hại [5] với tính kháng khuẩn mạnh mẽ. Nhờ khả năng bám dính và đồng bám dính, các chủng LAB có thể hình thành hàng rào sinh học trong hệ tiêu hóa, giúp ngăn cản sự xâm nhập của vi sinh vật gây bệnh [6]. Trong một số trường hợp, có thể tận dụng vi khuẩn LAB có sẵn trong các nguyên liệu, bằng cách tạo điều kiện cho chúng phát triển chiếm ưu thế để tạo ra rất nhiều loại thức ăn chua có hương vị thơm ngon, dễ tiêu hóa hơn và giữ được lâu hơn [7]. Bên cạnh vai trò trong công nghệ thực phẩm, LAB còn mang lại nhiều lợi ích cho sức khỏe như hỗ trợ phòng ngừa các bệnh đường ruột nhờ đặc tính kháng khuẩn, giảm nguy cơ nhiễm trùng đường tiết niệu [8], giảm cholesterol trong máu [9] và có tiềm năng hỗ trợ chống dị ứng và hỗ trợ phòng ngừa ung thư [10]. Trong sản xuất công nghiệp luôn cần tìm kiếm những chủng mới từ nhiều nguồn khác nhau, đảm bảo có hoạt tính probiotic mạnh để định hướng ứng dụng trong sản xuất.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu và hóa chất sử dụng

Nguồn mẫu gồm 5 mẫu sữa bò lên men tự nhiên, thu thập tại các hộ gia đình nuôi bò sữa trên địa bàn tỉnh Thái Nguyên. Các vi khuẩn kiểm định: *E. coli* ATCC 10798, *S. gallinarum* ATCC 49573, *S. aureus* ATCC 6538.

Môi trường nuôi cấy: sử dụng môi trường là MRS (de Man, Rogosa and Sharpes) [11] với thành phần tiêu chuẩn: pepton: 10 g; cao thịt: 10 g; cao nấm men: 5 g; glucose: 20 g; tween 80: 1 ml; CH_3COONa: 5 g; triamonium citrate: 2 g; $MgSO_4.7H_2O$: 0,2 g; $MnSO_4.4H_2O$: 0,05 g; $CaCO_3$: 2 g; K_2HPO_4: 2 g; agar: 15 g; nước cất: 1.000 ml; pH: 6,2-6,4.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phân lập vi khuẩn lactic: 1 ml mẫu được làm giàu trong môi trường MRS (99 ml), đồng nhất và nuôi ở 37°C trong 24 giờ với tốc độ lắc 200 vòng/phút. Các ống có độ đục được chọn và tiếp tục cấy vào đĩa thạch MRS, ủ 24-72 giờ ở 37°C. Khuẩn lạc trắng và kem giả định là vi khuẩn lactic, được tinh sạch qua ba lần chuyển trên môi trường MRS. Xác định đặc điểm sinh học gồm nhuộm Gram, hình thái tế bào, phản ứng catalase và phân giải $CaCO_3$. Chủng Gram dương, phân giải $CaCO_3$, không có hoạt tính catalase được coi là vi khuẩn lactic và bảo quản ở -20℃ trong môi trường MRS có bổ sung 30% glycerol [12, 13].

Định lượng lactic acid: Lấy 10 ml dịch lên men ly tâm ở tốc độ và thời gian là: 8.000 vòng/phút và 10 phút, tách cặn, thêm 20 ml nước cất và nhỏ 2-3 giọt phenolphtalein (1% trong cồn 90°), chuẩn độ bằng NaOH 0,1 N, khi nào xuất hiện màu hồng nhạt bền trong 30 giây thì dừng lại [14].

Độ axít được tính như sau: Độ Therner (°T)=V_{NaOH}×10; % lactic acid=°T×0,009 (1 ml dung dịch NaOH tương đương 0,009 g lactic acid).

Đánh giá khả năng chống chịu với môi trường pH thấp: Các chủng được nuôi tăng sinh trong môi trường MRS dịch thể ở 37°C trong 48 giờ; thu lấy sinh khối bằng cách ly tâm khoảng 10 phút ở nhiệt độ 4°C với tốc độ 5.000 vòng/phút. Cặn được rửa bằng 1,5 ml nước cất vô trùng và tạo dịch huyền phù để bơm vào ống nghiệm có sẵn môi trường MRS đã chỉnh pH 2,5 và pH 3,0 ủ ở 37°C. Sau 24 giờ, xác định mật độ tế bào bằng phương pháp đếm sống [15, 16].

Xác định hoạt tính kháng khuẩn: Nuôi cấy chủng tuyển chọn trong môi trường MRS dịch thể ở 37°C. Sau 48 giờ, ly tâm với tốc độ 12.000 vòng/phút và thu dịch trong. Nhỏ 0,5 ml dịch trong vào các khoanh giấy thấm trên đĩa đã cấy sẵn vi khuẩn kiểm định, nuôi ở 37°C trong 24 giờ. Đo đường kính vòng vô khuẩn xung quanh khoanh giấy thấm: D-d, mm. Trong đó D là đường kính vòng vô khuẩn (mm), d là đường kính khoanh giấy thấm (mm) [17].

Đánh giá khả năng đồng bám dính của vi khuẩn tuyển chọn: Nuôi riêng biệt chủng tuyển chọn và chủng kiểm định (*E. coli*) trong môi trường MRS dịch thể ở 37°C trong 48 giờ, lấy 10 ml dịch sau nuôi mỗi loại chuẩn mật độ tế bào về khoảng $2x10^8$ CFU/ml, hút 4 ml mẫu ly tâm ở 12.000 vòng/phút trong 10 phút ở 4°C thu sinh khối và tái huyền phù riêng biệt vào 2 ml dung dịch đệm sodium phosphate 0,1 M (pH 7). Trộn lẫn hai huyền phù với cùng thể tích và ủ ở 37°C trong 5 giờ. Phần dịch huyền phù

riêng biệt còn lại lấy làm mẫu đối chứng. Sau mỗi giờ ủ, lấy 100 µl trộn với 3,9 ml dịch đệm tương tự và đo độ hấp thụ ở bước sóng 600 nm [18]. Tỷ lệ đồng bám dính (Ca%) được tính theo công thức:

$$Ca\% = \frac{(Ax + Ay)/2 - A(x + y)}{(Ax + Ay)/2} x100$$

trong đó: Ax là OD_{600} của vi khuẩn tuyển chọn; Ay là OD_{600} của *E. coli*; A(x + y) là OD_{600} vi khuẩn tuyển chọn và *E. coli*.

Tách chiết DNA tổng số vi khuẩn tuyển chọn: Nuôi vi khuẩn đã chọn trong môi trường MRS lỏng trong 36 giờ ở 37°C, nuôi lắc ở 130 vòng/phút. Thu sinh khối tế bào bằng ly tâm, DNA tổng số được tách chiết theo mô tả của J. Sambrook và cs (2001) [19]. Trình tự gen 16S rRNA của chủng tuyển chọn được khuếch đại bằng cặp mồi 27F và 1492R với thành phần và điều kiện phản ứng polymerase chain reaction (PCR) theo mô tả của A. Klindworth và cs (2013) [20]. Sản phẩm PCR được giải trình tự tại đơn vị làm dịch vụ.

Phân loại chủng tuyển chọn: Trình tự gen 16S rRNA của chủng tuyển chọn được so sánh với cơ sở dữ liệu các loài chuẩn công bố trên EzBioCloud [21], với giới hạn phân loại về mức độ tương đồng trình tự gen 16S rRNA theo mô tả của H.P. Browne và cs (2016) [22]. Sơ đồ phả hệ của chủng vi khuẩn cũng được xây dựng để xác định vị trí phân loại thông qua phần mềm MEGA v.12 [23].

Xử lý số liệu: Mỗi thí nghiệm đều được lặp lại 3 lần, tổng hợp số liệu trên phần mềm Microsoft Office 2015 và xử lý thống kê trên phần mềm JASP 0.19.3.

3. Kết quả và bàn luận

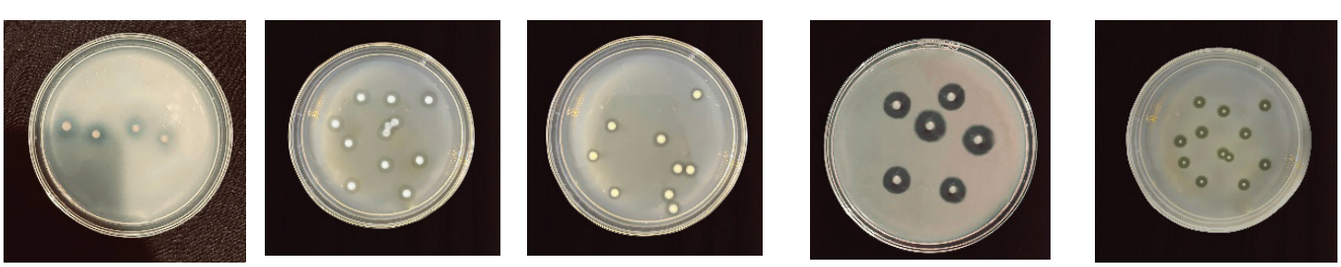
3.1. Phân lập vi khuẩn lactic từ nguồn sữa tự nhiên

Từ 5 mẫu sữa tươi thu thập trên địa bàn tỉnh Thái Nguyên, 5 chủng vi khuẩn đã được phân lập, thông qua việc quan sát vòng phân giải $CaCO_3$ có thể kết luận chúng có khả năng sinh acid hữu cơ. Đặc điểm của các chủng được trình bày ở bảng 1 và hình 1.

Bảng 1. Đặc điểm hình thái khuẩn lạc và hình thái tế bào các chủng mới phân lập.

TT	Nguồn mẫu	Ký hiệu chủng	Hình dạng khuẩn lạc	Gram	Hình dạng tế bào	Catalase
1	Phú Lương	LAB-PL-23	Hình tròn, trắng sữa, hơi dẹt, bề mặt nhăn, không ria	+	Hình cầu	-
2	Đại Từ	LAB-DT-9	Hình tròn, trắng sữa, hơi dẹt, bề mặt nhăn, không ria	+	Hình cầu	-
3	Phổ Yên	LAB-PY-1	Hình tròn, trắng sữa, lồi, trơn bóng, không ria	+	Hình que	-
4	Sông Công	LAB-TNSC-29	Hình tròn, trắng ngà, lồi, trơn bóng, không ria	+	Hình que	-
5	Đồng Hỷ	LAB-DH-3	Hình tròn, trắng ngà, lồi, trơn bóng, không ria	+	Hình que	-

Kết quả bảng 1 cho thấy, việc phân lập các chủng vi khuẩn có khả năng sinh acid hữu cơ từ sữa lên men tự nhiên đạt hiệu quả cao. Trong nghiên cứu này, từ các mẫu sữa khác nhau đã phân lập được những chủng có đặc điểm khuẩn lạc khác nhau, nhưng chúng đều có dạng hình tròn và không tạo ria. 3/5 chủng có màu trắng sữa, 2/5 chủng màu trắng ngà; 3/5 chủng khuẩn lạc lồi và trơn bóng, trong khi đó 2/5 chủng khuẩn lạc dạng dẹt và nhăn. Cả 5 chủng đều là vi khuẩn Gram dương, không có hoạt tính sinh catalase, tế bào có 2 dạng là hình cầu và hình que. Theo H.T.A. Phuong và cs (2024) [12], những chủng Gram dương, phân giải $CaCO_3$, không có hoạt tính catalase có thể là vi khuẩn lactic, nên 5 chủng vi khuẩn mới phân lập được đều phù hợp với nhận định này và chúng sẽ được sử dụng để tiến hành các nghiên cứu tiếp theo.



LAB-PL-23 LAB-DT-9 LAB-PY-1 LAB-TNSC-29 LAB-DH-3

Hình 1. Hình thái khuẩn lạc của 5 chủng vi khuẩn LAB mới phân lập.

3.2. Tuyển chọn chủng vi khuẩn sinh lactic mạnh từ nguồn đã phân lập

3.2.1. Hoạt tính sinh lactic acid của các chủng vi khuẩn phân lập

Chỉ tiêu được lựa chọn làm yếu tố cơ bản để tuyển chọn vi khuẩn trong nghiên cứu này là khả năng sinh lactic acid và độ chua tạo ra bởi chúng trong dịch nuôi cấy. Kết quả được thể hiện tại bảng 2.

Bảng 2. Khả năng sinh lactic acid và tạo độ chua của các chủng mới phân lập (n=3).

Ký hiệu chủng	Chỉ tiêu đánh giá	
	Độ chua Therner (°T)	*% lactic acid (mg/100 ml)*
LAB-PL-23	$215,35^{b}$±0,377	$2,72^{a}$±0,231
LAB-DT-9	$204,43^{c}$±0,411	$2,44^{ab}$±0,262
LAB-PY-1	$165,65^{e}$±0,377	$1,45^{c}$±0,278
LAB-TNSC-29	$223,36^{a}$±0,053	$2,96^{a}$±0,295
LAB-DH-3	$181,69^{d}$±0,115	$1,69^{bc}$±0,344

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức khảo sát ở mức ý nghĩa 5% (p<0,05).

Kết quả bảng 2 cho thấy, cả 5 chủng đều có khả năng tạo lactic acid. Trong đó, chủng LAB-PY-1 thấp nhất (1,45 mg/100 ml), mức trung bình là chủng LAB-DH-3 (1,69 mg/100 ml), 3 chủng còn lại (LAB-PL-23, LAB-DT-9 và LAB-TNSC-29) có khả năng tạo lactic acid cao tương đương nhau ở mức sai khác không có ý nghĩa thống kê, lần lượt đạt 2,72; 2,44 và 2,96 mg/100 ml. Tuy nhiên, độ chua mà các chủng tạo ra trong dịch lên men đều khác biệt và sai khác về ý nghĩa thống kê, LAB-PY-1 là chủng có khả năng tạo độ chua thấp nhất (165,65°T) và LAB-TNSC-29 là chủng tạo độ chua trong dịch nuôi cấy cao nhất (đạt 223,36°T).

3.2.2. Ảnh hưởng của pH thấp đến khả năng sinh trưởng của các chủng mới phân lập

Khả năng chịu pH thấp của vi khuẩn với định hướng sử dụng chúng làm probiotic là chỉ tiêu quan trọng, theo X. Zhou và cs (2007) [24] giá trị pH trong khoảng 2-3 được xem là ngưỡng quyết định trong quá trình sàng lọc các chủng vi sinh vật có tiềm năng sử dụng làm probiotic. Kết quả thử nghiệm với 5 chủng mới phân lập được cho thấy, 5/5 chủng chịu được pH 3,0 và 3/5 chủng có khả năng sống sót trong môi trường pH 2,5 sau 24 giờ, chi tiết kết quả được thể hiện tại bảng 3.

Bảng 3. Khả năng chịu pH thấp của các chủng vi khuẩn mới phân lập.

Ký hiệu chủng	Chỉ tiêu đánh giá	
	Mật độ vi khuẩn sống sót ở pH 3,0 sau 24 giờ (log CFU/ml)	*Mật độ vi khuẩn sống sót ở pH 2,5 sau 24 giờ (log CFU/ml)*
LAB-PL-23	$6,42^{ab}$±0,159	$2,91^{b}$±0,115
LAB-DT-9	$6,12^{b}$±0,131	$2,38^{c}$±0,171
LAB-PY-1	$3,38^{d}$±0,171	-
LAB-TNSC-29	$6,59^{a}$±0,185	$3,23^{a}$±0,147
LAB-DH-3	$4,24^{c}$±0,164	-

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức khảo sát ở mức ý nghĩa 5% (p<0,05).

Ở pH 3,0 chủng có khả năng sống sót thấp nhất là LAB-PY-1 (3,38 log CFU/ml), cao nhất là 2 chủng LAB-PL-23 và LAB-TNSC-29 (6,42 và 6,59 log CFU/ml) ở mức không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê (p>0,05). Ở pH 2,5 chỉ có các chủng LAB-PL-23, LAB-DT-9 và LAB-TNSC-29 sống sót sau 24 giờ. Trong đó mật độ tế bào lớn nhất là chủng LAB-TNSC-29 (3,23 log CFU/ml) và thấp nhất là chủng LAB-DT-9 (2,38 log CFU/ml). Kết quả này cho thấy, cả 5 chủng phân lập được đều có thời gian sống sót cao hơn so với công bố của P. Shokryazdan và cs (2014) [10] khi phân lập được 9 chủng vi khuẩn thuộc chi *Lactobacillus* từ sữa mẹ, phân trẻ sơ sinh và thực phẩm lên men, tất cả đều có khả năng chịu pH 3,0 trong 3 giờ. Bên cạnh đó, nghiên cứu của N.P. Hien và cs (2014) [25] cho thấy, 6/7 chủng vi khuẩn *Lactobacillus* được phân lập từ sữa dê và chế phẩm sinh học cũng có khả năng chống chịu với môi trường pH 3,0 trong 3 giờ. Công bố của H.N.T. Tam và cs (2019) [15] cho thấy 7 chủng vi khuẩn LAB phân lập từ cây môn ngọt có khả năng sống sót trong môi trường pH 2,5 trong vòng 24 giờ. Như vậy, từ kết quả thử nghiệm hai chỉ tiêu quan trọng đối với chủng tiềm năng làm probiotic là pH thấp và khả năng sinh lactic acid như đã được trình bày ở trên, chủng LAB-TNSC-29 được tuyển chọn để thực hiện các nghiên cứu tiếp theo.

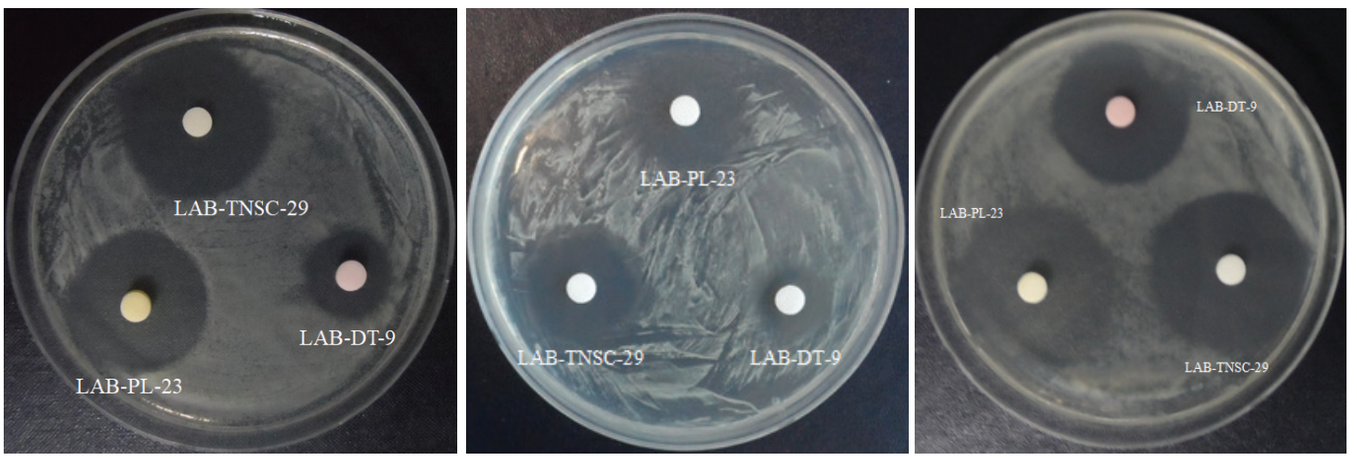
3.3. Khả năng ức chế vi khuẩn gây bệnh của chủng tuyển chọn

LAB có khả năng hạn chế sự phát triển của nhiều vi sinh vật khác, bao gồm cả các vi khuẩn gây bệnh, thông qua việc sản sinh các hợp chất có hoạt tính kháng khuẩn như acid hữu cơ, diacetyl và bacteriocin [5]. Các chất bảo quản nguồn gốc tự nhiên và có hoạt tính kháng khuẩn sinh học đang rất được quan tâm để thay thế phương pháp bảo quản bằng chất hóa học nhằm bảo vệ sức khỏe con người [26]. Kết quả khảo sát khả năng kháng các

vi khuẩn kiểm định (*E. coli* ATCC 10798, *S. gallinarum* ATCC 49573, *S. aureus* ATCC 6538) của dịch nuôi chủng LAB-TNSC-29 được thể hiện ở bảng 4 và hình 2.

Bảng 4. Khả năng kháng khuẩn của dịch nuôi cấy chủng LAB-TNSC-29 (n=3).

Chủng vi khuẩn kiểm định	Hoạt tính kháng khuẩn (D-d, cm)
E. coli	$2,52^{a}$±0,08
S. gallinarum	$1,63^{b}$±0,12
S. aureus	$2,47^{a}$±0,07



Kháng *E. coli* **Kháng *Salmonella*** **Kháng *Staphylococcus***

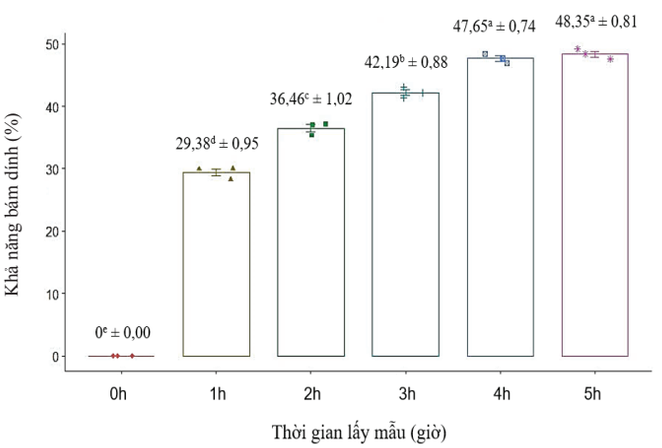
Hình 2. Hoạt tính ức chế vi khuẩn kiểm định của chủng LAB-TNSC-29.

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê của các nghiệm thức khảo sát ở mức độ tin cậy 95%.

Kết quả trình bày tại bảng 4 và hình 2 cho thấy, LAB-TNSC-29 có khả năng ức chế cả ba chủng vi khuẩn kiểm định, trong đó vòng kháng *S. gallinarum* thấp nhất (1,63 cm), vòng kháng *E. coli* và *S. aureus* tương đương nhau ở mức sai khác không có ý nghĩa thống kê. Vòng kháng vi khuẩn kiểm định của chủng LAB-TNSC-29 trong nghiên cứu này cao gấp 1,7 đến 2,0 lần so với chủng LAB1 và LAB2 được công bố bởi V.N. Chi và cs (2021) [26]. Riêng với khả năng kháng *E. coli*, chủng LAB-TNSC-29 thể hiện vòng ức chế cao hơn 4,0-10,0 lần so với các chủng *Lactobacillus* được phân lập bởi H.N.T. Tam và cs (2019) [15], tương đương với chủng ND5 được N.T.M. Hang và cs (2013) [17] tuyển chọn từ 7 chủng vi khuẩn sinh lactic acid.

3.4. Khả năng đồng bám dính của vi khuẩn tuyển chọn

Khả năng đồng bám dính có ý nghĩa quan trọng trong việc loại bỏ vi sinh vật gây bệnh khỏi đường tiêu hóa [27]. Thông qua cơ chế bám dính, các chủng LAB có thể hình thành một hàng rào sinh học, từ đó hạn chế sự xâm nhập và phát triển của vi sinh vật gây bệnh [6]. Việc bám dính trực tiếp với các vi sinh vật gây bệnh còn giúp các chủng LAB tạo ra các hợp chất kháng khuẩn ở khoảng cách gần, góp phần ức chế sự sinh trưởng của các tác nhân gây bệnh trong hệ tiêu hóa [28]. Kết quả đánh giá khả năng đồng bám dính giữa chủng LAB-TNSC-29 được tuyển chọn và chủng vi khuẩn kiểm định *E. coli* được trình bày trong hình 3.

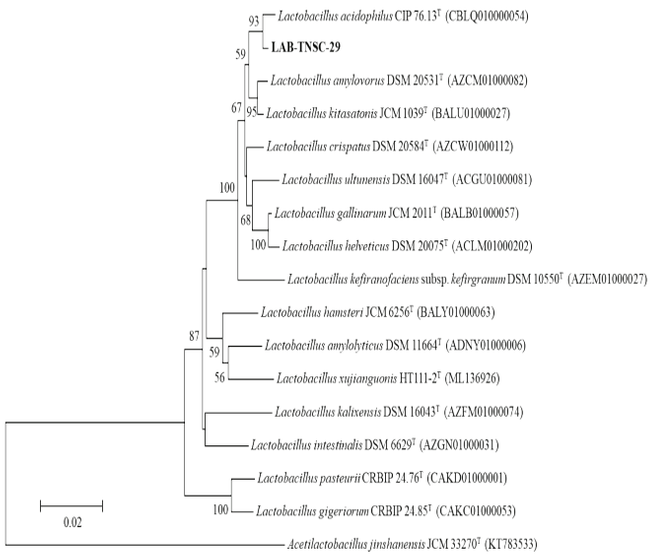


Hình 3. Khả năng đồng bám dính của LAB-TNSC-29 với *E. coli* (Mean±SD, n=3).

Kết quả tại hình 3 cho thấy, khả năng đồng bám dính của chủng LAB-TNSC-29 với *E. coli* đạt giá trị cao nhất sau 4-5 giờ nuôi cấy (47,65-48,35%). Kết quả này cao gấp 1,5 lần so với công bố của Y. Tuo và cs (2013) [29] khi nghiên cứu khả năng đồng bám dính của 22 chủng *Lactobacillus* với *E. coli* O157, dao động từ 21,36 đến 32,16%.

Bảng 5. Kết quả so sánh trình tự gen 16S rRNA của chủng LAB-TNSC-29 với các loài gần nhất của chi *Lactobacillus*.

Loài gần nhất	Tổng điểm	Sự tương đồng (%)	Số nucleotide sai khác	Độ che phủ (%)	Nguồn tham khảo
Lactobacillus acidophilus CIP 76.13^T (CBLQ010000054)	2689	99,39	9/1483	100,0	[30]
Lactobacillus kitasatonis JCM 1039^T (BALU01000027)	2671	99,26	11/1482	100,0	[31]
Lactobacillus amylovorus DSM 20531^T (AZCM01000082)	2651	98,92	16/1483	100,0	[32]
Lactobacillus crispatus DSM 20584^T (AZCW01000112)	2617	98,52	22/1483	100,0	[33]
Lactobacillus gallinarum JCM 2011^T (BALB01000057)	2593	98,38	24/1481	100,0	[34]
Lactobacillus helveticus DSM 20075^T (ACLM01000202)	2595	98,25	26/1483	100,0	[35]
Lactobacillus ultunensis DSM 16047^T (ACGU01000081)	2567	97,91	31/1483	100,0	[36]
Lactobacillus kefiranofaciens subsp. *kefirgranum* DSM 10550^T (AZEM01000027)	2518	97,30	40/1483	100,0	[37]
Lactobacillus hamsteri JCM 6256^T (BALY01000063)	2488	96,96	45/1481	100,0	[38]
Lactobacillus amylolyticus DSM 11664^T (ADNY01000006)	2495	96,70	49/1483	100,0	[39]
Lactobacillus intestinalis DSM 6629^T (AZGN01000031)	2466	96,49	52/1483	100,0	[40]
Lactobacillus xujianguonis HT111-2^T (ML136926)	2440	96,02	59/1483	100,0	[41]
Lactobacillus kalixensis DSM 16043^T (AZFM01000074)	2412	95,62	65/1483	100,0	[36]
Lactobacillus pasteurii CRBIP 24.76^T (CAKD01000001)	2351	95,21	71/1482	100,0	[42]
Lactobacillus gigeriorum CRBIP 24.85^T (CAKC01000053)	2326	95,04	71/1432	98,6	[43]



Hình 4. Cây phân loại của chủng LAB-TNSC-29.

3.5. Nhận diện vi khuẩn tuyển chọn bằng sinh học phân tử

Thông qua so sánh với dữ liệu EzBioCloud, trình tự gen 16S rRNA của LAB-TNSC-29 có kích thước 1483 bp bộc lộ sự tương đồng 99,39% (trong đó có 9 nucleotide sai khác) với *Lactobacillus acidophilus* CIP 76.13^T (CBLQ010000054), 99,26% (11 nucleotide sai khác) với *Lactobacillus kitasatonis* JCM 1039^T (BALU01000027), 98,92% (16 nucleotide sai khác) với *Lactobacillus amylovorus* DSM 20531^T (AZCM01000082), và 95,04-98,52% với các loài chuẩn khác thuộc chi *Lactobacillus* (bảng 5). Sự tương đồng cao nhất của chủng LAB-TNSC-29 với *Lactobacillus acidophilus* CIP 76.13^T là 99,39%, giá trị này cao hơn 98,7% (ngưỡng chặn) về loài đã được công bố bởi H.P. Browne và cs (2016) [22].

Vị trí phân loại của chủng LAB-TNSC-29 với các loài gần nhất cũng được xác định thông qua sơ đồ tiến hóa (hình 4), cho thấy chủng LAB-TNSC-29 cùng nhánh với loài *Lactobacillus acidophilus* CIP 76.13^T (CBLQ010000054) với độ tin cậy về giá trị tần số xuất hiện (bootstrap) 93%. Đồng thời, chủng LAB-TNSC-29 sắp xếp thuộc chi *Lactobacillus*, khác biệt hoàn toàn với loài chủng đối chứng (ngoài chi *Lactobacillus*) - *Acetilactobacillus jinshanensis* JCM 33270^T (KT783533). Từ dữ liệu so sánh, phân tích trình tự gen 16S rRNA (bảng 5) và sơ đồ tiến hóa (hình 4), chủng LAB-TNSC-29 được xác định là thành viên của chi *Lactobacillus*, với tên gọi là *Lactobacillus acidophilus* LAB-TNSC-29.

4. Kết luận

Từ 5 mẫu sữa bò lên men tự nhiên, 5 chủng LAB đã được phân lập, trong đó chủng LAB-TNSC-29 thể hiện khả năng sinh lactic acid cao (2,96 mg/100 ml), sống sót tốt trong điều kiện pH thấp (pH 2,5). Bên cạnh đó, chủng LAB-TNSC-29 còn thể hiện khả năng kháng khuẩn mạnh, bám dính tương đối cao trong điều kiện khảo sát. Dựa trên phân tích trình tự gen 16S rRNA, chủng LAB-TNSC-29 có mức độ tương đồng 99,39% so với *Lactobacillus acidophilus* CIP 76.13^T (CBLQ010000054).

Do đó, chủng LAB-TNSC-29 được định danh với danh pháp khoa học là *Lactobacillus acidophilus* LAB-TNSC-29. Những kết quả bước đầu đạt được trong nghiên cứu này cho thấy, *Lactobacillus acidophilus* LAB-TNSC-29 là ứng viên tiềm năng cho phát triển các sản phẩm probiotic trong tương lai.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được thực hiện với sự tài trợ kinh phí từ đề tài cấp cơ sở mã số T2026-24.GV. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] T.V. Chi, L.T. Ninh, N.D. Tuan, et al. (2024), *Instructional Textbook: Food Microbiological Control*, Polytechnic Publishing House, 165pp (in Vietnamese).

[2] P. Powthong, P. Suntornthi (2015), "Isolation, identification and analysis of probiotic properties of lactic acid bacteria from selective various traditional Thai fermented food and kefir", *Pakistan Journal of Nutrition*, **14(2)**, pp.67-74, DOI: 10.3923/pjn.2015.67.74.

[3] N.D. Luong (2006), *Industrial Microorganisms*, Vietnam National University - Ho Chi Minh City Publishing House, **2**, 371pp (in Vietnamese).

[4] M.D. Linh, D.M. Phuong, P.T. Tuyet, et al. (2008), "Biological characteristics of lactic acid bacterial strains isolated in Hanoi", *Journal of Science, Vietnam National University-Hanoi*, **24**, pp.221-226 (in Vietnamese).

[5] K. Pilasombut, K. Rumjuankiat, N. Ngamyeesoon, et al. (2015), "*In vitro* characterisation of bacteriocin produced by lactic acid bacteria isolated from Nem Chua, a traditional Vietnamese fermented pork", *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, **35(4)**, pp.473-478, DOI: 10.5851/kosfa.2015.35.4.473.

[6] C.L. Ferreira, L. Grześkowiak, M.C. Collado, et al. (2011), "*In vitro* evaluation of *Lactobacillus gasseri* strains of infant origin on adhesion and aggregation of specific pathogens", *Journal of Food Protection*, **74(9)**, pp.1482-1487, DOI: 10.4315/0362-028X.JFP-11-074.

[7] T.V. Chi, L.H. Son, P.T.T. Mai, et al. (2022), "Study on isolation and selection of heat-resistant lactic bacteria from the natural fermented resources", *TNU Journal of Science and Technology*, **227(10)**, pp.268-275, DOI: 10.34238/tnu-jst.6160.

[8] S.J. Allen, E.G. Martinez, G.V. Gregorio, et al. (2011), "Probiotics for treating acute infectious diarrhoea", *Sao Paulo Medical Journal*, **129(3)**, DOI: 10.1590/S1516-31802011000300012.

[9] R. Fuller (1997), *Probiotics 2: Applications and Practical Aspects*, Springer, 221pp.

[10] P. Shokryazdan, C.C. Sieo, R. Kalavathy, et al. (2014), "Probiotic potential of *Lactobacillus* strains with antimicrobial activity against some human pathogenic strains", *BioMed. Res. Int.*, **2014**, DOI: 10.1155/2014/927268.

[11] H.Q. Khanh, P.T.L. Thanh (2011), "Isolation, identification, and characterization of *Lactobacillus* strains with probiotic potential from humans", *VNUHCM Journal of Science and Technology Development*, **14(6)**, pp.62-76 (in Vietnamese).

[12] H.T.A. Phuong, P.V. Hai, L.T.K. Giang, et al. (2024), "Isolation and selection of potential *Lactobacillus* probiotic strains against Gram-negative bacteria causing diarrhea in chickens", *Hue University Journal of Science: Agriculture and Rural Development*, **133(3C)**, pp.117-134, DOI: 10.26459/hueunijard.v133i3C.7611 (in Vietnamese).

[13] M. Zareian, A. Ebrahimpour, A.B. Fatimah, et al. (2012), "A glutamic acid-producing lactic acid bacteria isolated from Malaysian fermented foods", *International Journal of Molecular Sciences,* **13(5)**, pp.5482-5497, DOI: 10.3390/ijms13055482.

[14] T.L. Thuoc (2007), *Microbiological Analysis of Water, Food, and Cosmetics*, Education Publishing House, 233pp (in Vietnamese).

[15] H.N.T. Tam, N.L.H. Diep, P.T.T. Suong (2019), "Isolation and selection of *Lactobacillus* strains with probiotic potential from sweet taro (*Colocasia esculenta* (L.) Schott)", *Can Tho University Journal of Science*, **55(1B)**, pp.15-23, DOI: 10.22144/ctu.jvn.2019.017 (in Vietnamese).

[16] H.J. Hoben, P. Somasegaran (1982), "Comparison of the pour, spread and drop plate methods for enumeration of *Rhizobium* spp. in inculants made from presterilized peat", *Applied and Environmental Microbiology*, **44(5)**, pp.1246-1247, DOI: 10.1128/aem.44.5.1246-1247.1982.

[17] N.T.M. Hang, N.M. Thu (2013), "Isolation and selection of amylase and bacteriocin - producing lactic acid bacteria", *Journal of Forestry Science and Technology*, **3(1)**, pp.3-10 (in Vietnamese).

[18] V.D. Valeriano, M.M. Parungao-Balolong, D.K. Kang (2014), "*In vitro* evaluation of the mucin-adhesion ability and probiotic potential of *Lactobacillus mucosae* LM1", *Journal of Applied Microbiology,* **117(2)**, pp.485-497, DOI: 10.1111/jam.12539.

[19] J. Sambrook, D.W. Russell (2001), *Molecular Cloning: A Laboratory Manual, 3rd Ed.*, Cold Spring Harbor Laboratory Press, New York, 170pp.

[20] A. Klindworth, E. Pruesse, T. Schweer (2013), "Evaluation of general 16S ribosomal RNA gene PCR primers for classical and next-generation sequencing-based diversity studies", *Nucleic Acids Res.,* **41(1)**, pp.1-11, DOI: 10.1093/nar/gks808.

[21] J. Chun, J.H. Lee, Y. Jung, et al. (2007), "EzTaxon: A web-based tool for the identification of prokaryotes based on 16S ribosomal RNA gene sequences", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, **57(10)**, pp.2259-2261, DOI: 10.1099/ijs.0.64915-0.

[22] H.P. Browne, S.C. Forster, B.O. Anonye (2016), "Culturing of 'unculturable' human microbiota reveals novel taxa and extensive sporulation", *Nature,* **533(7604)**, pp.543-546, DOI: 10.1038/nature17645.

[23] S. Kumar, G. Stecher, M. Suleski, et al. (2024), "MEGA12: Molecular evolutionary genetic analysis version 12 for adaptive and green computing", *Molecular Biology and Evolution*, **41(12)**, DOI: 10.1093/molbev/msae263.

[24] X. Zhou, Y. Pan, Y. Wang, et al. (2007), "*In vitro* assessment of gastrointestinal viability of two photosynthetic bacteria, *Rhodopseudomonas palustris* and *Rhodobacter sphaeroides*", *J. Zhejiang Univ. Sci. B*, **8(9)**, pp.686-692, DOI: 10.1631/jzus.2007.B0686.

[25] N.P. Hien, L.D. Thuy, T.T. My, et al. (2014), "Investigation of low-pH tolerance and antibiotic resistance of lactic acid bacteria isolated from goat milk and probiotic preparations", *Can Tho University Journal of Science*, **34**, pp.8-17 (in Vietnamese).

[26] V.N. Chi, N.T. Phuong, N.T.A. Tuyet, et al. (2021), "Evaluation of bacteriocin-producing lactic acid bacteria strains isolated from nem chua Thu Duc", *The Journal of Agriculture and Development,* **20(2)**, pp.62-68 (in Vietnamese).

[27] S.D. Todorov, M. Botes, C. Guigas, et al. (2008), "Boza, a natural source of probiotic lactic acid bacteria", *Journal of App. Microbiology*, **104(2)**, pp.465-477, DOI: 10.1111/j.1365-2672.2007.03558.x.

[28] T.T.P. Thao, L.T.K. Thoa, B.T. Khuyen, et al. (2022), "Antimicrobial activity against *Vibrio* spp. and probiotic potential of *Lactobacillus farciminis* HN12", *Hue University Journal of Science*, **131(2A)**, pp.89-102, DOI: 10.26459/hueunijtt.v131i2A.6779.

[29] Y. Tuo, H. Yu, L. Ai, et al. (2013), "Aggregation and adhesion properties of 22 *Lactobacillus* strains", *Journal of Dairy Sci.*, **96(7)**, pp.4252-4257, DOI: 10.3168/jds.2013-6547.

[30] P.A. Hansen, G. Mocquot (1970), "*Lactobacillus acidophilus* (Moro) comb. nov.", *International Journal of Systematic Bacteriology*, **20(3)**, pp.325-327, DOI: 10.1099/00207713-20-3-325.

[31] T. Mukai, K. Arihara, A. Ikeda, et al. (2003), "*Lactobacillus kitasatonis* sp. nov., from chicken intestine", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, **53**, pp.2055-2059, DOI: 10.1099/ijs.0.02815-0.

[32] L.K. Nakamura (1981), "*Lactobacillus amylovorus*, a new starch-hydrolyzing species from cattle waste-corn fermentations", *Int. J. Syst. Bacteriol.*, **31(1)**, pp.56-63, DOI: 10.1099/00207713-31-1-56.

[33] E.P. Cato, W. Moore, J.L. Johnson (1983), "Synonymy of strains of "*Lactobacillus acidophilus*" group A2 (Johnson et al. 1980) with the type strain of *Lactobacillus crispatus* (Brygoo and Aladame 1953) Moore and Holdeman 1970", *Int. J. Syst. Bacteriol.*, **33(2)**, pp.426-428, DOI: 10.1099/00207713-33-2-426.

[34] T. Fujisawa, Y. Benno, T. Yaeshima, et al. (1992), "Taxonomic study of the *Lactobacillus acidophilus* group, with recognition of *Lactobacillus gallinarum* sp. nov. and *Lactobacillus johnsonii* sp. nov. and synonymy of *Lactobacillus acidophilus* group A3 (Johnson et al. 1980) with the type strain of *Lactobacillus amylovorus* (Nakamura 1981)", *Int. J. Syst. Bacteriol.*, **42(3)**, pp.487-491, DOI: 10.1099/00207713-42-3-487.

[35] S.M. Naser, K.E. Hagen, M. Vancanneyt, et al. (2006), "*Lactobacillus suntoryeus* Cachat and Priest 2005 is a later synonym of *Lactobacillus helveticus* (Orla-Jensen 1919) Bergey et al. 1925 (Approved Lists 1980)", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, **56**, pp.355-360, DOI: 10.1099/ijs.0.64001-0.

[36] S. Roos, L. Engstrand, H. Jonsson (2005), "*Lactobacillus gastricus* sp. nov., *Lactobacillus antri* sp. nov., *Lactobacillus kalixensis* sp. nov. and *Lactobacillus ultunensis* sp. nov., isolated from human stomach mucosa", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, **55**, pp.77-82, DOI: 10.1099/ijs.0.63083-0.

[37] M. Vancanneyt, J. Mengaud, I. Cleenwerck, et al. (2004), "Reclassification of *Lactobacillus kefirgranum* Takizawa et al. 1994 as *Lactobacillus kefiranofaciens* subsp. *kefirgranum* subsp. nov. and emended description of *L. kefiranofaciens* Fujisawa et al. 1988", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, **54**, pp.551-556, DOI: 10.1099/ijs.0.02912-0.

[38] T. Mitsuoka, T. Fujisawa (1987), "*Lactobacillus hamsteri*, a new species from the intestine of hamsters", *Proc. Jpn. Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci.*, **63**, pp.269-272, DOI: 10.2183/pjab.63.269.

[39] I. Bohak, W. Back, L. Richter, et al. (1998), "*Lactobacillus amylolyticus* sp. nov., isolated from beer malt and beer wort", *Syst. Appl. Microbiol.*, **21(3)**, pp.360-364, DOI: 10.1016/S0723-2020(98)80045-3.

[40] T. Fujisawa, K. Itoh, Y. Benno, et al. (1990), "*Lactobacillus intestinalis* (ex Hemme 1974) sp. nov., nom. rev., isolated from the intestines of mice and rats", *Int. J. Syst. Bacteriol.*, **40(3)**, pp.302-304, DOI: 10.1099/00207713-40-3-302.

[41] J. Meng, D. Jin, J. Yang, et al. (2020), "*Lactobacillus xujianguonis* sp. nov., isolated from faeces of *Marmota himalayana*", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, **70(1)**, pp.11-15, DOI: 10.1099/ijsem.0.003598.

[42] S. Cousin, L. Motreff, M.L. Gulat-Okalla, et al. (2013), "*Lactobacillus pasteurii* sp. nov. and *Lactobacillus hominis* sp. nov", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, **63**, pp.53-59, DOI: 10.1099/ijs.0.036665-0.

[43] S. Cousin, M. L. Gulat-Okalla, L. Motreff, et al. (2012), "*Lactobacillus gigeriorum* sp. nov., isolated from chicken crop", *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.*, **62**, pp.330-334, DOI: 10.1099/ijs.0.028217-0.

 DOI: 10.31276/VJST.2026.3806

Phát triển thiết bị SHM sử dụng công nghệ SMT và tối ưu truyền dữ liệu dao động

Vũ Ngọc Quý, Lê Đăng Nam, Lại Liên Quân, Lê Xuân Lưu, Nguyễn Thúy Bình, Đào Thanh Toản*

Trường Đại học Giao thông Vận tải, 3 Cầu Giấy, phường Láng, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 13/1/2026; ngày chuyển phản biện 15/1/2026; ngày nhận phản biện 22/1/2026; ngày chấp nhận đăng 4/3/2026

Tóm tắt:

Bài báo này trình bày quá trình phát triển một thiết bị quan trắc sức khỏe kết cấu (Structural Health Monitoring - SHM) sử dụng công nghệ hàn dán bề mặt (Surface Mount Technology - SMT) nhằm nâng cao độ ổn định, tính nhỏ gọn và khả năng ứng dụng thực tế của hệ đo. Thiết bị được thiết kế tích hợp cảm biến gia tốc, vi điều khiển và mô-đun truyền thông không dây, cho phép thu thập và truyền dữ liệu dao động của công trình về trạm trung tâm phục vụ giám sát và phân tích trạng thái kết cấu. Trên cơ sở đặc thù dữ liệu dao động và các ràng buộc của truyền thông không dây công suất thấp, bài báo tập trung nghiên cứu và tối ưu hóa cấu trúc gói truyền dữ liệu, đặc biệt là mối quan hệ giữa số lượng mẫu đo trong mỗi gói, số gói cần truyền và độ tin cậy truyền dẫn. Các thử nghiệm được thực hiện với nhiều kịch bản số lượng mẫu khác nhau nhằm đánh giá ảnh hưởng của chiến lược đóng gói dữ liệu đến khả năng truyền nhận và tính toàn vẹn của dữ liệu đo. Kết quả cho thấy, việc tối ưu hóa gói truyền giúp cải thiện đáng kể hiệu quả truyền thông, giảm rủi ro mất dữ liệu và đáp ứng yêu cầu giám sát dao động trong các ứng dụng SHM không dây chi phí thấp.

Từ khóa: **đo dao động kết cấu, sử dụng công nghệ hàn dán, thiết bị LoRa.**

Chỉ số phân loại: **2.1, 2.11**

Development of an SMT-based SHM device and optimisation of vibration data transmission packets

Ngoc Quy Vu, Dang Nam Le, Lien Quan Lai, Xuan Luu Le, Thuy Binh Nguyen, Thanh Toan Dao*

University of Transport and Communications, 3 Cau Giay Street, Lang Ward, Hanoi, Vietnam

Received 13 January 2026; revised 22 January 2026; accepted 4 March 2026

Abstract:

This article presents the development of a Structural Health Monitoring (SHM) device based on Surface Mount Technology (SMT) with the aim of improving system stability, compactness, and practical applicability. The device integrates an accelerometer sensor, a microcontroller, and a wireless communication module, enabling the acquisition and transmission of structural vibration data to a central station for structural monitoring and condition analysis. Considering the characteristics of vibration data and the constraints of low-power wireless communication, this study focuses on investigating and optimising the data packet structure, particularly the relationship between the number of measurement samples per packet, the number of transmitted packets, and transmission reliability. Experimental investigations were conducted under multiple sampling configurations to evaluate the impact of different data packetisation strategies on transmission performance and measurement data integrity. The results demonstrate that optimising the data packet structure significantly improves communication efficiency, reduces the risk of data loss, and meets the requirements for vibration monitoring in low-cost wireless SHM applications.

Keywords: **LoRa-based device, structural vibration measurement, Surface Mount Technology.**

Classification numbers: **2.1, 2.11**

**Tác giả liên hệ: Email: daotoan@utc.edu.vn*

1. Đặt vấn đề

Trên thế giới, nghiên cứu và phát triển các hệ thống giám sát sức khỏe công trình (Structural Health Monitoring - SHM) đã và đang thu hút sự quan tâm lớn của cộng đồng khoa học. Nhiều phương pháp đã được đề xuất nhằm đánh giá tình trạng làm việc và mức độ suy giảm của công trình cầu, bao gồm các phương pháp truyền thống dựa trên thử nghiệm phá hủy để phân tích vết nứt, cũng như các phương pháp không phá hủy tiên tiến cho phép thu thập thông tin kết cấu mà không làm ảnh hưởng đến khả năng khai thác công trình [1, 2]. Các hệ thống SHM lần đầu tiên được nghiên cứu và triển khai từ đầu những năm 2000, với mục tiêu thu thập dữ liệu định lượng về đặc tính kết cấu và phát hiện sớm các dấu hiệu xuống cấp. Tuy nhiên, những hệ thống này vẫn đối mặt với nhiều thách thức, đặc biệt là khả năng duy trì hoạt động lâu dài và xử lý khối lượng dữ liệu lớn thu thập từ mạng cảm biến phân tán [3]. Trong số các phương pháp SHM không phá hủy, kỹ thuật xử lý ảnh [4] và đo sóng ứng suất [5] được sử dụng tương đối phổ biến nhằm nâng cao hiệu quả giám sát mà không gây gián đoạn giao thông. Dẫu vậy, phương pháp đo sóng ứng suất đòi hỏi phải lựa chọn thời điểm tiếp xúc phù hợp, gây hạn chế trong các ứng dụng quan trắc thường xuyên. Sự phát triển nhanh chóng của công nghệ chip IoT cùng với sự phổ biến của các hệ thống Internet of Things đã mở ra hướng tiếp cận mới cho lĩnh vực quan trắc và giám sát sức khỏe công trình giao thông. Các hệ thống SHM dựa trên IoT cho phép triển khai các nút cảm biến nhỏ gọn, tiêu thụ năng lượng thấp và có khả năng kết nối linh hoạt trên phạm vi rộng [6]. Tuy nhiên, việc ứng dụng IoT trong quan trắc công trình vẫn gặp nhiều khó khăn liên quan đến thiết kế phần cứng, truyền thông không dây, nguồn cung cấp năng lượng, cũng như an toàn và bảo mật dữ liệu [7].

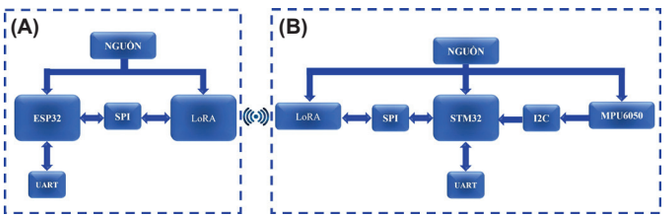
Tại Việt Nam, công tác quan trắc kết cấu công trình cầu mới chỉ được quan tâm trong những năm gần đây. Năm 2012, Bộ Giao thông Vận tải ban hành công văn số 2727/BGTVT-KCHT yêu cầu lắp đặt hệ thống quan trắc đối với cầu treo. Đến năm 2016, Bộ Xây dựng tiếp tục ban hành Thông tư 26/2016/TT-BXD, quy định các công trình cầu từ cấp I trở lên phải thực hiện quan trắc kết cấu trong quá trình khai thác. Mặc dù vậy, các nội dung liên quan đến thiết kế, lắp đặt, đo đạc, xử lý và phân tích dữ liệu vẫn chưa được quy định đồng bộ, dẫn đến những hạn chế trong triển khai thực tế. Trong bối cảnh đó, hệ thống quan trắc cầu không dừng đang nổi lên như một xu hướng phù hợp cho giám sát công trình giao thông hiện đại. Các hệ thống này cho phép thu thập dữ liệu kết cấu thông qua mạng cảm biến không dây mà không làm gián đoạn lưu thông, giảm nhân lực vận hành và tạo điều kiện cho việc xử lý dữ liệu tập trung. Kết hợp với các thuật toán trí tuệ nhân tạo, dữ liệu thu thập được có thể phục vụ đánh giá hiện trạng kết cấu, phát hiện bất thường và dự báo xu hướng hư hỏng trong tương lai. Trong những năm gần đây, một số nghiên cứu trong nước đã bước đầu triển khai các hệ thống quan trắc cầu không dây. Năm 2017, nhóm nghiên cứu tại Trường Đại học Bách Khoa - Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh đã giới thiệu hệ thống quan trắc cho các cầu nhịp lớn như cầu Thuận Phước, cầu Bãi Cháy và cầu Rạch Miễu [1]. Năm 2020, nhóm nghiên cứu tại Trường Đại học Giao thông Vận tải đã đề xuất một hệ thống đo dao động cầu sử dụng cảm biến áp điện kết hợp truyền thông không dây Bluetooth [2]. Bên cạnh đó, một số nghiên cứu gần đây đã tập trung vào việc ứng dụng trí tuệ nhân tạo và IoT trong giám sát sức khỏe công trình cầu [8, 9]. Tuy nhiên, phần lớn các công trình này mới chỉ dừng lại ở mức thử nghiệm các thành phần riêng lẻ hoặc triển khai các hệ thống có quy mô nhỏ, chưa hình thành được một giải pháp tích hợp hoàn chỉnh, từ cảm biến, phần cứng thu thập dữ liệu, truyền thông không dây đến xử lý và quản lý dữ liệu. Đặc biệt, tại Việt Nam, hiện còn rất ít nghiên cứu công bố về việc ứng dụng công nghệ truyền thông LoRa trong các hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu cầu, trong khi các giải pháp sử dụng Bluetooth, WiFi hoặc mạng di động 4G đã được đề cập tương đối phổ biến. Đồng thời, số lượng nghiên cứu đề cập đến việc áp dụng kỹ thuật hàn dán bề mặt (SMT) [10, 11] trong thiết kế, chế tạo bo mạch LoRa chuyên dụng cho SHM, cũng như thử nghiệm và tối ưu hóa gói truyền dữ liệu, vẫn còn hạn chế và chưa được hệ thống hóa một cách đầy đủ.

Xuất phát từ thực tiễn trên, bài báo này tập trung nghiên cứu thiết kế bộ thu phát dữ liệu không dây tiết kiệm năng lượng phục vụ ứng dụng giám sát sức khỏe công trình giao thông. Hệ thống được xây dựng dựa trên cảm biến gia tốc chi phí thấp kết hợp với mô-đun truyền thông không dây tầm xa, hướng tới thu thập hiệu quả dữ liệu dao động kết cấu. Khả năng đo lường của hệ thống được đánh giá thông qua thử nghiệm trên mô hình dầm công-xôn, trong đó, kết quả đo từ nút đo đề xuất được so sánh với cảm biến tham chiếu nhằm làm rõ độ tin cậy và tiềm năng ứng dụng trong thực tế.

2. Thiết kế hệ thống đo và thu phát dữ liệu không dây

Xuất phát từ các yêu cầu của hệ thống giám sát sức khỏe công trình giao thông, đặc biệt là quan trắc không dừng, tiêu thụ năng lượng thấp và khả năng triển khai linh hoạt, bài báo nghiên cứu và thiết kế một hệ thống thu thập và truyền dữ liệu dao động kết cấu không dây. Hệ

thống được xây dựng theo mô hình nút đo tích hợp, bao gồm các khối cảm biến, xử lý và truyền thông, nhằm đảm bảo hoạt động ổn định lâu dài với chi phí triển khai hợp lý. Phần này trình bày kiến trúc tổng thể và nguyên lý thiết kế các thành phần phần cứng chính, làm cơ sở cho các phân tích và kiểm chứng thực nghiệm ở các phần tiếp theo.



Hình 1. Sơ đồ khối phần cứng: (A) nút trung tâm, (B) nút cảm biến.

Sơ đồ khối ở hình 1 minh họa kiến trúc phần cứng của hệ thống, gồm hai phân hệ chính: nút cảm biến và nút trung tâm. Tại nút cảm biến, cảm biến gia tốc MPU6050 được sử dụng để thu thập tín hiệu dao động, dữ liệu được truyền đến vi điều khiển STM32 thông qua giao tiếp I2C. Vi điều khiển STM32 thực hiện cấu hình cảm biến, xử lý và đóng gói dữ liệu trước khi truyền không dây qua mô-đun LoRa bằng giao tiếp SPI. Ở nút trung tâm, mô-đun LoRa tiếp nhận dữ liệu và chuyển tới vi điều khiển ESP32, nơi dữ liệu được tiền xử lý và truyền lên máy tính thông qua cổng UART. Hai phân hệ được cấp nguồn độc lập, cho phép hệ thống mở rộng linh hoạt nhiều nút đo, phù hợp cho các ứng dụng quan trắc rung động kết cấu từ xa.

2.1. Mạch nút cảm biến

Cấu tạo chính của nút cảm biến được thể hiện trong hình 2. Mạch tại nút cảm biến được thiết kế nhằm thu thập dữ liệu gia tốc tại vị trí đo và truyền dữ liệu không dây về nút trung tâm.



Hình 2. Cấu tạo chính của nút cảm biến.

Cảm biến MPU6050 là cảm biến MEMS tích hợp gia tốc kế ba trục với một số thông số được thể hiện trong bảng 1. Nhờ kích thước nhỏ gọn, tiêu thụ năng lượng thấp và khả năng giao tiếp thông qua chuẩn I2C, MPU6050 đáp ứng tốt yêu cầu thu thập tín hiệu dao động trong các hệ thống đo và quan trắc rung động chi phí thấp. Ngoài ra, cảm biến cho phép cấu hình bộ lọc số thông thấp (DLPF), góp phần giảm nhiễu cao tần trong tín hiệu đo.

Bảng 1. Một số thông số chính của MPU6050.

STT	Thông số	Giá trị
1	Điện áp hoạt động	3-5 V
2	Số bậc tự do	6 DOF
3	Dải đo gia tốc	±2 g, ±4 g, ±8 g, ±16 g
4	Độ phân giải	16 bit
5	Tần số lấy mẫu tối đa	1 kHz
6	Giao tiếp	I2C
7	Dòng tiêu thụ	3,9 mA

Vi điều khiển STM32F101C6T6 được lựa chọn làm bộ xử lý trung tâm cho nút đo nhờ sử dụng nhân ARM Cortex-M3 32-bit, tần số hoạt động đạt đến 72 MHz và tích hợp đầy đủ các giao tiếp ngoại vi như I2C, SPI và UART. STM32F101C6T6 có khả năng xử lý dữ liệu cảm biến theo thời gian thực với mức tiêu thụ năng lượng thấp, phù hợp cho các nút đo phân tán. Việc kết hợp MPU6050 và STM32F101C6T6 thể hiện sự tương thích cao cả về mặt điện áp, giao thức truyền thông lẫn yêu cầu xử lý, cho phép xây dựng một nút thu thập dữ liệu nhỏ gọn và ổn định. Sau khi thu thập và xử lý sơ bộ dữ liệu gia tốc, vi điều khiển STM32 truyền dữ liệu tới mô-đun truyền thông không dây SX1278 thông qua giao tiếp SPI. SX1278 sử dụng công nghệ LoRa, cho phép truyền dữ liệu với khoảng cách xa và tiêu thụ công suất thấp, phù hợp cho các hệ thống thu thập dữ liệu không dây. Một số thông số cơ bản của LoRa được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Thông số cơ bản của LoRa.

STT	Thông số	Giá trị
1	Điện áp hoạt động	1,8-3,7V
2	Dải tần hoạt động	433 MHz (410-441 MHz)
3	Băng thông	7,8 kHz-500 kHz
4	Giao tiếp	SPI
5	Dòng tiêu thụ (khi thu)	10-12 mA
6	Dòng tiêu thụ (khi phát)	120 mA

Việc sử dụng giao tiếp SPI giúp đảm bảo tốc độ truyền ổn định và độ tin cậy cao giữa vi điều khiển và mô-đun truyền thông. Cấu trúc này cho phép tách biệt rõ ràng giữa khối thu nhận tín hiệu, khối xử lý và khối truyền thông, góp phần nâng cao khả năng mở rộng và tính linh hoạt của toàn bộ hệ thống.



Hình 3. Thiết kế 3D và mạch phần cứng nút cảm biến: (1) MPU6050, (2) STM32, (3) LoRa.

Hình 3 trình bày sản phẩm nút cảm biến được thiết kế và chế tạo trong nghiên cứu, bao gồm bản vẽ thiết kế 3D và mạch in thực tế sau khi lắp ráp hoàn chỉnh. Trong thiết kế bo mạch đề xuất, kỹ thuật hàn dán bề mặt không chỉ được sử dụng nhằm giảm kích thước và tăng mức độ tích hợp, mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát các tham số ký sinh, từ đó cải thiện chất lượng truyền dữ liệu của hệ thống LoRa.

Về mặt lý thuyết, điện dung ký sinh [12] giữa hai đường mạch song song có thể được xấp xỉ theo công thức (1):

$$C_m \approx \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r l w}{s} \quad (1)$$

trong đó: C_m là điện dung ký sinh giữa 2 đường mạch (F), ε_0=8,85×10^{-12} F/m, ε_r là hằng số điện môi FR-4 (≈ 4,2), l là chiều dài đoạn song song (m), w là bề rộng đường mạch (m), s là khoảng cách giữa 2 đường mạch (m).

Từ biểu thức (2) cho thấy, điện dung ký sinh tỷ lệ thuận với chiều dài và độ rộng đường mạch, đồng thời tỷ lệ nghịch với khoảng cách giữa các đường mạch. Trên bo mạch STM32-LoRa được thiết kế, vi điều khiển STM32 và mô-đun LoRa được bố trí gần nhau, giúp rút ngắn đáng kể chiều dài các đường giao tiếp (SPI/UART). Đồng thời, các đường tín hiệu được bố trí với khoảng cách đủ lớn, nhờ đó làm giảm điện dung ký sinh và hạn chế nhiễu xuyên kênh do ghép điện dung.

Bên cạnh đó, điện cảm ký sinh [13] của đường mạch phụ thuộc chủ yếu vào chiều dài đường dây dẫn, có thể được ước lượng theo công thức (2):

$$L \approx 2 \times 10^{-7} l \left[ln\left(\frac{2l}{w+t}\right) + 0{,}5 \right] \quad (2)$$

trong đó: L là điện cảm ký sinh (H), l là chiều dài đường mạch (m), w là bề rộng đường mạch (m), t là độ dày đường mạch (m).

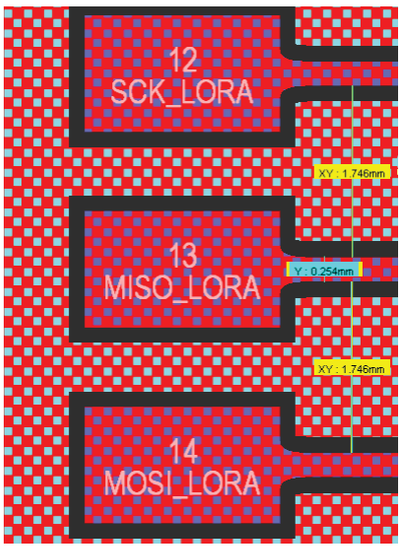
Do bo mạch sử dụng đồng chuẩn (t ≈ 35 µm), tham số t gần như không thay đổi, trong khi chiều dài đường mạch l trở thành yếu tố chi phối.

Ngoài ra, để hạn chế nhiễu xuyên kênh giữa các đường tín hiệu, thiết kế PCB tuân thủ quy tắc 3W [14], theo đó khoảng cách giữa hai đường mạch liền kề được duy trì lớn hơn hoặc bằng ba lần độ rộng của đường mạch:

$$s \geq 3w \quad (3)$$

trong đó: s là khoảng cách giữa hai đường mạch tín hiệu liền kề, w là độ rộng của đường mạch.

Quy tắc này là một hướng dẫn thiết kế được chấp nhận rộng rãi trong lĩnh vực toàn vẹn tín hiệu, giúp giảm đáng kể sự ghép điện dung và điện cảm giữa các đường tín hiệu song song. Việc tuân thủ quy tắc 3W được thể hiện trong hình 4 đặc biệt quan trọng đối với các hệ thống LoRa, do các tín hiệu truyền có công suất thấp và rất nhạy với nhiễu nền.



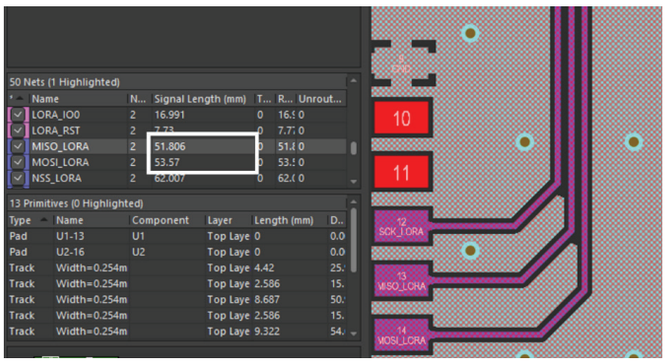
Hình 4. Đi dây dẫn theo nguyên tắc 3W (kích thước đường tín hiệu là 0,254 mm, khoảng cách 2 đường tín hiệu là 1,746 mm).

Trong hệ thống đề xuất, giao tiếp giữa vi điều khiển STM32 và mô-đun LoRa được thực hiện thông qua giao thức SPI, bao gồm các đường tín hiệu chính: SCK, MOSI, MISO và CS. Mặc dù tần số làm việc của SPI trong các ứng dụng LoRa chỉ ở mức vài MHz (1-8 MHz), các tín hiệu này vẫn có cạnh xung tương đối dốc do được điều khiển trực tiếp bởi chân GPIO của vi điều khiển. Do đó, về mặt toàn vẹn tín hiệu, các đường SPI không chỉ chịu ảnh hưởng bởi tần số làm việc mà còn bị chi phối mạnh bởi thời gian sườn lên của xung [15]. Mối liên quan giữa chiều dài của đường mạch và thời gian sườn lên của tín hiệu được thể hiện trong công thức (4):

$$l < \frac{t_r . v}{10} \quad (4)$$

trong đó: l là chiều dài đường mạch, t_r là thời gian sườn lên của tín hiệu, v là vận tốc truyền tín hiệu trên PCB.

Với các vi điều khiển STM32, tín hiệu SPI được điều khiển trực tiếp bởi các chân GPIO CMOS có cạnh xung nhanh, với thời gian sườn lên điển hình nằm trong khoảng vài nanô giây, thường được xem xét trong khoảng 5-10 ns trong các phân tích toàn vẹn tín hiệu. Khi đó, chiều dài giới hạn để có thể bỏ qua hiệu ứng đường truyền là: l<7, 5-15 cm và được áp dụng như minh họa trong hình 5.



Hình 5. Chiều dài đi dây dẫn đường dữ liệu giao tiếp SPI.

Ngoài vấn đề tối ưu thiết kế, công suất tiêu thụ cũng là một vấn đề đáng được quan tâm đối với thiết bị phát triển. Công suất tiêu thụ chính của nút cảm biến khi hệ thống hoạt động được trình bày trong bảng 3. Kết quả cho thấy mô-đun truyền thông SX1278 ở chế độ truyền là thành phần tiêu thụ công suất lớn nhất, chiếm phần đáng kể trong tổng công suất của nút đo. Trong khi đó, vi điều khiển STM32F101C6T6 và cảm biến MPU6050 có mức công suất tiêu thụ tương đối thấp, phản ánh đặc tính phù hợp của các linh kiện này cho các ứng dụng quan trắc không dây dài hạn.

Bảng 3. Công suất tiêu thụ của nút cảm biến.

STT	Thành phần	Công suất (W)
1	STM32F101C6T6	0,099
2	MPU6050	0,013
3	SX1278 (chế độ truyền)	0,396
4	Phụ kiện: Led, transistor, điện trở…	~0,033
Tổng		**0,54**

2.2. Mạch trung tâm

Việc xây dựng nút trung tâm đóng vai trò quan trọng trong toàn bộ hệ thống thu phát dữ liệu không dây. Nút trung tâm có nhiệm vụ tiếp nhận dữ liệu dao động được truyền từ các nút cảm biến thông qua giao thức không dây, thực hiện tiền xử lý và chuyển tiếp dữ liệu lên máy tính phục vụ cho quá trình lưu trữ, phân tích và hiển thị kết quả được thể hiện trong hình 6.



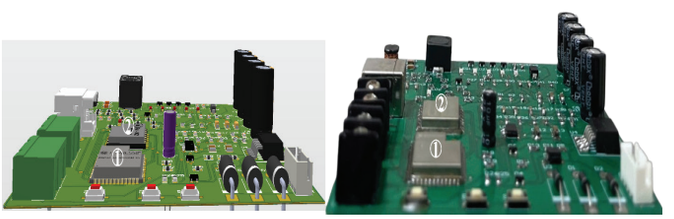
Hình 6. Cấu tạo chính của nút trung tâm.

Mô-đun LoRa tại mạch trung tâm nhận dữ liệu không dây từ các nút cảm biến và chuyển tiếp tới vi điều khiển ESP32 thông qua giao tiếp SPI. ESP32 đảm nhiệm vai trò xử lý cấp cao, cho phép lưu trữ hoặc truyền tiếp dữ liệu thông qua giao diện UART.

Bảng 4. Một số thông số của ESP32.

STT	Thông số	Giá trị
1	Điện áp hoạt động	3,0-3,6 V
2	Bộ nhớ ROM	448 KB
3	SRAM	520 KB
4	Giao tiếp ngoại vi	SPI, I2C, UART
5	Dòng tiêu thụ	80-240 mA

Vi điều khiển ESP32 được lựa chọn nhờ khả năng xử lý mạnh, bộ nhớ lớn và tính linh hoạt cao, phù hợp cho việc mở rộng kết nối và xử lý dữ liệu ở mức hệ thống. Khối nguồn được thiết kế với hai tầng ổn áp nhằm đảm bảo độ ổn định cho các khối xử lý và truyền thông. Kiến trúc tách rời nút trung tâm - nút cảm biến cho phép hệ thống dễ dàng mở rộng số lượng nút đo mà không cần thay đổi cấu trúc phần cứng trung tâm. Sản phẩm mạch nút trung tâm được trình bày trong hình 7 với bản thiết kế 3D và mạch in sau khi lắp ráp hoàn chỉnh.



Hình 7. Thiết kế 3D và mạch phần cứng nút trung tâm: (1) ESP32, (2) LoRa.

Về cấu trúc phần cứng, mạch nút trung tâm tích hợp vi điều khiển ESP32 làm bộ xử lý chính, đảm nhiệm chức năng điều khiển, xử lý sơ bộ dữ liệu và giao tiếp với mô-đun truyền thông LoRa.

Bảng 5. Công suất tiêu thụ của nút trung tâm.

STT	Thành phần	Công suất (W)
1	ESP32-S3-WROOM	0,66
2	SX1278 (chế độ thu)	~0,04
3	Phụ kiện: Led, transistor, điện trở…	~0,07
Tổng		**~0,77**

Bảng 5 trình bày công suất tiêu thụ của các thành phần chính trong nút trung tâm khi hệ thống hoạt động ở chế độ thu dữ liệu. Kết quả cho thấy, nút trung tâm phù hợp triển khai trong các hệ thống quan trắc với nguồn cấp cố định hoặc nguồn cấp ngoài, đồng thời không gây ảnh hưởng đáng kể đến tổng năng lượng của toàn hệ thống.

3. Thử nghiệm

3.1. Thử nghiệm đo tần số dao động riêng của dầm công-xôn

Trong nghiên cứu này, thử nghiệm được thiết kế nhằm đánh giá khả năng đo dao động của hệ thống thu thập dữ liệu đề xuất. Cảm biến gia tốc ARF-10A được lựa chọn làm cảm biến tham chiếu với tham số thể hiện trong bảng 6, sử dụng để đo dao động của dầm công-xôn. Trên cùng đối tượng thử nghiệm, cảm biến gia tốc MPU6050 được sử dụng để thu thập dữ liệu dao động nhằm phục vụ mục đích so sánh. Thông qua việc đối chiếu kết quả đo giữa cảm biến tham chiếu và cảm biến MPU6050, nghiên cứu nhằm đánh giá bước đầu khả năng đo dao động và tính phù hợp của cảm biến MPU6050.

Bảng 6. Thông số của cảm biến tham chiếu ARF-10A.

STT	Thông số	Giá trị
1	Điện áp hoạt động	2-5 V
2	Phạm vi đo	10 m/s^2
3	Tần số riêng	100 Hz
4	Sai số phi tuyến	1%RO
5	Trở kháng vào/ra	120 Ω

Hình 8 trình bày bố trí thí nghiệm đo dao động dầm công-xôn và kiểm chứng hệ thống thu thập dữ liệu. Dầm công-xôn được chế tạo từ vật liệu thép có chiều dài 740 mm, rộng 40 mm, dày 8,24 mm, tải gắn tại đầu tự do của dầm là 1 kg. Theo lý thuyết Euler-Bernoulli [16] tần số dao động riêng bậc n được tính theo công thức (5):

$$f_n = \frac{\beta_n^2}{2\pi L^2}\sqrt{\frac{EI}{\rho A}} \quad (5)$$

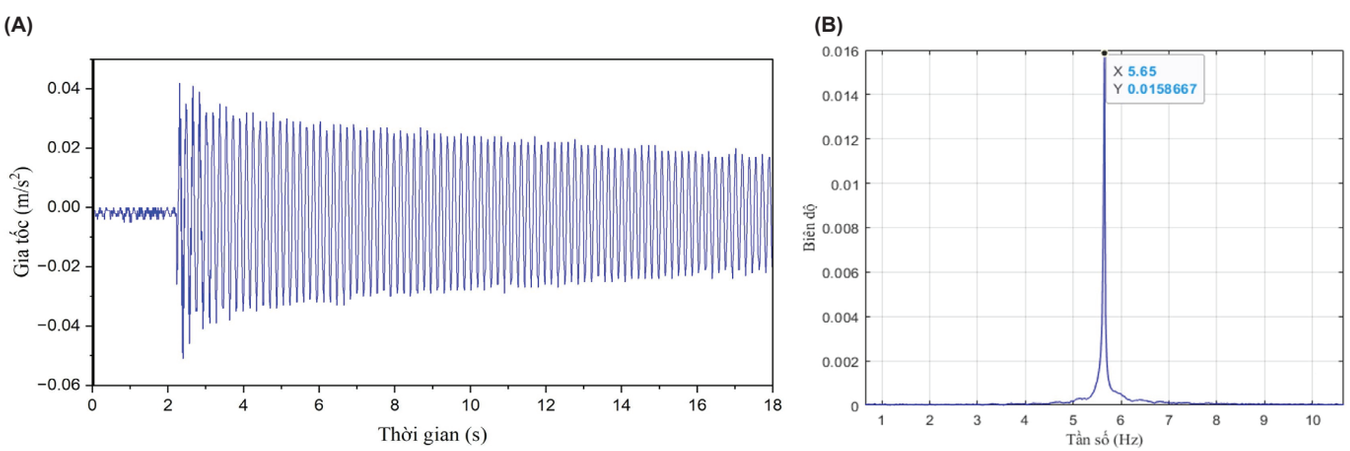
trong đó: E là mô đun đàn hồi của vật liệu (Pa) (E=2,1×10^{11} ρA), I=$\frac{bh^3}{12}$ là mô men quán tính tiết diện, b là độ rộng của dầm, h là độ dày của dầm, A=b.h là diện tích tiết diện (m^2), ρ là khối lượng riêng (kg/m^3) (ρ=7850 kg/ m^3), L là chiều dài dầm (m), βn là hệ số phụ thuộc điều kiện biên (βn=1,875 với dầm 1 bậc tự do).

Từ công thức (5) và giá trị của các tham số trên, tính toán được tần số dao động riêng của dầm công-xôn là $f_n \approx 7{,}10$ Hz.

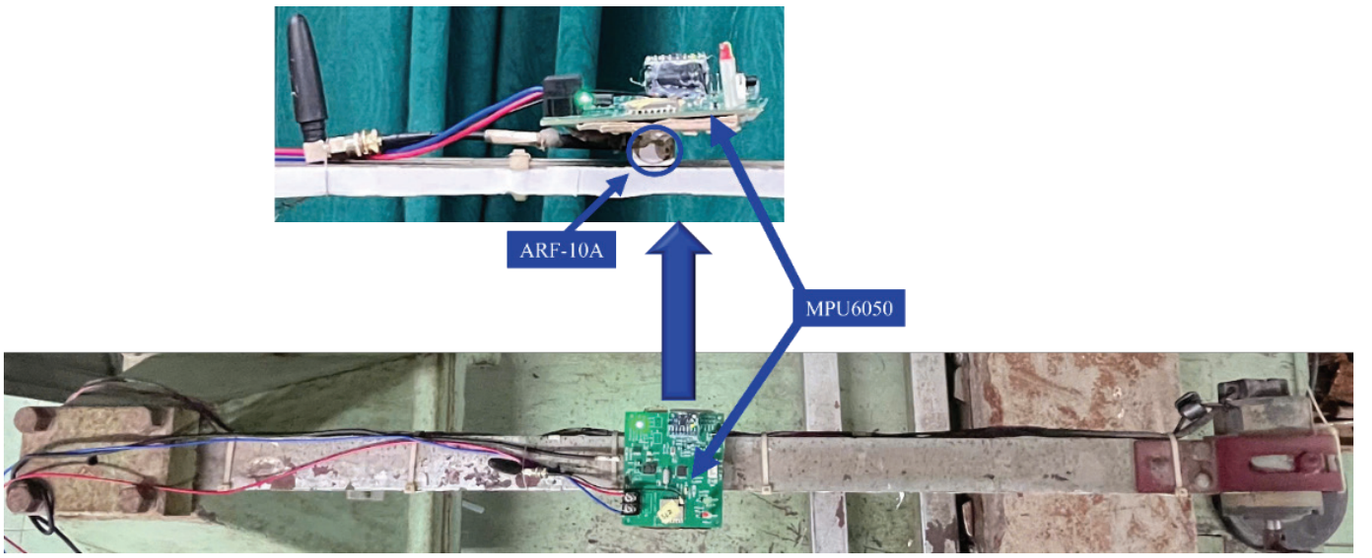
Kết quả đo dao động của dầm công-xôn thu được từ cảm biến gia tốc ARF-10A được thể hiện trong hình 9. Hình 9A cho thấy tín hiệu gia tốc theo miền thời gian sau khi kích thích, trong đó dao động thể hiện dạng dao động tắt dần đặc trưng của hệ kết cấu đàn hồi. Biên độ dao động ban đầu tương đối lớn và giảm dần theo thời gian, phản ánh quá trình tiêu tán năng lượng của hệ. Phổ tần số tương ứng được trình bày trong hình 9B, trong đó xuất hiện một đỉnh phổ nổi trội tại tần số xấp xỉ 5,65 Hz tương ứng với dạng dao động cơ bản.



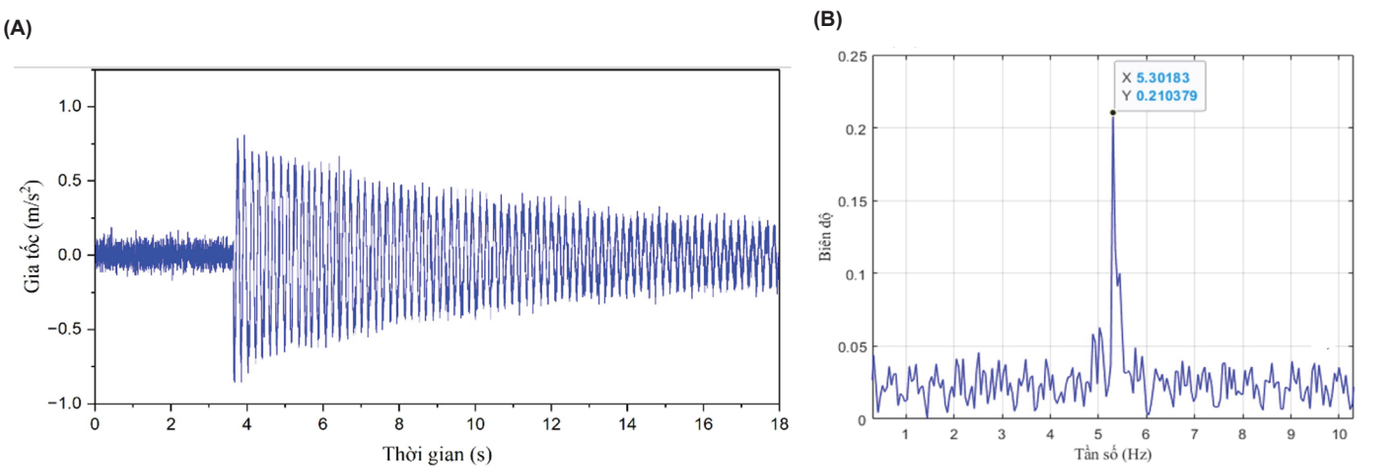
Hình 8. Bố trí thí nghiệm đo dao động sử dụng cảm biến tham chiếu: (1) Dầm công-xôn, (2) Cảm biến gia tốc ARF-10A, (3) Bộ xử lý dữ liệu SDA 830C, (4) Máy tính xử lý và hiển thị kết quả.



Hình 9. Kết quả đo dao động dầm công-xôn sử dụng cảm biến ARF-10A: (A) biểu diễn trên miền thời gian, (B) biểu diễn trên miền tần số.



Hình 10. Bố trí thí nghiệm sử dụng cảm biến MPU6050.



Hình 11. Kết quả đo khi sử dụng cảm biến MPU6050: (A) biểu diễn trên miền thời gian, (B) biểu diễn trên miền tần số.

Hình 10 minh họa bố trí thí nghiệm trong đó cảm biến tham chiếu ARF-10A và cảm biến MPU6050 được lắp đặt đồng vị trí trên dầm công-xôn. Thông qua việc đối chiếu tín hiệu thu được từ hai cảm biến, nghiên cứu đánh giá khả năng đo dao động và xác định tần số dao động riêng sử dụng cảm biến MPU6050 so với cảm biến tham chiếu, làm cơ sở xem xét tính phù hợp của cảm biến chi phí thấp trong các ứng dụng quan trắc dao động kết cấu.

Kết quả đo dao động của dầm công-xôn thu được từ cảm biến gia tốc MPU6050 được tích hợp trên nút đo đề xuất thể hiện trên hình 11. Hình 11A thể hiện tín hiệu gia tốc biểu diễn trên miền thời gian, trong đó dao động sau khi kích thích có dạng dao động tắt dần rõ rệt, tương tự đặc trưng thu được từ cảm biến tham chiếu. Biên độ tín hiệu giảm dần theo thời gian, phản ánh quá trình suy giảm năng lượng dao động của hệ kết cấu. Phổ tín hiệu biểu diễn trên miền tần số được trình bày trong hình 11B, trong đó xuất hiện một đỉnh phổ trội tại tần số xấp xỉ 5,30 Hz. Giá trị này tương đồng với tần số dao động riêng của kết cấu thu được từ cảm biến tham chiếu ARF-10A. Cảm biến ARF-10A do Công ty Tokyo Measuring Instruments Laboratory (Nhật Bản) sản xuất là cảm biến thương mại được sử dụng rộng rãi trong các hệ đo dao động kỹ thuật, đặc biệt là đối với SHM.

Bảng 7. So sánh kết quả tần số dao động riêng.

Phương pháp đo/tính toán	Tần số riêng (f_n) (Hz)	Sai số tương đối so với ARF-10A (%)	Ghi chú
Cảm biến thương mại ARF-10A	5,65		Kết nối có dây
MPU6050	5,30	6,19	Truyền nhận không dây
Lý thuyết Euler-Bernoulli	7,10	25,66	Tính toán theo công thức

Kết quả đạt được trong bảng 7 cho thấy, giá trị tần số dao động riêng thu được từ cảm biến thương mại ARF-10A là 5,65 Hz, được xem là giá trị tham chiếu có độ tin cậy cao. Cảm biến ARF-10A đã được hiệu chuẩn và sử dụng phổ biến trong các hệ đo dao động kỹ thuật. Hệ thống đo đề xuất sử dụng cảm biến MPU6050 cho kết quả 5,30 Hz, tương ứng với sai số tương đối 6,19%, nằm trong phạm vi chấp nhận được đối với một cảm biến MEMS chi phí thấp kết hợp truyền dữ liệu không dây. Kết quả này cho thấy, thiết bị phát triển có khả năng xác định tần số dao động riêng của kết cấu với độ chính chấp nhận được. Trong khi đó, giá trị tần số riêng tính toán theo mô hình dầm Euler-Bernoulli là 7,10 Hz, cao hơn đáng kể so với kết quả thực nghiệm. Sự sai lệch này chủ yếu xuất phát từ các giả thiết lý tưởng của mô hình lý thuyết, bao gồm điều kiện ngàm tuyệt đối, phân bố khối lượng đồng đều và không xét đến ảnh hưởng của khối lượng cảm biến cũng như hệ gá lắp trên dầm. Ngoài ra, các yếu tố như suy giảm năng lượng do ma sát tại ngàm, độ không đồng nhất vật liệu và sai lệch hình học của dầm thực nghiệm cũng góp phần làm giảm tần số dao động đo được so với giá trị tính toán. Do đó, sự chênh lệch giữa kết quả lý thuyết và thực nghiệm là phù hợp với điều kiện thí nghiệm thực tế và thường gặp trong các nghiên cứu dao động kết cấu. Việc so sánh với cảm biến thương mại ARF-10A và kết quả tính toán lý thuyết cho thấy sai khác nằm trong phạm vi phù hợp với điều kiện thí nghiệm thực tế. Các kết quả này khẳng định tính khả thi của giải pháp đề xuất và là cơ sở để xem xét ứng dụng hệ thống trong các bài toán giám sát sức khỏe kết cấu cầu giao thông theo hướng không dây và tiết kiệm năng lượng.

3.2. Thử nghiệm thu phát tín hiệu không dây

Theo khuyến nghị của nhà sản xuất, các tham số truyền của mô-đun LoRa được cấu hình trong dải giá trị sau: hệ số trải phổ (Spreading Factor - SF) trong khoảng từ 7 đến 12; băng thông (Bandwidth - BW) gồm các mức 125 kHz, 250 kHz và 500 kHz; tỷ lệ mã hóa (Coding Rate - CR) có các giá trị từ 4/5 đến 4/8. Trong nghiên cứu này, bộ tham số được lựa chọn nhằm cân bằng giữa tốc độ truyền, thời gian chiếm kênh và độ tin cậy truyền dẫn, phù hợp với đặc thù dữ liệu dao động trong ứng dụng quan trắc sức khỏe kết cấu. Do đó, trong các thí nghiệm mô-đun LoRa được cấu hình với các tham số SF=7, BW=250 kHz, và CR=4/5. Khoảng cách thu phát không dây được thiết lập trong phạm vi phòng thí nghiệm xấp xỉ 5m. Trong hệ thống đề xuất, dữ liệu đo dao động được đóng gói theo từng khối gồm nhiều mẫu liên tiếp nhằm giảm số lượng gói truyền của giao thức LoRa. Mỗi mẫu dữ liệu được mã hóa ở dạng số nguyên 16 bit (2B). Với N mẫu dữ liệu trong mỗi gói, kích thước gói tin của gói LoRa có thể được biểu diễn xấp xỉ là:

$$P \approx 2N+1 \quad (6)$$

trong đó: P: Kích thước gói tin, 1B được sử dụng cho mã định danh gói tin.

Kích thước gói tin ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian chiếm kênh của mỗi lần truyền.

Thời gian chiếm kênh truyền của gói dữ liệu được tính toán theo công thức [15]:

$$T_{ToA} = T_{preamble} + T_{payload} = \frac{2^{SF}}{BW}\left(n_{preamble} + PLSymb + 4{,}25\right) \quad (7)$$

trong đó: T_{ToA}: (Time-on-Air) là thời gian chiếm kênh truyền, $T_{preamble}$ là thời gian truyền chuỗi đồng bộ ở đầu gói tin, $n_{preamble}$ là độ dài chuỗi đồng bộ, $T_{payload}$ là thời gian truyền dữ liệu hữu ích của gói tin, *PLSymb* là số symbol tương ứng với dữ liệu hữu ích, *SF*: là hệ số trải phổ, có giá trị từ 7-12, *BW*: là băng thông có giá trị 125 kHz, 250 kHz, 500 kHz.

Công thức (7) cho thấy thời gian chiếm kênh truyền phụ thuộc trực tiếp vào hệ số trải phổ SF và băng thông BW trong quá trình truyền. SF càng nhỏ sẽ làm giảm thời gian chiếm kênh truyền, đồng thời BW càng lớn thì thời gian chiếm kênh truyền càng giảm, nhưng điều này lại làm giảm độ nhạy.

Dưới giả thiết các sự kiện gây lỗi xảy ra ngẫu nhiên theo thời gian [15], xác suất lỗi gói có thể được mô hình hóa dựa trên quá trình Poisson. Theo đó, xác suất xảy ra ít nhất một lỗi trong khoảng thời gian truyền của một gói dữ liệu được biểu diễn xấp xỉ bởi:

$$PER = 1 - e^{-\lambda T_{ToA}} \quad (8)$$

trong đó: T_{ToA} là thời gian chiếm kênh truyền, λ là cường độ xuất hiện lỗi gói do kênh truyền, PER là xác suất gói tin bị lỗi, *e* là hằng số Euler.

Mặc dù công nghệ LoRa cho phép kích thước gói tối đa lên tới 255B, việc sử dụng gói dữ liệu có kích thước lớn không đồng nghĩa với độ tin cậy truyền cao hơn. Trong nghiên cứu này, mỗi gói dữ liệu được thiết kế để chứa 40 mẫu, với mỗi mẫu được mã hóa trên 16 bit, dẫn đến kích thước gói tin khoảng 81B (theo công thức (6)). So với phương án truyền số lượng mẫu lớn hơn, gói 40 mẫu có tổng số bit và thời gian chiếm kênh thấp hơn đáng kể. Bên cạnh đó, trong hệ thống quan trắc dao động cầu, dữ liệu không yêu cầu phản hồi thời gian thực nghiêm ngặt mà cần đảm bảo tính liên tục, ổn định và độ tin cậy dài hạn. Với gói dữ liệu 40 mẫu, hệ thống đạt được sự cân bằng hợp lý giữa kích thước gói, độ trễ truyền và xác suất lỗi, trong khi vẫn duy trì tốc độ cập nhật dữ liệu phù hợp

cho phân tích dao động. Do vậy, lựa chọn 40 mẫu trong mỗi gói dữ liệu được xem là phương án tối ưu, giúp nâng cao độ tin cậy truyền thông LoRa và đảm bảo hiệu quả tổng thể của hệ thống quan trắc dao động cầu. Tổng thời gian truyền nhận dữ liệu cho một gói tin xấp xỉ 100 ms (bao gồm thời gian chiếm kênh truyền, thời gian xử lý dữ liệu của vi điều khiển và thời gian truyền số liệu lên máy tính).

Bảng 8. Một số kịch bản thí nghiệm truyền gói dữ liệu.

STT	Số lượng mẫu	Số lượng gói	Kích thước dữ liệu (B)	Thời gian trễ (ms)	Thời gian chiếm kênh truyền (ms)	Tổng thời gian truyền nhận dữ liệu (ms)
1	1800	45	3645	90	4050	4500
2	1200	30	2430	60	2700	3000
3	800	20	1620	40	1800	2000
4	400	10	810	20	900	1000
5	200	5	405	10	450	500

Bảng 8 trình bày một số kịch bản thí nghiệm tương ứng với các cấu hình số lượng mẫu và số lượng gói dữ liệu được truyền qua LoRa. Các kịch bản này cho phép đánh giá ảnh hưởng của số lượng gói truyền đến tổng thời gian truyền - nhận dữ liệu, độ trễ và hiệu quả giám sát trong hệ thống quan trắc sức khỏe công trình. Tuy nhiên, việc tiếp tục giảm số mẫu xuống 200 tuy giúp rút ngắn thời gian truyền nhưng làm giảm đáng kể lượng thông tin dao động thu được cho mỗi phiên đo. Phương án truyền 400 mẫu đạt được sự cân bằng hợp lý giữa độ tin cậy truyền dẫn, độ trễ và chất lượng dữ liệu đo.

Độ tin cậy truyền gói tin được tính toán theo công thức [17]:

$$R = 1\text{-}PER = e^{-\lambda T_{ToA}} \quad (9)$$

Với các kịch bản truyền dữ liệu được thực hiện trong cùng điều kiện môi trường và cấu hình LoRa, giá trị tham số λ thu được là xấp xỉ nhau. Do đó, trong phạm vi nghiên cứu này, xác suất phát sinh lỗi gói tin chủ yếu phụ thuộc vào thời gian chiếm kênh truyền của gói dữ liệu và cũng là yếu tố ảnh hưởng chính đến độ tin cậy truyền tin. Từ công thức (9) cho thấy thời gian chiếm kênh truyền càng lớn thì độ tin cậy càng giảm. Dưới góc độ giám sát sức khỏe công trình cầu, số lượng 400 mẫu dao động trong một chu kỳ đo là hoàn toàn đủ để trích xuất các tham số động lực học đặc trưng như biên độ dao động, tần số riêng và xu hướng biến đổi theo thời gian. Đồng thời, việc giới hạn số lượng gói ở mức 10 giúp hệ thống duy trì độ trễ thấp, thời gian truyền ngắn và mức độ ổn định cao hơn, đặc biệt là tăng độ tin cậy truyền dữ liệu.

3.3. So sánh hệ thống đề xuất với các nghiên cứu gần đây về SHM

Bảng 9. So sánh kết quả đạt được của hệ thống đề xuất với một số nghiên cứu trong và ngoài nước.

Bài báo	Năm	Đối tượng đo	Phương thức truyền dữ liệu	Tần số dao động riêng (Hz)	Sai số tương đối (%)
[2]	2020	Cầu Lam Kinh	Không dây (Bluetooth)	5,43	<5
[18]	2022	Cầu đường sắt	Có dây	2,48	3,13
[19]	2023	Mô hình dầm gỗ kê 2 gối	Có dây (Ethernet)	4,70	-
[20]	2024	Thanh dầm nhôm	Có dây	5,24	11,8
[21]	2025	Cầu Swarnamukhi	Không dây (WiFi)	3,40-4,73	-
Hệ thống đề xuất		Dầm công-xôn	Không dây (LoRa)	5,30	6,19

Bảng 9 tổng hợp các nghiên cứu gần đây về đo tần số dao động riêng của kết cấu, cho thấy các đối tượng đo từ mô hình dầm thí nghiệm đến cầu thực tế, với tần số đặc trưng chủ yếu trong khoảng 2,48-5,43 Hz. Các hệ đo có dây và không dây tầm ngắn cho sai số tương đối nhỏ trong điều kiện thí nghiệm, trong khi các nghiên cứu sử dụng truyền không dây trên công trình thực vẫn còn hạn chế về đánh giá sai số định lượng. Nói chung, các hệ đo sử dụng cảm biến chi phí thấp có thể ước lượng tần số dao động riêng (f_n) của rung động kết cấu với sai số trong giới hạn cho phép, tạo cơ sở cho việc phát triển các hệ quan trắc không dây trong SHM.

4. Kết luận và khuyến nghị

Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm được thực hiện trên mô hình dầm công-xôn nhằm kiểm chứng bước đầu khả năng thu thập dao động và truyền dữ liệu không dây của hệ thống đề xuất. Hướng tiếp cận này cho phép đánh giá các đặc tính cơ bản của phần cứng và cách tiếp cận đóng gói dữ liệu trong môi trường có kiểm soát. Trên cơ sở đó, đánh giá được hiệu quả của hệ thống đề xuất trong giám sát sức khỏe kết cấu công trình. Tuy nhiên, điều kiện thí nghiệm chưa phản ánh đầy đủ các yếu tố phức tạp của môi trường khai thác thực tế, tải trọng giao thông ngẫu nhiên, nhiễu môi trường và suy hao truyền thông. Đây cũng là một hướng tiếp cận mà nhóm nghiên cứu dự kiến triển khai trong các nghiên cứu tiếp theo.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, hệ thống quan trắc sức khỏe kết cấu không dây được đề xuất bước đầu đáp ứng yêu cầu thu thập và truyền dữ liệu dao động trong điều kiện quan trắc không dừng, đồng thời đảm bảo mức tiêu

thụ năng lượng và chi phí triển khai phù hợp. Việc áp dụng công nghệ hàn dán SMT trong thiết kế mạch góp phần giảm các tham số ký sinh, hạn chế nhiễu giữa các khối chức năng và nâng cao độ ổn định của hệ thống. Kiến trúc phân tách giữa nút cảm biến và nút trung tâm giúp tối ưu chức năng từng phân hệ, tạo điều kiện thuận lợi cho triển khai và mở rộng hệ thống. Bên cạnh thiết kế phần cứng, nghiên cứu đã đề xuất giải pháp tối ưu hóa cấu trúc gói truyền dữ liệu dao động nhằm cân bằng giữa số lượng mẫu đo, số gói truyền và độ tin cậy truyền thông. Kết quả cho thấy việc lựa chọn gói truyền hợp lý giúp giảm thời gian chiếm kênh và nâng cao hiệu quả truyền dữ liệu trong các hệ SHM không dây công suất thấp. Trong thời gian tới, nghiên cứu sẽ được mở rộng theo hướng triển khai thử nghiệm trên công trình thực tế, kết hợp với các chiến lược quản lý năng lượng và phân tích dữ liệu nâng cao nhằm nâng cao hiệu quả ứng dụng của hệ thống.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông Vận tải trong đề tài mã số T2026-TTKHCN-003TĐ. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] D.T. Nguyen, T.H. Ho, N.N.N. Tran (2017), "Structural health monitoring system for long-span bridge", *Thu Dau Mot University Journal of Science*, **1(32)**, pp.38-48 (in Vietnamese).

[2] T.T. Dao (2020), "Wireless Daq using piezoelectric sensor for vibration measurement of bridge structure", *Transport and Communications Science Journal*, **71(2)**, pp.135-144 (in Vietnamese).

[3] A.K. Roopa, A.M. Hunashyal (2022), "Development and implementation of cement-based nanocomposite sensors for structural health monitoring applications: Laboratory investigations and way forward", *Sustainability*, **14(19)**, DOI: 10.3390/su15118932.

[4] H. Taheri, M.G. Bocanegra, M. Taheri (2022), "Artificial intelligence, machine learning and smart technologies for nondestructive evaluation", *Sensors*, **22(11)**, pp.853-881, DOI: 10.3390/s22114055.

[5] P.K. Geetha (2018), "Thickness estimation and crack detection in concrete using impact-echo technique", *Int. Res. J. Eng. Technol.*, **5(2018)**, pp.2345-2348.

[6] M. Mishra, P.B. Lourenço, G.V. Ramana (2022), "Structural health monitoring of civil engineering structures by using the internet of things: A review", *Journal of Building Engineering*, **48**, DOI: 10.1016/j.jobe.2021.103954.

[7] S. Bhatta, J. Dang (2024), "Use of IoT for structural health monitoring of civil engineering structures: A state-of-the-art review", *Bhatta and Dang Urban Lifeline*, **2**, DOI: 10.1007/s44285-024-00031-2.

[8] A.M. Khan, K.A. Alrasheed, A. Waqar, et al. (2024), "Internet of things (IoT) for safety and efficiency in construction building site operations", *Scientific reports*, **14(1)**, DOI: 10.1038/s41598-024-78931-0.

[9] N.Q. Vu, V.H. Nguyen, D.T. Tran (2023), "Combination of gnss, accelerometer sensor, and IoT solution in bridge realtime monitoring", *Journal of Science and Technology in Civil Engineering*, **17 (4V)**, pp.139-151.

[10] S. Gopal, J.M. Rohani, Z.A. Bakar (2005), "Optimization of solder paste printing parameters using design of experiments (DOE)", *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering),* **43(A)**, pp.11-20.

[11] M.T. Le, T.C.D. Doan (2025), "MCDM Solutions for complex SMT process optimization: A comprehensive approach", *Journal of Technical Education Science*, **20(04SI)**, pp.172-182.

[12] D.M. Pozar (2011), "Transmission line theory", *Microwave Engineering (4th Ed.)*, Wiley, 603pp.

[13] F.W. Grover (2013), *Inductance Calculations*, Dover Publications, USA, 304pp.

[14] Eric Bogatin (2018), *Signal and Power Integrity - Simplified,* Prentice Hall, 958pp.

[15] U. Noreen, A. Bounceur, L. Clavier (2017), "A study of LoRa low power and wide area network technology", *2017 International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP),* IEEE, pp.1-6.

[16] H. Bilge, Ö.K. Morgül (2023), "Analytical and experimental investigation of the rotary inertia effects of unequal end masses on transverse vibration of beams", *Applied Sciences*, **13(4)**, DOI: 10.3390/app13042518.

[17] C.E. Ebeling (2019), "Constant failure rate model", *An Introduction to Reliability and Maintainability Engineering (3rd Ed.)*, Waveland Press, 658pp.

[18] M. Venglár, K. Lamperová, M. Sokol (2022), "Performance assessment of steel truss railway bridge with curved track", *Acta Polytechnica*, **62(5)**, pp.558-566.

[19] M. Sakr, A. Sadhu (2023), "Visualization of structural health monitoring information using Internet-of-Things integrated with building information modeling", *Journal of Infrastructure Intelligence and Resilience*, **2(3)**, DOI:10.1016/j.iintel.2023.100053.

[20] T.J. Saravanan, M. Mishra, A.D. Aherwar, et al. (2024), "Internet of things (IoT)-based structural health monitoring of laboratory-scale civil engineering structures", *Innovative Infrastructure Solutions*, **9(4)**, DOI: 10.1007/s41062-024-01413-9.

[21] K.A. Latha, K. Narasimhulu (2025), "MEMs-enabled vibration monitoring and diagnostic evaluation for long-term health assessment of Swarnamukhi and Bhakta kannappa sethu bridges in srikalahasti", *Archives for Technical Sciences/ Arhiv za Tehnicke Nauke*, **33**, pp.135-153, DOI: 10.70102/afts.2025.1833.135.

 DOI: 10.31276/VJST.2026.3862

Nhân tố gây thay đổi dự án xây dựng: Bằng chứng thực nghiệm từ Việt Nam

Hà Duy Khánh*

Khoa Xây dựng, Trường Đại học *Công nghệ Kỹ thuật TP. Hồ Chí Minh, 1 Võ Văn Ngân, phường Thủ Đức, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

Ngày nhận bài 10/3/2025; ngày chuyển phản biện 12/3/2025; ngày nhận phản biện 28/3/2025; ngày chấp nhận đăng 4/4/2025

Tóm tắt:

Dự án đầu tư xây dựng ở Việt Nam thường xuyên gặp phải vấn đề thay đổi trong quá trình triển khai thi công. Nguyên nhân của sự thay đổi thường khó xác định. Nghiên cứu này tập trung xác định và phân tích các nhân tố chính gây ra sự thay đổi dự án dẫn đến giảm hiệu quả đầu tư. Dựa vào phân tích tổng quan và ý kiến chuyên gia, nghiên cứu này đã xác định được 38 nhân tố chính gây ra thay đổi dự án trong điều kiện Việt Nam. Các nhân tố trên được xếp hạng theo thứ tự tần suất xảy ra (FI), mức độ ảnh hưởng (SI) và tầm quan trọng (IMP.I). Kết quả cho thấy, nhân tố bên ngoài được xếp hạng cao nhất là "Các quy phạm, tiêu chuẩn không đồng bộ, thiếu sót" và nhân tố bên trong được xếp hạng cao nhất là "Bản vẽ không tốt, lỗi và không đầy đủ". Nhìn chung, các nhân tố chính thay đổi bên trong và nhân tố chính thay đổi bên ngoài đều có khả năng xảy ra và ảnh hưởng đến dự án xây dựng. Nghiên cứu đóng góp vào việc bổ sung cơ sở lý luận giúp các nhà quản lý nhận diện những sự thay đổi trong quá trình thực hiện các dự án xây dựng.

Từ khóa: **chỉ số quan trọng, dự án xây dựng, nhân tố chính, quản lý thay đổi, thay đổi dự án, Việt Nam.**

Chỉ số phân loại: **2.1, 2.11**

Critical factors driving changes in construction projects: Evidence from Vietnam

Duy Khanh Ha*

Faculty of Civil Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology and Education, 1 Vo Van Ngan Street, Thu Duc Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 10 March 2025; revised 28 March 2025; accepted 4 April 2025

Abstract:

Construction projects in Vietnam tend to encounter challenges related to changes during the construction phase. It is particularly challenging to identify the root cause of these changes. This study focuses on pinpointing and analysing critical factors leading to project changes, thereby reducing investment efficiency. Drawing from extensive literature and expert insights, the study has identified 38 primary factors causing project changes within the Vietnamese context. These factors were ranked according to their frequency (FI), severity (SI), and importance (IMP.I) indices. The results indicate that "Inconsistent rules and standards" emerged as the top-ranked external factor, while "Poor, erroneous or incomplete drawings" stood out as the highest-ranked internal factor. In general, these key internal and external factors are likely to occur and exert influence on construction projects. The study primarily contributes to enriching the theoretical foundation enabling managers to navigate changes during construction project implementation.

Keywords: **change management, construction projects, critical factors, importance index, project changes, Vietnam.**

Classification numbers: **2.1, 2.11**

Email: khanhhd@hcmute.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Thay đổi trong quá trình thực hiện đầu tư dự án xây dựng luôn là một vấn đề xảy ra thường xuyên và có ảnh hưởng tiêu cực đến hiệu quả dự án. Việc đưa ra quyết định thay đổi thường rất khó khăn do quyết định này sẽ ảnh hưởng đến các mục tiêu đã đặt ra trước đó. Nó gây ảnh hưởng đến chất lượng của dự án xây dựng. Những sai hỏng về chất lượng của loại sản phẩm này có thể gây ra những hậu quả xấu đối với an toàn chung của xã hội. Việc phát hiện sai hỏng về chất lượng công trình xây dựng rất khó khăn, chỉ phát hiện sau thời gian đã sử dụng, do vậy khắc phục hậu quả của công trình xây dựng rất tốn kém, là vấn đề được quan tâm trong quản lý chất lượng công trình.

Một dự án xây dựng gọi là thành công khi hoàn thành đúng tiến độ, nằm trong ngân sách được duyệt, phù hợp với các chỉ tiêu kỹ thuật đề ra và làm thỏa mãn các cá nhân/tổ chức liên quan. Công tác quản lý dự án khá phức tạp là do nhiều bên tham gia, chịu trách nhiệm thực hiện các công việc trong từng giai đoạn của dự án. Do vậy, cần có một mô hình, quy trình thống nhất để hỗ trợ ra quyết định thay đổi trong giai đoạn thực hiện dự án đầu tư xây dựng. Ngoài ra, sự thành công hay thất bại của dự án phụ thuộc rất nhiều vào năng lực của các thành phần tham gia thực hiện dự án, đặc biệt là năng lực quản lý của Ban Quản lý dự án (BQLDA).

Bắt nguồn từ thực trạng các dự án xây dựng ở Việt Nam nói chung thường hay xảy ra sự thay đổi trong dự án xây dựng dẫn đến chậm tiến độ thi công, làm tăng chi phí xây dựng, giảm chất lượng công trình, và làm chậm tiến độ giải ngân. Một trong những hậu quả lớn của thay đổi dự án xây dựng là làm lại hoặc sửa đổi công việc. Chi phí làm lại trong các dự án xây dựng có thể lên tới 10-15% giá trị hợp đồng [1]. Ngoài việc làm lại, các tác động tiêu cực khác của sự thay đổi bao gồm làm thêm, mất thời gian, sửa đổi thiết kế và tăng chi phí, từ đó làm ảnh hưởng chung đến hiệu quả tổng thể dự án.

Trong một số trường hợp, thay đổi dự án có thể gián tiếp dẫn đến các thiệt hại tác động đến chi phí dự án và/hoặc tiến độ. Các tác động gián tiếp bao gồm tranh chấp và khiếu nại, mất năng suất, không cân bằng và phân bổ nguồn lực, thay đổi dòng tiền, tăng rủi ro thất bại và giảm sự phối hợp, giảm tinh thần làm việc, mất tinh thần... Từ đó gây khó khăn cho người làm công tác quản lý khi ra quyết định thay đổi một khía cạnh nào đó của dự án. Các quyết định cần phải được xem xét trên nhiều tiêu chí nhằm nâng cao tính chính xác và tính toàn diện.

Nhằm mục đích giảm thiểu tối đa ảnh hưởng tiêu cực của việc thay đổi dự án đến hiệu quả của dự án xây dựng, nghiên cứu tìm hiểu các nguyên nhân chính gây ra thay đổi sẽ có ý nghĩa cấp thiết và thực tiễn. Trong nghiên cứu này, sự thay đổi của dự án xây dựng được hiểu theo nghĩa rộng là thay đổi ở tất cả phạm vi và nội dung của dự án, chứ không phải chỉ có thay đổi thiết kế.

2. Tổng quan nghiên cứu

Các nghiên cứu trước đây đã xem xét vấn đề thay đổi trong các dự án xây dựng từ nhiều góc độ khác nhau, bao gồm việc xác định nguyên nhân gây thay đổi, phân tích tác động của thay đổi đối với hiệu quả dự án và phát triển các phương pháp quản lý thay đổi. Nhiều nghiên cứu tập trung vào việc xác định và phân loại_các nguyên nhân gây thay đổi trong dự án xây dựng. Các nghiên cứu quốc tế cho thấy nguyên nhân thay đổi thường xuất phát từ nhiều nhóm nhân tố khác nhau, bao gồm các nhân tố liên quan đến chủ đầu tư (CĐT), thiết kế, nhà thầu, điều kiện môi trường và các nhân tố bên ngoài của dự án. Chẳng hạn, P.E.D. Love và cs (2002) [2] phân loại các nguyên nhân thay đổi thành hai nhóm chính là nguyên nhân trực tiếp và gián tiếp, trong đó các nhân tố liên quan đến tổ chức, tài chính, con người và môi trường dự án được xem là những nguồn gốc quan trọng dẫn đến thay đổi. Tương tự, S. Ming và cs (2009) [3] đề xuất một khung phân loại toàn diện hơn với nhiều nhóm nhân tố như môi trường, kinh tế, chính trị, công nghệ, các bên liên quan, thiết kế và nhà thầu. Trong bối cảnh Việt Nam, các nghiên cứu cũng cho thấy những kết quả tương đồng khi nhấn mạnh vai trò của các bên tham gia dự án trong việc gây ra thay đổi. V.M. Truong (2005) [4] và D.C. Tin (2010) [5] đã xác định nhiều nguyên nhân phát sinh trong dự án xây dựng và phân loại theo các nhóm liên quan đến CĐT, tư vấn, nhà thầu và các nhân tố khách quan. J.C. Smith và cs (2021) [6] đã phân loại các nhân tố tác động này thành nhân tố nội bộ, chẳng hạn như lỗi thiết kế hoặc các sửa đổi do khách hàng khởi xướng, và các biến số bên ngoài, bao gồm biến động thị trường và thay đổi quy định. Hơn nữa, A.A. Maamari và cs (2021) [7] bổ sung các nhân tố liên quan đến các điều kiện tại công trường không lường trước được và những tiến bộ công nghệ. Những kết quả này cho thấy rằng, sự thay đổi trong dự án xây dựng thường bắt nguồn từ sự tương tác phức tạp giữa các nhân tố kỹ thuật, tổ chức và môi trường dự án, trong đó các quyết định của CĐT và năng lực của các bên tham gia đóng vai trò quan trọng.

Bên cạnh đó, một số nghiên cứu tập trung vào phân tích tác động của thay đổi đối với hiệu quả dự án, đặc biệt là chi phí, tiến độ và năng suất. Các nghiên cứu quốc tế cho thấy

rằng thay đổi trong dự án xây dựng thường dẫn đến nhiều hệ quả tiêu cực nếu không được quản lý hiệu quả. Q. Hao và cs (2008) [8] cho rằng, thay đổi có thể xảy ra ở bất kỳ giai đoạn nào của dự án và thường dẫn đến chậm tiến độ, tăng chi phí và phát sinh tranh chấp hợp đồng. Tương tự, A.S. Alnuaimi (2010) [9] chỉ ra rằng, các điều chỉnh thiết kế hoặc yêu cầu bổ sung từ phía CĐT là nguyên nhân quan trọng dẫn đến chậm tiến độ và vượt chi phí trong các dự án xây dựng. Ngoài ra, nghiên cứu của W. Ibbs (2012) [10] cho thấy, khi tỷ lệ thay đổi trong dự án tăng lên thì năng suất và khả năng dự đoán hiệu quả dự án sẽ giảm đáng kể. Gần đây, O.F. Okoh và cs (2024) [11] cho rằng, những tác động của việc thay đổi dự án bao gồm gánh nặng hành chính như tăng khối lượng công việc cho các chuyên gia tại công trường, sự thiếu giao tiếp giữa các bên liên quan đến dự án và sự trầm trọng thêm các tranh chấp hợp đồng do việc sửa đổi thiết kế không được ghi chép đầy đủ. Trong bối cảnh Việt Nam, các nghiên cứu cũng ghi nhận xu hướng tương tự khi cho rằng các thay đổi thiết kế trong giai đoạn thi công có thể ảnh hưởng đáng kể đến tiến độ và hiệu quả thực hiện dự án. Chẳng hạn, N.D. Quach (2017) [12] cho thấy, các thay đổi thiết kế trong các dự án xây dựng dân dụng có thể xuất phát từ nhiều nhóm nhân tố như CĐT, năng lực của nhà thầu và tư vấn, điều kiện kinh tế - xã hội và chính sách pháp luật, qua đó ảnh hưởng trực tiếp đến tiến độ thi công. Việc ưu tiên lập hồ sơ chi tiết về giá trị biến thiên và phạm vi công việc là điều cần thiết để giảm thiểu tác động tiêu cực của các yêu cầu thay đổi trong các dự án thiết kế - xây dựng [13].

Ngoài ra, nhiều nghiên cứu tập trung vào phát triển các mô hình và công cụ hỗ trợ quản lý thay đổi trong dự án xây dựng. Các nghiên cứu quốc tế đã đề xuất nhiều phương pháp nhằm hỗ trợ việc dự đoán và kiểm soát thay đổi trong dự án. I.A. Motawa và cs (2007) [14] đề xuất một hệ thống quản lý thay đổi tích hợp nhằm mô hình hóa vòng đời của thay đổi và hỗ trợ các chuyên gia trong ngành AEC quản lý các thay đổi một cách hiệu quả hơn. Trong khi đó, Z.Y. Zhao (2010) [15] phát triển một hệ thống dự đoán thay đổi dựa trên ma trận cấu trúc phụ thuộc (DSM) kết hợp với mô phỏng Monte Carlo nhằm dự đoán khả năng xảy ra thay đổi trong các hoạt động của dự án. Ngoài ra, các nghiên cứu khác cũng nhấn mạnh vai trò của quy trình quản lý thay đổi và sự phối hợp giữa các bên tham gia dự án trong việc nâng cao hiệu quả quản lý thay đổi [16, 17]. Để mô phỏng các mối quan hệ phức tạp giữa các đặc điểm của dự án và khả năng xảy ra các sự kiện thay đổi, F. Abad và cs (2022) [18] đã đề xuất các mô hình logic mờ và hệ thống hỗ trợ quyết định dựa trên tri thức đã được đề xuất. Ở Việt Nam, các nghiên cứu cũng bắt đầu áp dụng các phương pháp phân tích định lượng nhằm đánh giá mức độ ảnh hưởng của các nguyên nhân gây thay đổi. Ví dụ, P.V.D. Thanh (2012) [19] đã kết hợp phương pháp AHP và logic mờ để xây dựng mô hình đánh giá các nguyên nhân gây thay đổi thiết kế, qua đó cho thấy các nhân tố liên quan đến CĐT, nhà thầu và năng lực tư vấn có mức độ ảnh hưởng lớn nhất.

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển nhanh của ngành xây dựng tại Việt Nam, các nghiên cứu mới cũng bắt đầu chú trọng đến việc ứng dụng các công nghệ và công cụ quản lý hiện đại nhằm giảm thiểu rủi ro và thay đổi trong dự án xây dựng. Các nghiên cứu về ứng dụng mô hình thông tin công trình (BIM) cho thấy việc tích hợp dữ liệu thiết kế, thi công và quản lý dự án có thể hỗ trợ phát hiện sớm các xung đột thiết kế, cải thiện sự phối hợp giữa các bên tham gia và hạn chế các thay đổi phát sinh trong quá trình thực hiện dự án [20]. Bên cạnh đó, xu hướng chuyển đổi số trong ngành xây dựng cũng đang được thúc đẩy nhằm nâng cao hiệu quả quản lý dự án và khả năng kiểm soát thông tin trong suốt vòng đời công trình. Ở góc độ chính sách, chiến lược phát triển ngành xây dựng Việt Nam đến năm 2030 cũng nhấn mạnh việc tăng cường ứng dụng công nghệ và đổi mới phương thức quản lý nhằm nâng cao hiệu quả đầu tư xây dựng [21].

Nhìn chung, các nghiên cứu trong và ngoài nước đã cung cấp nhiều đóng góp quan trọng trong việc xác định các nguyên nhân gây thay đổi, phân tích tác động của thay đổi đối với hiệu quả dự án và đề xuất các phương pháp quản lý thay đổi trong xây dựng. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu vẫn chủ yếu tập trung vào việc xác định các nhân tố riêng lẻ hoặc đánh giá tác động của chúng, trong khi việc phân tích tổng hợp các nhóm nguyên nhân và đánh giá mức độ ảnh hưởng của chúng trong các bối cảnh dự án cụ thể, đặc biệt trong điều kiện thực tiễn của các dự án xây dựng tại Việt Nam, vẫn còn hạn chế. Do đó, việc tiếp tục nghiên cứu và xác định các nhân tố chính gây ra sự thay đổi trong các dự án xây dựng là cần thiết nhằm cung cấp cơ sở khoa học cho việc nâng cao hiệu quả quản lý dự án trong thực tiễn.

3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này xác định các nhân tố gây ra thay đổi dự án dựa vào phân tích tổng quan kết hợp với thảo luận với 5 chuyên gia liên quan đến lĩnh vực nghiên cứu. Tiêu chí lựa chọn chuyên gia bao gồm: kinh nghiệm lớn hơn 20 năm, có trình độ học vấn từ đại học trở lên và có chức vụ quản lý từ trưởng phòng (hoặc tương đương) trở lên trong lĩnh vực xây dựng. Quá trình thảo luận nhóm được lập thành biên bản và có sự ký xác nhận của tất cả các

chuyên gia. Kết quả thảo luận nhóm cho thấy có những nhân tố có những sự đồng tình của tất cả các chuyên gia nhưng cũng có những nhân tố chỉ có sự đồng tình của một hoặc một vài chuyên gia. Tiêu chí lựa chọn nhân tố theo nguyên tắc quá bán, tức có 3/5 chuyên gia đồng ý.

Kết quả sàng lọc ý kiến chuyên gia cho thấy, có 38 nhân tố có khả năng gây ra thay đổi khi thi công các dự án xây dựng ở Việt Nam. Các nhân tố này chia ra hai nhóm theo nguồn gốc xuất hiện trong quá trình triển khai thi công dự án đầu tư xây dựng, đó là: (I) Các nhân tố bên ngoài gồm 12 nhân tố liên quan đến môi trường, chính sách pháp luật, tình hình kinh tế - xã hội, và kỹ thuật - công nghệ (bảng 1), và (II) Các nhân tố bên trong gồm 26 nhân tố liên quan đến CĐT/BQLDA, tư vấn thiết kế, nhà thầu thi công và đặc điểm dự án (bảng 2).

Các nhân tố trong bảng 1 và 2 được sử dụng để thành lập các câu hỏi tương ứng trong phiếu khảo sát bao gồm ba nội dung: (1) khảo sát mức độ xảy ra của các nhân tố, (2) khảo sát mức độ ảnh hưởng của các nhân tố, và (3) khảo sát đặc điểm của người trả lời. Thang đo được sử dụng là thang đo Likert 5 điểm. Mức độ xảy ra được mã hóa như sau: (0)="Không xảy ra", (1)="Ít xảy ra", (2)="Xảy ra", (3)="Thường xảy ra", và (4)="Rất thường xảy ra". Mức độ ảnh hưởng được mã hóa như sau: (0)="Không ảnh hưởng", (1)="Ít ảnh hưởng", (2)="Ảnh hưởng", (3)="Ảnh hưởng nhiều", và (4)="Rất ảnh hưởng". Ở phần đầu của bảng đánh giá có hướng dẫn cách lựa chọn. Ở cuối phần bảng đánh giá có để trống vài dòng cho người trả lời có thể bổ sung thêm nhân tố nào khác.

Bảng 1. Các nhân tố bên ngoài làm thay đổi trong dự án xây dựng.

STT	Mã hóa	Nhân tố	Hậu quả	Đề xuất cách khắc phục
A. Các nhân tố môi trường				
1	EA1	Điều kiện thời tiết (gió, nhiệt độ, mưa) [5, 8, 9, 22]	- Làm thay đổi kế hoạch, biện pháp thi công trước đó - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Thay đổi biện pháp thi công
2	EA2	Thảm họa thiên nhiên [5, 9]	- Làm ảnh hưởng hay hư hỏng những phần đã thi công - Tăng chi phí cho dự án - Kéo dài thời gian thực hiện dự án - Giảm chất lượng công trình	- Thay đổi thiết kế cho phù hợp - Làm lại các hạng mục đã thi công
3	EA3	Điều kiện địa chất phức tạp [3, 5, 8, 19]	- Tăng chi phí cho dự án xây dựng - Trường hợp xấu gây phá hoại các công trình - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Tổ chức khảo sát lại địa chất - Thay đổi thiết kế - Làm lại các hạng mục bị phá hoại
B. Các nhân tố về chính sách pháp luật				
4	EB1	Những thay đổi trong chính sách của chính phủ [4, 5, 8, 19, 22]	- Tăng chi phí cho dự án xây dựng - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Cập nhật các thông tư, nghị định của chính phủ - Thay đổi thiết kế cho phù hợp
5	EB2	Các quy phạm, tiêu chuẩn không đồng bộ, thiếu sót [4, 5, 19, 22]	- Tăng chi phí thực hiện dự án - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Cập nhật các TCVN - Thay đổi thiết kế - Thay đổi vật liệu
6	EB3	Chậm trễ trong việc ra quyết định phê duyệt của các cơ quan chức năng [3, 5, 19]	- Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Theo dõi, nhắc nhở, bổ sung các hồ sơ thiếu sót (nếu có)
C. Các nhân tố về kinh tế - xã hội				
7	EC1	Tốc độ phát triển kinh tế và tác động của nó đến các nhu cầu [5, 19]	- Tăng chi phí thực hiện dự án	- Thay đổi quy mô, công năng của dự án - Thay đổi thiết kế
8	EC2	Sự phản đối của người dân (do công tác bồi thường không thỏa đáng) [5, 19]	- Tăng chi phí thực hiện dự án - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Trích một phần chi phí để khắc phục - Bổ sung ngân sách hoặc kêu gọi đầu tư để đảm bảo đủ ngân sách thực hiện dự án
9	EC3	Sự tác động của việc lạm phát và trượt giá [3, 4, 5, 9, 19, 22]	- Tăng chi phí thực hiện dự án	- Thay đổi vật liệu, thiết bị cho phù hợp để không ảnh hưởng đến ngân sách thực hiện dự án
D. Các nhân tố về kỹ thuật - công nghệ				
10	ED1	Chủng loại vật tư, vật liệu mới [4, 5, 19, 22]	- Tăng chi phí thực hiện dự án	- Thay đổi chủng loại vật tư - Thay đổi thiết kế
11	ED2	Phương pháp thi công mới [3, 5, 19]	- Kéo dài thời gian thi công	- Thay đổi biện pháp thi công
12	ED3	Công nghệ thi công phức tạp [3, 5, 8, 19]	- Tăng chi phí thực hiện dự án - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Thay đổi biện pháp thi công

Bảng 2. Các nhân tố bên trong làm thay đổi trong dự án xây dựng.

STT	Mã hóa	Nhân tố	Hậu quả	Đề xuất cách khắc phục
A. Các nhân tố liên quan đến CĐT/BQLDA				
1	IA1	CĐT thông tin và yêu cầu trong nhiệm vụ thiết kế không đầy đủ, không rõ ràng [3, 5, 9, 19]	- Thiết kế thiếu, lỗi - Dẫn đến thi công sai nếu không phát hiện - Chất lượng công trình giảm	- Thay đổi thiết kế
2	IA2	CĐT yêu cầu thay đổi, phát sinh [3, 5, 8, 9, 19]	- Kéo dài thời gian thực hiện dự án - Tăng chi phí thực hiện dự án	- Thay đổi thiết kế cho phù hợp - Bổ sung ngân sách hoặc kêu gọi đầu tư để đảm bảo đủ chi phí cho dự án
3	IA3	CĐT thay đổi kế hoạch tài chính cho dự án [3, 5, 19]	- Chủ đầu tư tăng hoặc giảm kế hoạch tài chính cho dự án đều gây kéo dài thời gian thực hiện dự án - Tranh chấp giữa CĐT và nhà thầu thi công xảy ra nếu cắt giảm tài chính	- Thay đổi thiết kế cho phù hợp
4	IA4	CĐT cung cấp quy hoạch tổng thể của dự án thiếu hoặc không phù hợp [5, 19]	- Thiết kế sai lệch, không phù hợp với mạng lưới quy hoạch chung	- Điều chỉnh quy hoạch - Thay đổi thiết kế
5	IA5	CĐT thiếu kỹ sư giám sát đủ năng lực [5, 9, 19]	- Giảm chất lượng công trình	- Thay đổi nhân sự trong bộ máy quản lý
6	IA6	Công tác thẩm tra, thẩm định thiết kế - dự toán còn mang nặng tính hình thức, các sai sót trong hồ sơ thiết kế - dự toán không được phát hiện [4]	- Tăng chi phí thực hiện dự án - Thiếu hoặc thừa khối lượng - Kéo dài thời gian thực hiện dự án - Giảm chất lượng công trình	- Thẩm định, thẩm tra lại
B. Các nhân tố liên quan đến tư vấn thiết kế				
7	IB1	Bản vẽ không tốt, lỗi và không đầy đủ [3-5, 8, 9, 19]	- Dẫn đến thi công không đúng, thi công không đầy đủ số liệu để thực hiện dự án - Chất lượng công trình giảm - Nghiêm trọng có thể làm lại các hạng mục bị thiết kế lỗi - Kéo dài thời gian thực hiện dự án - Tăng chi phí thực hiện dự án	- Thiết kế lại - Thay đổi nhà thầu tư vấn thiết kế
8	IB2	Thiết kế không đồng bộ với điều kiện công trường [5, 8, 19]	- Gây khó khăn trong giai đoạn thi công - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Thiết kế lại - Thay đổi nhà thầu tư vấn thiết kế
9	IB3	Chậm trễ trong các thông tin thiết kế [5, 19]	- Dẫn đến sự không đồng bộ với các thiết kế đã thực hiện trước - Thi công không đúng, không đồng bộ - Tăng chi phí - Kéo dài thời gian thực hiện dự án - Chất lượng công trình giảm	- Thiết kế lại - Thay đổi nhà thầu tư vấn thiết kế
10	IB4	Khảo sát vật tư, thiết bị không đúng trong giai đoạn thiết kế, nhà thầu thiết kế đã đưa ra các loại vật tư, thiết bị không có hoặc không còn trên thị trường [5, 19]	- Sai lệch về đơn giá trong dự toán	- Thiết kế lại - Sử dụng các vật tư, thiết bị khác để thay thế
11	IB5	Công tác khảo sát không đầy đủ trước khi thiết kế [3, 5, 19]	- Gây ra những nhầm lẫn, bản thiết kế không phản ánh đúng thực tế - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Khảo sát lại, thiết kế lại
12	IB6	Trích dẫn các tiêu chuẩn kỹ thuật không phù hợp, không đầy đủ [5, 19]	- Có thể xảy ra tranh chấp và nhầm lẫn trong giai đoạn thi công - Giảm chất lượng công trình	- Thay đổi thiết kế, - Thay đổi nhà thầu thiết kế
13	IB7	Không hiểu rõ tiêu chuẩn kỹ thuật được dùng [5, 19]	- Gây nhầm lẫn, không đồng bộ giữa thiết kế và thực tế thi công - Giảm chất lượng công trình	- Thay đổi thiết kế - Thay đổi nhà thầu thiết kế
14	IB8	Thiếu kinh nghiệm trong thiết kế [3, 5, 9, 19]	- Dẫn đến thi công không đúng, thi công không đầy đủ số liệu để thực hiện dự án - Chất lượng công trình giảm - Nghiêm trọng có thể làm lại các hạng mục bị thiết kế lỗi - Kéo dài thời gian thực hiện dự án - Tăng chi phí thực hiện dự án	- Thay đổi nhà thầu thiết kế
15	IB9	Dự toán thiết kế có nhiều sai sót, kém chính xác [4]	- Có thể xảy ra tranh chấp và nhầm lẫn trong giai đoạn thi công - Áp giá sai thời điểm - Tăng chi phí xây dựng	- Thay đổi khối lượng dự toán - Thay đổi thời điểm áp giá
C. Các nhân tố liên quan đến nhà thầu thi công				
16	IC1	Kế hoạch và tiến độ dự án không phù hợp [5, 9, 19]	- Trễ tiến độ - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Thay đổi quy mô, thiết kế cho phù hợp
17	IC2	Chủ quan trong việc bỏ thầu [4, 5, 9, 19]	- Có thể xảy ra tranh chấp và nhầm lẫn trong giai đoạn thi công. - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Thay đổi thiết kế - Thay đổi nhà thầu thi công
18	IC3	Năng lực quản lý dự án/công trường chưa đáp ứng yêu cầu [5, 9, 19]	- Thi công không đúng với thiết kế - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Thay đổi nhà thầu thi công
19	IC4	Nhà thầu thiếu kinh nghiệm [3, 5, 19]	- Thi công không đúng với thiết kế - Giảm chất lượng công trình - Nghiêm trọng có thể làm lại các hạng mục bị lỗi - Phát sinh chi phí thực hiện dự án	- Thay đổi nhà thầu thi công - Làm lại các hạng mục bị hư hỏng
20	IC5	Thiếu phương pháp thi công phù hợp nhiều phương án thiết kế với phương pháp thi công hiện tại không thể làm được [5, 19]	- Có thể xảy ra tranh chấp và nhầm lẫn trong giai đoạn thi công - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Thay đổi thiết kế
21	IC6	Sử dụng công nhân có tay nghề chưa đáp ứng yêu cầu [5, 19, 22]	- Thi công không đúng so với thiết kế - Phát sinh chi phí xây dựng - Kéo dài thời gian thực hiện dự án - Có thể sẽ phá bỏ một số cấu kiện để làm lại	- Thay đổi nhà thầu thi công - Thi công lại các cấu kiện bị hư hỏng
22	IC7	Thời gian thi công kéo dài làm biến đổi điều kiện tự nhiên của đất [5, 19]	- Điều này có thể dẫn đến việc phải gia cố hoặc điều chỉnh kết cấu móng	- Thay đổi biện pháp thi công - Thay đổi thiết kế
23	IC8	Thi công không đúng với thiết kế [8]	- Chất lượng công trình giảm - Có thể sẽ phá bỏ một số cấu kiện để làm lại - Tăng chi phí xây dựng - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Thay đổi nhà thầu thi công
D. Các nhân tố liên quan đến đặc điểm của dự án				
24	ID1	Sự phức tạp của dự án xây dựng [3, 5, 19]	- Tăng chi phí xây dựng - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Thay đổi thiết kế - Thay đổi biện pháp thi công
25	ID2	Thiếu sự tham gia của nhà thầu thi công trong việc lập kế hoạch và lên tiến độ dự án [5, 9, 19]	- Không đồng bộ giữa thiết kế và thi công ngoài thực tế	- Thay đổi thiết kế
26	ID3	Tăng trưởng của dự án không được dự đoán ở giai đoạn thiết kế [9]	- Tăng chi phí thực hiện dự án - Kéo dài thời gian thực hiện dự án	- Thay đổi thiết kế - Thay đổi quy mô dự án

Ban đầu, phiếu khảo sát được soạn thảo sơ bộ và sau đó gửi đến 5 chuyên gia ở trên nhằm đánh giá lại nội dung cũng như thể thức. Kết quả khảo sát thử này cho thấy, các chuyên gia đồng tình với nội dung 38 nhân tố, nội dung thang đo và các nội dung khác, và họ chỉ có một số ý kiến nhỏ liên quan đến thể thức như hạn chế dàn trang quá dài, lập bảng biểu để tăng tính trực quan, giới thiệu mục đích khảo sát rõ ràng hơn… Sau khi chỉnh sửa lại thể thức bảng câu hỏi, các chuyên gia đều phản hồi không cần chỉnh sửa thêm và từ đó có thể thực hiện khảo sát đại trà với các đối tượng liên quan.

Phương pháp lấy mẫu có chủ đích với các đối tượng có kinh nghiệm càng cao càng tốt nhưng tối thiểu có 3 năm kinh nghiệm, vị trí chức danh ưu tiên có sự tham gia của các cá nhân có vai trò quản lý càng tốt, và cơ cấu mẫu đảm bảo sự đại diện cho các bên liên quan chính tham gia dự án gồm CĐT/BQLDA, tư vấn thiết kế và nhà thầu thi công. Theo H. Trong và cs (2008) [23], số lượng mẫu phù hợp cho phân tích nhân tố là từ 4 đến 5 lần số nhân tố. Do đó, trong nghiên cứu này, số lượng mẫu hợp lệ tối thiểu dự kiến thu thập trong khoảng 152 đến 190 mẫu. Theo các nghiên cứu trước đây có sử dụng phương pháp lấy mẫu thuận tiện, tỷ lệ phản hồi thường đạt khoảng 80-90%, do đó số lượng đối tượng khảo sát được xác định là khoảng 190/80%=237 mẫu.

Các công cụ phân tích trong nghiên cứu này bao gồm: Thống kê mô tả dưới dạng tần suất được sử dụng để trình bày các đặc điểm của người trả lời phiếu khảo sát và phân tích kiểm tra độ tin cậy thang đo bởi Cronbach's alpha. Ngoài ra, còn có phân tích chỉ số tần suất xảy ra, chỉ số mức độ ảnh hưởng, và chỉ số quan trọng, theo L. Hoai và cs (2008) [24], như sau:

- Chỉ số tần suất (FI):

$$FI = \frac{\sum_{0}^{4} a_i n_i}{4N} \quad (1)$$

- Chỉ số ảnh hưởng (Severity Index-SI):

$$SI = \frac{\sum_{0}^{4} a_i n_i}{4N} \quad (2)$$

trong đó: *a* là hằng số thể hiện trọng số được gán cho mỗi câu trả lời theo thang đo (đối với *FI*, *a* là mức độ xảy ra, và đối với *SI*, *a* là mức độ ảnh hưởng) *n* là tần số của mỗi đáp án, và *N* là tổng số phản hồi.

Sau đó, nhân hai hệ số *FI* và *SI* với nhau sẽ cho ra chỉ số quan trọng (*IMP.I*) như trình bày ở công thức (3). Chỉ số này phản ánh cả tần suất và mức độ ảnh hưởng, giúp xác định nhân tố quan trọng tổng thể.

$$IMP.I. = FI \times SI \quad (3)$$

4. Kết quả

4.1. Thống kê mô tả và độ tin cậy thang đo

Nghiên cứu này đã gửi đi tổng cộng 235 phiếu khảo sát trong khoảng 1 tháng từ 10/2023 đến 11/2023 đến các nhân sự hoạt động trong lĩnh vực xây dựng, phù hợp với số mẫu dự kiến ban đầu. Kết quả phản hồi như sau: 17 người không trả lời, 212 bảng trả lời đạt yêu cầu, và 6 bảng không đạt yêu cầu chủ yếu do điền thiếu thông tin. Do đó, tỷ lệ thu thập số liệu thành công của nghiên cứu này là 90,2%. Không có nhân tố nào được đề nghị bổ sung.

Các đặc điểm của người khảo sát như sau: về thời gian tham gia công tác: dưới 3 năm, từ 3 đến 6 năm, từ 6 đến 9 năm và trên 9 năm lần lượt chiếm 11, 37, 32 và 20%, về vị trí chức danh: giám đốc hoặc phó giám đốc là 6%, trưởng hoặc phó phòng 15%, và nhân viên là 79%, và về lĩnh vực hoạt động có 21% là CĐT/BQLDA, 32% là tư vấn thiết kế, và 47% là nhà thầu xây dựng.

Phân tích Cronbach's alpha được sử dụng để kiểm tra độ tin cậy thang đo được sử dụng để hỏi trong phiếu khảo sát. Kết quả phân tích kiểm định tổng thể thang đo cho thấy: ở thang đo cho mức độ xảy ra có hệ số là 0,871 và ở thang đo cho mức độ ảnh hưởng có hệ số là 0,902. Theo quy ước thống kê, khi a≥0,8 thì thang đo đảm bảo số liệu đã thu thập đạt mức độ tin cậy cao [25, 26].

4.2. Xếp hạng các nhân tố

Kết quả phân tích các chỉ số *FI*, *SI* và *IMP.I* và xếp hạng (bảng 3 và 4) cho thấy một số nhân tố có mức độ ảnh hưởng nổi bật đến sự thay đổi trong dự án xây dựng.

Theo các chỉ số FI và SI

Bên cạnh việc xác định các nhân tố có chỉ số *IMP.I* cao, kết quả trong bảng 3 và 4 cũng cho thấy sự khác biệt đáng chú ý giữa *FI* và *SI* đối với một số nhân tố. Trước hết, trong nhóm nhân tố bên ngoài, một số nhân tố có FI cao nhưng SI thấp hơn, chẳng hạn EA3 - "Điều kiện địa chất phức tạp" (*FI*=0,625, *SI*=0,601) và ED2 - "Phương pháp thi công

mới" (*FI*=0,621, *SI*=0,575). Điều này cho thấy, các yếu tố này xuất hiện khá thường xuyên trong các dự án xây dựng, tuy nhiên mức độ tác động của chúng đối với sự thay đổi của dự án thường không quá nghiêm trọng. Trong thực tế, các vấn đề liên quan đến điều kiện địa chất hoặc việc áp dụng phương pháp thi công mới thường được xử lý thông qua các điều chỉnh kỹ thuật hoặc biện pháp thi công mà không nhất thiết dẫn đến những thay đổi lớn về quy mô hoặc mục tiêu của dự án.

Ngược lại, một số nhân tố có *SI* cao hơn *FI*, thể hiện rằng chúng không xảy ra thường xuyên nhưng khi xảy ra thì gây ảnh hưởng đáng kể đến dự án. Ví dụ, EB3 - "Chậm trễ trong việc ra quyết định phê duyệt của các cơ quan chức năng" có *FI*=0,478 nhưng *SI*=0,642. Điều này cho thấy mặc dù việc chậm phê duyệt không phải lúc nào cũng xảy ra, nhưng khi xảy ra có thể dẫn đến tác động nghiêm trọng đến tiến độ và quá trình triển khai dự án, thậm chí buộc phải điều chỉnh kế hoạch hoặc thiết kế dự án.

Tương tự, trong nhóm nhân tố bên trong, một số nhân tố như IC2 - "Chủ quan trong việc bỏ thầu" (*FI*=0,612, *SI*=0,608) hoặc IC4 - "Nhà thầu thiếu kinh nghiệm" (*FI*=0,601, *SI*=0,624) cho thấy sự khác biệt nhất định giữa hai chỉ số này. Điều này phản ánh rằng các vấn đề liên quan đến năng lực và kinh nghiệm của nhà thầu có thể xảy ra khá thường xuyên trong thực tế, tuy nhiên mức độ tác động có thể khác nhau tùy theo quy mô và mức độ phức tạp của dự án. Trong khi đó, nhân tố IB1 - "Bản vẽ không tốt, lỗi và không đầy đủ" có cả *FI* và *SI* đều ở mức cao (*FI*=0,685, *SI*=0,645), cho thấy đây là một vấn đề vừa xuất hiện thường xuyên vừa gây tác động đáng kể, do đó được xếp hạng cao nhất trong nhóm nhân tố bên trong.

Theo chỉ số IMP.I

Kết quả trong bảng 3 cho thấy, các nhân tố bên ngoài có giá trị *IMP.I* dao động từ 0,232 đến 0,394. Năm nhân tố có giá trị *IMP.I* cao nhất lần lượt bao gồm: EB2 - "Các quy phạm, tiêu chuẩn không đồng bộ hoặc thiếu sót" (*IMP.I*=0,394), EA3 - "Điều kiện địa chất phức tạp" (*IMP.I*=0,376), EC1 - "Tốc độ phát triển kinh tế và tác động của nó đến các nhu cầu" (*IMP.I*=0,371), ED2 - "Phương pháp thi công mới" (*IMP.I*=0,357) và EB3 - "Chậm trễ trong việc ra quyết định phê duyệt của các cơ quan chức năng" (*IMP.I*=0,307). Kết quả này cho thấy, các yếu tố liên quan đến hệ thống quy định kỹ thuật, điều kiện tự nhiên, bối cảnh kinh tế - xã hội và thủ tục hành chính có vai trò đáng kể trong việc gây ra thay đổi trong các dự án xây dựng.

Trong khi đó, đối với nhóm nhân tố bên trong dự án ở bảng 4, năm nhân tố có mức độ ảnh hưởng cao nhất bao gồm: IB1 - "Bản vẽ không tốt, lỗi và không đầy đủ" (*IMP.I*=0,442), IC6 - "Sử dụng công nhân có tay nghề chưa đáp ứng yêu cầu" (*IMP.I*=0,383), IA2 - "Chủ đầu tư yêu cầu thay đổi hoặc phát sinh" (*IMP.I*=0,379), IC4 - "Nhà thầu thiếu kinh

Bảng 3. Bảng xếp hạng các nhân tố bên ngoài làm thay đổi dự án xây dựng.

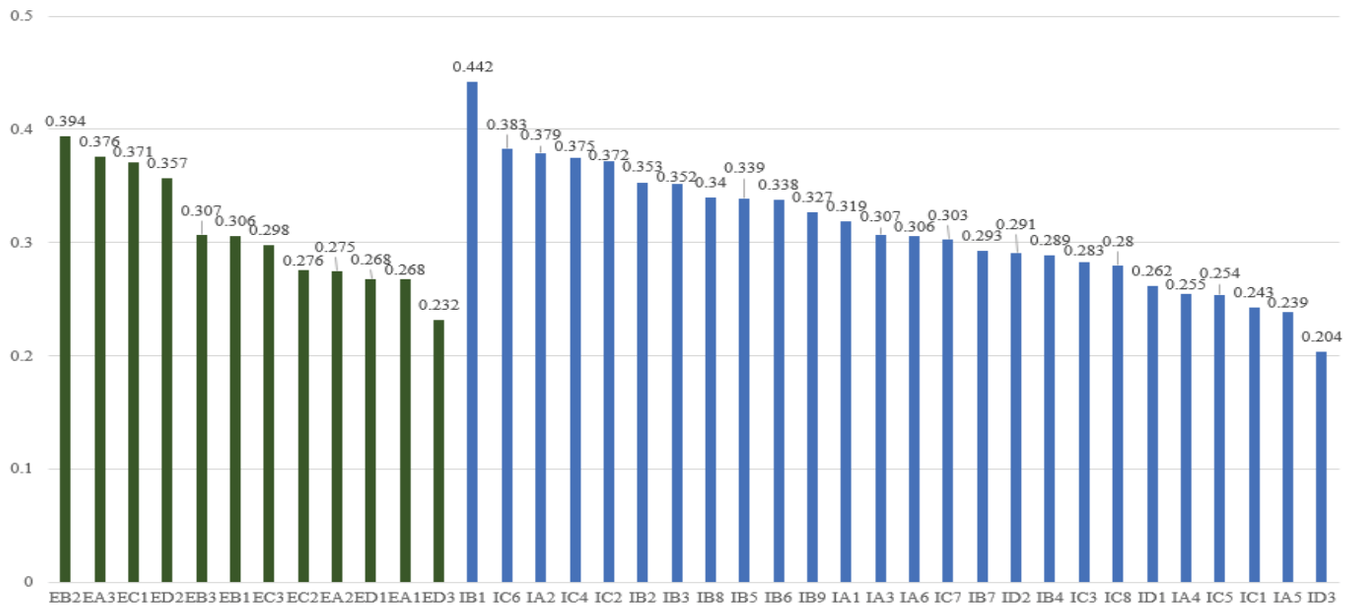
Mã hóa	Nhân tố	FI		SI		IMP.I	
		Giá trị	*Hạng*	*Giá trị*	*Hạng*	*Giá trị*	*Hạng*
EB2	Các quy phạm, tiêu chuẩn không đồng bộ, thiếu sót	0,587	4	0,672	1	0,394	1
EA3	Điều kiện địa chất phức tạp	0,625	1	0,601	4	0,376	2
EC1	Tốc độ phát triển kinh tế và tác động của nó đến các nhu cầu	0,605	3	0,613	3	0,371	3
ED2	Phương pháp thi công mới	0,621	2	0,575	8	0,357	4
EB3	Chậm trễ trong việc ra quyết định phê duyệt của các cơ quan chức năng	0,478	10	0,642	2	0,307	5
EB1	Những thay đổi trong chính sách của chính phủ	0,509	6	0,601	4	0,306	6
EC3	Sự tác động của việc lạm phát và trượt giá	0,507	7	0,588	7	0,298	7
EC2	Sự phản đối của người dân (do công tác bồi thường không thỏa đáng)	0,467	11	0,591	6	0,276	8
EA2	Thảm họa thiên nhiên	0,488	9	0,564	10	0,275	9
ED1	Chủng loại vật tư, vật liệu mới	0,511	5	0,524	12	0,268	10
EA1	Điều kiện thời tiết (gió, nhiệt độ, mưa)	0,503	8	0,532	11	0,268	11
ED3	Công nghệ thi công phức tạp	0,408	12	0,569	9	0,232	12

Bảng 4. Bảng xếp hạng các nhân tố bên trong làm thay đổi dự án xây dựng.

Mã hóa	Nhân tố	FI		SI		IMP.I	
		Giá trị	*Hạng*	*Giá trị*	*Hạng*	*Giá trị*	*Hạng*
IB1	Bản vẽ không tốt, lỗi và không đầy đủ	0,685	1	0,645	1	0,442	1
IC6	Sử dụng công nhân có tay nghề chưa đáp ứng yêu cầu	0,604	4	0,634	2	0,383	2
IA2	CĐT yêu cầu thay đổi, phát sinh	0,607	3	0,625	3	0,379	3
IC4	Nhà thầu thiếu kinh nghiệm	0,601	5	0,624	4	0,375	4
IC2	Chủ quan trong việc bỏ thầu	0,612	2	0,608	5	0,372	5
IB2	Thiết kế không đồng bộ với điều kiện công trường	0,601	5	0,588	8	0,353	6
IB3	Chậm trễ trong các thông tin thiết kế	0,600	7	0,586	9	0,352	7
IB8	Thiếu kinh nghiệm trong thiết kế	0,593	9	0,574	13	0,340	8
IB5	Công tác khảo sát không đầy đủ trước khi thiết kế	0,571	16	0,593	7	0,339	9
IB6	Trích dẫn các tiêu chuẩn kỹ thuật không phù hợp, không đầy đủ	0,582	11	0,581	10	0,338	10
IB9	Dự toán thiết kế có nhiều sai sót, kém chính xác	0,580	12	0,563	14	0,327	11
IA1	CĐT thông tin và yêu cầu trong nhiệm vụ thiết kế không đầy đủ, không rõ ràng	0,576	14	0,553	15	0,319	12
IA3	CĐT thay đổi kế hoạch tài chính cho dự án	0,568	17	0,541	17	0,307	13
IA6	Công tác thẩm tra, thẩm định thiết kế - dự toán còn mang nặng tính hình thức, các sai sót trong hồ sơ thiết kế - dự toán không được phát hiện	0,526	20	0,581	10	0,306	14
IC7	Thời gian thi công kéo dài làm biến đổi điều kiện tự nhiên của đất	0,577	13	0,525	18	0,303	15
IB7	Không hiểu rõ tiêu chuẩn kỹ thuật được dùng	0,591	10	0,496	23	0,293	16
ID2	Thiếu sự tham gia của nhà thầu thi công trong việc lập kế hoạch và lên tiến độ dự án	0,572	15	0,508	19	0,291	17
IB4	Khảo sát vật tư, thiết bị không đúng trong giai đoạn thiết kế, nhà thầu thiết kế đã đưa ra các loại vật tư, thiết bị không có hoặc không còn trên thị trường	0,532	19	0,544	16	0,289	18
IC3	Năng lực quản lý dự án/công trường chưa đáp ứng yêu cầu	0,487	23	0,581	10	0,283	19
IC8	Thi công không đúng với thiết kế	0,564	18	0,496	23	0,280	20
ID1	Sự phức tạp của dự án xây dựng	0,438	25	0,598	6	0,262	21
IA4	CĐT cung cấp quy hoạch tổng thể của dự án thiếu hoặc không phù hợp	0,512	21	0,498	22	0,255	22
IC5	Thiếu phương pháp thi công phù hợp nhiều phương án thiết kế với phương pháp thi công hiện tại không thể làm được	0,506	22	0,502	21	0,254	23
IC1	Kế hoạch và tiến độ dự án không phù hợp	0,596	8	0,407	26	0,243	24
IA5	CĐT thiếu kỹ sư giám sát đủ năng lực	0,485	24	0,492	25	0,239	25
ID3	Tăng trưởng của dự án không được dự đoán ở giai đoạn thiết kế	0,403	26	0,506	20	0,204	26

nghiệm" (*IMP.I*=0,375) và IC2 - "Chủ quan trong việc bỏ thầu" (*IMP.I*=0,372). Các kết quả này cho thấy, các yếu tố liên quan đến chất lượng hồ sơ thiết kế, năng lực nguồn nhân lực và kinh nghiệm của nhà thầu, cũng như yêu cầu điều chỉnh từ phía CĐT là những nguyên nhân quan trọng dẫn đến sự thay đổi trong giai đoạn thi công của dự án.

Nhìn chung, kết quả tổng hợp chỉ số *IMP.I* ở hình 1 cho thấy, cả yếu tố bên ngoài và yếu tố bên trong dự án đều có ảnh hưởng đáng kể đến sự thay đổi trong các dự án xây dựng, trong đó các vấn đề liên quan đến chất lượng thiết kế và hệ thống quy chuẩn kỹ thuật được xác định là những nhân tố có mức độ ảnh hưởng nổi bật nhất.



Hình 1. Tổng hợp các chỉ số *IMP.I* cho các nhân tố gây ra thay đổi dự án xây dựng.

5. Bàn luận

Các nhân tố chính trong bối cảnh Việt Nam

Kết quả phân tích cho thấy, các nhân tố gây thay đổi trong dự án xây dựng có thể được chia thành hai nhóm chính gồm nhóm nhân tố bên ngoài và nhóm nhân tố bên trong. Các nhân tố được xếp hạng dựa trên giá trị chỉ số quan trọng (*IMP.I*), trong đó giá trị càng cao thể hiện mức độ ảnh hưởng càng lớn đến khả năng phát sinh thay đổi trong dự án. Việc xác định thứ hạng của các nhân tố giúp làm rõ các nguồn gốc chính gây ra thay đổi trong quá trình thi công, từ đó hỗ trợ các bên liên quan ưu tiên các giải pháp quản lý phù hợp.

Đối với nhóm nhân tố bên ngoài

Trước hết, nhân tố EB2 - "Các quy phạm, tiêu chuẩn không đồng bộ hoặc thiếu sót" [4, 5, 19, 22] được xếp hạng cao, phản ánh thực tế rằng hệ thống tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật trong lĩnh vực xây dựng tại Việt Nam vẫn đang trong quá trình hoàn thiện. Trong một số trường hợp, các tiêu chuẩn kỹ thuật hoặc quy định quản lý được cập nhật trong quá trình thực hiện dự án, dẫn đến việc điều chỉnh thiết kế để đảm bảo tuân thủ quy định mới. Điều này cũng phù hợp với các quy định trong Luật Xây dựng 2014 (sửa đổi 2020) và các văn bản hướng dẫn như Nghị định số 15/2021/NĐ-CP về quản lý dự án đầu tư xây dựng, trong đó yêu cầu các dự án phải tuân thủ hệ thống quy chuẩn và tiêu chuẩn kỹ thuật hiện hành. Khi các quy định này thay đổi hoặc chưa đồng bộ, dự án có thể phải điều chỉnh thiết kế trong giai đoạn thi công.

Nhân tố EA3 - "Điều kiện địa chất phức tạp" [3, 5, 8, 19] cũng được đánh giá là một trong những nguyên nhân quan trọng gây thay đổi thiết kế. Trong thực tế, nhiều dự án xây dựng tại Việt Nam gặp phải sự khác biệt giữa điều kiện địa chất thực tế và kết quả khảo sát ban đầu, đặc biệt đối với các công trình có phần móng hoặc công trình ngầm. Khi phát hiện các điều kiện địa chất không phù hợp với thiết kế ban đầu, các phương án thiết kế móng hoặc kết cấu thường phải điều chỉnh, dẫn đến thay đổi chi phí và tiến độ dự án. Kết quả này tương đồng với các nghiên cứu quốc tế, trong đó các yếu tố liên quan đến điều kiện tự nhiên và môi trường dự án được xác định là nguồn gốc quan trọng của thay đổi trong dự án xây dựng [2, 3].

Ngoài ra, nhân tố EC1 - "Tốc độ phát triển kinh tế và sự thay đổi nhu cầu" [5, 19] cũng có ảnh hưởng đáng kể đến sự thay đổi dự án. Trong bối cảnh Việt Nam đang phát triển nhanh, nhiều dự án xây dựng có thời gian thực hiện kéo dài nhiều năm, trong khi nhu cầu sử dụng hoặc định hướng phát triển của CĐT có thể thay đổi theo điều kiện kinh tế - xã hội. Điều này dẫn đến việc điều chỉnh nhiệm vụ thiết kế, quy mô công trình hoặc công năng sử dụng. Trên thực tế, nhiều dự án hạ tầng hoặc dự án đô thị đã phải điều chỉnh quy mô trong quá trình thực hiện nhằm đáp ứng nhu cầu phát triển mới.

Một yếu tố khác là ED2 - "Áp dụng phương pháp thi công mới" [3, 5, 19], mặc dù có thể dẫn đến thay đổi thiết kế nhưng thường mang lại lợi ích tích cực cho dự án, chẳng hạn như rút ngắn tiến độ hoặc tối ưu hóa chi phí. Sự thay đổi này phản ánh xu hướng đổi mới công nghệ trong ngành xây dựng và sự gia tăng ứng dụng các phương pháp thi công hiện đại.

Cuối cùng, EB3 - "Chậm trễ trong việc ra quyết định phê duyệt của cơ quan chức năng" [3, 5, 19] cũng được

xác định là một nhân tố quan trọng. Trong thực tế, các dự án xây dựng tại Việt Nam thường phải trải qua nhiều bước phê duyệt từ các cơ quan quản lý nhà nước. Khi quá trình phê duyệt kéo dài, dự án có thể bị gián đoạn hoặc phải điều chỉnh kế hoạch thực hiện. Điều này cũng được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu quốc tế khi cho rằng các yếu tố thể chế và thủ tục hành chính có thể ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả quản lý dự án xây dựng.

Đối với nhóm nhân tố bên trong

Nhân tố IB1 - "Bản vẽ thiết kế không đầy đủ hoặc có sai sót" [3-5, 8, 9, 19] được xác định là một trong những nguyên nhân phổ biến dẫn đến thay đổi thiết kế. Các bản vẽ thiếu chi tiết hoặc có sai sót kỹ thuật có thể dẫn đến việc thi công không chính xác hoặc hiểu nhầm giữa các bên tham gia dự án. Trong nhiều trường hợp, các hạng mục đã thi công phải điều chỉnh hoặc phá dỡ để thi công lại theo thiết kế đã được hiệu chỉnh, làm gia tăng chi phí và kéo dài tiến độ dự án. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu quốc tế khi cho rằng lỗi thiết kế là một trong những nguồn gốc chính gây ra thay đổi trong dự án xây dựng [9, 10].

Nhân tố IC6 - "Sử dụng lao động chưa đáp ứng yêu cầu tay nghề" [5, 19, 22] cũng có thể dẫn đến sai sót trong quá trình thi công. Khi lực lượng lao động không đủ kỹ năng để thực hiện các hạng mục kỹ thuật phức tạp, nhà thầu có thể phải sửa chữa hoặc làm lại các cấu kiện đã thi công. Điều này làm phát sinh chi phí và kéo dài tiến độ dự án.

Ngoài ra, nhân tố IA2 - "Yêu cầu thay đổi hoặc phát sinh từ CĐT" [3-5, 8, 9, 19] cũng được đánh giá là một nguyên nhân quan trọng gây thay đổi dự án. Trong quá trình thực hiện, CĐT có thể điều chỉnh thiết kế hoặc bổ sung các hạng mục mới nhằm đáp ứng nhu cầu sử dụng hoặc cải thiện hiệu quả dự án. Tuy nhiên, những thay đổi này thường làm gia tăng chi phí và ảnh hưởng đến tiến độ thi công. Kết quả này tương đồng với nhiều nghiên cứu quốc tế khi xác định các yêu cầu điều chỉnh từ phía CĐT là một trong những nguồn gốc chính của thay đổi dự án.

Bên cạnh đó, các nhân tố như IC4 - "Nhà thầu thiếu kinh nghiệm" [3, 5, 19] và IC2 - "Chủ quan trong quá trình đấu thầu" [4, 5, 9, 19] cũng có thể dẫn đến các thay đổi trong dự án. Khi nhà thầu không đánh giá đầy đủ các rủi ro hoặc yêu cầu kỹ thuật của dự án trong giai đoạn đấu thầu, các vấn đề phát sinh trong quá trình thi công có thể buộc phải điều chỉnh thiết kế hoặc phương án thi công để đảm bảo tính khả thi của dự án.

Các hàm ý quản trị

Từ các kết quả trên, một số hàm ý quản trị có thể được đề xuất cho các bên liên quan. Đối với cơ quan quản lý nhà nước, cần tiếp tục hoàn thiện hệ thống quy chuẩn và tiêu chuẩn xây dựng nhằm giảm thiểu sự không đồng bộ trong quá trình triển khai dự án. Đối với CĐT, việc xác định rõ nhu cầu và phạm vi dự án ngay từ giai đoạn chuẩn bị đầu tư có thể giúp hạn chế các thay đổi trong giai đoạn thi công. Trong khi đó, các đơn vị tư vấn thiết kế cần nâng cao chất lượng khảo sát và thiết kế nhằm giảm thiểu sai sót trong hồ sơ kỹ thuật. Cuối cùng, các nhà thầu xây dựng cần tăng cường năng lực kỹ thuật, đào tạo nguồn nhân lực và thực hiện đánh giá rủi ro đầy đủ trước khi tham gia đấu thầu để hạn chế các thay đổi phát sinh trong quá trình thi công.

6. Kết luận và kiến nghị

Nghiên cứu này nhằm xác định và đánh giá các nhân tố gây ra sự thay đổi trong các dự án xây dựng trong giai đoạn thi công trong bối cảnh Việt Nam. Thông qua việc phân tích các chỉ số *FI*, *SI* và *IMP.I*, nghiên cứu đã xác định các nhân tố quan trọng thuộc hai nhóm chính: nhân tố bên ngoài và nhân tố bên trong dự án. Kết quả cho thấy, trong nhóm nhân tố bên ngoài, năm nhân tố có mức độ ảnh hưởng cao nhất bao gồm: sự không đồng bộ hoặc thiếu sót của các quy phạm và tiêu chuẩn kỹ thuật, điều kiện địa chất phức tạp, sự thay đổi nhu cầu do tốc độ phát triển kinh tế, việc áp dụng các phương pháp thi công mới và sự chậm trễ trong việc ra quyết định phê duyệt của các cơ quan chức năng. Những yếu tố này phản ánh vai trò quan trọng của môi trường pháp lý, điều kiện tự nhiên và bối cảnh kinh tế - xã hội đối với quá trình triển khai các dự án xây dựng. Đối với nhóm nhân tố bên trong, các yếu tố có mức độ ảnh hưởng nổi bật bao gồm bản vẽ thiết kế không đầy đủ hoặc có sai sót, việc sử dụng lao động chưa đáp ứng yêu cầu tay nghề, yêu cầu thay đổi hoặc phát sinh từ phía CĐT, nhà thầu thiếu kinh nghiệm và sự chủ quan trong quá trình bỏ thầu. Kết quả nghiên cứu cho thấy các vấn đề liên quan đến chất lượng hồ sơ thiết kế, năng lực của nhà thầu và quyết định của CĐT đóng vai trò quan trọng trong việc gây ra sự thay đổi trong giai đoạn thi công.

Nhìn chung, nghiên cứu góp phần làm rõ các nguồn gốc chính dẫn đến sự thay đổi trong các dự án xây dựng tại Việt Nam thông qua việc phân tích đồng thời tần suất xuất hiện và mức độ tác động của các nhân tố. Các kết quả này cung cấp cơ sở khoa học giúp các bên liên quan nhận diện sớm các rủi ro tiềm ẩn và xây dựng các giải pháp quản lý phù hợp nhằm hạn chế các thay đổi không cần thiết trong quá trình thực hiện dự án. Từ đó, nghiên cứu này kiến nghị các nhà quản lý, kỹ sư một số giải pháp sau: (1) cần tập trung điều tra, khảo sát dự án kỹ lưỡng, đúng quy trình, (2) tìm hiểu kỹ nhu cầu thị trường, suất vốn đầu tư trước khi thiết kế, (3) cần tìm đơn vị thiết kế chuyên nghiệp đảm bảo yêu cầu của CĐT, và (4) cuối cùng tổ chức đấu thầu lựa chọn nhà thầu có năng lực đảm bảo thực hiện dự án tốt.

Nghiên cứu này có một số nhược điểm nhất định. Số lượng các nhân tố có thể chưa bao quát hết cho vấn đề

nghiên cứu và dàn trải hết các loại dự án xây dựng. Bên cạnh đó, số lượng mẫu tương đối nhỏ và được thu thập bằng phương pháp lấy mẫu thuận tiện nên có khả năng tạo ra sai lệch trong kết quả phân tích. Ngoài ra, công cụ phân tích chỉ là xếp hạng các nhân tố dựa vào các chỉ số mức độ quan trọng mà chưa thực hiện các phân tích, kiểm định thống kê chuyên sâu để kiểm tra sự phù hợp của biến cũng như các giả định thống kê như phân tích tương quan Pearson, kiểm định ANOVA hay phân tích nhân tố khám phá EFA. Các nghiên cứu về sau có thể xem xét các nhược điểm trên để đưa ra các kết luận mở rộng cho vấn đề thay đổi của dự án xây dựng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] E.E. Chidiebere, J.E. Idiake (2018), "Analysis of cost of rework on time and cost performance of building construction projects in Abuja, Nigeria", *International Journal of Built Environment and Sustainability*, **5(1)**, pp.56-67.

[2] P.E.D. Love, G.D. Holt, L.Y. Shen, et al. (2002), "Using systems dynamics to better understand change and rework in construction project management systems", *International Journal of Project Management*, **20**, pp.425-436, DOI: 10.1016/S0263-7863(01)00039-4.

[3] M. Sun, X. Meng (2009), "Taxonomy for change causes and effects in construction projects", *International Journal of Project Management*, **27(6)**, pp.560-572, DOI: 10.1016/j.ijproman.2008.10.005.

[4] V.M. Truong (2005), *Research on Causes and Impacts of Variations in Construction Projects - Proposing Solutions to Minimize and Control Them*, Master's thesis, Ho Chi Minh City University of Technology (in Vietnamese).

[5] D.C. Tin (2010), *Identification of Causes Leading to Design Changes during Construction Stage*, Master's thesis, Ho Chi Minh City University of Technology (in Vietnamese).

[6] J.C. Smith, D.J. Edwards, I. Martek, et al. (2021), "The antecedents of construction project change: An analysis of design and build procurement application", *Journal of Engineering, Design and Technology*, **21(3)**, pp.655-689, DOI: 10.1108/JEDT-12-2020-0507.

[7] A.A. Maamari, F. Khan (2021), "Evaluating the causes and impact of change orders on construction projects performance in Oman", *International Journal of Research in Entrepreneurship & Business Studies*, **2(1)**, pp.41-50. DOI: 10.47259/ijrebs.215.

[8] Q. Hao, W. Shen, J. Neelamkavil, et al. (2008), "Change management in construction projects", *Improving The Management of Construction Projects Through IT Adoption*, **July 15-17**, pp.387-396.

[9] A.S. Alnuaimi, R.A. Taha, M.A. Mohsin, et al. (2010), "Causes, effects, benefits, and remedies of change orders on public construction projects in Oman", *Journal of Construction Engineering and Management*, **136**, pp.615-622, DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000154.

[10] W. Ibbs (2012), "Construction change: Likelihood, severity, and impact on productivity", *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, **4**, pp.67-73, DOI: 10.1061/(ASCE)LA.1943-4170.0000089.

[11] O.F. Okoh, E.A. Ukpoju, A. Otakwu, et al. (2024), "Construction management: Some issues in the construction project", *Engineering Heritage Journal*, **8(1)**, pp.42-50.

[12] N.D. Quach (2017), *Causes of Design Changes during Construction Affecting The Progress of Civil Construction Projects in Ca Mau and Proposed Mitigation Solutions*, Master's thesis, Ho Chi Minh City University of Technology (in Vietnamese).

[13] P.T. Nguyen, H.T.H. Nguyen (2020), "Identification factors affecting variation and change order of design-build projects", *Research in World Economy*, **11(3)**, pp.59-66.

[14] I.A. Motawa, C.J. Anumba, S. Lee, et al. (2007), "An integrated system for change management in construction", *Automation in Construction*, **16**, pp.368-377, DOI: 10.1016/j.autcon.2006.07.005.

[15] Z.Y. Zhao, Q. Lei, J. Zuo, et al. (2010), "Prediction system for change management in construction project", *Journal of Construction Engineering and Management*, **136**, pp.659-669, DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000168.

[16] B. Erdogan, C. Anumba, D. Bouchlaghem, et al. (2005), "Change management in construction: The current context", *Proceedings of The 21st Annual ARCOM Conference*, **2**, pp.1085-1095.

[17] B.G. Hwang, L.K. Low (2012), "Construction project change management in Singapore: Status, importance and impact", *International Journal of Project Management*, **30**, pp.817-826, DOI: 10.1016/j.ijproman.2011.11.001.

[18] F. Abad, L.M. Naeni (2022), "A hybrid framework to assess the risk of change in construction projects using fuzzy fault tree and fuzzy event tree analysis", *International Journal of Construction Management*, **22(12)**, pp.2385-2397, DOI: 10.1080/15623599.2020.1790474.

[19] V.D.T. Pham (2012), *Application of AHP and Fuzzy Logic in Assessing Design Changes during Construction Stage in Civil and Industrial Construction Projects*, Master's thesis, Ho Chi Minh City University of Technology (in Vietnamese).

[20] N.A. Thu, N.T. Phong, T.A. Han (2024), "Evaluation of the effectiveness of applying building information modeling (BIM) in urban infrastructure project design management", *Journal of Materials and Construction - Ministry of Construction*, **14(1)**, pp.81-89 (in Vietnamese).

[21] T.M. Williams (2000), "Safety regulation changes during projects: The use of system dynamics to quantify the effects of change", *International Journal of Project Management*, **18(1)**, pp.23-31, DOI: 10.1016/S0263-7863(98)00063-5.

[22] Vietnam Government (2024), *Decision No. 179/QD-TTg dated February 16, 2024 Approving The Strategy for Development of The Construction Sector to 2030 with Orientation toward 2045* (in Vietnamese).

[23] H. Trong, C.N.M. Ngoc (2008), *Data Analysis in Research with SPSS*, Statistics Publishing House, 247pp (in Vietnamese).

[24] L. Hoai, Y.D. Lee, J.Y. Lee (2008), "Delay and cost overruns in Vietnam large construction projects: A comparison with other selected countries", *KSCE Journal of Civil Engineering*, **12(6)**, pp.367-377, DOI: 10.1007/s12205-008-0367-7.

[25] Y.A. Olawale, M. Sun (2010), "Cost and time control of construction projects: Inhibiting factors and mitigating measures in practice", *Construction Management and Economics*, **28(5)**, pp.509-526, DOI: 10.1080/01446191003674519.

[26] W. Black, B.J. Babin (2019), "Multivariate data analysis: Its approach, evolution, and impact", *The Great Facilitator: Reflections on The Contributions of Joseph F. Hair, Jr. to Marketing and Business Research*, pp.121-130.

Nghiên cứu chế tạo và tính chất của vật liệu composite silica/phenolic và carbon/phenolic

Phạm Văn Toại, Phạm Kim Đạo*, Phạm Quang Hiếu, Lê Duy Thứ

Viện Thuốc phóng Thuốc nổ, 192 Đức Giang, phường Việt Hưng, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 6/8/2025; ngày chuyển phản biện 8/8/2025; ngày nhận phản biện 29/8/2025; ngày chấp nhận đăng 4/9/2025

Tóm tắt:

Bài báo trình bày công nghệ chế tạo vật liệu composite silica/phenolic (SP) và carbon/phenolic (CP) bằng phương pháp nén ép. Vật liệu composite SP và CP được chế tạo từ các tấm vải sợi (silica hoặc carbon) trên nền nhựa phenolic, trong đó hỗn hợp keo nền phenolic được chuẩn bị trong dung môi furfural có mặt chất đóng rắn urotropin và chất khơi mào AIBN. Kết quả thực nghiệm cho thấy, các vật liệu nghiên cứu có mật độ thấp, độ cứng và độ bền nén cao. Khả năng chịu nhiệt và chịu xói mòn được đánh giá trong điều kiện khắc nghiệt, thông qua phân tích nhiệt trọng lượng (TGA) và đốt thử nghiệm trong động cơ nhiên liệu rắn hỗn hợp. Độ hao hụt khối lượng của vật liệu composite SP và CP ở nhiệt độ đến 800°C lần lượt là 34,7 và 33,7%. Khi đốt thử nghiệm trong động cơ nhiên liệu rắn hỗn hợp với việc sử dụng vật liệu composite SP và CP làm khối tới hạn của loa phụt, tốc độ xói mòn của vật liệu composite SP và CP đạt lần lượt là 0,552 và 0,348 mm/s. Do đó, vật liệu composite SP và CP có tính chất cơ lý cao, khả năng chịu nhiệt và xói mòn tốt khi thử nghiệm trong điều kiện khắc nghiệt.

Từ khóa: **carbon/phenolic, silica/phenolic, tốc độ xói mòn, vật liệu ablative, vật liệu composite chịu nhiệt.**

Chỉ số phân loại: **2.4, 2.5**

Research on fabrication and properties of silica/phenolic and carbon/phenolic composites

Van Toai Pham, Kim Dao Pham*, Quang Hieu Pham, Duy Thu Le

Institute of Propellants and Explosives, 192 Duc Giang Street, Viet Hung Ward, Hanoi, Vietnam

Received 6 August 2025; revised 29 August 2025; accepted 4 September 2025

Abstract:

The article presents the technology for manufacturing silica/phenolic (SP) and carbon/phenolic (CP) composite materials using compression molding. SP and CP composite materials are fabricated from fiber sheets (silica or carbon) on a phenolic resin matrix, where the phenolic resin matrix mixture is prepared in a furfural solvent in the presence of urotropin curing agent and AIBN initiator. The experimental results indicate that the studied materials exhibit low density, high stiffness, and high compressive strength. In particular, to evaluate heat resistance and erosion behaviour, thermogravimetric analysis (TGA) and combustion testing in a solid composite propellant motor were conducted. The mass loss of SP and CP composite materials at temperatures up to 800°C was 34.7 and 33.7%, respectively. When tested in a solid composite propellant motor using SP and CP materials as the nozzle throat insert, the erosion rates of SP and CP materials were 0.552 and 0.348 mm/s, respectively. Therefore, SP and CP composite materials exhibit high mechanical properties, good heat resistance, and erosion resistance under severe conditions.

Keywords: **ablative material, carbon/phenolic, composite heat-resistant material, erosion rate, silica/phenolic.**

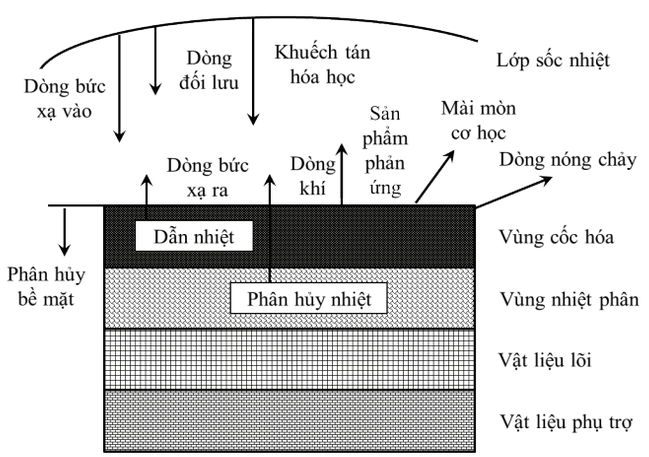
Classification numbers: **2.4, 2.5**

Tác giả liên hệ: Email: phamkimdao@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Vật liệu composite SP và CP đã và đang được nghiên cứu, phát triển và ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau như: xây dựng công trình, công nghiệp ô tô, điện dân dụng, đặc biệt trong lĩnh vực hàng không vũ trụ (máy bay dân dụng, máy bay không người lái) và tên lửa (thân vỏ tên lửa, lớp bảo vệ nhiệt vỏ động cơ, lớp bảo vệ nhiệt và khối tới hạn của cụm loa phụt) [1-5]. Những ưu điểm nổi bật của các loại vật liệu này là mật độ thấp, độ cứng, độ bền cao, khả năng chịu nhiệt và chịu xói mòn tốt [4, 6-8]. Thêm vào đó, các loại vật liệu composite này có công nghệ chế tạo tương đối đơn giản và chi phí thấp so với các loại vật liệu kim loại, hợp kim và phi kim khác. Hiện nay, công nghệ chế tạo các loại vật liệu composite SP và CP chủ yếu được sử dụng nhiều là công nghệ cuốn và công nghệ nén ép, trong đó sợi silica hay sợi carbon đóng vai trò là cốt sợi (dạng vải hoặc dạng sợi), còn nhựa phenolic có vai trò là vật liệu nền (dạng novolac hoặc rezit) [2, 9].

Cơ chế phân hủy nhiệt của vật liệu composite dưới tác động của dòng nhiệt cao được trình bày trên hình 1. Đây là quá trình hóa lý phức tạp, bao gồm các quá trình vật lý như bức xạ nhiệt, trao đổi nhiệt, mài mòn cơ học... và quá trình hóa học như dòng thoát khí phân hủy sản phẩm cháy, các phản ứng hóa học, khuếch tán hóa học, nóng chảy, cốc hóa polyme trong pha ngưng tụ... Đặc trưng của quá trình phân hủy nhiệt của vật liệu composite là xảy ra đồng thời nhiều quá trình vật lý và hóa học của các sản phẩm phân hủy song song và liên tiếp tại các pha khác nhau (pha rắn, pha lỏng và pha khí) [10].



Hình 1. Cơ chế phân hủy nhiệt của vật liệu composite [10].

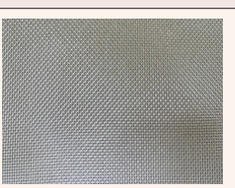
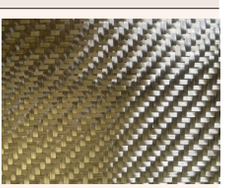
Để đánh giá khả năng chịu nhiệt, chịu xói mòn của vật liệu composite, người ta thường sử dụng nhiều phương pháp khác nhau như: Phân tích nhiệt trọng lượng (TGA), phân tích nhiệt quét vi sai (DSC), phân tích nhiệt cơ học (TMA), hoặc cũng có thể sử dụng phương pháp khò bằng ngọn lửa oxy-axetylene (đến 3000°C) hay bằng ngọn lửa khí oxy-butan (đến 1500°C) [11-13]. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày kết quả nghiên cứu về công nghệ chế tạo vật liệu composite SP và CP, đồng thời đánh giá các tính chất cơ lý, khả năng chịu nhiệt và xói mòn của chúng trong điều kiện thử nghiệm khắc nghiệt.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Vật liệu composite được chế tạo từ vải sợi silica với hàm lượng SiO_2 trên 96% hoặc vải sợi carbon 6K (Xiangsheng Technology Co., Ltd, Trung Quốc) và nhựa nền phenolic dạng novolac (Chemprom, Nga). Đặc tính kỹ thuật của vải sợi silica và vải sợi carbon được trình bày trong bảng 1. Để chế tạo hỗn hợp chất keo nền phenolic chúng tôi sử dụng dung môi furfural (hàm lượng chất chính 99%, Aladdin, Trung Quốc), chất đóng rắn hexamethylenetetramine hay urotropin (Aladdin, Trung Quốc) và chất khơi mào phản ứng 2,2'-azobisisobutyronitril (AIBN, Aladdin, Trung Quốc).

Bảng 1. Đặc tính kỹ thuật vải sợi silica và vải sợi carbon.

Đặc tính	Vải sợi silica	Vải sợi carbon
Hình ảnh		
Màu sắc	Trắng	Đen
Khổ rộng (mm)	820	1000
Bề dày (mm)	0,41	0,38
Khối lượng (g/m^2)	290	320

2.2. Phương pháp nghiên cứu

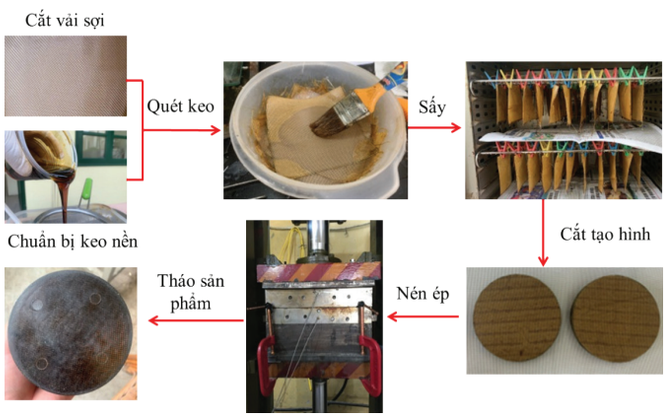
Đơn thành phần hỗn hợp chất keo nền phenolic được trình bày trong bảng 2, trong đó hàm lượng nhựa phenolic thay đổi theo 100 phần khối lượng (pkl) của hàm lượng dung môi furfural, còn chất đóng rắn urotropin và chất khơi mào AIBN không thay đổi (tính theo dung môi furfural).

Bảng 2. Đơn thành phần hỗn hợp keo nền phenolic.

Thành phần	Hàm lượng (pkl)			
	Mẫu 1	*Mẫu 2*	*Mẫu 3*	*Mẫu 4*
Furfural	100	100	100	100
Nhựa phenolic	90	100	110	120
Urotropin	15	15	15	15
AIBN	0,5	0,5	0,5	0,5

Phương pháp chế tạo keo nền phenolic: Cân định lượng dung môi furfural và urotropin cho vào thiết bị khuấy trộn. Các hạt urotropin được hòa tan trong dung môi furfural ở nhiệt độ 35-40°C trong thời gian 2-3 h với tốc độ khuấy 500-700 vòng/phút. Sau đó, cho từng phần định lượng hạt nhựa phenolic vào bình trộn, tiến hành khuấy hỗn hợp cho đến khi thu được hỗn hợp đồng nhất (khoảng 10 h), tiếp theo cho tiếp chất khơi mào AIBN vào bình và khuấy đều trong khoảng 1,0 h.

Phương pháp chế tạo vật liệu composite: Vải sợi (vải silica hoặc vải carbon) được cắt thành các tấm có kích thước khoảng 120x120 mm, sau đó dùng chổi sơn hoặc con lăn để quét đều lớp keo nền lên cả hai bề mặt lớp vải. Tiếp đến, các tấm vải sợi đã quét keo được treo lên giá và sấy sơ bộ ở nhiệt độ 90°C trong thời gian không quá 1,0 h. Các bán thành phẩm sau khi sấy được cắt định hình theo kích thước khuôn ép và được sắp xếp từng lớp vào khuôn ép. Tiến hành ép mẫu trên máy ép thủy lực. Nhiệt độ ép được thiết lập tại nhiệt độ 80, 100 và 155°C trong thời gian tương ứng 15 phút, 15 phút và 60 phút. Trong đó, trong khoảng nhiệt độ 80-100°C duy trì áp suất máy ép ở 10-20 kg/cm^2, sau đó tăng lên 80-100 kg/cm^2 ở nhiệt độ 155°C. Kết thúc, phôi vật liệu composite được làm nguội tự nhiên đến nhiệt độ 70-80°C và tháo ra khỏi khuôn ép. Sơ đồ công nghệ chế tạo vật liệu composite được trình bày trên hình 2. Phôi vật liệu composite sau đó được gia công để tiến hành đo đạc và thử nghiệm.



Hình 2. Sơ đồ công nghệ chế tạo vật liệu composite.

Phương pháp xác định độ nhớt của keo nền phenolic: Độ nhớt của hỗn hợp chất keo nền nhựa phenolic được đo bằng phễu VZ 246 (Nga) với đường kính lỗ 4 mm ở nhiệt độ phòng. Tiến hành đo ít nhất 3 lần/mẫu, sau đó lấy giá trị trung bình.

Phương pháp xác định hàm lượng nhựa phenolic: Hàm lượng nhựa phenolic trong bán thành phẩm (sau khi nhúng keo và sấy) được xác định là hiệu số khối lượng của bán thành phẩm và khối lượng vải sợi ban đầu. Hàm lượng nhựa phenolic trong mẫu sản phẩm là hiệu số của khối lượng mẫu sản phẩm trước và sau khi nung ở 600°C trong 2,0 h.

Nghiên cứu tính chất cơ lý của vật liệu: Mật độ mẫu được xác định bằng máy đo mật độ điện tử DH-2000 (DahoMeter, Trung Quốc), độ phân giải 0,001 g/cm^3. Độ cứng Shore D của mẫu vật liệu được đo trên máy Digi test micro Shore D trong giải từ 0 đến 100 đ.v, thời gian duy trì 30 s.

Độ bền nén của mẫu được đo đạc theo phương pháp ASTM D3410 trên máy đo độ bền kéo, nén M350-10 CT với tốc độ 1 mm/phút. Mẫu đo được gia công chế tạo thành hình khối có kích thước 9x5x5 mm và được đặt trên bàn ép, sao cho bề mặt vải sợi song song với bàn nén ép.

Nghiên cứu tính chất chịu nhiệt và chịu xói mòn của vật liệu: Nhóm tác giả sử dụng phương pháp phân tích nhiệt trọng lượng (TGA) để phân tích khả năng chịu nhiệt của mẫu vật liệu composite. Mẫu nghiên cứu được mài nhỏ theo hướng vuông góc với tấm vải sợi và cân định lượng khoảng 20-30 mg/mẫu. Tiến hành đo đạc trên máy NETZSCH TG 209F1 (NETZSCH-Gerätebau GmbH, Selb, Đức) từ nhiệt độ 25 đến 800°C với tốc độ gia nhiệt 10°C/phút trong môi trường khí nitơ.

Để đánh giá khả năng chịu xói mòn của vật liệu composite SP và CP trong điều kiện khắc nghiệt (nhiệt độ và áp suất cao), chúng tôi tiến hành đốt thử nghiệm trong động cơ mẫu nhiên liệu rắn hỗn hợp với việc sử dụng vật liệu composite nghiên cứu làm khối tới hạn của cụm loa phụt (hình 3).



Hình 3. Khối tới hạn của cụm loa phụt làm từ vật liệu composite.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Nghiên cứu công nghệ chế tạo vật liệu composite

Vật liệu composite được nghiên cứu chế tạo từ hai thành phần chính là: Vải sợi silica (hoặc vải sợi carbon) và hỗn hợp keo nền nhựa phenolic. Trong đó, lớp vải sợi đóng vai trò là thành phần cốt sợi chịu nhiệt, chịu xói mòn, còn hỗn hợp keo là thành phần nền để liên kết các tấm vải sợi. Trong thành phần keo nền, quá trình tương tác của các nguyên liệu đầu được thể hiện qua hai giai đoạn: Sự phối trộn dung môi furfural với chất xúc tác phản ứng trùng ngưng (urotropin) và sự phối trộn hỗn hợp furfural-urotropin với nhựa phenolic (novolac). Trong quá trình khuấy trộn furfural và urotropin sẽ xảy ra sự phân hủy urotropin, dẫn đến tạo ra các cầu nối dimethylamin ($-CH_2-NH-CH_2-$) và trimethylamin ($-CH_2-N(CH_2)-CH_2-$). Tiếp đến, tương tác giữa các phân tử nhựa novolac và urotropin sẽ tạo ra các cầu nối metyl ($-CH_2-$) và liên kết bền nhiệt dạng ($-CH=N-CH_2-$). Việc sử dụng dung môi furfural thay vì các dung môi bay hơi thông thường (như cồn ethylic, axeton...) có một số ưu điểm sau: Dung môi furfural khi có mặt của urotropin sẽ tạo ra mạng không gian dạng nhựa trong quá trình đóng rắn, đồng thời hạn chế được lỗ xốp trong vật liệu composite so với các dung môi thông thường.

Trong bảng 3 trình bày sự ảnh hưởng nhiệt độ và thời gian sấy đến chất lượng bán thành phẩm vật liệu composite. Kết quả cho thấy, dưới sự ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian sẽ xảy ra quá trình đóng rắn sơ bộ của hỗn hợp keo nền. Điều kiện tối ưu để thu được bán thành phẩm khô và có màu vàng nhạt là ở nhiệt độ 90°C và thời gian sấy 0,5-1,0 h.

Kết quả đo hàm lượng nhựa phenolic trong bán thành phẩm và phôi sản phẩm được trình bày trong bảng 4. Nhận thấy rằng, khi tăng hàm lượng nhựa phenolic thì độ nhớt của hỗn hợp keo nền tăng, đồng thời hàm lượng nhựa phenolic trong bán thành phẩm và phôi sản phẩm của vật liệu composite cũng sẽ tăng. Tuy nhiên, từ thực nghiệm cho thấy, mẫu 4 có độ nhớt tương đối cao (704±10 s), gây khó khăn cho công đoạn quét hỗn hợp keo lên bề mặt lớp vải sợi. Cho nên, tỷ lệ hàm lượng nhựa phenolic tối ưu là 90-110 pkl so với hàm lượng dung môi furfural. Độ hao hụt khối lượng nhựa phenolic trong bán thành phẩm giảm so với trong mẫu phôi sản phẩm là do trong quá trình nén ép một phần hỗn hợp keo bị đẩy ra ngoài vải sợi và một phần lượng dung môi furfural không tham gia liên kết bị thoát ra ngoài.

Bảng 3. Sự ảnh hưởng nhiệt độ và thời gian sấy đến chất lượng bán thành phẩm.

Thời gian (h)	Nhiệt độ (°C)			
	70	*80*	*90*	*100*
0,5	Dính, ướt	Dính, ướt	Khô, màu vàng nhạt	Khô, màu nâu đen
1,0	Dính, ướt	Còn dính, ướt	Khô, màu vàng nhạt	-
1,5	Dính, ướt	Khô, màu vàng nhạt	Khô, màu nâu đen	-

Bảng 4. Tính chất của hỗn hợp keo nền nhựa phenolic.

Tính chất	Giá trị			
	Mẫu 1	*Mẫu 2*	*Mẫu 3*	*Mẫu 4*
Furfural/phenolic	100/90	100/100	100/110	100/120
Độ nhớt hỗn hợp keo nền (s)	80±5	147±5	326±7	704±10
Hàm lượng nhựa phenolic trong bán thành phẩm (%)	37,50±0,7	38,80±0,5	40,10±0,5	42,85±0,5
Hàm lượng nhựa phenolic trong phôi sản phẩm (%)	35,20±0,7	36,15±0,5	37,21±0,5	39,95±0,5

Công nghệ nén ép vật liệu composite ảnh hưởng trực tiếp chất lượng phôi sản phẩm, chúng bao gồm các yếu tố như nhiệt độ, thời gian và áp lực ép. Thực nghiệm cho thấy, sau khi sắp xếp các bán thành phẩm vào khuôn ép, chúng cần được ép sơ bộ ở nhiệt độ khoảng 80-100°C (thấp hơn nhiệt độ đóng rắn 155°C) dưới áp lực ép thấp 10-20 kg/cm^2. Điều này sẽ giúp cho hỗn hợp keo nền phenolic được dẻo hóa trước khi đóng rắn, đồng thời giúp điền đầy bề mặt các tấm vải sợi và đẩy toàn bộ phần dung môi còn lại ra khỏi khuôn ép. Tiếp theo, tăng nhiệt độ đến 155°C và lực ép đến 80-100 kg/cm^2, thời gian đóng rắn 1,0 h. Sau đó, khuôn được làm nguội tự nhiên dưới áp lực ép. Với công nghệ chế tạo này, phôi sản phẩm vật liệu composite sẽ không có khuyết tật, lỗ khí...

3.2. Tính chất cơ lý của vật liệu composite

Tính chất cơ lý là một trong những đặc tính quan trọng để đánh giá độ bền của vật liệu composite. Kết quả một số tính chất cơ lý của các mẫu vật liệu composite SP

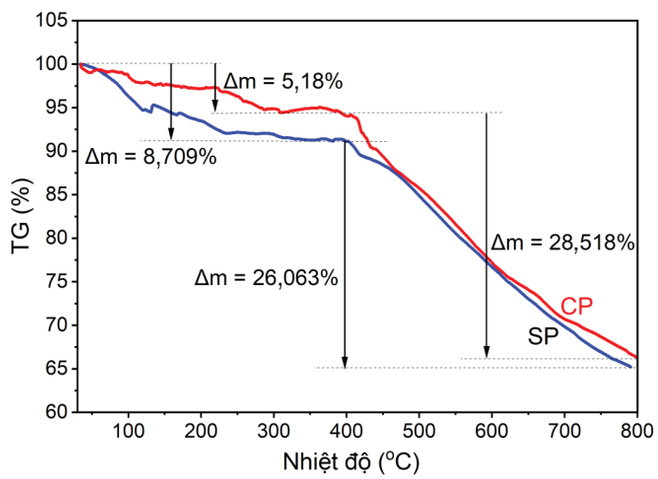
và CP được trình bày trong bảng 5. Kết quả cho thấy, các mẫu vật liệu composite nghiên cứu có mật độ tương đối thấp, độ cứng và độ bền nén tương đối cao. Trong đó, vật liệu composite CP có độ cứng và độ bền nén cao hơn vật liệu composite SP lần lượt là 3,3 và 30,3%. Thực tế, bản chất lớp vải sợi carbon đã có độ bền kéo, độ dai, độ cứng và khả năng chịu lực nén tốt hơn lớp vải sợi silica.

Bảng 5. Tính chất cơ lý của vật liệu composite.

Tính chất	Silica/phenolic	Carbon/phenolic
Mật độ (g/cm^3)	1,580±0,014	1,620±0,018
Độ cứng Shore D	93,57±0,90	96,70±0,70
Độ bền nén (MPa)	334,8±2,5	436,2±3,8
Độ biến dạng khi vỡ (%)	18,42±0,81	22,40±0,71

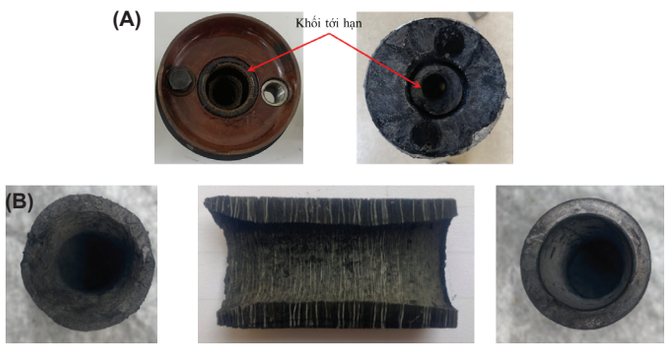
3.3. Tính chất chịu nhiệt và chịu xói mòn của vật liệu composite

Tính chịu nhiệt là một trong những đặc tính hóa lý quan trọng để đánh giá vật liệu composite dưới tác động của dòng nhiệt độ cao. Đường cong phân hủy nhiệt (TGA) của mẫu SP và CP được trình bày trên hình 4. Độ hao hụt khối lượng của mẫu vật liệu composite SP và CP ở nhiệt độ nhỏ hơn 400°C lần lượt là 8,7% và 5,18%, trong khoảng nhiệt độ 400-800°C lần lượt là 26,063 và 28,518%, tương ứng tổng khối lượng hao hụt là 34,7 và 33,7%. Như vậy, trong khoảng nhiệt độ đến 800°C, phần lớn thành phần nhựa nền phenolic bị phân hủy hoàn toàn đối với cả hai mẫu vật liệu, thành phần còn lại là lớp vải sợi không bị phân hủy. Điều này cho thấy, khả năng chịu nhiệt của hai loại vật liệu composite là tương đối cao. Tuy nhiên, để so sánh hai loại vật liệu này cần tiến hành thử nghiệm ở điều kiện khắc nghiệt hơn, ví dụ như đốt thử nghiệm trong động cơ nhiên liệu rắn hỗn hợp (nhiệt độ đến 2500-3000°C).

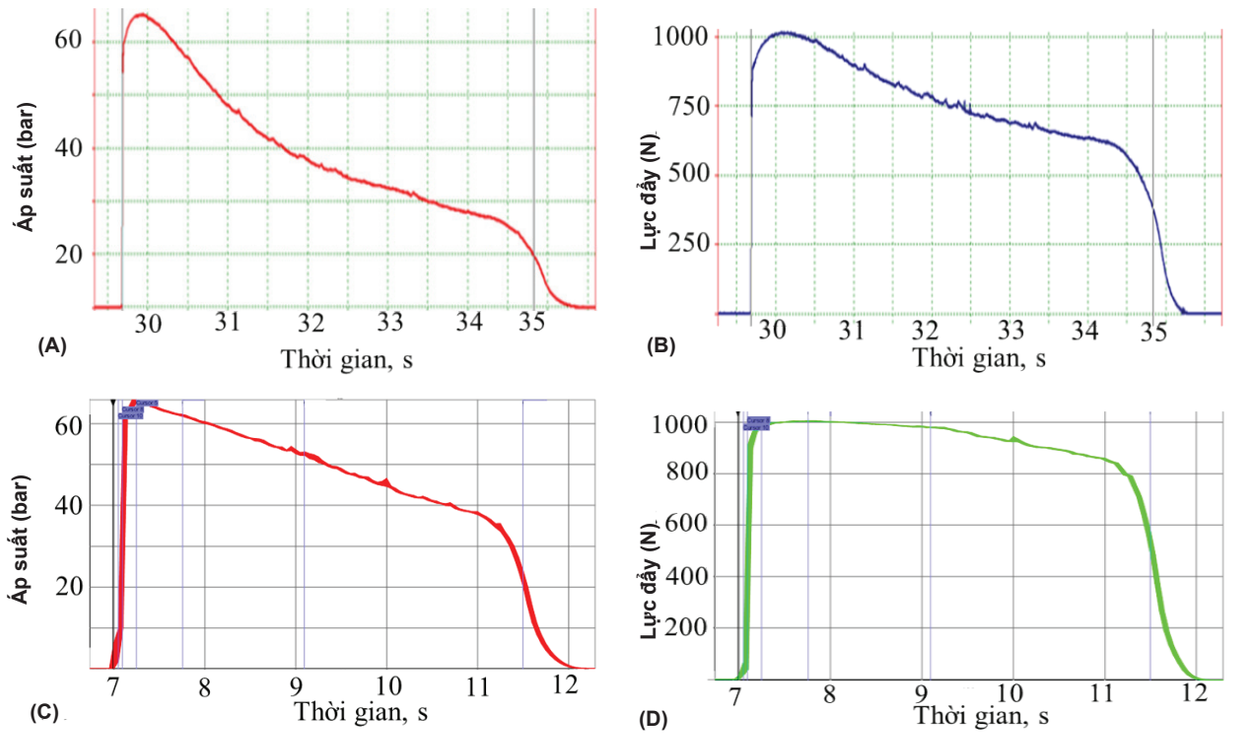


Hình 4. Đường cong phân hủy nhiệt của vật liệu composite SP và CP.

Để đánh giá khả năng chịu xói mòn của vật liệu composite SP và CP, nhóm tác giả đã tiến hành đốt thử nghiệm trong động cơ mẫu nhiên liệu rắn hỗn hợp (kiểu cháy định diện) với việc sử dụng các vật liệu composite làm khối tới hạn của cụm loa phụt (hình 5). Đồ thị áp suất và lực đẩy theo thời gian của động cơ được trình bày trong hình 6. Đồ thị đường cong áp suất và lực đẩy theo thời gian đảm bảo quy luật cháy khi đốt thử nghiệm trong động cơ nhiên liệu rắn hỗn hợp, sử dụng vật liệu composite SP và CP làm khối tới hạn của loa phụt [4, 14-15]. Sản phẩm cháy của nhiên liệu rắn hỗn hợp bao gồm các sản phẩm khí như CO, H_2O, CO_2, HCl, N_2, H_2, đặc biệt còn có các sản phẩm rắn dạng hạt từ bột nhôm (Al, Al_2O_3, $AlCl_3$, $Al(OH)_3$). Kết quả đốt thử nghiệm trong động cơ mẫu nhiên liệu rắn hỗn hợp được trình bày trong bảng 6. Dưới tác động dòng chảy của các sản phẩm này trong điều kiện áp suất và nhiệt độ cao, vật liệu composite SP và CP bị xói mòn tuyến tính, với tốc độ xói mòn lần lượt là 0,552 và 0,348 mm/s. Trong đó, trong cùng một điều kiện thử nghiệm, vật liệu composite CP có tốc độ xói mòn thấp hơn, nghĩa là khả năng chịu xói mòn dưới tác động của sản phẩm cháy cao hơn so với vật liệu composite SP, điều này có thể lý giải là do lớp vải sợi carbon (đã được graphit hóa) bền hơn, dai hơn, chịu nhiệt tốt hơn (đến 2000-3000°C) so với lớp vải sợi silica (đến 1700°C).



Hình 5. Cụm loa phụt. (A) Cụm loa phụt trước và sau khi đốt thử nghiệm; **(B)** Khối tới hạn sau khi đốt thử nghiệm.



Hình 6. Kết quả đốt thử nghiệm của động cơ sử dụng khối tới hạn làm từ vật liệu composite. (A) Đồ thị áp suất đối với vật liệu composite SP; **(B)** Đồ thị lực đẩy đối với vật liệu composite SP; **(C)** Đồ thị áp suất đối với vật liệu CP; **(D)** Đồ thị lực đẩy đối với vật liệu CP.

Bảng 6. Kết quả đốt thử nghiệm động cơ sử dụng khối tới hạn làm từ vật liệu composite.

Tính chất	Silica/phenolic	Carbon/phenolic
Áp suất cực đại (bar)	65,1	65,8
Lực đẩy cực đại (N)	1017	1050
Tổng xung lực đẩy (N.s)	3965	4108
Đường kính tới hạn ban đầu (mm)	12,0	12,0
Đường kính tới hạn sau khi đốt (mm)	17,69	15,10
Thời gian cháy (s)	5,15	4,45
Tốc độ xói mòn (mm/s)	0,552	0,348

Như vậy, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu công nghệ chế tạo vật liệu composite SP và CP, đồng thời nghiên cứu các tính chất cơ lý, khả năng chịu nhiệt và chịu xói mòn của chúng. Tùy thuộc vào mục đích và yêu cầu sử dụng, chúng ta có thể lựa chọn loại vật liệu có các tính chất phù hợp.

4. Kết luận

Nhóm tác giả đã nghiên cứu công nghệ chế tạo vật liệu composite SP và CP, trong đó lớp vải sợi silica hoặc vải sợi carbon đóng vai trò làm thành phần cốt sợi, còn nhựa phenolic là thành phần nền. Đã thiết lập các điều kiện kỹ thuật trong chế tạo sản phẩm, trong đó hàm lượng nhựa phenolic tối ưu là 90-110 pkl dung môi furfural, bán thành phẩm được sấy ở nhiệt độ 90°C trong thời gian 0,5-1,0 h, lực ép phôi sản phẩm là 10-20 kg/cm^2 ở nhiệt độ 80-100°C và 80-100 kg/cm^2 ở nhiệt độ 155°C. Vật liệu composite SP và CP lần lượt có mật độ là 1,58 và 1,62 g/cm^3, độ cứng shore D là 93,57 và 96,70, và độ bền nén là 334,8 và 436,2 MPa. Độ hao hụt khối lượng của vật liệu composite SP và CP ở nhiệt độ đến 800°C lần lượt là 34,7 và 33,7%. Khi đốt thử nghiệm trong động cơ nhiên liệu rắn hỗn hợp, tốc độ xói mòn của vật liệu composite SP và CP lần lượt là 0,552 và 0,348 mm/s. Như vậy, vật liệu composite do nhóm tác giả nghiên cứu chế tạo có độ bền cơ lý cao, khả năng chịu nhiệt và khả năng chịu xói mòn tốt khi thử nghiệm trong điều kiện khắc nghiệt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] J. Wanberg (2013), *Composite Materials*, Fabrication Handbook, 146pp.

[2] R.W. Farmer (1974), "Extended heating ablation of carbon phenolic and silica phenolic", *National Technical Information Service*, Ohio, pp.1-55.

[3] J.R. Johnston, R.A. Signorelli, J.C. Frecbe (1966), "Performance of rocket nozzle materials with several solid propellants", *National Aeronautics and Space Administration*, pp.1-26.

[4] G. Ayyappan, S.B. Tiwari, R.S. Praveen, et al. (2017), "Investigation on composite throat insert for cryogenic engines", *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, **171**, pp.1-9, DOI: 10.1088/1757-899X/171/1/012146.

[5] X. Chen, R. Liu, H.Y. Du (2015), "Erosion study of silica phenolic nozzles with graphite Inserts in solid rocket motors", *Advanced Materials Research*, **1095**, pp.573-578, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.1095.573.

[6] J.A. Jithin, S.K. Panigrahi, P. Pasikumar, et al. (2022), "Ablative properties, thermal stability, and compressive behaviour of hybrid silica phenolic ablative composites", *Polymer Degradation and Stability*, **203**, DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2022.110063.

[7] G.P. Richter, T.D. Smith (1995), "Ablative material testing for low-pressure, low-cost rocket engines", *NASA Technical Memorandum*.

[8] C.O. Alanyalioglu, Y. Ozyoruk (2021) "Conjugate analysis of silica-phenolic charring ablation coupled with interior ballistics", *Journal of Propulsion and Power*, *AIAA Propulsion and Energy 2019 Forum*, DOI: 10.2514/1.B37839.

[9] A.J.A. Jithin, S.K. Panigrahi, P. Pasikumar, et al. (2022), "Thermophysical properties of hybrid silica phenolic ablative composite: Theoretical and experimental analysis", *Polymer Composites*, **43(10)**, pp.1-18, DOI: 10.1002/pc.26766.

[10] G. Pulci, J. Tirillo, F. Marra, et al. (2010), "Carbon-phenolic ablative materials for re-entry space vehicles: Manufacturing and properties", *Composites: Part A*, **41**, pp.1483-1490, DOI: 10.1016/j.compositesa.2010.06.010.

[11] H. Cheng, Z. Fan, C. Hong, et al. (2021), "Lightweight multiscale hybrid carbon-quartz fiber fabric reinforced phenolic-silica aerogel nanocomposite for high temperature thermal protection", *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, **143**, DOI: 10.1016/j.compositesa.2021.106313.

[12] Y. Ji, S. Han, Z. Chen, et al. (2022), "Understanding the role of carbon fiber skeletons in silicone rubber-based ablative composites", *Polymers*, **14**, DOI: 10.3390/polym14020268.

[13] G. Pelin, C.E. Pelin, A. Stefan, et al. (2023), "Oxy-butane ablation testing of thermal protection systems based on nanomodified phenolic resin matrix materials", *Polymers*, **15**, DOI: 10.3390/polym15194016.

[14] C.O. Alanyalioglu (2017), "Simple and accurate method for determination of solid rocket motor nozzle throat history", *AIAA Propulsion and Energy Forum*, pp.1-8, DOI: 10.2514/6.2017-4860.

[15] J.R. Wilhelm (1965), "Ablation of refrasil-phenolic nozzle inserts in solid propellant exhausts", *Journal of Spacecraft*, **2(3)**, pp.337-344, DOI: 10.2514/3.28181.

 DOI: 10.31276/VJST.2025.3581

Tối ưu hóa quy trình sản xuất dầu nặng sinh học từ dịch chiết vỏ hạt điều

Vũ Thị Minh Hồng*

Bộ môn Hóa học, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 phố Viên, phường Đức Thắng, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 6/8/2025; ngày chuyển phản biện 8/8/2025; ngày nhận phản biện 29/8/2025; ngày chấp nhận đăng 5/9/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu này tập trung tối ưu hóa quy trình, nâng cao hiệu suất sản xuất dầu nặng sinh học (bio-heavy oil) từ dịch chiết thô vỏ hạt điều bằng hệ thống dây chuyền thiết bị và xúc tác acid hữu cơ nhằm giảm phát thải khí ô nhiễm. Sau khi xác định được tỷ lệ xúc tác/dung dịch dầu điều thô quy mô phòng thí nghiệm, mẫu được thử nghiệm quy mô pilot, mẫu sản phẩm được xác định các chỉ tiêu như sau: trị số nhiệt lượng theo ASTM D240-19 đạt trên 9.000 cal/kg, hàm lượng tạp chất theo ASTM D473-22 có giá trị <0,01%, hàm lượng tro theo ASTM D482-19 có giá trị <0,1%. Tuy nhiên, hàm lượng nước xác định theo ASTM D6304-20 vẫn còn khá cao, khoảng 0,5%. Nghiên cứu ban đầu đã cho thấy, tiềm năng tạo ra sản phẩm dạng dầu sinh học ít tạp chất, có giá trị nhiệt lượng đáp ứng tiêu chuẩn dầu nhiên liệu hiện nay và có tiềm năng giảm phát thải khí oxit lưu huỳnh (SO_x), có thể phối trộn với tỷ lệ phù hợp để sử dụng cho động cơ tàu biển hay trong lò hơi các nhà máy nhiệt điện hoặc các khu công nghiệp.

Từ khóa: **dầu nhiên liệu, dầu sinh học, dịch chiết thô vỏ hạt điều.**

Chỉ số phân loại: **2.4, 2.11**

Optimisation of the bio-heavy oil production process from crude cashew nut shell liquid

Thi Minh Hong Vu*

Department of Chemistry, University of Mining and Geology, 18 Vien Street, Duc Thang Ward, Hanoi, Vietnam

Received 6 August 2025; revised 29 August 2025; accepted 5 September 2025

Abstract:

The article focuses on optimising the process, enhancing the production efficiency of bio-heavy oil from crude cashew nut shell liquid using a system of equipment lines and organic acid catalysts in order to mitigate the emission of polluting gases to the environment. After determining the optimal catalyst-to-cashew oil solution ratio at the laboratory scale, the process was tested at the pilot scale. The product oil samples were characterised with the following parameters: calorific value determined according to ASTM D240-19 exceeding 9,000 cal/kg, impurity content per ASTM D473-22 below 0.01%, and ash content per ASTM D482-19 below 0.1%. However, the water content determined according to ASTM D6304-20 remained relatively high, at about 0.5%. The preliminary results show the potential to create bio-oil products with low impurity levels and a calorific value that meets current fuel-oil standards while potentially reducing sulfur oxides (SO_x) emissions, which can be mixed at appropriate ratios for use in marine engines or in boilers at thermal power plants or industrial facilities.

Keywords: **bio-heavy oil, cashew nut shell liquid, fuel oil.**

Classification numbers: **2.4, 2.11**

Email: vuthiminhhong@humg.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Vỏ hạt điều sau khi xử lý sơ bộ (phơi khô, loại bỏ tạp chất, nghiền hoặc cắt nhỏ) dùng công nghệ ép chiết lấy dịch thô. Hỗn hợp thu được khi chưa gia nhiệt có thành phần chính là anacardic acid (có thể lên tới 70%, tùy phương pháp), cardanol và cardol, ngoài ra còn có các vết kim loại, nước và tạp chất khác [1-4]. Việc gia nhiệt sẽ loại bỏ nước, đông tụ keo nhựa cây (lignin) và làm cho nhóm carboxylic (-COOH) trong phân tử anacardic acid bị phá vỡ và chuyển hóa. Khi được gia nhiệt đến nhiệt độ 180°C, hỗn hợp chính thu được sẽ gồm các phenolic tự nhiên dạng lỏng với thành phần chính là cardanol. Sau quá trình gia nhiệt hỗn hợp dịch chiết thô từ vỏ hạt điều thu được (có thể gọi là dịch chiết vỏ hạt điều - cashew nut shell liquid - CNSL) có thành phần chính là cardanol [5]. Về nguyên tắc, các sản phẩm này đã có thể sử dụng làm nhiên liệu lò đốt, tuy nhiên, khi đốt trực tiếp không qua xử lý tinh chế sẽ gây ra nhiều tác hại không mong muốn. Thứ nhất là hư hỏng thiết bị máy móc khi dầu sử dụng lẫn quá nhiều tạp chất, hàm lượng acid và kim loại cao [6], tiếp theo là quá trình cháy và nhiệt lượng không đạt như mong muốn do dầu thu được có hàm lượng nước và độ nhớt quá cao [7]. Ngoài ra, việc tạo ra quá nhiều tạp chất sẽ gây ảnh hưởng tới môi trường, phát thải các khí NO_x, nhất là SO_x gây ô nhiễm môi trường, điều này gây ra tác dụng ngược với mục tiêu đặt ra.

Acid citric là một acid hữu cơ an toàn, ít độc, dễ phân hủy, là tác nhân dễ tạo phức với kim loại do trong cấu trúc phân tử có ba nhóm cacboxyl (-COOH) và một nhóm hydroxyl (-OH). Do tính dễ phân cực nên acid citric dễ tan trong nước, mặt khác, ngoài tính acid nó còn có tính khử nên hỗ trợ quá trình loại bỏ tạp chất. Việc sử dụng phụ gia acid hữu cơ để xử lý chế biến sâu dịch chiết CNSL được thực hiện bằng quy trình sản xuất tự động liên hoàn, kết hợp sử dụng hệ thống thiết bị cấp liệu có kiểm soát (PLC - Programmable Logic Controller: Bộ điều khiển logic lập trình) là bước cải tiến quan trọng và có tính thực tiễn phù hợp với năng lực đầu tư của doanh nghiệp nhỏ và vừa khi nâng cấp công nghệ đầu tư dây chuyền thiết bị sản xuất. Sau quá trình xử lý dầu (CNSL), thành phẩm thu được và các sản phẩm dầu mỏ (HFO) có thể phối trộn với tỷ lệ thích hợp, bổ sung các phụ gia để tạo ra dầu diesel sinh học (Bio-heavy fuel oil - BioHFO), có thể sử dụng cho động cơ tàu biển theo tiêu chuẩn của Tổ chức Hàng hải Quốc tế (IMO) [8], hay cho các lò hơi các nhà máy nhiệt điện, khu công nghiệp giảm các hỗn hợp SO_x. Bên cạnh đó, tùy thuộc vào nhu cầu của khách hàng, sản phẩm dầu CNSL có thể làm nguyên liệu tinh chế sản xuất cardanol để phục vụ công nghiệp sơn, epoxy, hay dầu gốc... [2, 5, 7]. Nghiên cứu phát triển công nghệ và sản phẩm dầu CNSL còn hướng tới mục tiêu giảm phát thải khí CO_2 gây hiệu ứng nhà kính [9], tạo giá trị gia tăng thông qua tín chỉ carbon (Carbon Credit) có giá trị cao đủ điều kiện tham gia thị trường carbon trong nước hay quốc tế. Đây chính là nghiên cứu có tiềm năng đóng góp thực tiễn vào cam kết giảm phát thải khí nhà kính và trung hòa carbon đến năm 2050 (Net zero 2050) của Chính phủ Việt Nam với cộng đồng quốc tế.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Dịch nước chiết vỏ hạt điều thô (sau đây gọi là mẫu dịch chiết thô) được lấy ngày 14/5/2024 do Công ty TNHH MTV chế biến xuất nhập khẩu Quang Minh, xã Phú Riềng, tỉnh Đồng Nai cung cấp.

Hóa chất acid thử nghiệm làm chất xúc tác là acid citric ($C_6H_8O_7$).

2.2. Nghiên cứu và lựa chọn tỷ lệ khối lượng xúc tác

Để xác định tỷ lệ xúc tác acid và mẫu CNSL thô (mẫu dịch chiết), chúng tôi tiến hành khảo trộn ở các tỷ lệ khác nhau (bảng 1), sau đó tiến hành thực hiện quy trình chế biến sâu dịch chiết bằng xúc tác trong bình phản ứng thu được hiệu suất cao nhất là 92% ở nhiệt độ 80°C trong vòng 4 giờ. Đầu tiên, đưa dịch chiết vào bình trộn. Tiếp theo, bổ sung chất xúc tác (theo tỷ lệ đã cho ở bảng 1), khuấy trộn với tốc độ 1000 vòng/phút trong bốn giờ. Tiếp tục gia nhiệt và khuấy cho đến khi nhiệt độ đạt 80°C (tăng nhiệt độ giúp phản ứng xảy ra nhanh hơn). Khi quá trình khuấy trộn hoàn tất, dầu CNSL được đưa vào phễu chiết tách, để nguội và lắng trong hai ngày, chiết lấy sản phẩm và lấy một phần đi phân tích chỉ tiêu chất lượng.

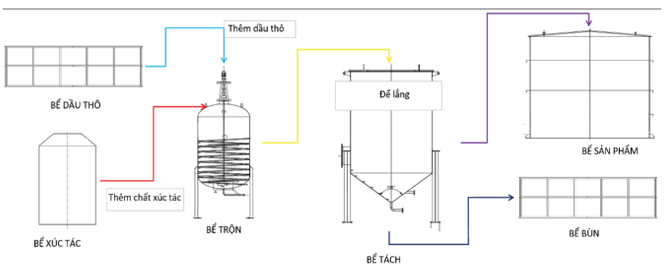
Bảng 1. Tỷ lệ xúc tác acid và mẫu dịch chiết vỏ hạt điều thô.

Thông số	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4
Lượng xúc tác acid citric ($C_6H_8O_7$) (g)	250	400	500	600
Nguyên liệu dịch chiết (g)	5000	5000	5000	5000
Tỷ lệ xúc tác/dịch chiết (%wt)	5	8	10	12
Nhiệt độ phản ứng (°C)	80	80	80	80
Thời gian phản ứng (giờ)	4	4	4	4

2.3. Mô hình công nghệ chế biến sâu dầu vỏ hạt điều ứng dụng làm dầu nhiên liệu

Sau khi xác định được tỷ lệ xúc tác/dịch chiết thô ở quy mô phòng thí nghiệm, chúng tôi đã tiến hành thực

hiện chạy pilot trên hệ thống bình chứa, bể trộn được kỹ sư Hàn Quốc đến từ Công ty TNHH Thương mại và Phát triển Anh Vinh (Việt Nam) và Công ty JY Holding (Hàn Quốc) nghiên cứu và thiết kế [10]. Thiết kế hệ thống được cải tiến theo quy trình công nghệ chia làm 2 nhánh độc lập xử lý từ khâu bơm nguyên liệu, phối trộn xúc tác, gia nhiệt, trộn, ủ, lắng, lọc cất chân không, thu hồi dầu sản phẩm và cặn chiết được thực hiện độc lập, song song với nhau và được điều khiển bởi hệ thống máy tính PLC. Đây là bước cải tiến về thiết kế cơ khí và sử dụng hệ thống điều khiển tự động để tiến hành sản xuất 24/24 giờ với số lượng nhân công giảm tối đa. Hình 1 là sơ đồ nguyên tắc của hệ thống xử lý, trong đó việc quản lý có thể thực hiện trực tuyến. Như đã đề cập ở trên, việc thay đổi công nghệ này sẽ phù hợp hơn với thực tiễn sản xuất của các doanh nghiệp vừa và nhỏ ở Việt Nam.



Hình 1. Sơ đồ quy trình công nghệ chế biến sâu dịch chiết vỏ hạt điều.

Khi quá trình xử lý được hoàn tất, dầu CNSL được đưa vào bể tách, để nguội và lắng trong 48 giờ, chiết lấy sản phẩm và đem cân để tính hiệu suất, một phần sản phẩm đem đi phân tích chất lượng.

2.4. Phương pháp xác định chỉ tiêu chất lượng

Các phương pháp xác định chỉ tiêu của dầu vỏ hạt điều được thực hiện tại Bộ môn Hóa học, Trường Đại học Mỏ - Địa chất và Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng 3 (QUATEST 3), cụ thể như sau:

- Xác định trị số acid của mẫu trước và sau khi xử lý: Sử dụng phương pháp chuẩn độ điện thế bằng dung dịch KOH 0,1 N trong isopropanol để xác định trị số acid theo tiêu chuẩn của Hiệp hội Vật liệu và Thử nghiệm Hoa Kỳ ASTM D664-18e2 [11].

- Hàm lượng tro được xác định bằng cách nung mẫu tới 775°C trong vòng 20 phút theo tiêu chuẩn ASTM D482-19 [12].

- Hàm lượng tạp chất (sediment) trong mẫu dịch chiết và mẫu dầu sau khi xử lý được xác định theo ASTM D473-22 [13].

- Hàm lượng nước được xác định bằng phương pháp chuẩn độ điện thế Karl Fischer theo ASTM D6304-20 [14];

- Xác định trị số nhiệt lượng bằng bom nhiệt lượng kế theo ASTM D240-19 [15].

- Sử dụng phương pháp huỳnh quang cực tím (UVF) để phân tích hàm lượng lưu huỳnh (S) theo tiêu chuẩn ASTM D5453-19a [16].

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Nguyên liệu dịch chiết thô vỏ hạt điều

Để nghiên cứu và đề xuất giải pháp tối ưu hóa quy trình sản xuất dầu sinh học từ dịch chiết thô vỏ hạt điều, mẫu dịch chiết sản xuất từ xã Phú Riềng, tỉnh Đồng Nai được xác định các giá trị nhiệt lượng, tạp chất, hàm lượng tro và hàm lượng nước. Kết quả được đưa ra trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả phân tích nguyên liệu đầu vào (mẫu dịch chiết thô).

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị tính	Phương pháp thử	Tiêu chuẩn (*)	Kết quả
1	Trị số acid	mg KOH/g	ASTM D664-18e2	<25	12,1
2	Hàm lượng tro	% (m/m)	ASTM D482-19	<0,1	1,2
3	Hàm lượng tạp chất	% (m/m)	ASTM D473-22	<0,5	1,84
4	Hàm lượng nước	% (v/v)	ASTM D6304-20	<0,5	1,2
5	Nhiệt lượng	cal/kg	ASTM D240-19	>9300	9295
6	Hàm lượng S	mg/kg	ASTM D5453-19a	<0,5	113

*: mặc dù không có tiêu chuẩn cụ thể cho dầu sinh học sản xuất từ CNSL của Việt Nam, nhưng có thể so sánh chỉ tiêu tương đương của dầu thu được với dầu CNSL cardanol tinh chế dựa theo các tiêu chuẩn quốc tế ASTM (Hiệp hội Vật liệu và Thử nghiệm Hoa Kỳ).

Kết quả bảng 2 cho thấy, ngoài trị số acid thì các chỉ số khác của mẫu dịch chiết vỏ hạt điều thô đều vượt cao so với tiêu chuẩn tương đương của CNSL cardanol tinh chế như hàm lượng nước và tạp chất đo được là 1,2 và 1,84% vượt quá tiêu chuẩn cho phép <0,5%; hàm lượng tro là 1,2 so với 0,1%, đặc biệt, chỉ số hàm lượng lưu huỳnh của mẫu dịch chiết vượt rất xa so với tiêu chuẩn (113 so với 0,5 mg). Ngoài ra, trị số acid của mẫu thô nằm trong giới hạn cho phép (<25 mg KOH/g), số liệu 12,1 còn khá cao, bởi vì giá trị acid cao (>10) có thể gây ăn mòn, làm giảm tuổi thọ thiết bị, ngoài ra khi gia nhiệt có thể xuất hiện bọt khí. Có thể thấy rằng, mẫu dầu điều thô chứa rất nhiều tạp chất, có khả năng ảnh hưởng tiêu cực đến độ tinh khiết và chất lượng chung của nhiên liệu.

3.2. Nghiên cứu, xác định tỷ lệ xúc tác và dầu

Chúng tôi đã tiến hành phân tích các mẫu dầu thử nghiệm khi sử dụng chất xúc tác với các tỷ lệ khác nhau, kết quả thu được thể hiện trên bảng 3.

Bảng 3. Kết quả phân tích các mẫu thử nghiệm.

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị tính	Phương pháp thử	Tiêu chuẩn (*)	Mẫu dịch chiết	Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	Mẫu 4
1	Trị số acid	mg KOH/g	ASTM D664-18e2	<25	12,1	4,1	5,1	5,92	8,7
2	Hàm lượng tro	% (m/m)	ASTM D482-19	<0,1	1,2	0,45	0,11	0,072	0,02
3	Hàm lượng tạp chất	% (m/m)	ASTM D 473-22	<0,5	1,84	0,15	0,12	<0,01	<0,01
4	Hàm lượng nước	% (v/v)	ASTM D6304-20	<0,5	1,2	0,87	0,75	0,45	0,2
5	Nhiệt lượng	cal/kg	ASTM D 240-19	>9300	9295	9475	9498	9506	9569
6	Hàm lượng S	mg/kg	ASTM D5453-19a	<0,5	113	0,05	0,036	0,02	0,009

Kết quả bảng 3 cho thấy, đối với tất cả các mẫu thử nghiệm, các chỉ tiêu acid, hàm lượng tạp chất và hàm lượng lưu huỳnh giảm rất nhanh và đạt tiêu chuẩn cho phép <0,5 mg, giá trị acid đều <25 mg KOH/g. Ngược lại, sự tăng trị số nhiệt lượng (đều >9300 cal/g) hoàn toàn phù hợp với độ giảm hàm lượng nước. Hàm lượng các chất đều giảm và sự giảm này tỷ lệ với sự tăng tỷ lệ acid/dầu, cụ thể như sau:

- Tỷ lệ 5% (mẫu 1): các chỉ tiêu còn lại là hàm lượng tro (0,45>0,1%) và hàm lượng nước (0,87>0,5%) đều không đạt. Tương tự với tỷ lệ 8% (mẫu 2), hàm lượng tro (0,11>0,1%) và hàm lượng nước (0,75>0,5%) đều không đạt.

- Tỷ lệ 10 và 12% (mẫu 3 và mẫu 4): tất cả các chỉ tiêu đều đạt tiêu chuẩn. Cụ thể, hàm lượng tro (0,072 và 0,02%<0,1%) và hàm lượng nước (0,45 và 0,2%<0,5%) đều nằm trong giới hạn cho phép. Như vậy, cả hai tỷ lệ đều phù hợp, tuy nhiên với mẫu 3 (tỷ lệ 10%) với chỉ số acid là 5,92 mg KOH/g được chúng tôi ưu tiên lựa chọn để chạy phản ứng trên quy mô pilot.

3.3. Đánh giá kết quả thử nghiệm trên quy mô pilot

Quy trình công nghệ sản xuất dầu vỏ hạt điều hiện nay ở các cơ sở sản xuất trong nước vẫn còn đơn giản, dịch chiết thu được thường có lẫn nhiều tạp chất, khoáng chất, các kim loại và nước. Hàng chủ yếu được xuất khẩu luôn hoặc chỉ xử lý sơ bộ bằng các phương pháp cơ học như lắng và lọc, dù có lợi ích thân thiện với môi trường nhưng do chất lượng thấp nên giá thành rẻ, thường xuyên bị ép giá. Để cải tiến công nghệ và nâng cao chất lượng sản phẩm, bể trộn chất xúc tác hữu cơ, xúc tác nhiệt độ có kiểm soát được sử dụng với mục tiêu giảm hàm lượng kim loại có trong dầu, loại bỏ tạp chất dạng hữu cơ, nâng cao thời gian bảo quản của dầu, qua đó nâng cao nhiệt trị của sản phẩm. Việc đổi mới công nghệ nâng cao chất lượng dầu CNSL là một quá trình khó khăn, phức tạp và đòi hỏi chi phí rất lớn. Với sự hợp tác của doanh nghiệp, đối tác Hàn Quốc và Việt Nam, việc thay đổi thiết kế cơ khí, ứng dụng công nghệ thông tin, số hóa một phần hoạt động quản lý sản xuất, hệ thống sản xuất gồm hai nhánh xử lý độc lập liên hoàn gồm bình chứa, bể trộn xúc tác, bơm khuấy chuyên dụng, bơm hút chân không, bể ủ gia nhiệt và hệ thống quản lý tự động PLC đã được đầu tư thiết kế, chế tạo và lắp đặt (hình 2-4). Đây là quy trình được thiết kế để tương thích với điều kiện sản xuất kinh doanh của doanh nghiệp Việt Nam theo chuỗi cung ứng nguyên liệu sản xuất.



Hình 2. Máy ép vỏ hạt điều trục vít.



Hình 3. Bể trộn.



Hình 4. Bể lắng.



Hình 5. Hình ảnh các mẫu sản phẩm thử nghiệm trên quy mô pilot.

Chúng tôi tiến hành chạy phản ứng trên quy mô pilot với lượng dầu thô nguyên liệu là 1000 kg. Các phản ứng được tiến hành ở nhiệt độ 80°C và khối lượng xúc tác là 100 kg. Hiệu suất sản phẩm đạt được sau khi chiết lấy là 90%, dầu thu được có màu sẫm đen (hình 5).

Hoạt tính xúc tác của các mẫu được đánh giá thông qua kết quả đo được như sau:

Bảng 4. Kết quả phân tích các mẫu thử nghiệm trên quy mô pilot.

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị tính	Phương pháp thử	CNSL thô	Kết quả
1	Trị số acid	mg KOH/g	ASTM D664-18e2	12,1	6,1
2	Hàm lượng tro	% (m/m)	ASTM D482-19	1,2	0,089
3	Hàm lượng tạp chất	% (m/m)	ASTM D473-22	1,84	<0,01
4	Hàm lượng nước	% (v/v)	ASTM D6304-20	1,2	0,5
5	Nhiệt lượng	cal/kg	ASTM D240-19	9295	9498
6	Hàm lượng S	mg/kg	ASTM D5453-19a	113	<0,1

Kết quả bảng 4 cho thấy, nếu xét về nhiệt lượng thì mẫu chất lỏng vỏ hạt điều chạy trên quy mô phòng thí nghiệm và quy mô pilot có sự khác nhau không đáng kể lần lượt là 9498 và 9506, tuy nhiên hàm lượng nước mặc dù giảm đi rất nhiều nhưng con số 0,5% vẫn còn khá cao. Điều này có thể giải thích là do hàm lượng nguyên liệu mẫu dịch chiết đưa vào có lượng nước quá lớn, nếu lượng nước lớn hơn có thể cần trải qua thêm bước tách nước. Các chỉ tiêu khác không có nhiều khác biệt so với quy mô phòng thí nghiệm, hàm lượng tro và tạp chất được giảm xuống đáng kể, đáp ứng được tiêu chuẩn dầu CNSL cardanol tinh chế.

4. Kết luận

Sử dụng acid hữu cơ làm xúc tác cho quá trình xử lý CNSL thô cho thấy, hiệu quả loại bỏ tạp chất rất tốt và lưu huỳnh gần như không có trong sản phẩm dầu CNSL. Kết quả chạy pilot không quá khác biệt so với kết quả nghiên cứu tại phòng thí nghiệm, các chỉ tiêu đều đạt tiêu chuẩn: hàm lượng tro là 0,089%<0,1%, giá trị acid 6,1 mg KOH/g<25 mg KOH/g, tạp chất <0,01% và hàm lượng lưu huỳnh <0,1%. Có thể thấy, công nghệ giúp tách loại cặn, tạp chất cơ học, hạn chế phát sinh chất thải rắn, mẫu dầu thu được có thể so sánh với tiêu chuẩn dầu CNSL cardanol tinh chế. Bên cạnh đó, việc sử dụng acid hữu cơ an toàn, có thể phân hủy sinh học để loại bỏ tạp chất cũng đóng góp cho mục tiêu bảo vệ môi trường.

LỜI CẢM ƠN

Xin trân trọng cảm ơn Công ty TNHH Thương mại và Phát triển Anh Vinh (Việt Nam) và Công ty JY Holding (Hàn Quốc) đã giúp đỡ chúng tôi hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S.K. Kyei, O. Akaranta, G. Darko, et al. (2019), "Extraction, characterization and application of cashew nut shell liquid from cashew nut shells", *Chemical Science International Journal*, **28(3)**, pp.37-49, DOI: 10.9734/CSJI/2019/v28i330143.

[2] O.A. Michael, K.O. Joseph, O.O. Olugbenga, et al. (2024), "Studies on Nigerian cashew nut shell liquid: Greening-up extraction process, chemical composition and cost effectiveness", *Sustainable Chemistry for The Environment*, **7**, DOI: 10.1016/j.scenv.2024.100139.

[3] R.N. Patel, S. Bandyopadhyay, A. Ganesh (2006), "Extraction of cashew (*Anacardium occidentale*) nut shell liquid using supercritical carbon dioxide", *Bioresource Technology*, **97(6)**, pp.847-853, DOI: 10.1016/j.biortech.2005.04.009.

[4] O.I. Sekunowo, G.U. Uduh (2022), "Extraction and physicochemical characterization of cashew nut-shell liquid in metal forming", *Nigerian Journal of Technological Development*, **19(2)**, pp.110-115, DOI: 10.4314/njtd.v19i2.2.

[5] E.G. Nyoni, P.E. Mabeyo, A.J. Kitalika (2025), "Optimising the decarboxylation of anacardic acid by exploring the temperature effects", *Journal of Chemistry*, **2025(1)**, DOI: 10.1155/joch/3394111.

[6] R.Q. Aucelio, R.M. Souza, R.C. Campos, et al. (2007), "The determination of trace metals in lubricating oils by atomic spectrometry", *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, **62(9)**, pp.952-961, DOI: 10.1016/j.sab.2007.05.003.

[7] L.A. Michael, T.O. Temilola (2022), "Utilizing cashew nut shell liquid for the sustainable production of biodiesel: A comprehensive review", *Cleaner Chemical Engineering*, **4**, DOI: 10.1016/j.clce.2022.100085.

[8] International Maritime Organisation (2023), *IMO Strategy on Reduction of Ghg Emissions from Ships*, https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/annex/MEPC%2080/Annex%2015.pdf, accessed 6 June 2025.

[9] S. Park, S. Lee, S.J. Jeong, et al. (2010), "Assessment of CO_2 emissions and its reduction potential in the Korean petroleum refining industry using energy-environment models", *Energy*, **35(6)**, pp.2419-2429, DOI: 10.1016/j.energy.2010.02.026.

[10] J. Won-sang, H. Seung-man, N.H. Cuong (2025), *A Bio Heavy Oil Production Method*, DOI: 10.8080/1020250019996.

[11] American Society for Testing and Materials (2018), *Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration*, ASTM D664-18e2, ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.

[12] American Society for Testing and Materials (2019a), *Standard Test Method for Ash from Petroleum Products*, ASTM D482-19, ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.

[13] American Society for Testing and Materials (2022), *Standard Test Method for Sediment in Crude Oils and Fuel Oils by The Extraction Method*, ASTM D473-22, ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.

[14] American Society for Testing and Materials (2020), *Standard Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration*, ASTM D6304-20, ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.

[15] American Society for Testing and Materials (2019b), *Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter*, ASTM D240-19, ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.

[16] American Society for Testing and Materials (2019c), *Standard Test Method for Determination of Total Sulfur in Light Hydrocarbons, Spark Ignition Engine Fuel, Diesel Engine Fuel, and Engine Oil by Ultraviolet Fluorescence*, ASTM D5453-19a, ASTM International: West Conshohocken, PA, USA.

Tình trạng dinh dưỡng ở học sinh 11-14 tuổi tại 6 trường trung học cơ sở huyện Nhà Bè, TP. Hồ Chí Minh năm 2024

Trần Thị Lan[1*], Nguyễn Ngọc Quỳnh Hương[2], Phạm Thị Dung[3], Vũ Thế Lộc[3], Trần Thị Nữ[3]

[1]Trường Đại học Quốc tế Hồng Bàng, 215 Điện Biên Phủ, phường Gia Định, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam
[2]Trung tâm Y tế Nhà Bè, xã Nhà Bè, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam
[3]Trường Đại học Y Dược Thái Bình, 373 Lý Bôn, phường Trần Lãm, tỉnh Hưng Yên, Việt Nam

Ngày nhận bài 2/6/2025; ngày chuyển phản biện 5/6/2025; ngày nhận phản biện 23/6/2025; ngày chấp nhận đăng 1/7/2025

Tóm tắt:

Mục tiêu: Đánh giá tình trạng dinh dưỡng ở học sinh 11-14 tuổi tại 6 trường trung học cơ sở huyện Nhà Bè, TP. Hồ Chí Minh năm 2024 (trước sáp nhập). Phương pháp nghiên cứu: Nghiên cứu mô tả cắt ngang các đối tượng là học sinh trong độ tuổi từ 11 đến 14. Nhóm nghiên cứu đã thực hiện các phép đo nhân trắc học nhằm đánh giá tình trạng dinh dưỡng của trẻ em theo bảng phân loại Z-score của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) năm 2007 cho trẻ 10-19 tuổi. Kết quả: Tỷ lệ suy dinh dưỡng thể thấp còi ở mức rất thấp là 1,84%, trong đó mức độ nặng chỉ chiếm 0,21%; tình trạng suy dinh dưỡng thể gầy còm cũng hiếm gặp với tỷ lệ chung là 2,2%. Tỷ lệ thừa cân và béo phì chiếm tỷ lệ cao, lần lượt là 45,7 và 22,2%. Tỷ lệ thừa cân ở nam và nữ tương đương nhau (41,6 và 41,4%). Tỷ lệ béo phì của nam là 28,3%, cao hơn gấp đôi so với nữ là 13,5% (p<0,05). Biểu đồ tăng trưởng theo giá trị Z-score chiều cao theo tuổi có xu hướng lệch phải nhưng đỉnh vẫn thấp hơn so với chuẩn tăng trưởng WHO, đặc biệt rõ rệt ở nhóm trẻ nam. Biểu đồ tăng trưởng theo giá trị Z-score chỉ số khối cơ thể (BMI) theo tuổi ở cả nam và nữ đều lệch phải rõ rệt và cao hơn so với chuẩn tăng trưởng.

Từ khóa: **béo phì, gầy còm, Nhà Bè, suy dinh dưỡng, thấp còi, thừa cân, TP. Hồ Chí Minh.**

Chỉ số phân loại: **3.1, 3.3**

Nutritional status of students aged 11-14 years at six lower secondary schools in Nha Be district, Ho Chi Minh city in 2024

Thi Lan Tran[1*], Ngoc Quynh Huong Nguyen[2], Thi Dung Pham[3], The Loc Vu[3], Thi Nu Tran[3]

[1]Hong Bang International University, 215 Dien Bien Phu Street, Gia Dinh Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam
[2]Nha Be Medical Centre, Nha Be Commune, Ho Chi Minh City, Vietnam
[3]Thai Binh University of Medicine and Pharmacy, 373 Ly Bon Street, Tran Lam Ward, Hung Yen Province, Vietnam

Received 2 June 2025; revised 23 June 2025; accepted 1 July 2025

Abstract:

Objective: To evaluate the nutritional status of students aged 11-14 years at six lower secondary schools in Nha Be district, Ho Chi Minh city, in 2024 (before the administrative merger). Methods: A cross-sectional descriptive study was conducted among students aged 11-14 years. Anthropometric measurements were performed to evaluate the nutritional status of children based on the World Health Organisation (WHO) 2007 growth reference Z-scores for children and adolescents aged 10 to 19 years. Results: The prevalence of stunting was low at 1.84%, with severe stunting accounting for only 0.21%. Wasting was also rare, with an overall prevalence of 2.2%. In contrast, the prevalence of overweight and obesity was high, at 45.7 and 22.2%, respectively. The prevalence of overweight was similar in boys (41.6%) and girls (41.4%). However, the prevalence of obesity in boys (28.3%) was more than twice that in girls (13.5%) (p<0.05). The height-for-age Z-score distribution demonstrated a rightward shift, although the peak remained lower than the WHO growth reference, particularly among male students. In contrast, the BMI-for-age Z-score distribution showed a pronounced rightward shift for both boys and girls, with values exceeding the WHO reference.

Keywords: **Ho Chi Minh city, malnutrition, Nha Be, obesity, overweight, stunting, wasting.**

Classification numbers: **3.1, 3.3**

[*]Tác giả liên hệ: Email: lantt@hiu.vn

1. Đặt vấn đề

Giai đoạn 11-14 tuổi là thời kỳ đầu của tuổi dậy thì, đặc trưng bởi sự phát triển nhanh chóng về thể chất và tâm sinh lý. Đây cũng là giai đoạn nhạy cảm về nhu cầu dinh dưỡng, đòi hỏi năng lượng và vi chất đầy đủ để đảm bảo tăng trưởng và phát triển toàn diện.

Trên thế giới, tình trạng thừa cân và béo phì ở trẻ em và thanh thiếu niên cũng đang là xu hướng toàn cầu. Một phân tích tổng hợp trên quy mô lớn do tác giả X. Zhang và cs (2024) [1] thực hiện từ 2.033 nghiên cứu với hơn 45 triệu trẻ em từ 154 quốc gia cho thấy tỷ lệ béo phì trung bình ở trẻ em và thanh thiếu niên là 8,5%, thừa cân là 14,8%. Đặc biệt, tỷ lệ này tăng nhanh trong giai đoạn 2012-2023, tăng gấp 1,5 lần so với giai đoạn 2000-2011 và cao hơn đáng kể ở các quốc gia có thu nhập cao hoặc chỉ số phát triển con người (HDI) ≥0,8.

Béo phì ở tuổi thiếu niên là yếu tố dự báo cho tình trạng béo phì ở tuổi trưởng thành. Một đánh giá hệ thống và phân tích tổng hợp của A.S. Kelly và cs (2024) [2] chỉ ra rằng, trẻ em béo phì có nguy cơ cao gấp 5 lần tiếp tục bị béo phì khi trưởng thành và khoảng 80% thanh thiếu niên béo phì vẫn sẽ tiếp tục mang tình trạng này ở tuổi trưởng thành. Tuy nhiên, cũng theo nghiên cứu này, 70% người lớn béo phì không bị béo phì từ thời thơ ấu, cho thấy rằng các chiến lược can thiệp cần bao phủ rộng hơn, thay vì chỉ tập trung vào nhóm trẻ đã thừa cân-béo phì [2]. Tại khu vực Đông Nam Á, nhóm tác giả nghiên cứu trên nhóm trẻ 6-17 tuổi tại Campuchia cho kết quả tỷ lệ thấp còi là 33,2%, với sự chênh lệch rõ rệt giữa khu vực nông thôn (36,4%) và thành thị (20,4%) [3].

Tại Việt Nam, tình trạng suy dinh dưỡng ở trẻ em đã có xu hướng giảm trong những năm gần đây, nhưng đồng thời, tỷ lệ thừa cân và béo phì lại tăng nhanh, đặc biệt ở khu vực thành thị. Theo nghiên cứu của L.T.N. Trinh và cs (2024) [4] tại một trường trung học cơ sở ở tỉnh Vĩnh Long, tỷ lệ thừa cân và béo phì lần lượt là 24,36 và 19,26%. Tình trạng này phản ánh sự mất cân bằng trong lối sống, chế độ dinh dưỡng và hoạt động thể chất ở học sinh tuổi dậy thì hiện nay.

Ngược lại, tại các khu vực miền núi, tình trạng suy dinh dưỡng vẫn là vấn đề cấp bách. Nghiên cứu của tác giả N.S. Tu và cs (2023) [5] trên 4.069 học sinh dân tộc bán trú tại tỉnh Điện Biên cho thấy, Z-score chiều cao theo tuổi (HAZ) trung bình ở trẻ trai là -1,94±1,08 và trẻ gái là -1,89±0,97, sát với ngưỡng suy dinh dưỡng thể thấp còi. Các chỉ số về cân nặng và chiều cao đều thấp hơn so với chuẩn WHO, đặc biệt ở nhóm trẻ 13-14 tuổi.

Hiện tượng "gánh nặng kép" về dinh dưỡng vừa suy dinh dưỡng, vừa thừa cân - béo phì đang ngày càng phổ biến ở lứa tuổi học đường tại Việt Nam. Bên cạnh đó, các yếu tố như giới tính, tuổi, mức độ vận động thể lực và môi trường sống cũng góp phần ảnh hưởng đến tình trạng dinh dưỡng ở học sinh. Do đó, việc đánh giá tình trạng dinh dưỡng và các yếu tố liên quan ở nhóm tuổi 11-14 không chỉ giúp phát hiện sớm các vấn đề sức khỏe, mà còn góp phần định hướng các chương trình can thiệp dinh dưỡng học đường phù hợp theo bối cảnh địa phương.

Vì vậy, chúng tôi tiến hành nghiên cứu "Tình trạng dinh dưỡng ở học sinh 11-14 tuổi tại 6 trường trung học cơ sở huyện Nhà Bè, TP. Hồ Chí Minh năm 2024" nhằm mô tả tình trạng suy dinh dưỡng, từ đó đề xuất các biện pháp can thiệp ưu tiên bao gồm chăm sóc sức khỏe và dinh dưỡng.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Nghiên cứu được tiến hành tại 6 trường trung học cơ sở tại huyện Nhà Bè, TP. Hồ Chí Minh, trong tháng 11/2024 trên các học sinh độ tuổi 11-14 thỏa mãn các điều kiện:

- Học sinh, gia đình, nhà trường tự nguyện đồng ý tham gia.

- Tiêu chuẩn loại trừ: Các trường hợp ngoài độ tuổi 11-14 tuổi, các học sinh bị khiếm khuyết về hình thể.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thiết kế nghiên cứu: Nghiên cứu mô tả cắt ngang.

Cỡ mẫu nghiên cứu: Chọn mẫu toàn bộ các học sinh từ lớp 6 đến lớp 9 tại các trường theo danh sách.

Phương pháp chọn mẫu:

- Chọn địa bàn nghiên cứu tại huyện Nhà Bè, TP. Hồ Chí Minh.

- Chọn trường: Tại địa bàn huyện có 8 trường trung học cơ sở, chúng tôi chọn 6/8 trường với tổng số 4.214 học sinh được đánh giá tình trạng dinh dưỡng. Hai trường còn lại có số học sinh ít, chiếm dưới 5% tổng số học sinh của huyện nên chúng tôi không lựa chọn vào nghiên cứu.

- Chọn đối tượng: Lập danh sách toàn bộ học sinh lớp 6-9 của 6 trường, chọn đối tượng theo phương pháp chọn mẫu toàn bộ. Sau khi loại bỏ các đối tượng theo tiêu chuẩn loại trừ, chọn được 4.214 học sinh.

2.3. Các biến số, chỉ số nghiên cứu

- Biến số: tuổi, giới, chiều cao, cân nặng, chỉ số khối cơ thể (BMI).

- Chỉ số: tỷ lệ thấp còi, gầy còm, thừa cân, béo phì.

2.4. Phương pháp thu thập thông tin

Thu thập về một số chỉ số nhân trắc: Kỹ thuật đo nhân trắc theo hướng dẫn của Bộ Y tế và nhà sản xuất.

- Cân nặng: Sử dụng cân SECA của Đức.

- Chiều cao: Sử dụng thước gỗ của UNICEF (chuẩn hóa), ghi ngay sau khi đo, làm tròn đến 0,1 cm, nếu đo 2 lần chênh lệch >0,5 cm thì đo lần thứ 3, ghi kết quả trung bình của 2 lần gần nhau nhất.

Đánh giá thừa cân, béo phì và suy dinh dưỡng: Theo bảng phân loại Z-score của WHO 2007 cho trẻ từ 10 đến 19 tuổi:

Đánh giá chỉ số Z-score chiều cao theo tuổi:

- SDD thể thấp còi mức độ vừa: Z-score<-2 SD đến -3SD.

- SDD thể thấp còi mức độ nặng: Z-score<-3SD.

- Tình trạng dinh dưỡng bình thường: -2SD≤Z-score≤+1 SD.

Đánh giá chỉ số Z-score BMI theo tuổi:

- SDD thể gầy còm mức độ vừa: Z-score<-2SD đến -3SD.

- SDD thể gầy còm mức độ nặng: Z-score<-3SD.

- Tình trạng dinh dưỡng bình thường: -2SD≤Z-score≤+1SD.

- Thừa cân: +1SD<Z-score<+2 SD.

- Béo phì: Z-score ≥+2 SD.

2.5. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu được mã hóa, làm sạch và nhập trên phần mềm Excel. Sử dụng phần mềm WHO Anthro Plus để đánh giá tình trạng dinh dưỡng. Sau đó số liệu được trích xuất và xử lý trên phần mềm SPSS 20.0. Sử dụng các test thống kê, kiểm định Chi bình phương.

2.6. Sai số và khống chế sai số

Sử dụng các công cụ chuẩn (cân, thước), sử dụng kỹ thuật chuẩn xác, thực hiện đúng theo thường quy, tập huấn kỹ thuật và thống nhất phương pháp điều tra trong thu thập số liệu.

3. Kết quả

Nghiên cứu được thực hiện trên 4.214 học sinh trung học cơ sở, trong đó nam là 58,7% và nữ là 41,3%. Tỷ lệ nam/nữ là 1,25. Phân bố theo độ tuổi: 12 tuổi chiếm tỷ lệ cao nhất (33,0%), tiếp theo là 11 tuổi (28,6%), 13 tuổi (24,1%) và 14 tuổi (14,3%). Có sự chênh lệch giữa các nhóm tuổi trong nghiên cứu do sự ảnh hưởng của việc loại bỏ một số đối tượng học sinh lớp 9 trên 14 tuổi, một phần có thể do sự lựa chọn năm sinh nên số học sinh khác nhau qua các năm.

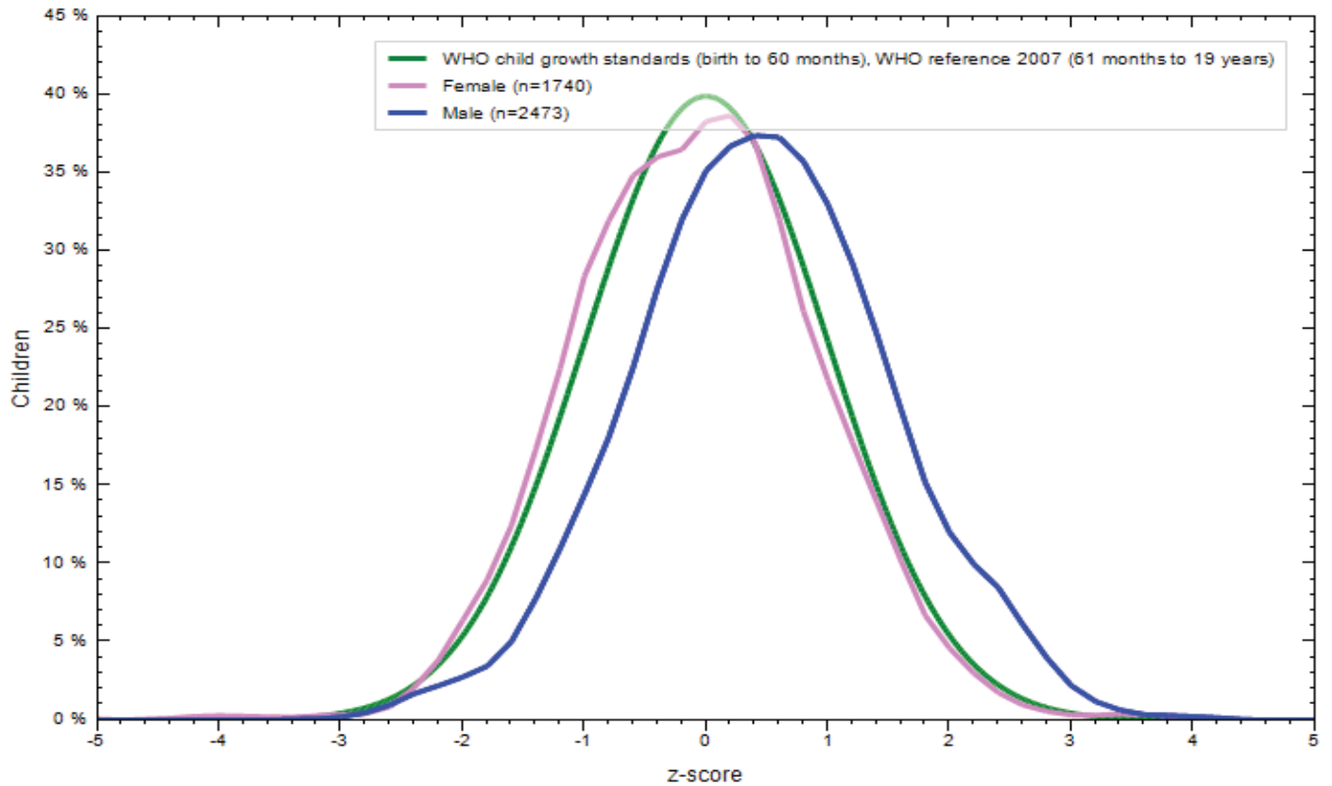
Bảng 1. Thông tin chung của đối tượng nghiên cứu.

Đặc điểm		Số lượng	Tỷ lệ (%)
Giới tính	Nam	2474	58,7
	Nữ	1740	41,3
	Tổng số	4214	100,0
Trường trung học cơ sở	Hai Bà Trưng	1337	31,7
	Hiệp Phước	440	10,4
	Nguyễn Bỉnh Khiêm	769	18,2
	Nguyễn Thị Hương	536	12,7
	Lê Văn Hưu	680	16,1
	Lê Thành Công	452	10,7
Tuổi	11	1204	28,6
	12	1392	33,0
	13	1014	24,1
	14	604	14,3

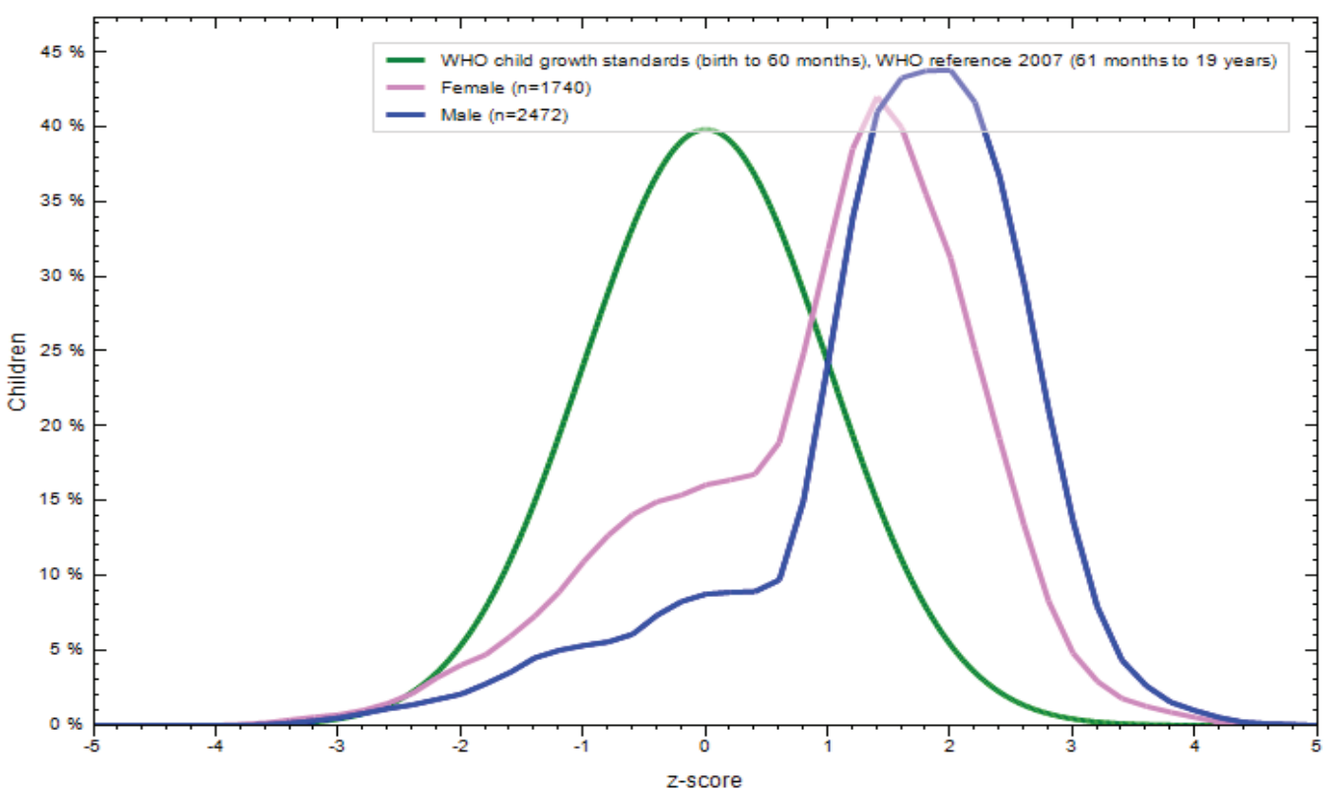
Kết quả bảng 2 cho thấy, cân nặng và chiều cao trung bình có xu hướng tăng dần theo tuổi ở cả hai giới, phản ánh đặc điểm tăng trưởng thể chất bình thường trong giai đoạn dậy thì. Ở nhóm nữ, cân nặng tăng từ 48,3±10,9 kg ở tuổi 11 lên 57,6±12,2 kg ở tuổi 14; chiều cao tăng từ 150,9±6,9 lên 156,2±5,5 cm. Ở nhóm nam, các chỉ số tương ứng là 51,7±11,4 lên 67,6±14,1 kg về cân nặng và 150,3±7,9 lên 166,6±6,7 cm về chiều cao.

Bảng 2. Cân nặng, chiều cao, chỉ số khối cơ thể trung bình theo tuổi và giới tính.

Tuổi, giới	Số lượng (n)	Cân nặng (kg) (x̄±SD)	Chiều cao (cm) (x̄±SD)	Chỉ số khối cơ thể (x̄±SD)
Nhóm nữ				
11	Nữ (508)	48,3±10,9	150,9±6,9	21,1±3,9
12	Nữ (547)	52,8±11,8	153,7±6,37	21,26±4,33
13	Nữ (437)	54,3±12,3	155,1±6,0	22,4±4,45
14	Nữ (248)	57,6±12,2	156,2±5,45	23,5±4,4
Nhóm nam				
11	Nam (696)	51,7±11,4	150,3±7,9	22,7±3,9
12	Nam (845)	56,7±12,0	156,2±7,8	23,0±4,0
13	Nam (577)	61,2±14,0	161,6±7,7	23,3±4,46
14	Nam (356)	67,6±14,1	166,6±6,7	24,2±4,3



Hình 1. Phân bố Z-score chiều cao theo tuổi của trẻ em so với chuẩn tăng trưởng của Tổ chức Y tế thế giới.



Hình 2. Phân bố Z-score chỉ số khối cơ thể theo tuổi của trẻ em so với chuẩn tăng trưởng của Tổ chức Y tế thế giới.

Chỉ số khối cơ thể (BMI) cũng ghi nhận sự gia tăng nhẹ theo tuổi ở cả hai giới (hình 1). BMI trung bình ở nam giới cao hơn so với nữ giới ở tất cả các nhóm tuổi, điều này phù hợp với đặc điểm sinh lý học ở nam trong giai đoạn dậy thì, khi khối lượng cơ thường phát triển mạnh hơn so với nữ.

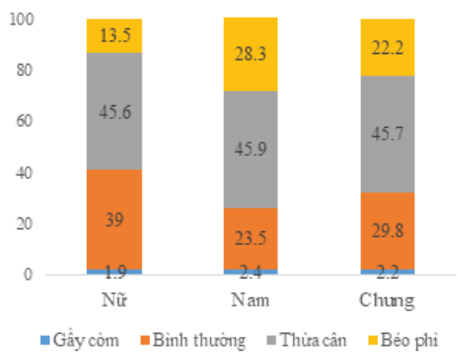
Giá trị Z-score chiều cao theo tuổi của trẻ em trong quần thể khảo sát có xu hướng lệch phải cho thấy trung bình đã tốt hơn nhưng đỉnh giá trị Z-score vẫn thấp hơn so với chuẩn tăng trưởng WHO, đặc biệt rõ rệt ở nhóm trẻ nam.

Chỉ số khối cơ thể theo tuổi của cả trẻ nam và nữ đều lệch phải so với chuẩn WHO (hình 2), phản ánh xu hướng thừa cân và béo phì trong quần thể khảo sát, trẻ nam có đỉnh phân bố cao hơn và lệch phải rõ hơn so với nữ, cho thấy tỷ lệ thừa cân/béo phì ở nam cao hơn.

Bảng 3. Tình trạng suy dinh dưỡng thể thấp còi.

Nội dung	Số lượng (n)	Tỷ lệ (%)
Thấp còi nặng	9	0,21
Thấp còi nhẹ	69	1,63
Thấp còi chung	78	1,84

Trong tổng số đối tượng nghiên cứu, tỷ lệ suy dinh dưỡng thể thấp còi là 1,84%. Thấp còi nặng chiếm tỷ lệ rất thấp (0,21%) cho thấy, số trẻ có mức Z-score chiều cao/tuổi dưới -3SD là không đáng kể. Thấp còi nhẹ chiếm 1,63%, là nhóm chiếm tỷ lệ cao nhất trong các mức suy dinh dưỡng thể thấp còi (bảng 3).



Hình 3. Tình trạng dinh dưỡng theo Chỉ số khối cơ thể theo tuổi.

Tỷ lệ suy dinh dưỡng thể gầy còm ở cả hai giới đều thấp, với nữ là 1,9% và nam là 2,4%. Tỷ lệ thừa cân và béo phì chiếm đa số, lần lượt là 45,6 và 13,5% ở nữ; 45,9 và 28,3% ở nam (hình 3). Nam sinh có tỷ lệ béo phì cao gấp đôi nữ sinh (28,3 so với 13,5%), trong khi tỷ lệ bình thường ở nữ cao hơn đáng kể so với nam (39,0 so với 23,5%).

Điều này phản ánh xu hướng thừa cân, béo phì nổi bật hơn ở nhóm học sinh nam, vì vậy đây là vấn đề dinh dưỡng cần được ưu tiên can thiệp. Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p<0,05$) phản ánh mối liên quan giữa giới tính và tình trạng dinh dưỡng.

4. Bàn luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy tỷ lệ suy dinh dưỡng thể thấp còi và gầy còm trong quần thể học sinh trung học cơ sở tại huyện Nhà Bè, TP. Hồ Chí Minh ở mức thấp, trong khi tỷ lệ thừa cân và béo phì lại chiếm ưu thế rõ rệt, phản ánh rõ nét tình trạng gánh nặng kép về dinh dưỡng ở lứa tuổi học đường hiện nay.

Tỷ lệ suy dinh dưỡng thể thấp còi trong nghiên cứu này chỉ chiếm 1,84%, bao gồm 0,21% mức độ nặng và 1,63% mức độ vừa. Con số này thấp hơn đáng kể so với các nghiên cứu quốc tế. Cụ thể, nghiên cứu tại Ai Cập ghi nhận tỷ lệ thấp còi lên tới 34,2% [6], trong khi tại Burkina Faso và Campuchia, tỷ lệ này lần lượt là 29,4 và 33,2% [3, 7]. So với trong nước, tỷ lệ thấp còi của học sinh huyện Nhà Bè cũng thấp hơn nhiều so với nghiên cứu tại Trường Trung học Cơ sở Phú Nghĩa, Chương Mỹ, Hà Nội (5,7%) [8] và nghiên cứu của L.T.N. Trinh và cs (2024) [4] trên học sinh Trường Trung học cơ sở Nguyễn Trường Tộ năm 2023, tại tỉnh Vĩnh Long cho kết quả 3,94%. Kết quả nghiên cứu tương đồng với nghiên cứu tại hai quận nội thành Hà Nội năm 2020 (0,9%) [9]. Điều này có thể phản ánh sự cải thiện điều kiện sống, dinh dưỡng và chăm sóc trẻ em tại các đô thị lớn như TP. Hồ Chí Minh, nhưng đồng thời cũng có thể do sự khác biệt trong phương pháp nghiên cứu, tiêu chí đánh giá và nhóm tuổi khảo sát.

Về tình trạng suy dinh dưỡng thể gầy còm, tỷ lệ chung là 2,2%. Con số này thấp hơn đáng kể so với tỷ lệ ghi nhận tại Burkina Faso (11,2%) [7], Brazil (<3%) [10], cũng như tại một số địa phương trong nước như Phú Nghĩa, Chương Mỹ, Hà Nội (9,3%), TP Huế (11,9%) [11] và nghiên cứu của N.N. Cam và cs (2017) [12] tại Hà Nội (7,59%). Những kết quả này cho thấy, tình trạng suy dinh dưỡng đang dần được kiểm soát, nhất là ở nhóm học sinh trung học cơ sở tại các khu vực có tốc độ đô thị hóa cao như TP. Hồ Chí Minh.

Ngược lại, tình trạng thừa cân và béo phì lại chiếm tỷ lệ rất cao, lần lượt là 45,7 và 22,2%, tổng cộng đến 67,9% học sinh vượt chuẩn BMI theo tuổi. So với nghiên cứu tại TP. Hồ Chí Minh năm 2015 với tỷ lệ thừa cân, béo phì là 41,4%, kết quả của nghiên cứu này cho thấy xu hướng gia tăng nhanh chóng và đáng lo ngại tình trạng thừa cân, béo phì. Cũng cần lưu ý rằng, nghiên cứu tại Hà Nội năm 2020 cho thấy tỷ lệ thừa cân và béo phì lần lượt là 25,2 và 13,2% [9], thấp hơn đáng kể so với kết quả tại huyện Nhà Bè, cho thấy khu vực miền Nam, đặc biệt là TP. Hồ Chí Minh, có nguy cơ cao hơn về thừa cân - béo phì học đường.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, tỷ lệ thừa cân và béo phì chiếm đa số, lần lượt là 45,6 và 13,5% ở nữ; 45,9 và 28,3% ở nam. Nam sinh có tỷ lệ béo phì cao gấp đôi nữ sinh (28,3 so với 13,5%), trong khi tỷ lệ bình thường ở nữ cao hơn đáng kể so với nam (39,0 so với 23,5%), phù hợp với xu hướng được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu trước đó [9]. Sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê ($p<0,05$) cho thấy giới tính là yếu tố có liên quan đến tình trạng dinh dưỡng, cần được xem xét trong các chiến lược can thiệp dinh dưỡng học đường.

Đường cong chuẩn tăng trưởng chiều cao của nữ gần trùng với đường cong chuẩn của WHO nhưng đỉnh tăng trưởng thấp hơn một chút. Đường cong chuẩn tăng trưởng chiều cao của nam có xu hướng lệch phải nhưng đỉnh tăng trưởng so với WHO và so với nữ thấp hơn. Chứng tỏ, chiều cao của trẻ nam có xu hướng cải thiện, tuy nhiên vẫn còn ít trường hợp đạt mức tối ưu.

Đối chiếu với biểu đồ phân bố Z-score chiều cao theo tuổi của trẻ em so với chuẩn tăng trưởng WHO, chiều cao theo tuổi của trẻ em trong quần thể khảo sát có xu hướng thấp hơn so với chuẩn tăng trưởng WHO, đặc biệt rõ rệt ở nhóm trẻ nam. Tình trạng này phản ánh đặc trưng của gánh nặng kép về dinh dưỡng, bắt nguồn từ việc cung cấp dinh dưỡng mất cân đối, thiếu vi chất và thừa năng lượng.

Cần đặc biệt quan tâm đến chiều cao của trẻ 11-14 tuổi, vì đây là giai đoạn tăng trưởng vượt bậc trong quá trình phát triển thể chất. Việc theo dõi và can thiệp kịp thời ở giai đoạn này có vai trò then chốt trong việc đảm bảo trẻ đạt được chiều cao tối ưu khi trưởng thành

5. Kết luận

Tình trạng dinh dưỡng của học sinh trung học cơ sở từ 11 đến 14 tuổi tại huyện Nhà Bè, TP. Hồ Chí Minh cho kết quả: Tỷ lệ suy dinh dưỡng thể thấp còi ở mức rất thấp (1,84%), trong đó mức độ nặng chỉ chiếm 0,21%; tình trạng suy dinh dưỡng thể gầy còm cũng hiếm gặp, với tỷ lệ chung là 2,2%. Tỷ lệ thừa cân và béo phì ở mức rất cao, lần lượt là 45,7 và 22,2%, tỷ lệ thừa cân, béo phì ở nam lần lượt là 45,9 và 28,3% cao hơn nữ lần lượt là 45,6 và 13,5%.

Kết quả này cho thấy, trong khi suy dinh dưỡng không còn là vấn đề phổ biến tại khu vực đô thị như Nhà Bè, thì tình trạng thừa cân, béo phì đã trở thành vấn đề sức khỏe cộng đồng cần được quan tâm hàng đầu. Các can thiệp dinh dưỡng học đường trong giai đoạn tới cần tập trung kiểm soát thừa cân, béo phì thông qua giáo dục dinh dưỡng hợp lý và tăng cường hoạt động thể lực và tăng cường chiều cao cho trẻ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] X. Zhang, J. Liu, Y. Ni, et al. (2024), "Global prevalence of overweight and obesity in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis", *JAMA Pediatr.*, **178(8)**, pp.800-813, DOI: 10.1001/jamapediatrics.2024.1576.

[2] A.S. Kelly, S.C. Armstrong, M.P. Michalsky, et al. (2024), "Obesity in adolescents: A review", *JAMA,* **332(9)**, pp.738-748, DOI: 10.1001/jama.2024.11809.

[3] Y. Horiuchi, K. Kusama, S. Kanha, et al. (2018), "Urban-rural differences in nutritional status and dietary intakes of school-aged children in Cambodia", *Nutrients*, **11(1)**, DOI: 10.3390/nu11010014.

[4] L.T.N. Trinh, B.T.H. Lan (2024), "Nutritional status and some related factors among students of Nguyen Truong To Secondary School, Vinh Long province in 2023", *Journal of Nutrition and Food,* **20(2)**, pp.30-36 (in Vietnamese).

[5] N.S. Tu, H.V. Phuong, D.T. Le (2023), "Anthropometric and body composition characteristics of the children aged 11-14 at ethnic semi-boarding schools in some mountain districts, Dien Bien province, 2018", *Journal of Vietnamese Medicine*, **520(2)**, pp.53-57 (in Vietnamese).

[6] W.Y.A. Wahed, S.K. Hassan, R. Eldessouki (2017), "Malnutrition and its associated factors among rural school children in Fayoum Governorate, Egypt", *J. Environ. Public Health*, **2017**, DOI: 10.1155/2017/4783791.

[7] S. Erismann, A.M. Knoblauch, S. Diagbouga, et al. (2017), "Prevalence and risk factors of undernutrition among schoolchildren in the plateau central and centre-ouest regions of Burkina Faso", *Infect. Dis. Poverty*, **6(1)**, DOI: 10.1186/s40249-016-0230-x.

[8] N.T. Thao, N.Q. Dung (2023), "Nutritional status of children in the secondary school of Phu Nghia, Chuong My district, Ha Noi city in 2023", *Journal of Nutrition and Food*, **19(4+5)**, pp.85-91 (in Vietnamese).

[9] L.T.T. Huong, T.B. Ngoc (2022), "Nutritional status of 11-14 year-old students in two inner city districts of Hanoi in 2020", *Journal of Medical Research*, **157(9)**, pp.35-43 (in Vietnamese).

[10] W.L. Conde, C.M.D.S. Mazzeti, J.C. Silva, et al. (2018), "Nutritional status of Brazilian schoolchildren: National adolescent school-based health survey 2015", *Rev. Bras. Epidemiol.*, **21** (suppl 1), DOI: 10.1590/1980-549720180008.supl.1.

[11] N.M. Tu, H.T.B. Yen, L.T.T. Tham, et al. (2018), "Nutritional status and related factors among secondary school students in Hue City", *Journal of Medicine and Pharmacy*, **8(8)**, pp.42-51 (in Vietnamese).

[12] N.N. Cam, N.T.T. Tho, N.T.K. Anh (2017), "Rate of wasting malnutrition and some related factors in students aged 11-17 in Hanoi city in 2016", *Journal of Preventive Medicine*, **27(7)**, pp.120-123 (in Vietnamese).

Kiến thức và thực hành tự chăm sóc của người bệnh liệt nửa người sau đột quỵ não cấp tại Bệnh viện Y học cổ truyền, Bộ Công an năm 2025

Nguyễn Thị Thanh Huyền[1], Phạm Hồng Vân[2*], Phạm Thị Hồng Thi[3]

[1]Bệnh viện Y học cổ truyền, Bộ Công an, 278 Đường Lương Thế Vinh, phường Đại Mỗ, Hà Nội, Việt Nam
[2]Bệnh viện Châm cứu Trung ương, 49 Thái Thịnh, phường Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam
[3]Trường Đại học Thăng Long, phố Nghiêm Xuân Yêm, phường Định Công, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 25/7/2025; ngày chuyển phản biện 29/7/2025; ngày nhận phản biện 18/8/2025; ngày chấp nhận đăng 28/8/2025

Tóm tắt:

Đột quỵ não là hội chứng lâm sàng khởi phát đột ngột các triệu chứng tổn thương não, thường khu trú, kéo dài trên 24 giờ hoặc tử vong trước 24 giờ. Hiện nay, đột quỵ não là nguyên nhân hàng đầu gây tàn tật ở người trưởng thành để lại nhiều di chứng nhưng các nghiên cứu chuyên sâu về kiến thức và thực hành tự chăm sóc của người bệnh liệt nửa người sau đột quỵ não tại Việt Nam còn hạn chế. Nghiên cứu được tiến hành mô tả kiến thức và thực hành tự chăm sóc của người bệnh liệt nửa người sau đột quỵ não cấp điều trị tại Bệnh viện Y học cổ truyền, Bộ Công an năm 2025. Kết quả cho thấy, người bệnh liệt nửa người sau đột quỵ não cấp có kiến thức tương đối tốt nhưng thực hành tự chăm sóc chưa tốt: người dưới 60 tuổi có kiến thức đúng về bệnh lý đột quỵ cao gấp 4,09 lần người trên 60 tuổi; người có trình độ học vấn trung cấp trở lên có kiến thức đúng cao gấp 3,49 lần người có trình độ học vấn trung học phổ thông trở xuống; người bệnh đột quỵ trên 2 lần thực hành tự chăm sóc chưa đúng gấp 4,60 lần so với những người đột quỵ lần đầu; người chưa đủ kiến thức có nguy cơ thực hành không đúng cao gấp 9,30 lần so với nhóm có kiến thức đúng.

Từ khóa: **đột quỵ não, kiến thức tự chăm sóc, thực hành.**

Chỉ số phân loại: **3.1, 3.3**

Knowledge and self-care practices among patients with post-stroke hemiplegia at the Traditional Medicine Hospital of the Ministry of Public Security in 2025

Thi Thanh Huyen Nguyen[1], Hong Van Pham[2*], Thi Hong Thi Pham[3]

[1]Traditional Medicine Hospital, Ministry of Public Security, 278 Luong The Vinh Street, Dai Mo Ward, Hanoi, Vietnam
[2]National Hospital of Acupuncture, 49 Thai Thinh Street, Dong Da Ward, Hanoi, Vietnam
[3]Thang Long University, Nghiem Xuan Yem Street, Dinh Cong Ward, Hanoi, Vietnam

Received 25 July 2025; revised 18 August 2025; accepted 28 August 2025

Abstract:

Stroke is a clinical syndrome characterised by the sudden onset of focal neurological deficits, typically lasting more than 24 hours or leading to death within 24 hours. Currently, stroke is the leading cause of disability in adults, often resulting in significant sequelae; however, in-depth studies on the knowledge and self-care practices of patients with post-stroke hemiplegia in Vietnam remain limited. The study aimed to describe the knowledge and self-care practices of patients with post-stroke hemiplegia treated at the Traditional Medicine Hospital of the Ministry of Public Security in 2025. The results showed that patients with acute post-stroke hemiplegia had relatively good knowledge but poor self-care practices: Patients aged under 60 years were 4.09 times more likely to have correct knowledge about stroke than those aged over 60 years; patients with at least intermediate-level education or higher were 3.49 times more likely to have correct knowledge than those with upper secondary education or lower; patients with more than two stroke episodes were 4.60 times more likely to have incorrect self-care practices than those experiencing their first stroke; patients with insufficient knowledge had a 9.30-fold higher risk of incorrect self-care practices than those with adequate knowledge.

Keywords: **practices, self-care knowledge, stroke.**

Classification numbers: **3.1, 3.3**

[*]Tác giả liên hệ: Email: vankhth@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), đột quỵ não là nguyên nhân tử vong thứ ba sau ung thư và bệnh tim mạch. Sau đột quỵ não 3 tháng, 20% số người bệnh vẫn phải nằm viện, 15-30% khuyết tật vĩnh viễn [1]. Tại Việt Nam, dự báo đến năm 2030 số mắc đột quỵ não sẽ tăng 1,85 lần so với năm 2010 [2]. Sự khiếm khuyết về khả năng trong các hoạt động sinh hoạt hàng ngày của người bệnh sau đột quỵ là yếu tố quan trọng ngăn cản người bệnh tham gia vào các hoạt động của gia đình và xã hội cũng như các hoạt động hòa nhập với cộng đồng [3, 4]. Do đó, việc đánh giá nhận thức về bệnh tật cũng như mức độ tự thực hiện những công việc cơ bản trong sinh hoạt hằng ngày sẽ giúp người điều dưỡng lập kế hoạch hỗ trợ chăm sóc, tư vấn nhằm nâng cao chất lượng cuộc sống, giúp người bệnh tự tin tái hòa nhập cộng đồng sau khi xuất viện, chúng tôi tiến hành thực hiện đề tài: "Kiến thức và thực hành tự chăm sóc ở người bệnh liệt nửa người sau đột quỵ não cấp tại Bệnh viện Y học Cổ Truyền, Bộ Công an năm 2025" với mục tiêu mô tả một số đặc điểm và khảo sát kiến thức, khả năng thực hành tự chăm sóc của người bệnh liệt nửa người sau đột quỵ não điều trị tại Bệnh viện Y học Cổ Truyền, Bộ Công an năm 2025.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu được tiến hành từ tháng 2/2025 đến tháng 7/2025 tại Bệnh viện Y học Cổ Truyền, Bộ Công an trên đối tượng bệnh nhân thỏa mãn các tiêu chuẩn sau:

Tiêu chuẩn lựa chọn:

+ Bệnh nhân được chẩn đoán liệt nửa người sau đột quỵ não có cơ lực độ 1/5, 2/5, 3/5, 4/5 được đánh giá theo thang điểm sức mạnh cơ của Hội đồng Nghiên cứu Y khoa Vương quốc Anh (MRC Muscle scale) [5].

+ Bệnh nhân tỉnh táo, đủ khả năng hợp tác với thầy thuốc (điểm Glasgow≥9), trả lời được câu hỏi của người phỏng vấn, tình nguyện tham gia nghiên cứu.

Tiêu chuẩn loại trừ:

+ Bệnh nhân đang có triệu chứng nặng, đe dọa tính mạng.

+ Không có đủ năng lực hành vi, không trả lời được câu hỏi của người phỏng vấn.

+ Liệt nửa người ở mức độ 0/5, 5/5.

+ Đã từng tham gia vào nghiên cứu trước đây.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thiết kế nghiên cứu: Nghiên cứu mô tả cắt ngang.

Cỡ mẫu: Công thức ước tính cỡ mẫu theo một tỷ lệ:

$$n = Z^2_{(1-\alpha/2)} \times \frac{p \times (1 - p)}{d^2}$$

trong đó: n: cỡ mẫu tối thiểu; $Z_{1-\alpha/2}$: hệ số tin cậy, lấy α=0,05 thì $Z_{1-\alpha/2}$=1,96; p: ước đoán tỷ lệ người bệnh có kiến thức và thực hành tự chăm sóc đúng là 93% [4]; d: mức sai lệch cho phép giữa tham số và quần thể, lấy d=0,05.

Với giá trị của các dữ liệu trên thay vào công thức tính được cỡ mẫu là 100. Trong thời gian nghiên cứu, chúng tôi lựa chọn được 110 bệnh nhân đáp ứng tiêu chuẩn chọn mẫu. Mỗi người bệnh chỉ được chọn 1 lần vào nghiên cứu trong khoảng thời gian thu thập số liệu để tránh trùng lặp đối tượng nghiên cứu.

Công cụ thu thập số liệu: Bộ công cụ thu thập số liệu được nhóm nghiên cứu thiết kế với các nội dung liên quan đến kiến thức về bệnh lý đột quỵ não; về tự chăm sóc trong dinh dưỡng, luyện tập, phòng ngừa, kiểm soát các nguy cơ mắc bệnh, tự chăm sóc tâm lý, sự hỗ trợ từ gia đình xã hội và kiến thức tự chăm sóc sinh hoạt hằng ngày. Bảng câu hỏi được thử nghiệm trên một nhóm nhỏ người bệnh đạt tiêu chuẩn nghiên cứu (n=20). Phản hồi từ nhóm thử nghiệm giúp điều chỉnh lại các câu hỏi cho phù hợp hơn với thực tế và đảm bảo tính khả thi trong quá trình khảo sát.

Biến số nghiên cứu và cách đánh giá:

+ Đặc điểm chung của đối tượng nghiên cứu gồm: tuổi, giới, nghề nghiệp, bệnh kèm theo, trình độ học vấn, số lần bị đột quỵ trước đây, đánh giá bằng phỏng vấn người bệnh.

+ Kiến thức về đột quỵ và tự chăm sóc sau đột quỵ: Người bệnh được hướng dẫn đọc các câu hỏi trong bộ công cụ thiết kế sẵn và lựa chọn câu trả lời phù hợp với câu trả lời có hoặc không. Nếu trả lời là có sẽ được quy thành 1 điểm, nếu trả lời là không sẽ được quy thành 0 điểm. Tổng số điểm của mục kiến thức về đột quỵ và tự chăm sóc sau đột quỵ là 170, trong đó: kiến thức về bệnh

lý đột quỵ não (36 điểm); kiến thức tự chăm sóc trong dinh dưỡng, luyện tập, quản lý sức khỏe, phòng ngừa và kiểm soát các nguy cơ (61 điểm), kiến thức tự chăm sóc tâm lý và sự hỗ trợ từ gia đình (27 điểm), kiến thức tự chăm sóc sinh hoạt hằng ngày (46 điểm). Điểm kiến thức càng cao cho thấy người bệnh có kiến thức đầy đủ về bệnh lý đột quỵ mà họ mắc phải và được phân loại theo bảng 1.

Bảng 1. Mức đánh giá theo điểm kiến thức về đột quỵ và tự chăm sóc sau đột quỵ.

Nội dung kiến thức	Mức độ đánh giá (điểm)		
	Có kiến thức đầy đủ	*Có kiến thức*	*Chưa có kiến thức*
Kiến thức về bệnh lý đột quỵ não (36 điểm)	27-36	18-26	0-17
Kiến thức tự chăm sóc trong dinh dưỡng, luyện tập, quản lý sức khỏe, phòng ngừa và kiểm soát các nguy cơ (61 điểm)	46-61	31-45	0-30
Kiến thức tự chăm sóc tâm lý và sự hỗ trợ từ gia đình (27 điểm)	21-27	14-20	0-14
Kiến thức tự chăm sóc sinh hoạt hằng ngày (46 điểm)	35-46	23-34	0-23
Kiến thức về bệnh lý và tự chăm sóc chung (170 điểm)	124-170	86-125	0-84

+ Mức độ thực hành tự chăm sóc trong sinh hoạt hàng ngày của bệnh nhân đột quỵ não: đánh giá việc thực hành tự chăm sóc trong sinh hoạt hằng ngày theo chỉ số Barthel [6] với 10 hoạt động cơ bản của cuộc sống hàng ngày, gồm: ăn; tắm; đại tiện; tiểu tiện; vệ sinh cá nhân; mặc quần, áo; chăm sóc khi đi vệ sinh; di chuyển từ giường sang ghế và ngược lại; di chuyển trên mặt bằng; đi lên và xuống cầu thang. Mỗi hoạt động được đánh giá theo mức cá nhân có thể thực hiện một cách độc lập (10 điểm), phụ thuộc một phần (5 điểm) hoặc phụ thuộc hoàn toàn (0 điểm). Điểm Barthel là điểm tổng của các mục với tổng điểm là 100. Điểm Barthel càng cao cho thấy khả năng độc lập chức năng càng cao [4] và được chia ra các mức độ như ở bảng 2.

Bảng 2. Đánh giá mức độ tự thực hành trong sinh hoạt hàng ngày theo Barthel.

Điểm	Mức độ đánh giá
Từ 0 đến 45	Phụ thuộc hoàn toàn
Từ 50 đến 85	Phụ thuộc một phần
Từ 90 đến 100	Độc lập

Quy trình nghiên cứu: Đối tượng thỏa mãn tiêu chuẩn lựa chọn, đồng ý tham gia nghiên cứu sau 3 ngày nằm điều trị tại bệnh viện sẽ được giải thích về mục đích, ý nghĩa của nghiên cứu, trình tự các bước tham gia, ký vào phiếu chấp thuận tham gia nghiên cứu và được phỏng vấn trực tiếp bằng bộ công cụ chuẩn bị trước.

Thống kê, xử lý và phân tích số liệu: Toàn bộ thông tin trong phiếu điều tra và thông tin từ hồ sơ bệnh án được mã hóa, nhập vào file Excel trên máy tính. Các số liệu được phân tích theo phương pháp thống kê y học, sử dụng phần mềm SPSS 20.0. Áp dụng các phương pháp thống kê mô tả: tính tỷ lệ phần trăm, giá trị trung bình, độ lệch chuẩn $p<0,05$ được coi là có ý nghĩa thống kê.

Đạo đức nghiên cứu: Nghiên cứu được thực hiện sau khi đã được thông qua bởi Hội đồng đề cương và Hội đồng đạo đức nghiên cứu của Trường Đại học Thăng Long và được sự đồng ý của Bệnh viện Y học cổ truyền, Bộ Công an. Nghiên cứu được tiến hành dựa trên sự tự nguyện của đối tượng nghiên cứu. Tất cả các thông tin thu được từ đối tượng nghiên cứu được giữ bí mật và chỉ phục vụ cho mục đích nghiên cứu.

3. Kết quả

3.1. Đặc điểm của đối tượng nghiên cứu

Bảng 3. Phân bố đối tượng nghiên cứu theo đặc điểm nhân khẩu học (n=110).

Đặc điểm nhân khẩu học của đối tượng nghiên cứu		Số lượng	Tỷ lệ (%)
Nhóm tuổi	Dưới 45 tuổi	5	4,55
	Từ 45 đến 60 tuổi	25	22,73
	Trên 60 tuổi	80	72,73
	Tuổi trung bình (X±SD)	65±12,99	
Giới	Nam	70	63,64
	Nữ	40	36,36
Địa bàn dân cư	Vùng sâu, vùng xa, miền núi	0	
	Nông thôn	31	28,18
	Thị trấn, thành phố (trước sáp nhập)	79	71,82
Nghề nghiệp	Hưu trí/mất sức	57	51,82
	Lao động chân tay	42	38,18
	Lao động trí óc	11	10,00
Trình độ học vấn	Tiểu học, trung học cơ sở	33	30,00
	Trung học phổ thông	31	28,18
	Trung cấp, đại học, sau đại học	46	41,82

Kết quả bảng 3 cho thấy, bệnh nhân trên 60 tuổi chiếm đa số (72,73%), tiếp theo là nhóm từ 45 đến 60 tuổi (22,73%), chỉ có 5/110 bệnh nhân (4,55%) ở lứa tuổi dưới 45 với tuổi trung bình là 65±12,99. Tỷ lệ nam cao hơn nữ (63,64 so với 36,36%). Hầu hết cư trú tại thị trấn, thành phố (71,82%), chủ yếu đã nghỉ hưu hoặc mất sức (51,82%) và làm lao động chân tay (38,18%). Trình độ học vấn chủ yếu ở mức trung cấp trở lên (41,82%).

Bảng 4. Phân bố đối tượng nghiên cứu theo đặc điểm bệnh lý (n=110).

Đặc điểm bệnh lý		Số lượng	Tỷ lệ (%)
Bệnh lý mắc kèm	Tăng huyết áp	100	90,91
	Đái tháo đường	36	32,73
	Rối loạn lipid máu	26	23,64
	Tim mạch	6	5,45
	Khác	4	3,64
Số lần đột quỵ não trước đây	0	70	63,64
	1	29	26,36
	2	10	9,09
	3	1	0,91

Kết quả bảng 4 cho thấy, 90,91% số người bệnh mắc tăng huyết áp, tiếp theo là đái tháo đường (32,73%), rối loạn lipid máu (23,64%), mắc bệnh tim mạch (5,45%) và bệnh lý khác (3,64%). Về số lần đột quỵ, có 63,64% số người bệnh bị đột quỵ lần đầu, 26,36% bị đột quỵ lần 2.

3.2. Kiến thức bệnh lý và tự thực hành trong sinh hoạt hàng ngày của đối tượng nghiên cứu

Kết quả bảng 5 cho thấy, 79,09% số người bệnh có kiến thức đầy đủ về bệnh lý đột quỵ não với điểm trung bình là 48,63±5,32; 73,64% có kiến thức đầy đủ về chăm sóc tâm lý, hỗ trợ từ gia đình xã hội, kiến thức; 69,09% có kiến thức về phòng ngừa và kiểm soát các nguy cơ; 62,72% còn hạn chế kiến thức tự chăm sóc sinh hoạt hằng ngày. Tổng điểm kiến thức trung bình chung là 31,32±4,43 điểm.

Bảng 5. Kiến thức tự chăm sóc (n=110).

Đánh giá mức độ kiến thức / Nội dung kiến thức	Có kiến thức đầy đủ		Có kiến thức		Chưa có kiến thức		Điểm kiến thức trung bình
	n	*%*	*n*	*%*	*n*	*%*	
Kiến thức về bệnh lý đột quỵ não	87	79,09	22	20,00	1	0,91	32,05±5,33
Kiến thức tự chăm sóc dinh dưỡng, luyện tập, kiểm soát nguy cơ	76	69,09	12	10,91	22	20,00	34,03±4,36
Kiến thức tự chăm sóc tâm lý và hỗ trợ từ gia đình xã hội	81	73,64	28	25,45	1	0,91	22,33±3,24
Kiến thức tự sinh hoạt hằng ngày	69	62,72	36	32,73	5	4,55	36,85±7,71
Điểm kiến thức trung bình (X ±SD)	48,63±5,32		33,72±4,18		11,58±3,94		31,32±4,43

Bảng 6. Điểm thực hành tự chăm sóc theo thang điểm Barthel (n=110).

Mức độ tự chăm sóc / Hoạt động tự chăm sóc	Phụ thuộc hoàn toàn		Phụ thuộc một phần		Độc lập		Điểm trung bình
	n	*%*	*n*	*%*	*n*	*%*	
Ăn (0-10)	4	3,64	62	56,36	44	40,00	6,82±3,57
Tắm (0-5)	63	57,27	0	0	47	42,73	2,34±2,49
Đại tiện (0-10)	5	4,55	4	3,64	101	91,82	9,36±2,26
Tiểu tiện (0-10)	13	11,82	1	0,91	96	87,27	8,77±3,26
Vệ sinh cá nhân (0-5)	50	45,45	0	0	60	54,55	2,71±2,50
Mặc quần, áo (0-10)	16	14,55	63	57,27	31	28,18	5,95±3,49
Chăm sóc khi đi vệ sinh (0-10)	18	16,36	53	48,18	39	35,45	6,49±3,73
Dịch chuyển từ giường sang ghế và ngược lại (0-15)	4	3,64	84	76,36	22	20,00	8,77±4,77
Di chuyển trên mặt bằng (0-15)	8	7,27	80	72,72	22	20,00	9,18±4,45
Đi lên và xuống cầu thang (0-10)	45	40,91	59	53,64	6	5,45	3,23±2,92
Điểm trung bình (X ±SD)	25,14±1,85		72,24±4,52		93,46±4,26		63,62±3,16

Kết quả bảng 6 cho thấy, đa số người bệnh chưa tự làm được các hoạt động sinh hoạt hàng ngày theo thang điểm Barthel, vẫn cần có người hỗ trợ. Số người bệnh độc lập trong sinh hoạt không nhiều nhưng giá trị trung bình điểm thực hành tự chăm sóc ở nhóm này khá cao (93,46±4,26 điểm).

4. Bàn luận

4.1. Đặc điểm của đối tượng nghiên cứu

Về một số đặc điểm nhân khẩu học, qua bảng 3 cho thấy, người bệnh sau đột quỵ não từ 60 tuổi trở lên (72,73%) với tuổi trung bình 65±12,99, phù hợp nhận định của WHO về vai trò của tuổi cao như một yếu tố nguy cơ [1]. Tỷ lệ nam giới cao hơn nữ (63,64%) tương đồng với nghiên cứu của H. Yamanashi và cs (2016) [2] tại miền Trung Việt Nam. Bên cạnh đó, phần lớn người bệnh sống ở thành thị và thuộc nhóm đã nghỉ hưu hoặc mất sức lao động, tương tự kết quả nghiên cứu tại Vĩnh Long (trước sáp nhập) khi đặc điểm nhân khẩu học có ảnh hưởng rõ đến khả năng vận động và sinh hoạt sau đột quỵ [3].

Về đặc điểm số lần bị đột quỵ, số liệu ở bảng 4 cho thấy, có 63,64% bệnh nhân bị đột quỵ lần đầu, 26,36% bệnh nhân từng có một lần tái phát và 10,00% đã bị đột quỵ từ 2 lần trở lên. Tỷ lệ này phù hợp với kết quả nghiên cứu trước đây cho thấy khoảng từ 20 đến 30% bệnh nhân tái phát trong 3 đến 5 năm đầu sau đột quỵ, nhất là ở nhóm người có bệnh nền mạn tính chưa kiểm soát tốt [1, 2, 4].

Về đặc điểm bệnh lý mắc kèm của người bệnh sau đột quỵ não, các số liệu nghiên cứu được trình bày ở bảng 4 cho thấy, người bệnh liệt nửa người sau đột quỵ não có tỷ lệ mắc tăng huyết áp rất cao (90,91%), tiếp theo là bệnh đái tháo đường (32,73%) và rối loạn lipid máu (23,64%). Các bệnh lý tim mạch khác chỉ chiếm 5,45%. Đây là những bệnh lý nền được ghi nhận phổ biến ở người bệnh đột quỵ, phản ánh rõ đặc điểm sinh bệnh học, khi các yếu tố này trực tiếp liên quan đến cơ chế xơ vữa, tăng đông máu và rối loạn tuần hoàn não [1, 7]. Kết quả nghiên cứu của chúng tôi tương đồng với kết quả nghiên cứu của G.T.H. Nguyen và cs (2024) [8] tại Bệnh viện Y học cổ truyền Nghệ An cho thấy tuổi trung bình của người bệnh đột quỵ là 66,4±10,2 và đa số người bệnh chưa từng bị đột quỵ trước đó. Sự hiện diện của các bệnh lý mạn tính như tăng huyết áp và đái tháo đường là yếu tố nguy cơ cao làm tăng nguy cơ tái phát, đồng thời làm giảm khả năng phục hồi chức năng và tự chăm sóc của người bệnh [7, 8].

4.2. Kiến thức và khả năng thực hành tự chăm sóc của người bệnh sau đột quỵ não

4.2.1. Kiến thức về tự chăm sóc

Đối với kiến thức của người bệnh về bệnh lý đột quỵ não, qua bảng 5 cho thấy, có 79,09% số người bệnh có kiến thức đầy đủ về bệnh lý đột quỵ não bao gồm các nội dung như: nhận thức đúng về định nghĩa cũng như nguyên nhân đột quỵ máu não, biết biện pháp phòng ngừa như cần phải khám sức khỏe định kỳ, xác định đúng các tình huống cần đến bệnh viện ngay như đột ngột yếu liệt hoặc nói khó, đã hiểu đúng vai trò của vật lý trị liệu trong phục hồi chức năng sau đột quỵ. Chỉ có 1/110 người bệnh (0,91%) không nắm được các kiến thức này. Điều này phản ánh sự tiếp cận tốt thông tin cơ bản về bệnh đột quỵ của người dân, tính hiệu quả của các chương trình tư vấn và truyền thông trong giáo dục sức khỏe, phát hiện sớm để có can thiệp y tế kịp thời.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi khảo sát mức độ kiến thức tự chăm sóc trong phòng ngừa và kiểm soát các nguy cơ, tự chăm sóc tâm lý và hỗ trợ từ gia đình xã hội và kiến thức về tự chăm sóc sinh hoạt hàng ngày gồm biết cần thay đổi lối sống sau đột quỵ, cần phải đo huyết áp thường xuyên, phải xét nghiệm định kỳ, biết sử dụng đồ dùng hỗ trợ trong sinh hoạt, di chuyển. Kết quả ở bảng 5 cho thấy, 76/110 (69,09%) người bệnh có đầy đủ kiến thức tự chăm sóc trong phòng ngừa và kiểm soát các nguy cơ, 73,64% số người bệnh biết tự chăm sóc tâm lý và hỗ trợ của gia đình xã hội nhưng chỉ 62,72% số người bệnh có kiến thức tự sinh hoạt hàng ngày, nhưng vẫn còn 22/110 người bệnh, chiếm 20% chưa có kiến thức này. Kết quả này phản ánh một xu hướng phổ biến trong chăm sóc sau đột quỵ đó là người bệnh và gia đình chú trọng hỗ trợ thể chất hơn là chăm sóc tâm lý. Người bệnh cảm thấy không tự tin trong việc tự chăm sóc, chưa thấy được mối liên quan giữa nhận thức, sự hỗ trợ của kỹ thuật trong việc giúp họ tự thực hành cải thiện khả năng tự chăm sóc. Kết quả nghiên cứu của chúng tôi cũng tương tự nghiên cứu của N.H. Vo và cs (2020) [9] tại Bệnh viện Bạch Mai cho thấy, người bệnh có mức điểm trung bình cao ở các câu hỏi về nguyên nhân, dấu hiệu cảnh báo và yếu tố tâm lý, nhưng thấp ở các nội dung mang tính thực hành thường ngày như ăn uống, tập luyện hay phòng ngừa biến chứng. Nghiên cứu của X. Jie và cs [10] tại Trung Quốc cũng cho thấy chỉ 40-50% người bệnh sau đột quỵ có hiểu biết đầy đủ về các nội dung tự chăm sóc tại nhà như ăn uống, phòng ngừa té ngã và tập vận động cơ bản, khám sức khỏe định kỳ.

4.2.2. Khả năng thực hành tự chăm sóc bản thân

Trong nghiên cứu này, chúng tôi lượng giá mức độ người bệnh có thể hoạt động độc lập và có khả năng di chuyển trong các hoạt động sinh hoạt hằng ngày của họ để đánh giá mức độ tự chăm sóc bản thân của người bệnh sau đột quỵ bằng thang điểm Barthel gồm 10 hoạt động ăn uống, tắm rửa, chải đầu, mặc quần áo, kiểm soát ruột, kiểm soát bàng quang, đi vệ sinh, chuyển ghế, đi lại và leo cầu thang [6]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, năng lực tự chăm sóc của người bệnh sau đột quỵ não cấp có sự phân hóa rõ rệt giữa các hoạt động sinh hoạt hàng ngày; khả năng vận động của người bệnh sau đột quỵ vẫn còn nhiều hạn chế, đặc biệt ở các hoạt động đòi hỏi phối hợp vận động phức tạp, sức cơ chi dưới cũng như sự phối hợp phức tạp giữa vận động, thăng bằng và khả năng kiểm soát chi. Chỉ 20% người bệnh có thể tự di chuyển từ giường sang ghế mà không cần hỗ trợ, trong khi có đến 3,64% cần người trợ giúp hoàn toàn, với điểm trung bình là 8,77±4,07. Đây là một trong những hoạt động cơ bản phản ánh năng lực chuyển tư thế, yếu tố quan trọng trong duy trì sinh hoạt hàng ngày và phòng ngừa biến chứng như loét tỳ đè, viêm phổi do ứ đọng. Tiếp đến là các hoạt động vệ sinh, chăm sóc khi đi vệ sinh, có đến 57,27% người bệnh cần sự trợ giúp trong hoạt động này. Một điều rất khả quan đó là 91,82% số người bệnh có khả năng tự kiểm soát đại tiện, 87,27% chủ động kiểm soát tiểu tiện. Đây là hai chỉ số phản ánh chức năng cơ tròn - một trong những tiêu chí đánh giá mức độ phục hồi chức năng thần kinh sau đột quỵ. Kết quả nghiên cứu của chúng tôi tương tự nhận xét của một số tác giả khác cho rằng, hầu hết người bệnh sau đột quỵ đều gặp khó khăn trong các hoạt động cơ bản hàng ngày như ăn uống, đi lại, vệ sinh cá nhân và hầu hết phụ thuộc vào người chăm sóc, đặc biệt là các hoạt động di chuyển từ giường sang ghế, đi bộ, hoặc lên xuống cầu thang [4, 8, 9].

Kết quả trong nghiên cứu này của chúng tôi cho thấy, phần lớn người bệnh trong nghiên cứu đã đạt được mức hồi phục tương đối tốt ở hệ thần kinh tự chủ, từ đó nâng cao tính độc lập trong sinh hoạt cá nhân cơ bản, làm tăng sự tự tin của người bệnh trong quá trình tái hòa nhập xã hội.

5. Kết luận

Qua khảo sát kiến thức về bệnh lý đột quỵ và khả năng tự chăm sóc của 110 người bệnh liệt nửa người sau đột quỵ não điều trị tại Bệnh viện Y học cổ truyền, Bộ Công an từ tháng 2/2025 đến tháng 7/2025 cho thấy có 79,09% số người bệnh có đầy đủ kiến thức về bệnh lý đột quỵ não, 73,64% biết về kiến thức tự chăm sóc tâm lý và hỗ trợ từ gia đình xã hội, 69,09% người bệnh có kiến thức tự chăm sóc dinh dưỡng, luyện tập, kiểm soát nguy cơ. Sau đột quỵ, chỉ có 20% số người bệnh tự di chuyển được, 40% số người bệnh có thể tự ăn uống, 57,27% người bệnh cần sự trợ giúp trong hoạt động vệ sinh cá nhân.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] World Health Organization (2024), *Stroke, Cerebrovascular Accident*, https://www.emro.who.int/health-topics/stroke-cerebrovascular-accident/, accessed 12 March 2024.

[2] H. Yamanashi, M.Q. Ngoc, T.V. Huy (2016), "Population - Based incidence rates of first ever stroke in central Viet Nam", *PLOS ONE*, **11(8)**, pp.1-13, DOI: 10.1371/journal.pone.0160665.

[3] Q.K. Nguyen, P.T. Nguyen (2023), "Research on level of influence on motor and living function of cerebrovascular accident patients and related factors in Vinh Long city in 2022-2023", *Can Tho Journal of Medicine and Pharmacy*, **64**, pp.200-206 (in Vietnamese).

[4] P.T. Nguyen, V.T. Tran, H.T. Ta, et al. (2023), "Current status of knowledge, attitude and practice about stroke of patients and caregivers at Thai Nguyen National Hospital", *Vietnam Journal of Neurology*, **36**, pp.13-20 (in Vietnamese).

[5] J. John (1984), "Grading of muscle power: Comparison of MRC and analogue scales by physiotherapists", *Int. J. Rehabil Res.*, **7(2)**, pp.173-81.

[6] T.J. Quinn, P. Langhorne, D.J. Stott (2011), "Barthel index for stroke trials: Development, properties, and application", *Stroke*, **42(4)**, pp.1146-1151, DOI: 10.1161/STROKEAHA.110.598540.

[7] Ministry of Health (2020), *Decision No. 5331/QD-BYT Dated December 23, 2020 on Promulgating The Professional Document Guidelines for Diagnosis and Treatment of Cerebral Stroke* (in Vietnamese).

[8] G.T.H Nguyen, A.T.L. Mai (2024), "Level of independence in daily activities of stroke patients at Nghe An Traditional Medicine Hospital in 2024", *Journal of Nursing Science*, **7(5)**, pp.171-179, DOI: 10.54436/jns-ISSN:2615-9589-e_ISSN:2734-9632 (in Vietnamese).

[9] N.H. Vo, C.M. Cao, Q.N. La (2021), "Rehabilitation care needs and some factors related to the level of independence in daily activities of stroke patients when discharged from Cho Ray Hospital in 2020", *Journal of 108-Clinical Medicine and Pharmacy*, **16(1)**, pp.135-143, DOI: 10.52389/ydls.v16i1.704 (in Vietnamese).

[10] X. Jie, Z. Xing, J. Aoming, et al. (2022), "Trends and risk factors associated with stroke recurrence in China, 2007-2018", *JAMA Network Open*, **5(6)**, DOI: 10.1001/jamanetworkopen.2022.16341.

QUY ĐỊNH VỀ BÀI BÁO ĐĂNG TẢI TRÊN TẠP CHÍ

Yêu cầu chung

Bài báo gửi đăng trên Tạp chí phải là bài báo nguyên thuỷ (chưa được công bố trước đó). Tác giả không được gửi đăng bài báo trên các tạp chí khác cho đến khi có quyết định xét duyệt của Ban Biên tập.

Bài báo dài không quá 10 trang (bao gồm cả bảng biểu, ghi chú, tài liệu tham khảo và phụ lục); font chữ: Times New Roman; cỡ chữ 13; khổ giấy A4, lề trên 2 cm, lề dưới 2 cm, lề trái 3 cm, lề phải 2 cm.

Bài báo gửi qua Hệ thống gửi bài trực tuyến tại địa chỉ https://b.vjst.vn/index.php/ban_b/about/submissions hoặc có thể gửi trực tiếp đến Tạp chí (Số 115 Trần Duy Hưng, phường Yên Hòa, Hà Nội, Việt Nam) hoặc qua hòm thư điện tử: khcnvn@mst.gov.vn.

Cấu trúc của các loại bài báo khác nhau có thể thay đổi tùy theo loại hình nghiên cứu và nội dung của bài báo. Sau đây là chi tiết các thành phần chính của bài báo.

Tên bài báo

- Tên bài báo được viết bằng tiếng Việt và tiếng Anh, trên trang đầu của bài báo, in đậm, không gạch chân hay viết nghiêng.
- Tên bài báo phải ngắn gọn, rõ ràng và phù hợp với nội dung bài báo.
- Phía dưới tên bài báo là tên tác giả không viết chức danh và học hàm, học vị. Nếu có nhiều tác giả làm việc ở các cơ quan khác nhau thì tên tác giả được đánh số ([1, 2...]) ở phía trên. Dấu hoa thị (*) chỉ tác giả liên hệ, được viết ở cuối trang đầu tiên của bài báo.

Khi liệt kê cơ quan công tác của tác giả, cần nêu rõ tên cơ quan và địa chỉ cơ quan (số nhà, tên đường, phường, quận, thành phố, quốc gia) bằng tiếng Việt và tiếng Anh.

Tóm tắt

Tóm tắt bằng tiếng Việt và tiếng Anh (khoảng 160-250 từ). Nêu được mục đích, phương pháp nghiên cứu chính, kết quả nghiên cứu và kết luận chủ yếu. Từ khoá bằng cả tiếng Việt và tiếng Anh theo thứ tự alphabet (ít nhất 3 từ khóa). Chỉ số phân loại (theo hướng dẫn).

1. Đặt vấn đề/Dẫn nhập/Mở đầu

Định nghĩa vấn đề; tóm lược vấn đề nghiên cứu đã được công bố trong và ngoài nước, nêu mục tiêu nghiên cứu và giải thích sự lựa chọn đề tài và mục tiêu nghiên cứu để thấy được tính thời sự, tính khoa học và sự cần thiết của vấn đề nghiên cứu.

2. Đối tượng/Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu cần trình bày tiêu chuẩn lựa chọn, đặc điểm đối tượng nghiên cứu.

Phương pháp nghiên cứu cần nêu rõ cách tiếp cận nghiên cứu, loại hình nghiên cứu, phương pháp đo lường, công thức tính cỡ mẫu, phương pháp xử lý số liệu, mô tả kỹ các kỹ thuật tiến hành trong nghiên cứu; các quan điểm, lập luận, ý kiến tranh luận, các dẫn chứng...

3. Kết quả

Trình bày đầy đủ, khách quan các kết quả thu được sau nghiên cứu, các kết quả này phải phục vụ cho mục tiêu nghiên cứu. Các số liệu phải chính xác và khớp với nhau.

Phần kết quả nghiên cứu chỉ trình bày các kết quả nghiên cứu của đề tài, không giải thích, so sánh và bàn luận.

4. Bàn luận (phần này có thể gộp với phần kết quả)

Chủ yếu bàn luận các vấn đề liên quan đến mục tiêu đề tài.

Nhận xét, đánh giá một cách khách quan các kết quả nghiên cứu, có so sánh với các tác giả khác để khẳng định hoặc phủ định những hiểu biết đã có, qua đó nêu được những điểm mới và đóng góp của đề tài.

Dự báo hướng nghiên cứu tiếp theo và khả năng ứng dụng các kết quả nghiên cứu vào thực tiễn.

5. Kết luận

Nêu kết quả nghiên cứu chủ yếu của đề tài có tính khái quát liên quan đến mục tiêu nghiên cứu, đề xuất các vấn đề tiếp tục nghiên cứu.

PHỤ LỤC (nếu có)

Đăng tải bảng số liệu, thông tin để hỗ trợ thêm cho nội dung bài báo.

LỜI CẢM ƠN (nếu có)

Tác giả cảm ơn các tổ chức/cá nhân đã tài trợ kinh phí hoặc hỗ trợ cho nghiên cứu.

Chú thích và tài liệu tham khảo

Chú thích được đánh số theo thứ tự xuất hiện ([1, 2, 3...]) và được trình bày ngay ở cuối trang viết (footnote).

Các tài liệu tham khảo được đánh số theo thứ tự xuất hiện để chỉ dẫn chúng được trích dẫn ở đâu trong bài báo. Số thứ tự được đánh trong ngoặc vuông, ví dụ: [3] với một hoặc [2, 5, 7-9] với nhiều số chỉ dẫn.

Lưu ý:

- Đối với trích dẫn trong bài báo: tài liệu tham khảo có nhiều hơn một tác giả chỉ để tên tác giả đầu tiên và cộng sự, viết tắt là cs, ví dụ: T.V. Nguyen và cs (năm xuất bản) [thứ tự trong danh mục tài liệu tham khảo].
- Đối với danh mục tài liệu tham khảo cuối bài: tài liệu tham khảo bằng tiếng Anh, các tài liệu không phải tiếng Anh cần được dịch sang tiếng Anh và chú thích ở cuối câu, ví dụ: (in Vietnamese), (in French)...
- Tài liệu tham khảo là các đường link cần bổ sung ngày truy cập.

Tác giả (Năm xuất bản), "Tên tài liệu được trích dẫn", *Tên nguồn*, **tập(số)**, trang/số trang/trang đầu-trang cuối (nếu có), số DOI (nếu có), URL (nếu có), ngày truy cập (ghi rõ ngôn ngữ nào nếu không phải tài liệu bằng tiếng Anh).

Tác giả: là tác giả/các tác giả của tài liệu được tham khảo, trích dẫn: liệt kê đầy đủ tên tác giả (chữ viết tắt đưa lên trước) với những tài liệu tham khảo có ≤3 tác giả; liệt kê 3 tác giả đầu tiên và theo sau là "et al." khi có từ 4 tác giả trở lên.

Năm xuất bản: năm xuất bản của tài liệu được tham khảo, trích dẫn.

Tên tài liệu được trích dẫn: là tên bài báo, chương/phần sách… (chỉ viết hoa chữ cái đầu, trừ tên riêng và sau dấu hai chấm), viết trong ngoặc kép.

Tên nguồn có thể là tên tạp chí, tên sách, hay tên tài liệu gốc của tài liệu được trích dẫn (phần này được *in nghiêng*), viết hoa chữ cái đầu tiên của mỗi từ chính.

Tập(số): dành cho nguồn trích là tạp chí, sách hoặc các xuất bản phẩm khác (phần này **in đậm**).

Trang/số trang/trang đầu-trang cuối phản ánh nơi cư trú của tài liệu được trích dẫn trong tài liệu nguồn.

Nếu có ≥2 tài liệu tham khảo do cùng tác giả đầu tiên và cùng năm công bố, thì các tài liệu tham khảo này cần được đánh dấu a, b… sau năm xuất bản (ví dụ: 1986a, 1986b...).

Nếu có một số tài liệu tham khảo có cùng 1 bài báo được trích dẫn có số trang khác nhau thì cần trích dẫn thêm số trang, ví dụ: A. Amber (1982, p.39).

Chi tiết vui lòng xem thêm tại: https://b.vjst.vn/index.php/ban_b/quy-dinh-bai-viet.

Các yêu cầu khác

- Bài viết không đạt yêu cầu, Toà soạn không trả lại bản thảo.
- Bài viết chỉ được đăng khi phản biện nhận xét về chất lượng bài báo đồng ý cho đăng.
- Bản quyền: tác giả đồng ý trao bản quyền bài viết (bao gồm cả phần tóm tắt) cho Ban Biên tập Tạp chí.

Quy định này áp dụng từ năm 2022 trở đi.

PHÂN LOẠI LĨNH VỰC KHOA HỌC

1. Khoa học tự nhiên

1.1. Toán học và thống kê
1.2. Khoa học máy tính và thông tin
1.3. Vật lý
1.4. Hóa học
1.5. Khoa học trái đất và môi trường
1.6. Khoa học sự sống
1.7. Khoa học nano
1.8. Khoa học tính toán
1.9. Các lĩnh vực khác của khoa học tự nhiên

2. Khoa học kỹ thuật và công nghệ

2.1. Kỹ thuật dân dụng: kỹ thuật kiến trúc; kỹ thuật xây dựng; kỹ thuật kết cấu và đô thị; kỹ thuật giao thông vận tải; kỹ thuật thuỷ lợi; kỹ thuật địa chất công trình
2.2. Kỹ thuật điện, kỹ thuật điện tử, kỹ thuật thông tin
2.3. Kỹ thuật cơ khí, chế tạo máy
2.4. Kỹ thuật hóa học
2.5. Kỹ thuật vật liệu và luyện kim
2.6. Kỹ thuật y học
2.7. Kỹ thuật môi trường
2.8. Công nghệ sinh học công nghiệp
2.9. Công nghệ nano
2.10. Kỹ thuật thực phẩm và đồ uống
2.11. Các lĩnh vực khác của khoa học kỹ thuật và công nghệ

3. Khoa học y - dược

3.1. Y học cơ sở
3.2. Y học lâm sàng
3.3. Y học dự phòng
3.4. Dược học
3.5. Các lĩnh vực khác của khoa học y - dược

4. Khoa học nông nghiệp

4.1. Trồng trọt
4.2. Chăn nuôi
4.3. Thú y
4.4. Lâm nghiệp
4.5. Thủy sản
4.6. Công nghệ sinh học trong nông nghiệp, thủy sản
4.7. Các lĩnh vực khác của khoa học nông nghiệp

5. Khoa học xã hội và nhân văn

5.1. Tâm lý học
5.2. Kinh tế và kinh doanh
5.3. Khoa học giáo dục
5.4. Xã hội học
5.5. Pháp luật
5.6. Khoa học chính trị
5.7. Địa lý kinh tế và xã hội
5.8. Thông tin đại chúng và truyền thông
5.9. Lịch sử và khảo cổ học
5.10. Ngôn ngữ học và văn học
5.11. Triết học, đạo đức và tôn giáo
5.12. Nghiên cứu về khu vực và quốc tế
5.13. Các lĩnh vực khác của khoa học xã hội và nhân văn

TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

Vietnam Journal of Science and Technology - MOST

Volume 68 - Number 5 - May 2026

Nâng cao độ chính xác cân băng tải bằng bộ lọc Median và EMA trong xử lý tín hiệu cảm biến tải trọng.
Hoàng Ngọc Nhân, Lê Mạnh Hùng, Đặng Kiên Quyết

Tổng hợp ZnAl-LDH bằng phương pháp đồng kết tủa và nghiên cứu tính chất đặc trưng.
Cao Thị Hồng, Nguyễn Thị Thơm, Phạm Thị Năm, Phạm Đức Trung, Phạm Thị Thu Giang, Trần Đại Lâm

Xác định một số hợp chất dioxin/furan trong trầm tích tại làng nghề đúc đồng Đại Bái, tỉnh Bắc Ninh.
Bùi Quang Minh, Bùi Thị Quỳnh, Nguyễn Xuân Hưng, Lê Văn Nhân, Nguyễn Hoàng Khánh, Trần Hà Minh Đức

Nghiên cứu đặc tính ống ghép mạch máu hỗ trợ tế bào nội mô bám dính trong điều kiện nuôi cấy dòng chảy.
Lâm Minh Hoàng, Trương Thanh Vân, Nguyễn Thuần Nho, Lê Việt Hoàng, Bùi Quốc Thắng, Trần Lê Bảo Hà, Nguyễn Thị Ngọc Mỹ

Nghiên cứu khả năng sinh cordycepin và pentostatin ngoại bào của *Cordyceps militaris* trong lên men bề mặt dịch thể.
Vũ Xuân Tạo, Trần Thu Hiền, Đào Ngọc Ánh, Trần Bảo Trâm, Trương Thị Chiên, Đỗ Thị Kim Trang, Trần Văn Tuấn

Phân tích đa dạng di truyền của các giống dâu tây (*Fragaria* spp.) bằng chỉ thị phân tử RAPD.
Trịnh Ngọc Ái, Lâm Bảo Lộc, Nghị Khắc Nhu, Trần Thị Thùy Dương, Trần Thị Kim Như

Phân lập và tuyển chọn vi khuẩn lactic có đặc tính probiotic từ sữa lên men tự nhiên.
Trần Văn Chí, Nguyễn Mạnh Tuấn

Phát triển thiết bị SHM sử dụng công nghệ SMT và tối ưu truyền dữ liệu dao động.
Vũ Ngọc Quý, Lê Đăng Nam, Lại Liên Quân, Lê Xuân Lưu, Nguyễn Thúy Bình, Đào Thanh Toản

Nhân tố gây thay đổi dự án xây dựng: Bằng chứng thực nghiệm từ Việt Nam.
Hà Duy Khánh

Nghiên cứu chế tạo và tính chất của vật liệu composite silica/phenolic và carbon/phenolic.
Phạm Văn Toại, Phạm Kim Đạo, Phạm Quang Hiếu, Lê Duy Thứ

Tối ưu hóa quy trình sản xuất dầu nặng sinh học từ dịch chiết vỏ hạt điều.
Vũ Thị Minh Hồng

Tình trạng dinh dưỡng ở học sinh 11-14 tuổi tại 6 trường trung học cơ sở huyện Nhà Bè, TP. Hồ Chí Minh năm 2024.
Trần Thị Lan, Nguyễn Ngọc Quỳnh Hương, Phạm Thị Dung, Vũ Thế Lộc, Trần Thị Nữ

Kiến thức và thực hành tự chăm sóc của người bệnh liệt nửa người sau đột quỵ não cấp tại Bệnh viện Y học cổ truyền, Bộ Công an năm 2025.
Nguyễn Thị Thanh Huyền, Phạm Hồng Vân, Phạm Thị Hồng Thi

1 **Enhancing the accuracy of conveyor belt weighing systems using Median and Exponential Moving Average filters in load cell signal processing.**
Ngoc Nhan Hoang, Manh Hung Le, Kien Quyet Dang

7 **Synthesis and characterisation of ZnAl-LDH by co-precipitation.**
Thi Hong Cao, Thi Thom Nguyen, Thi Nam Pham, Duc Trung Pham, Thi Thu Giang Pham, Dai Lam Tran

14 **Identification of dioxin/furan compounds in sediments collected from the Dai Bai bronze casting village, Bac Ninh province.**
Quang Minh Bui, Thi Quynh Bui, Xuan Hung Nguyen, Van Nhan Le, Hoang Khanh Nguyen, Ha Minh Duc Tran

21 **Study on vascular grafts characteristics supporting endothelial cell attachment under flow culture conditions.**
Minh Hoang Lam, Thanh Van Truong, Thuan Nho Nguyen, Viet Hoang Le, Quoc Thang Bui, Le Bao Ha Tran, Thi Ngoc My Nguyen

28 **Study on extracellular production of cordycepin and pentostatin by *Cordyceps militaris* under liquid surface fermentation.**
Xuan Tao Vu, Thu Hien Tran, Ngoc Anh Dao, Bao Tram Tran, Thi Chien Truong, Thi Kim Trang Do, Van Tuan Tran

36 **Analysis of genetic diversity among strawberry (*Fragaria* spp.) genotypes using RAPD molecular markers.**
Ngoc Ai Trinh, Bao Loc Lam, Khac Nhu Nghi, Thi Thuy Duong Tran, Thi Kim Nhu Tran

44 **Isolation and selection of probiotic lactic acid bacteria from naturally fermented milk.**
Van Chi Tran, Manh Tuan Nguyen

52 **Development of an SMT-based SHM device and optimisation of vibration data transmission packets.**
Ngoc Quy Vu, Dang Nam Le, Lien Quan Lai, Xuan Luu Le, Thuy Binh Nguyen, Thanh Toan Dao

62 **Critical factors driving changes in construction projects: Evidence from Vietnam.**
Duy Khanh Ha

73 **Research on fabrication and properties of silica/phenolic and carbon/phenolic composites.**
Van Toai Pham, Kim Dao Pham, Quang Hieu Pham, Duy Thu Le

80 **Optimisation of the bio-heavy oil production process from crude cashew nut shell liquid.**
Thi Minh Hong Vu

85 **Nutritional status of students aged 11-14 years at six lower secondary schools in Nha Be district, Ho Chi Minh city in 2024.**
Thi Lan Tran, Ngoc Quynh Huong Nguyen, Thi Dung Pham, The Loc Vu, Thi Nu Tran

91 **Knowledge and self-care practices among patients with post-stroke hemiplegia at the Traditional Medicine Hospital of the Ministry of Public Security in 2025.**
Thi Thanh Huyen Nguyen, Hong Van Pham, Thi Hong Thi Pham

b.vjst.vn