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

TẬP 68, SỐ 8, THÁNG 8 NĂM 2026
VOLUME 68, NUMBER 8, AUGUST 2026

TẠP CHÍ KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

Vietnam Journal of Science and Technology - MOST

TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

Tập 68 - Số 8 - Tháng 8 năm 2026

B

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

Chủ tịch

Châu Văn Minh - *Liên hiệp các hội 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 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 - *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 Biology, 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
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: 200.000^{d}

EDITORIAL OFFICE

115 Tran Duy Hung Street, Yen Hoa Ward, Hanoi, Vietnam
Tel: (84.24) 39436793
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

Nghiên cứu thành phần hóa thực vật của hoa Chiều tím *Ruellia brittoniana* L.

Nguyễn Phúc Đảm[1], Ngô Việt Thắng[1], Nguyễn Văn Kiệt[2], Phùng Thị Hằng[1], Hồ Hoàng Việt[1], Thái Thị Tuyết Nhung[1], Ngô Quốc Luân[1*]

[1]Đại học Cần Thơ, khu 2, đường 3/2, phường Ninh Kiều, TP. Cần Thơ, Việt Nam
[2]Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ, 256 Nguyễn Văn Cừ, phường Cái Khế, TP. Cần Thơ, Việt Nam

Ngày nhận bài 11/8/2025; ngày chuyển phản biện 13/8/2025; ngày nhận phản biện 19/9/2025; ngày chấp nhận đăng 25/9/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm phân tích và xác định một số thành phần hóa thực vật của cao chiết từ hoa Chiều tím (*Ruellia brittoniana* L.) bằng cách áp dụng các phương pháp phân tách sắc ký kết hợp với các kỹ thuật phân tích hiện đại. Từ phân đoạn *n*-hexane, hai hợp chất lupeol (1) và 3,4-seco-friedelan-3-oic acid (2) đã được phân lập. Phân đoạn ethyl acetate đã phân lập được thêm bốn hợp chất: quercetin (3), apigenin (4), 2-O-methyl-α-D-fructofuranoside (5), và apigenin 7-O-β-D-glucuronide methyl ester (6). Việc giải đoán cấu trúc hóa học và nhận danh các hợp chất này dựa trên các số liệu phổ ESI-MS, 1H-NMR và 13C-NMR, kết hợp với việc so sánh với các tài liệu đã công bố trước đây. Trong sáu hợp chất được nhận danh có ba hợp chất 2, 5 và 6 lần đầu tiên được báo cáo hiện diện ở hoa Chiều tím. Kết quả này góp phần bổ sung hiểu biết về thành phần hóa thực vật của loài, làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo về hoạt tính sinh học, đánh giá dược lý và tiềm năng ứng dụng các hợp chất tự nhiên trong lĩnh vực dược liệu.

Từ khóa: **apigenin, cây Chiều tím, lupeol, quercetin, *Ruellia brittoniana*, 3,4-seco-friedelan-3-oic acid.**

Chỉ số phân loại: **1.4, 1.6, 3.4**

Phytochemical study of the flowers of *Ruellia brittoniana* L.

Phuc Dam Nguyen[1], Viet Thang Ngo[1], Van Kiet Nguyen[2], Thi Hang Phung[1], Hoang Viet Ho[1], Thi Tuyet Nhung Thai[1], Quoc Luan Ngo[1*]

[1]Can Tho University, Campus 2, 3/2 Street, Ninh Kieu Ward, Can Tho City, Vietnam
[2]Can Tho University of Technology, 256 Nguyen Van Cu Street, Cai Khe Ward, Can Tho City, Vietnam

Received 11 August 2025; revised 19 September 2025; accepted 25 September 2025

Abstract:

This study was conducted to analyse and determine some phytochemical components of the extract from *Ruellia brittoniana* L. flowers using chromatographic separation methods combined with modern analytical techniques. From the *n*-hexane fraction, two compounds were isolated: lupeol (1) and 3,4-seco-friedelan-3-oic acid (2). The ethyl acetate fraction afforded four additional compounds: quercetin (3), apigenin (4), 2-*O*-methyl-α-D-fructofuranoside (5), and apigenin 7-*O*-β-D-glucuronide methyl ester (6). The chemical structures of these compounds were elucidated and identified using electrospray ionisation mass spectrometry (ESI-MS), together with ^{1}H- and ^{13}C-nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopic data, in conjunction with comparisons to previously published literature. Among the identified constituents, compounds 2, 5, and 6 are reported for the first time from the flowers of *R. brittoniana* L. These findings contribute to a better understanding of the phytochemical composition of this species and serve as a basis for further research on biological activities, pharmacological potential as well as the feasibility of medicinal research on natural products.

Keywords: **apigenin, lupeol, Mexican petunia, quercetin, *Ruellia brittoniana* L., 3,4-seco-friedelan-3-oic acid.**

Classification numbers: **1.4, 1.6, 3.4**

[*]Tác giả liên hệ: Email: ngoquocluan@ctu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Cây Chiều tím có tên khoa học là *Ruellia brittoniana* (L.) [1] hay *Ruellia simplex* C. Wright, *Ruellia angustifolia*, *Cryphiacanthus angustifolius* Nees, *Ruellia tweediana* [2-4] là một loài thực vật thân thảo sống lâu năm thuộc họ Ô rô (Acanthaceae), xuất hiện phổ biến ở các vùng khí hậu nóng ẩm. Cây này thường được trồng xung quanh các tòa nhà và khu dân cư để làm cảnh. Các nghiên cứu trước đây đã chứng minh rằng *R. brittoniana* thể hiện các hoạt tính sinh học như tính chống oxi hóa [5, 6], chống ung thư [7] và chống viêm [5]. Các nghiên cứu hóa thực vật trên thế giới trước đây đã phát hiện sự hiện diện của một số hợp chất thuộc các nhóm như steroid, triterpenoid, flavonoid, lignan và một số phenolic khác [5, 8-10]. Tại Việt Nam, trước công bố này chỉ có hai bài của thành viên nhóm chúng tôi với các khảo sát bước đầu trên đối tượng hoa Chiều tím về việc ly trích hỗn hợp anthocyanin làm chất chỉ thị acid-base [11], đánh giá hàm lượng flavonoid toàn phần và khả năng chống oxi hóa của cao chiết [12]. Tuy nhiên, dữ liệu nghiên cứu toàn diện về thành phần hóa học và tiềm năng dược lý của *R. brittoniana* vẫn còn hạn chế. Nghiên cứu này nhằm mục đích bổ sung dữ liệu về việc mô tả đặc điểm hóa thực vật của loài này, đặc biệt là trong điều kiện loài này phân bố ở Việt Nam.

2. Thực nghiệm

2.1. Nguyên liệu thực vật

Hoa Chiều tím được thu thập từ Trà Ôn, tỉnh Vĩnh Long, Việt Nam vào tháng 6/2020. Trước đó, cây này đã được định danh khoa học là *R. brittoniana* L. bởi PGS.TS. Đặng Minh Quân, Khoa Sư phạm Sinh học, Trường Sư phạm, Đại học Cần Thơ vào tháng 5/2018. Mẫu vật (mã số: CTUTP-2018) đã được lưu giữ tại Phòng Thí nghiệm Hóa sinh - Hữu cơ, Khoa Sư phạm Hóa học, Trường Sư phạm, Đại học Cần Thơ.

2.2. Phương pháp thực nghiệm

2.2.1. Phương pháp sắc ký

Chiết xuất chất rắn thành chất lỏng được thực hiện với một số dung môi thông dụng như methanol, *n*-hexane và ethyl acetate. Sau đó, dịch chiết được tách dung môi dưới áp suất giảm bằng máy cô quay RE-52A (Trung Quốc).

Sắc ký lớp mỏng (TLC) sử dụng silica gel Merck 60 F254 (độ dày 0,25 mm) trên các bản mỏng nền nhôm tráng sẵn. Sự hiện diện của các hợp chất được phát hiện bằng cách quan sát dưới đèn UV ở bước sóng 254 và 365 nm, hoặc bằng cách phun sulfuric acid 10% trong ethanol và làm nóng ở 105-120^{o}C trong 1-2 phút. Đối với sắc ký cột pha thường (NP-CC), silica gel 60 (230-400 mesh ASTM, Merck) được sử dụng làm pha tĩnh. Sắc ký pha đảo (RP-CC) sử dụng silica gel RPC-18, Merck. Việc tách các hợp phần được tiến hành với các hỗn hợp dung môi tỷ lệ thay đổi (gradient) theo hướng tăng (đối với NP-CC) hoặc giảm (đối với RP-CC) dần độ phân cực từ các đơn dung môi *n*-hexane, dichloromethane, acetone và methanol. Hợp chất cô lập thường được tinh chế bằng phương pháp kết tinh trong dung môi tinh khiết.

2.2.2. Xác định công thức và nhận danh

Điểm nóng chảy được đo bằng thiết bị đo nhiệt độ nóng chảy dùng mao quản (RY-1, Trung Quốc) tại Đại học Cần Thơ. Các phổ 1D-NMR và 2D-NMR như: proton (^{1}H), carbon (^{13}C) được ghi với thiết bị FT-NMR Bruker hoạt động ở tần số 500 hoặc 600 MHz; khối phổ được phân tích bằng hệ thống HP 1100 series LC/MSD Trap (Agilent, Mỹ) tại Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam.

2.3. Tách chiết và cô lập

Hoa Chiều tím khô (1 kg) được nghiền và chiết xuất bằng methanol ở 25-28°C (5 l, bốn lần, mỗi lần 48 giờ). Dịch chiết methanol được gộp lại và cô đặc dưới áp suất giảm ở 45^{o}C rồi sấy khô ở 50^{o}C thu được 210 g cao MeOH thô. Cao chiết này được làm phân tán với nước 50^{0}C và lần lượt chiết phân bố với *n*-hexane và ethyl acetate, thu được các cao phân đoạn tương ứng *n*-hexane (18 g), ethyl acetate (26 g) và phân đoạn nước.

Cao *n*-hexane (18 g) được thực hiện NP-CC (kích thước cột: đường kính 10 cm x chiều cao 25 cm; silica gel: 0,9 kg), rửa giải bằng hệ *n*-hexane-acetone (gradient, 1:0 đến 0:1, v/v), thu được 13 phân đoạn (H1-H13). Phân đoạn H4 (0,18 g) được tinh chế thêm bằng NP-CC với *n*-hexane-dichloromethane (6:4, v/v) thu được hợp chất 1 (39 mg). Phân đoạn H10 (2,29 g) được tinh chế thêm bằng NP-CC với *n*-hexane-acetone (75:25, v/v) thu được hợp chất 2 (21 mg).

Cao ethyl acetate (26 g) cũng được thực hiện NP-CC tương tự (cùng kích thước cột và lượng silica gel) sử dụng hệ CH_2Cl_2-MeOH (gradient, 1:0 đến 0:1, v/v), thu được 12 phân đoạn con (Ea1-Ea12). Phân đoạn Ea7 (0,92 g) được tinh chế thêm bằng NP-CC với hệ CH_2Cl_2-MeOH (gradient, 1:0 đến 0:1, v/v), sau đó kết tinh lại trong methanol thu được hợp chất 3 (9 mg). Phân đoạn Ea9 (1,77 g) được tiếp tục quá trình NP-CC với hệ CH_2Cl_2-MeOH (9:1, v/v) thu được hợp chất 4 (198 mg).

Phân đoạn Ea10 (1,79 g) được tiến hành NP-CC sử dụng CH_2Cl_2-MeOH (tỷ lệ 1:0 đến 0:1, v/v), thu được 8 phân đoạn con (Ea10.1-Ea10.8). Phân đoạn Ea10.6 (480 mg) được tinh chế trên NP-CC với EtOAc-MeOH (9:1, v/v), thu được 5 phân đoạn (Ea10.6.1-Ea10.6.5). Phân đoạn Ea10.6.1 (89 mg) được tiếp tục tinh chế thêm với RP-CC, sử dụng silica gel RP-C18 và hệ MeOH-H_2O (tỷ lệ 8:2, v/v) làm pha động thu được hợp chất 5 (6 mg).

Phân đoạn Ea10.7 (149 mg) cũng được tinh chế bằng NP-CC với hệ CH_2Cl_2-MeOH (5:5, v/v) thu được hợp chất 6 (26 mg).

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Đặc tính vật lý và dữ liệu phổ

Lupeol (1): Bột vô định hình màu trắng, mp. 215-216°C. ESI-MS *m/z*: 427 $[M+H]^+$ ($C_{30}H_{50}O$). ^{1}H-NMR, ^{13}C-NMR: Xem bảng 1.

3,4-seco-friedelan-3-oic acid (2): Tinh thể màu trắng, mp. 118-120°C. HRMS m/z: 445,4102 $[M+H]^+$ ($C_{30}H_{52}O_2$). ^{1}H-NMR, ^{13}C-NMR: Xem bảng 1.

Quercetin (3): Tinh thể màu vàng, mp. 315-316°C. HRMS *m/z*: 301,0362 $[M-H]^-$ ($C_{15}H_{10}O_7$). ^{1}H-NMR, ^{13}C-NMR: Xem bảng 2.

Apigenin (4): Tinh thể màu vàng nhạt, mp.345-346°C. ESI-MS m/z: 269 $[M-H]^-$ ($C_{15}H_{10}O_5$). ^{1}H-NMR, ^{13}C-NMR: Xem bảng 2.

2-*O*-methyl-α-D-fructofuranoside (5): Bột màu trắng, mp. 119-120°C. ESI-MS *m/z*: 192,7 $[M-H]^-$, 216,8 $[M+Na]^+$ ($C_7H_{14}O_6$). ^{1}H-NMR, ^{13}C-NMR: Xem bảng 3.

Apigenin-7-*O*-β-D-glucuronide methyl ester (6): Tinh thể màu vàng nhạt, mp. 244-245°C. HRMS m/z: 459,0921 $[M-H]^-$ ($C_{22}H_{20}O_{11}$). ^{1}H-NMR, ^{13}C-NMR: Xem bảng 2.

3.2. Xác định công thức hóa học của các hợp chất phân lập

3.2.1. Hợp chất 1

Phổ ESI-MS (+) cho thấy các tín hiệu ion phân tử giả tại *m/z* 427 $[M+H]^+$ và *m/z* 409 $[M+H-H_2O]^+$, gợi ý xác định công thức phân tử là $C_{30}H_{50}O$ (MW=426 đvC, 6 độ bất bão hòa). Phổ ^{1}H-NMR cho thấy tín hiệu proton olefin tại δ_H 4,69 (1H, s) và 4,57 (1H, s), tương ứng với một nhóm isopropenyl; và một proton carbinol tại δ_H 3,19 (1H, dd, *J*=4,5, 11,5 Hz) chứng tỏ có một nhóm hydroxymethine (>CH-OH). Bảy tín hiệu cộng hưởng đơn của các proton methyl được quan sát thấy ở δ_H 1,68, 1,03, 0,97, 0,94, 0,83, 0,79 và 0,76 ppm.

Bảng 1. Dữ liệu phổ NMR của các hợp chất 1 và 2.

Vị trí	Hợp chất 1 ($CDCl_3$, 500/125 MHz)		Hợp chất 2 ($CDCl_3$, 600/150 MHz)	
	δ_H (ppm), *J* (Hz)	δ_C (ppm)	δ_H (ppm), *J* (Hz)	δ_C (ppm)
1		38,8	1,55 (1H, *m*)	21,1
2		27,5	2,38 (2H; *ddd*; 2,4; 3,6; 4,2)	37,3
3	3,19 (1H; *dd*; 4,5; 11,5)	77,5		178,3
4		38,9	1,10 (1H; m) 1,37 (1H; m)	36,1
5	0,68 (1H; *d*; 9,5)	55,4		37,8
6		18,4	1,15 (1H; *m*) 1,49 (1H; *m*)	39,0
7		34,3	1,38 (1H; *m*)	18,1
8		40,9	1,21 (1H; *m*)	53,0
9		50,5		39,1
10		37,2	0,82 (1H; *m*)	59,8
11		21,0	1,40 (2H; *m*)	35,2
12		25,2	1,30 (2H; *m*)	30,2
13		38,1		39,6
14		42,9		38,3
15		27,5	1,29 (1H; *m*) 1,48 (1H; *m*)	32,3
16		35,6	1,36 (2H; *m*)	36,1
17		43,0		30,0
18		48,3	1,52 (1H; *m*)	42,9
19	2,38 (1H; *dd*; 6,0; 11,0)	48,0	1,26 (1H; *m*)	35,3
20		151,0		28,2
21	1,91 (1H; *m*)	29,9	1,23 (1H; *m*) 1,45 (1H; *m*)	32,9
22		40,0	0,92 (1H; *m*) 1,41 (1H; *m*)	39,3
23	0,97 (3H; *s*)	28,0	0,77 (3H; *t*; 7,2)	7,6
24	0,76 (3H; *s*)	15,4	0,79 (3H; *s*)	19,4
25	0,83 (3H; *s*)	16,1	0,87 (3H; *s*)	17,9
26	0,94 (3H; *s*)	16,0	0,98 (3H; *s*)	20,2
27	1,03 (3H; *s*)	14,6	1,01 (3H; *s*)	18,8
28	0,79 (3H; *s*)	18,0	1,17 (3H; *s*)	32,1
29	4,69 (1H; *s*) 4,57 (1H; *s*)	109,3	0,94 (3H; *s*)	35,0
30	1,68 (3H; *s*)	19,3	0,99 (3H; *s*)	31,9

Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp.

Phổ ^{13}C-NMR cho thấy 30 tín hiệu carbon, bao gồm hai carbon olefin ở δ_C 151,0 và 109,3; một carbon hydroxymethine ở δ_C 77,5 và bảy carbon methyl ở δ_C 28,0, 19,3, 18,0, 16,1, 16,0, 15,4 và 14,6 ppm (bảng 1). Các đặc điểm phổ này phù hợp với cấu tạo của bộ khung lup-20(29)-ene với một nhóm hydroxyl ở C-3. Theo đó, dữ liệu phổ này được so sánh với dữ liệu đã báo cáo trước đây [13] cho phép xác định hợp chất 1 là lupeol (hình 1).

Lupeol (fagarsterol) là một triterpene có nhiều tác dụng dược lý như hạ cholesterol, chống viêm, chống ung thư, bảo vệ tim và thận [14]. Nghiên cứu của P. Cmoch và cs (2008) [15] cho thấy, lupeol gây độc tế bào ở nhiều dòng ung thư (CEM, MCF-7, A-549, RPMI 8226, HeLa, G361) ở mức trung bình với IC_{50} khoảng 37-50 µM sau 72 giờ. Y. Aratanechemuge và cs (2004) [16] cũng chứng minh lupeol ức chế tế bào HL-60, khẳng định tiềm năng trị liệu đáng kể.

3.2.2. Hợp chất 2

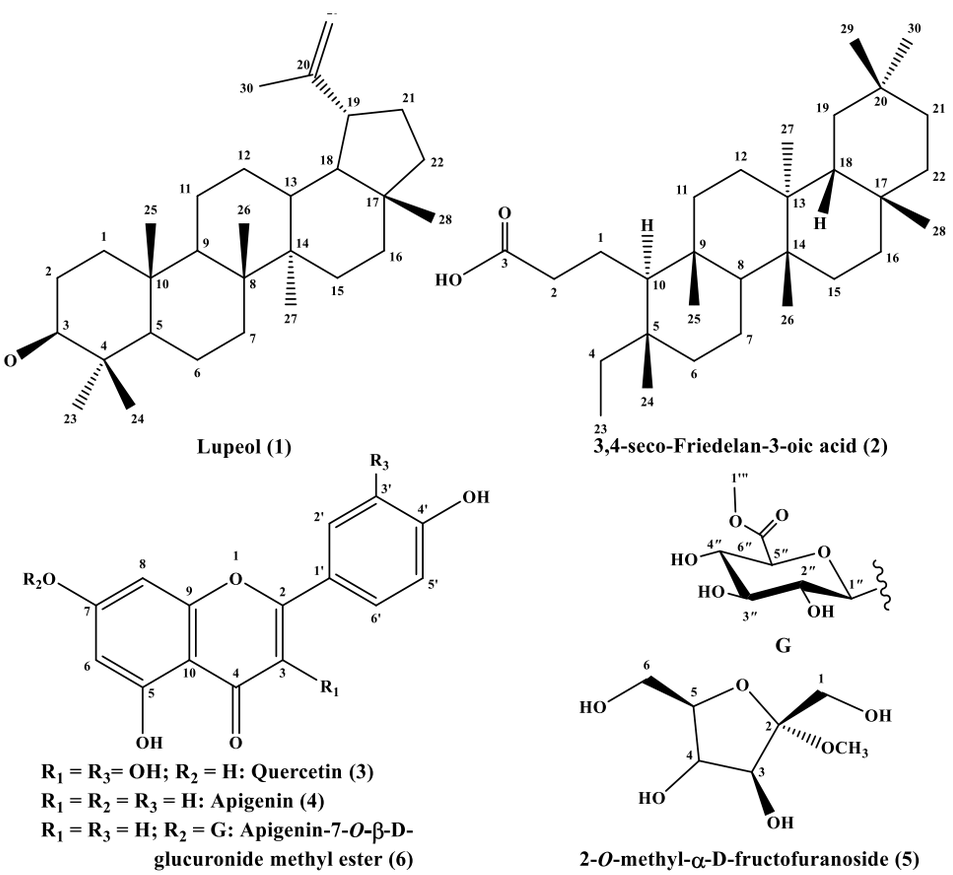
Phổ ESI-HRMS(+) cho thấy một tín hiệu ion phân tử giả ở *m/z* 445,4102 $[M+H]^+$, cho phép xác định công thức phân tử là $C_{30}H_{52}O_2$ (MW=444 đvC, 5 độ bất bão hòa). Phổ ^{1}H-NMR cho thấy, các tín hiệu chủ yếu ở vùng trường cao (0-3 ppm), bao gồm tám tín hiệu methyl: bảy tín hiệu đơn tại δ_H 1,17, 1,01, 0,99, 0,98, 0,94, 0,87 và 0,79 ppm (mỗi cộng hưởng 3H, s) và một tín hiệu ba (triplet) tại δ_H 0,77 ppm (3H, t, *J*=7,2Hz) (bảng 1) cho thấy, một nhóm methyl đầu cuối liền kề với một đơn vị methylene. Ngoài ra còn thấy các tín hiệu methine và methylene khác.

Phổ ^{13}C-NMR cho thấy, các tín hiệu của 30 carbon, bao gồm một carbon carboxyl ở δ_C 178,3 và tám carbon methyl ở δ_C 7,6, 19,4, 17,9, 20,2, 18,8, 32,1, 35,0 và 31,9 ppm. Các tín hiệu còn lại tương ứng với methine, methylene và carbon bậc bốn. Các đặc điểm phổ cho thấy công thức hợp chất 2 ở dạng triterpenoid với bộ khung 3,4-secofriedelane. Hợp chất 2 được xác định là 3,4-seco-friedelan-3-oic acid dựa vào việc so sánh với dữ liệu đã báo cáo trước đây [17] (hình 1).

S.R.D.S.E. Silva và cs (2007) [18] báo cáo rằng, 3,4-seco-friedelan-3-oic acid có thể tham gia vào một số giai đoạn của quá trình quang hợp, gồm cả quá trình tổng hợp ATP và phosphoryl hóa, cho thấy tiềm năng của hợp chất này như một chất ức chế quang hợp tự nhiên.

3.2.3. Hợp chất 3

Phổ HRMS cho thấy một tín hiệu ion phân tử giả ở m/z 301,0362 $[M-H]^-$, đúng với sự phân mảnh từ công thức phân tử $C_{15}H_{10}O_7$ (MW=302 đvC, 11 độ bất bão hòa). Phổ ^{1}H-NMR cho thấy, năm tín hiệu proton thơm ở δ_H 6,20 (1H, d, J = 1,8 Hz), 6,40 (1H, d, J 1,8 Hz), 6,95 (1H, d, J=8,4 Hz), 7,65 (1H, dd, J=1,8; 9,0 Hz) và 7,75 (1H, d, J=2,4 Hz) ppm. Phổ ^{13}C-NMR hiển thị 15 tín hiệu carbon, bao gồm một carbon carbonyl ở δ_C 177,3 ppm, chín carbon bậc bốn (δ_C 148,0-104,5) và các carbon methine thơm ở δ_C 99,3, 94,5, 116,0, 116,2 và 121,7 ppm. Những dữ liệu này đặc trưng cho bộ khung flavonol không có yếu tố đối xứng. Công thức cấu tạo của hợp chất 3 được xác định là quercetin, sau khi so sánh với dữ liệu đã công bố [19] (hình 1).



Hình 1. Cấu trúc hóa học của các hợp chất đã phân lập. Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp.

Bảng 2. Dữ liệu phổ NMR của các hợp chất 3, 4 và 6.

Vị trí	Hợp chất 3 (MeOD, 600/150 MHz)		Hợp chất 4 (MeOD, 600/150 MHz)		Hợp chất 6 (MeOD, 600/150 MHz)	
	δ_H (ppm), J (Hz)	δ_C (ppm)	δ_H (ppm), J (Hz)	δ_C (ppm)	δ_H (ppm), J (Hz)	δ_C (ppm)
2		148,0		166,3		166,9
3		137,2	6,58 (1H; *s*)	103,8	6,67 (1H; *s*)	104,2
4		177,3		183,9		184,1
5		162,5		162,8		162,9
6	6,20 (1H; *d;* 1,8)	99,3	6,20 (1H; *d*; 1,8)	100,2	6,49 (1H; *d;* 1,8)	101,1
7		165,7		166,2		164,4
8	6,40 (1H; *d;* 1,8)	94,5	6,45 (1H; *d*; 2,4)	95,1	6,80 (1H; *brs*)	96,0
9		158,2		159,5		158,9
10		104,5		105,3		107,3
1′		124,2		123,3		123,1
2′	7,75 (1H; *d;* 2,4)	116,0	7,84 (1H; *d*; 9,0)	129,4	7,89 (1H; *d;* 8,4)	129,6
3′		146,2	6,93 (1H; *d*; 9,0)	117,0	6,96 (1H; *d;* 9,0)	117,1
4′		148,8		163,2		162,9
5′	6,95 (1H; *d;* 8,4)	116,2	6,93 (1H; *d*; 9,0)	117,0	6,96 (1H; *d;* 9,0)	117,1
6′	7,65 (1H; *dd;* 1,8; 9,0)	121,7	7,84 (1H; *d*; 9,0)	129,4	7,89 (1H; *d;* 8,4)	129,6
1″					5,21 (1H; *d;* 6,0)	101,4
2″					3,56 (1H; *m*)	74,4
3″					4,20 (1H; *d;* 9,6)	76,7
4″					3,66 (1H; *m*)	72,9
5″					3,56 (1H; *m*)	77,0
6″						170,8
1‴					3,81 (3H; *s*)	53,0

Nguồn: Nhóm tác giả tổng hợp.

Quercetin là một flavonoid có mặt trong nhiều loài thực vật [20]. Hợp chất này có hoạt tính kháng oxi hóa, ức chế protein *kinase*, DNA *topoisomerase* và điều hòa biểu hiện gene [21]. A. Robaszkiewicz và cs (2007) [22] cho biết, quercetin kích thích tế bào A549 ở nồng độ thấp nhưng gây độc với IC_{50}=100 µM ở nồng độ cao.

3.2.4. Hợp chất 4

Phổ (-)ESI-MS cho thấy tín hiệu ion phân tử giả ở *m/z* 269 $[M-H]^-$, tương ứng với công thức $C_{15}H_{10}O_5$ (MW=270 đvC, 11 độ bất bão hòa). Phổ ^{1}H-NMR cho thấy, hai proton thơm liên kết meta tại δ_H 6,20 (1H, d, J=1,8 Hz) và 6,45 (1H, d, J=2,4 Hz) ppm; một hệ AA′BB′ tại δ_H 7,84 (2H, d, J=9,0 Hz) và 6,93 (2H, d, J=9,0 Hz) ppm và một tín hiệu đơn tại δ_H 6,58 (1H, s) ppm. Phổ ^{13}C-NMR hiển thị 13 tín hiệu của 15 carbon, bao gồm một carbon carbonyl tại δ_C 183,9 ppm, năm carbon bậc bốn mang oxygen (δ_C 166,3-159,5 ppm), và bảy carbon methine thơm (δ_C 129,4-95,1 ppm), phù hợp với bộ khung flavone. Các đặc trưng phổ trên đây định hướng so sánh với dữ liệu NMR ở tài liệu [23], hợp chất 4 được xác định là apigenin (hình 1).

Apigenin là một flavonoid phổ biến trong nhiều loài cây với các đặc tính kháng oxi hóa, chống viêm, kháng tế bào ung thư và còn có thể bảo vệ nguyên bào xương khỏi tổn thương oxi hóa bằng cách điều hòa tăng các gen biệt hóa. Ngoài ra còn thể hiện hoạt tính kháng khuẩn có thể tương đương với curcumin [24-26].

3.2.5. Hợp chất 5

Phổ ESI-MS cho thấy, các mảnh ion phân tử giả ở *m/z* 192,7 $[M-H]^-$ và *m/z* 216,8 $[M+Na]^+$, tương thích với công thức phân tử là $C_7H_{14}O_6$ (MW=194 đvC, 1 độ bất bão hòa). Phổ ^{1}H-NMR cho thấy, tín hiệu của hai nhóm oxymethylene tại δ_H 3,73 (1H, d, J=12,0 Hz), 3,65 (1H, d, J=12,0 Hz), 3,77 (1H, dd, J=3,0, 12,0 Hz) và 3,66 (1H, dd, J=4,8, 12,0 Hz); ba proton oxymethine tại δ_H 4,05 (1H, d, J=4,2 Hz), 3,91 (1H, dd, J=4,2, 6,6 Hz) và 3,86 (1H, ddd, J=6,6, 4,2, 3,0 Hz) và một nhóm O$C\underline{H}_3$ tại δ_H 3,33 (3H, s) ppm (bảng 3).

Phổ ^{13}C-NMR hiển thị bảy tín hiệu carbon: một carbon methoxy ở δ_C 49,6 và sáu carbon tương ứng với một đơn vị monosaccharide ở δ_C 109,2, 84,7, 82,6, 79,0, 62,9 và 60,6 ppm. Những dữ liệu này gợi ý bộ khung fructofuranose được thay thế -OH bởi một nhóm -OCH_3. Dựa trên phân tích và so sánh dữ liệu phổ ở tài liệu đã công bố [27], công thức hóa học và tên của hợp chất 5 được xác định là 2-*O*-methyl-α-D-fructofuranoside (hình 1).

Hiện tại, chưa có thông tin nghiên cứu về hoạt tính sinh học của 2-*O*-methyl-α-D-fructofuranoside.

Bảng 3. Dữ liệu NMR của hợp chất 5.

Vị trí	(MeOD, 600/150 MHz)	
	δ_H *(ppm), J (Hz)*	δ_C *(ppm)*
1	3,73 (1H; *d*; 12,0) 3,65 (1H; *d*; 12,0)	60,6
2		109,2
3	4,05 (1H; *d*; 4,2)	82,6
4	3,91 (1H; *dd*; 4,2; 6,6)	79,0
5	3,86 (1H; *ddd*; 6,6; 4,2; 3,0)	84,7
6	3,77 (1H; *dd*; 3,0; 12,0) 3,66 (1H; *dd*; 4,8; 12,0)	62,9
2-OCH_3	3,33 (3H; *overlap*)	49,6

3.2.6. Hợp chất 6

Phổ (-)ESI-HRMS cho thấy, một tín hiệu ion phân tử giả ở *m/z* 459,0921 $[M-H]^-$, thích hợp với công thức phân tử $C_{22}H_{20}O_{11}$ (MW=460 đvC, 13 độ bất bão hòa). Phổ ^{1}H-NMR cho thấy, năm tín hiệu của bảy proton thơm ở δ_H 6,49 (1H, d, J=1,8 Hz), 6,80 (1H, brs), 7,89 (2H, d, J=8,4 Hz), 6,96 (2H, d, J=9,0 Hz) và 6,67 (1H, s) ppm, tương tự như tín hiệu của hợp chất 4. Ngoài ra còn có các tín hiệu đặc trưng của một nhóm glucuronide bị ester hóa: một proton anomeric ở δ_H 5,21 (1H, d, J=6,0 Hz) và một nhóm OCH_3 ở δ_H 3,81 (3H, s) ppm.

Phổ ^{13}C-NMR hiển thị các tín hiệu của 22 carbon, gồm 13 tín hiệu carbon đặc trưng cho bộ khung flavonoid có yếu tố đối xứng với nhóm carbonyl ở δ_C 184,1 ppm (như trong hợp chất 4), cùng với các tín hiệu tương ứng với nhóm glucuronide ester hóa (một carbon anomeric ở δ_C 101,4 ppm, một nhóm carbonyl ở δ_C 170,8 và một carbon methoxy ở δ_C 53,0 ppm). Hơn nữa, do sự phù hợp giữa dữ liệu NMR của hợp chất 6 và dữ liệu báo cáo của H.L. Cheng và cs (2013) [28] nên hợp chất 6 được khẳng định là apigenin 7-*O*-β-D-glucuronide methyl ester (hình 1).

Apigenin-7-*O*-β-D-glucuronide methyl ester từng được phân lập từ *Cardiospermum halicacabum* [28], *Manilkara zapota* [29] và nay lần đầu phát hiện ở hoa Chiều tím. Hợp chất cho thấy hoạt tính ức chế PTP1B (IC_{50}=14,35 µM), α-glucosidase (IC_{50}=103,3 µM) [30], khả năng chống oxi hóa mạnh (loại bỏ DPPH 83,26%, NO 86,19% ở nồng độ 100 µg/ml) [31] và độc tính với tế bào MCF-7 (IC_{50}=40,17µg/ml), dù kém tamoxifen (IC_{50}=7,72µg/ml) [32].

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã khảo sát thành phần hóa học của các cao phân đoạn *n*-hexane và ethyl acetate chiết xuất từ hoa Chiều tím, đã phân lập, làm sáng tỏ cấu trúc hóa học và nhận danh của 6 hợp chất tự nhiên. Phân đoạn *n*-hexane phân lập được 2 dẫn xuất triterpene, phân đoạn ethyl acetate phân lập được 2 dẫn xuất flavone, 1 dẫn xuất flavonol và 1 dẫn xuất fructose. Đáng chú ý, trong 6 hợp chất này có 3 hợp chất (2, 5 và 6) được công bố lần đầu tiên ở loài *Ruellia brittoniana* L. Một số hợp chất phân lập được có các hoạt tính sinh học đã được ghi nhận rõ ràng, đặc biệt là quercetin đã được chứng minh có nhiều ứng dụng dược phẩm. Các hợp chất còn lại cũng cho thấy tiềm năng phát triển trong lĩnh vực y sinh và dược lý.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin chân thành cảm ơn PGS.TS. Đặng Minh Quân đã cung cấp thông tin định danh thực vật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] D.W. Bishay, A.M. Abdel-Baky, S.A.M.E. Moghazy, et al. (2009), "Macro- and micromorphology of the leaf and stem of *Ruellia brittoniana* Leonard cultivated in Egypt", *Bull. Pharm. Sci, Assiut*, **32(2)**, pp.279-300, DOI: 10.21608/bfsa.2009.63499

[2] C. Wiese, C.R. Adams, A.M. Smith (2013), "Experimental research informs control of Mexican petunia (*Ruellia simplex*) in natural areas and home-gardens", *Proceedings of The Florida State Horticultural Society,* **126**, pp.332-337.

[3] A.R. Bean (2006), "*Ruellia tweediana*, a new name for a well-known Queensland weed", *Plant Prot. Q*, **21(4)**, pp.170-172.

[4] K. Afzal, M. Uzair, B.A. Chaudhary, et al. (2015), "Genus ruellia: Pharmacological and phytochemical importance in ethnopharmacology", *Acta Pol. Pharm. - Drug Res*, **72(5)**, pp.821-827.

[5] M. Elgindi, E. Hagag, S. Mohamed (2015), "Phytochemical and biological studies of *Ruellia brittoniana*", *Res. J. Pharm. Biol. Chem. Sci.*, **6(2)**, pp.926-933.

[6] N.A. Tejaputri, A. Arsianti, F. Qorina, et al. (2019), "Phytochemical analysis and antioxidant properties by DPPH radical scavenger activity of *Ruellia brittoniana* flower", *Int. J. Appl. Pharm.*, **11(6)**, pp.24-28, DOI: 10.22159/ijap.2019.v11s6.33531.

[7] N.A. Tejaputri, A. Arsianti, F. Qorina, et al. (2020), "Anticancer activity of *Ruellia brittoniana* flower on cervical HeLa cancer cells", *Pharmacogn. J.*, **12(1)**, pp.29-34, DOI: 10.5530/pj.2020.12.6.

[8] M.N. Samy, S. Sugimoto, K. Matsunami, et al. (2015), "Chemical constituents and biological activities of genus *Ruellia*", *Int. J. Pharmacogn.*, **2(6)**, pp. 270-279, DOI: 10.13040/IJPSR.0975-8232.IJP.2(6).270-79.

[9] M.F. Akhtar (1993), *Chemical and Biological Investigations of Medicinal Herbs, Phyla Nodiflora, Ruellia Patula* and *Ruellia Brittoniana*, Doctoral Dissertation, University of Karachi, Pakistan, 202pp.

[10] V.U. Ahmad, M.I. Choudhary, M.F. Akhtar, et al. (1990), "2-O-α-D-galactopyranosyl glycerol hexaacetate from Ruellia brittoniana", *J. Nat. Prod.*, **53(4)**, pp.960-963, DOI: 10.1021/np50070a028.

[11] N.V. Kiet, M.G. Linh, T.T.T. An, et al. (2022), "Anthocyanin Extract from Mexican petunia (*Ruellia simplex*) used as an Indicator of hydrogen potential", *Can Tho University Journal of Science*, **58(2)**, pp.120-127, DOI: 10.22144/ctu.jvn.2022.128 (in Vietnamese).

[12] N.V. Kiet, N.T.M. Khanh, H.T.P. Thao, et al. (2023), "Investigating total flavonoid content and antioxidance of ethanol extracts from (*Ruellia simplex* C. Wright)", *Dong Thap University Journal of Science*, **12(8)**, pp.104-111, DOI: 10.52714/dthu.12.8.2023.1158 (in Vietnamese).

[13] C. Seger, B. Jandl, G. Brader, et al. (1997), "Case studies of CSEARCH supported structure elucidation strategies: Lupeol and a new germacrane derivative", *Fresenius J. Anal. Chem.*, **359(1)**, pp.42-45, DOI: 10.1007/s002160050532.

[14] M. Saleem (2009), "Lupeol, a novel anti-inflammatory and anti-cancer dietary triterpene", *Cancer Lett.*, **285(2)**, pp.109-115, DOI: 10.1016/j.canlet.2009.04.033.

[15] P. Cmoch, Z. Pakulski, J. Swaczynová, et al. (2008), "Synthesis of lupane-type saponins bearing mannosyl and 3,6-branched trimannosyl residues and their evaluation as anticancer agents", *Carbohydr. Res.*, **343(6)**, pp.995-1003, DOI: 10.1016/j.carres.2008.02.011.

[16] Y. Aratanechemuge, H. Hibasami, K. Sanpin, et al. (2004), "Induction of apoptosis by lupeol isolated from mokumen (*Gossampinus malabarica* L. Merr) in human promyelotic leukemia HL-60 cells", *Oncology Reports*, **11(2)**, pp.289-92, DOI: 10.3892/or.11.2.289

[17] S.A.V. Filho, L.P. Duarte, G.D.F. Silva, et al. (2001), "Total assignment of ^{1}H and ^{13}C NMR spectra of two 3,4-secofriedelanes from *Austroplenckia populnea*", *Magn. Reson. Chem.*, **39**, pp.746-748, DOI: 10.1002/mrc.942.

[18] S.R.D.S.E Silva, G.D.F. Silva, L.C.D.A. Barbosa, et al. (2007), "Uncoupling and inhibition properties of 3,4-seco-friedelan-3-oic acid isolated from *Maytenus imbricata*", *Pestic. Biochem. Physiol.*, **87(2)**, pp.109-114, DOI: 10.1016/j.pestbp.2006.06.008.

[19] S. Mouffok, H. Haba, C. Lavaud, et al. (2012), "Chemical constituents of *Centaurea omphalotricha* Coss. & Durieu ex Batt. & Trab.", *Rec. Nat. Prod.*, **6(3)**, pp.292-295.

[20] M.A. Sayeed, M. Bracci, G. Lucarini, et al. (2017), "Regulation of microRNA using promising dietary phytochemicals: Possible preventive and treatment option of malignant mesothelioma", *Biomedicine & Pharmacotherapy*, **94**, pp.1197-1224, DOI: 10.1016/j.biopha.2017.07.075.

[21] J.O. Moskaug, H. Carlsen, M. Myhrstad, et al. (2004), "Molecular imaging of the biological effects of quercetin and quercetin-rich foods", *Mech. Ageing Dev.*, **125(4)**, pp.315-324, DOI: 10.1016/j.mad.2004.01.007.

[22] A. Robaszkiewicz, A. Balcerczyk, G. Bartosz (2007), "Antioxidative and prooxidative effects of quercetin on A549 cells", *Cell Biol. Int.*, **31(10)**, pp.1245-1250, DOI: 10.1016/j.cellbi.2007.04.009.

[23] D.R. Ahn, S.I. Lee, J.H. Yang, et al. (2011), "Superoxide radical scavengers from the whole plant of *Veronica peregrina*", *Nat. Prod. Sci.*, **17(2)**, pp.142-146.

[24] D. Patel, S. Shukla, S. Gupta (2007), "Apigenin and cancer chemoprevention: Progress, potential and promise", *Int. J. Oncol.*, **30(1)**, pp.233-245, DOI: 10.3892/ijo.30.1.233.

[25] W.W. Jung (2014), "Protective effect of apigenin against oxidative stress-induced damage in osteoblastic cells", *Int. J. Mol. Med.*, **33(5)**, pp.1327-1334, DOI: 10.3892/ijmm.2014.1666.

[26] T. Karpinski, A. Adamczak, M. Ożarowski (2019), "Antibacterial activity of apigenin, luteolin, and their C-glucosides", *Proc. 5th Int. Electron. Conf. Med. Chem.*, pp. 1–8, DOI: 10.3390/ECMC2019-06321

[27] D.T.T. Huyen, N.T. Phuong, P.L.N. Hung, et al. (2020), "Chemical constituent from *Polygonatum kingianum* Coll. & Hemsl.", *Viet. J. Sci. Technol.*, **58(5)**, pp.549-556, DOI: 10.15625/2525-2518/58/5/14854.

[28] H.L. Cheng, L.J. Zhang, Y.H. Liang, et al. (2013), "Antiinflammatory and antioxidant flavonoids and phenols from *Cardiospermum halicacabum*", *J. Tradit. Complement. Med.*, **3(1)**, pp.33-40, DOI: 10.4103/2225-4110.106541.

[29] K. Kamalakararao, K.K. Chaithanya, V.K. Gopalakrishnan, et al. (2017), "Apigenin-7-O-B-D-glucuronide methyl ester isolated from *Manilkara zapota* leaves", *International Journal of Pharmaceutical Quality Assurance*, **8(2)**, pp.58-65.

[30] B. Na, P.H. Nguyen, B.T. Zhao, et al. (2016), "Protein tyrosine phosphatase 1B (PTP1B) inhibitory activity and glucosidase inhibitory activity of compounds isolated from *Agrimonia pilosa*", *Pharm. Biol.*, **54(3)**, pp.474-480, DOI: 10.3109/13880209.2015.1048372.

[31] K. Kamalakararao, V. Gopalakrishnan, Z. Hagos, et al. (2018), "*In vitro* antioxidant activities of isolated bioactive flavonoid apigenin-7-*O*-β-D-glucuronide methyl ester from ethyl acetate leaf extract of *Manilkara zapota*", *Drug Invent. Today*, **10(7)**, pp.1142-1146.

[32] K. Kamalakararao, D.G. Rao, M. Muthulingam, et al. (2018), "Effect of isolated bioactive flavonoid apigenin-7-*O*-β-D-glucuronide methyl ester on cyclooxygenase-2 gene expression in the breast cancer MCF-7 cell lines", *Drug Invent. Today*, **10**, pp.3552-3555.

 DOI: 10.31276/VJST.2025.3588

Tổng hợp vật liệu nano ZnO pha tạp Pr và ứng dụng trong phân hủy xanh methylene

Đỗ Quang Thẩm[1, 2*], Nguyễn Thị Xuyên[1], Phạm Quang Dương[1], Nguyễn Trung Huy[1, 2], Nguyễn Tuấn Anh[1], Đặng Xuân Hiếu[3], Vũ Thị Lê[3]

[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 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 8/8/2025; ngày chuyển phản biện 11/8/2025; ngày nhận phản biện 23/8/2025; ngày chấp nhận đăng 28/8/2025

Tóm tắt:

Các hạt nano Zinc oxide (ZnO) pha tạp praseodymi (Pr) được tổng hợp bằng phương pháp kết tủa và nung ở các nhiệt độ 900, 1000 và 1100°C nhằm khảo sát hoạt tính xúc tác phân hủy xanh methylene (MB) của chúng với ánh sáng mặt trời. Các đặc trưng tính chất của các hạt nano ZnO pha tạp được xác định bằng phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD), phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR), kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường (FESEM) và phổ hấp thụ UV-Vis. Kết quả phân tích FTIR và XRD chứng tỏ có các liên kết Pr–O ở các hạt ZnO pha tạp Pr, với cấu trúc pha chính là wurtzite ZnO và pha phân tán là Pr_6O_{11}. Ảnh FESEM cho thấy, các hạt nano có kích thước nhỏ hơn 100 nm, tuy nhiên vẫn có hiện tượng kết tụ hạt sau khi nung. Hiệu suất xúc tác quang của cả ZnO đơn thuần và ZnO pha tạp Pr đều giảm khi nhiệt độ nung tăng từ 900 lên 1100°C. Mẫu ZnO pha tạp 0,5% khối lượng Pr và nung ở 900°C thể hiện hoạt tính xúc tác quang cao nhất, đạt hiệu suất phân hủy MB là 99,0% sau 5 giờ phơi nắng. Những kết quả này cho thấy, pha tạp Pr là một biện pháp tốt để cải thiện hoạt tính xúc tác quang của các hạt nano ZnO với bức xạ mặt trời.

Từ khóa: **nano ZnO, pha tạp, phân hủy, praseodymium oxide, xanh methylene.**

Chỉ số phân loại: **1.4, 2.5, 2.7, 2.9**

Synthesis of Pr-doped ZnO nanomaterials and their photocatalytic application for methylene blue degradation

Quang Tham Do[1, 2*], Thi Xuyen Nguyen[1], Quang Duong Pham[1], Trung Huy Nguyen[1, 2], Tuan Anh Nguyen[2], Xuan Hieu Dang[3], Thi Le Vu[3]

[1]Institute of 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, Cau Giay Ward, Hanoi, Vietnam

Received 8 August 2025; revised 23 August 2025; accepted 28 August 2025

Abstract:

Praseodymium (Pr)-doped ZnO nanoparticles were successfully synthesised via a precipitation method and calcined at 900, 1000, and 1100°C to investigate their photocatalytic activity for the degradation of methylene blue (MB) under sunlight. The properties of the doped ZnO nanoparticles were determined using X-ray diffraction (XRD), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), field-emission scanning electron microscopy (FESEM), and UV-Vis absorption spectroscopy. FTIR and XRD analyses confirmed the presence of Pr-O bonds with wurtzite ZnO as the major phase and Pr_6O_{11} as the dispersed phase. FESEM observations showed that the nanoparticles were smaller than 100 nm; however, particle aggregation still occurred after calcination. The photocatalytic efficiency of both pure ZnO and Pr-doped ZnO nanoparticles decreased as the calcination temperature increased from 900 to 1100°C. ZnO doped with 0.5 wt.% Pr and calcined at 900°C exhibited the highest photocatalytic activity, achieving 99.0% MB degradation after 5 h of solar irradiation. These findings demonstrate that Pr doping is an effective strategy for improving the photocatalytic activity of ZnO nanoparticles under solar irradiation.

Keywords: **degradation, doping, methylene blue, nano ZnO, praseodymium oxide.**

Classification numbers: **1.4, 2.5, 2.7, 2.9**

[*]Tác giả liên hệ: Email: dqtham@ims.vast.vn

1. Đặt vấn đề

Zinc oxide (ZnO) được xem là chất xúc tác đầy tiềm năng trong việc phân hủy các chất màu hữu cơ cũng như khử trùng nước. So với TiO_2 và một số oxit bán dẫn khác, ZnO có khả năng xúc tác quang hóa cao hơn nhờ khả năng hấp thụ bức xạ mặt trời hiệu quả [1-3]. Tuy nhiên, ZnO có năng lượng vùng cấm khá lớn (3,27 eV), tương ứng với vùng ánh sáng cực tím, vốn chỉ chiếm khoảng 5% trong phổ bức xạ ánh sáng mặt trời, nên hiệu quả xúc tác quang trong điều kiện ánh sáng tự nhiên còn hạn chế. Để nâng cao hoạt tính xúc tác quang và mở rộng phạm vi ứng dụng của ZnO, điều cần thiết là thu hẹp được năng lượng vùng cấm của ZnO và hạn chế quá trình tái hợp giữa electron và lỗ trống quang sinh. Một trong những phương pháp hiệu quả là pha tạp (doping) kim loại, phi kim hoặc đồng thời cả hai vào mạng ZnO, giúp cải thiện rõ rệt hiệu suất xúc tác quang của vật liệu này. Trên thế giới cũng như tại Việt Nam, đã có nhiều công trình nghiên cứu về vật liệu ZnO pha tạp nhằm nâng cao hiệu quả quang xúc tác [4-6]. Pha tạp được xem là một trong những phương pháp hiệu quả nhất trong việc cải thiện hoạt tính quang xúc tác của ZnO. Việc pha tạp kim loại có thể làm thay đổi cấu trúc vùng năng lượng của ZnO, đồng thời tạo ra các khuyết tật tinh thể, điển hình là khuyết tật lỗ trống oxy (V_o). Các ion kim loại pha tạp, đặc biệt là những kim loại đa hóa trị, còn có thể đóng vai trò như các "bẫy" electron, kết hợp với các khuyết tật oxy, góp phần thúc đẩy quá trình phân tách hiệu quả giữa electron và lỗ trống quang sinh. Bên cạnh đó, pha tạp kim loại còn giúp mở rộng khả năng hấp thụ ánh sáng của ZnO sang vùng khả kiến, nhờ việc tạo ra các mức năng lượng trung gian trong vùng cấm. Điều này góp phần tăng cường đáng kể hoạt tính quang xúc tác dưới ánh sáng mặt trời. Các nghiên cứu về ZnO pha tạp praseodymium và nghiên cứu khả năng xúc tác quang của nó đã cho thấy khả năng xúc tác phân hủy Rhodamine B của nó dưới ánh sáng mặt trời [7]. Nghiên cứu này trình bày việc tổng hợp vật liệu ZnO pha tạp Pr bằng phương pháp kết tủa. Các đặc trưng tính chất và cấu trúc của vật liệu nano ZnO pha tạp Pr cũng như khả năng quang xúc tác phân hủy xanh methylene (MB) dưới ánh sáng mặt trời cũng được trình bày và thảo luận chi tiết.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên liệu và hóa chất

Nano kẽm oxit ZnO (nZnO, 99,5%, kích thước hạt trung bình 100 nm; praseodymium (III) nitrate hexahydrate ($Pr(NO_3)_3.6H_2O$, 99,99%) được cung cấp bởi Hãng Aladdin (Trung Quốc). Diethanolamine (DEA, 99%, di-etanol amin), dạng lỏng, được cung cấp bởi Công ty TOC Glycol Chemical (Thái Lan). Phenolphthalein ($C_{20}H_{14}O_4$), dung dịch amoniac (NH_3, 25-28%), xanh methylene ($C_{16}H_{18}ClN_3S$, 99%), được sản xuất bởi Công ty Hóa chất Xilong (Trung Quốc).

2.2. Chế tạo mẫu nano ZnO pha tạp Pr

Quy trình chế tạo mẫu hạt nZnOPr0,5% (bảng 1) được thực hiện như sau: 5 g nano ZnO được phân tán trong 20 g nước cất và khuấy đều trong 20 phút. Tiếp theo, 0,133 g $Pr(NO_3)_3{\cdot}6H_2O$ được thêm vào cùng vài giọt dung dịch phenolphthalein 1% làm chỉ thị. DEA được nhỏ dần đến khi dung dịch chuyển sang màu hồng nhạt, dung dịch được khuấy thêm 1 giờ. Chất rắn thu được thu hồi bằng quy trình ly tâm (6000 vòng/phút, trong 6 phút) và rửa lại 2-3 lần bằng nước cất hoặc cho đến khi dung dịch rửa đạt pH 7, sau đó sấy khô ở 110°C trong 24 giờ, nghiền mịn và nung ở 900, 1000 và 1100°C. Mẫu sau khi nung tiếp tục được nghiền lại và rây qua sàng 160 µm, cuối cùng được bảo quản trong lọ kín. Mẫu nZnOPr3% cũng được chế tạo tương tự.

Bảng 1. Thành phần và khối lượng (g) của các chất dùng trong tổng hợp các nano ZnO pha tạp Pr.

STT	Ký hiệu mẫu	ZnO	$Pr(NO_3)_3.6H_2O$	DEA	Nước cất
1	nZnO	5	0	0	20,0
2	nZnOPr0,5%	5,00	0,133	0,096	20,0
3	nZnOPr3%	4,88	0,798	0,579	20,0

2.3. Đặc trưng tính chất

FTIR: Phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) của mẫu bột nZnO và nZnOPr được ghi trên máy quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier Nicolet iS10, Hãng Thermo Scientific ở nhiệt độ phòng, trong khoảng 4000-400 cm^{-1} với độ phân giải 4 cm^{-1} và 32 lần quét, sử dụng phương pháp ép viên KBr.

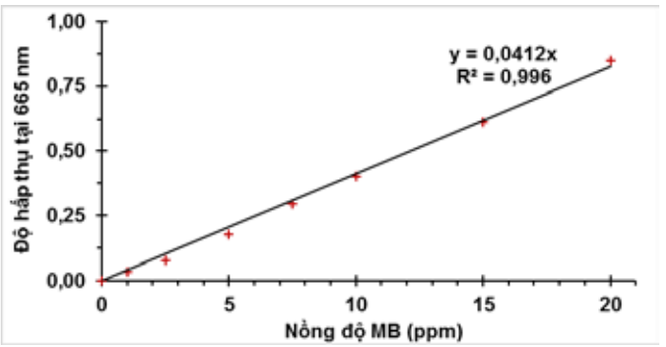
XRD: Phương pháp nhiễu xạ tia X (XRD) của các mẫu bột nZnO và nZnOPr được phân tích bằng máy đo nhiễu xạ D8-Advance với bức xạ Cu K_α hoạt động ở 40 kV/25 mA với bước sóng λ=1,5406Å.

SEM: Hình thái cấu trúc của mẫu nZnO và nZnOPr được quan sát bằng cách sử dụng kính hiển vi điện tử quét phát xạ trường JSM-IT800 Hãng Jeol, Nhật Bản.

UV-Vis: Máy đo quang phổ UV-Vis S80, Hãng Biochrom được sử dụng để phân tích phổ hấp thụ UV-Vis của bột nZnO ban đầu và nZnOPr sau khi nung với khoảng bước sóng 400-800 nm, dung môi so sánh là nước, hàm lượng chất rắn được sử dụng là 0,006 mg/ml.

2.4. Đánh giá hoạt tính quang xúc tác của vật liệu dưới ánh sáng mặt trời

Các dung dịch MB chuẩn với các nồng độ tương ứng (C_{MB}) được ghi phổ hấp thụ UV-Vis và xác định độ hấp thụ (A) đặc trưng của xanh methylene ở bước sóng khoảng 665 nm. Độ hấp thụ A được xác định bằng khoảng cách từ đỉnh đặc trưng 665 nm của phổ UV-Vis đến đường cơ sở (base-line) tạo bởi các chân đáy thấp gần nhất với đỉnh đặc trưng này. Kết quả xác định đường chuẩn độ hấp thụ A theo nồng độ C của MB được xác định bởi phương trình $A=0{,}0412\times C_{MB}$, với hệ số tương quan $R^2=0{,}996$ (hình 1).



Hình 1. Đường chuẩn độ hấp thụ A theo nồng độ xanh methylene (MB).

Các ống nghiệm chứa các chất rắn nZnO và nZnO-Pr0,5% (0,006 mg/ml) được phơi dưới ánh nắng mặt trời (trong khoảng từ 10A.M-15P.M) vào các ngày nắng cho đến khi mất màu. Thời gian lấy mẫu là 0, 3, 5 giờ. Mẫu dung dịch được đo quang phổ UV-Vis và xác định cường độ hấp thụ ở bước sóng 665 nm. Hiệu suất (H, %) phân hủy MB tính theo công thức: $H(\%)=(C_o-C_t)/C_o\times 100\%$, trong đó, C_o là nồng độ MB ban đầu, C_t: nồng độ MB sau khi phơi nắng và lấy mẫu dung dịch ở thời điểm t (h). H cũng có kết quả tương tự khi tính thông qua công thức: $H(\%)=(A_o-A_t)/A_o\times 100\%$, trong đó A_o là độ cao peak đặc trưng ở 665 nm của phổ UV-Vis của mẫu ở thời điểm ban đầu, A_t là độ cao peak đặc trưng của mẫu dung dịch sau khi đã phơi nắng và lấy mẫu dung dịch ở thời điểm t (h) [8-10].

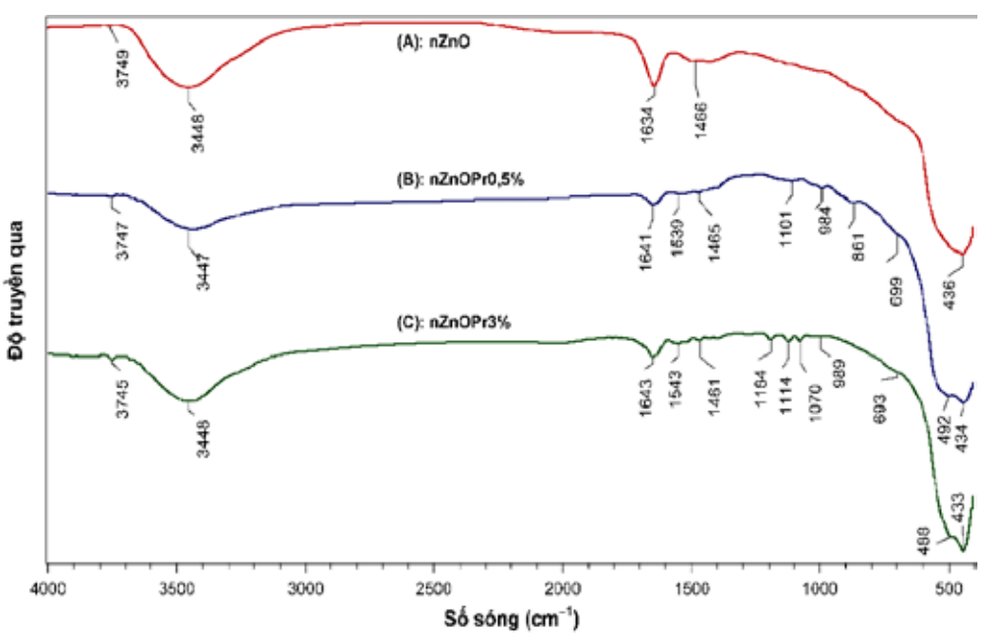
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Phổ hồng ngoại của mẫu nZnO và nZnOPr

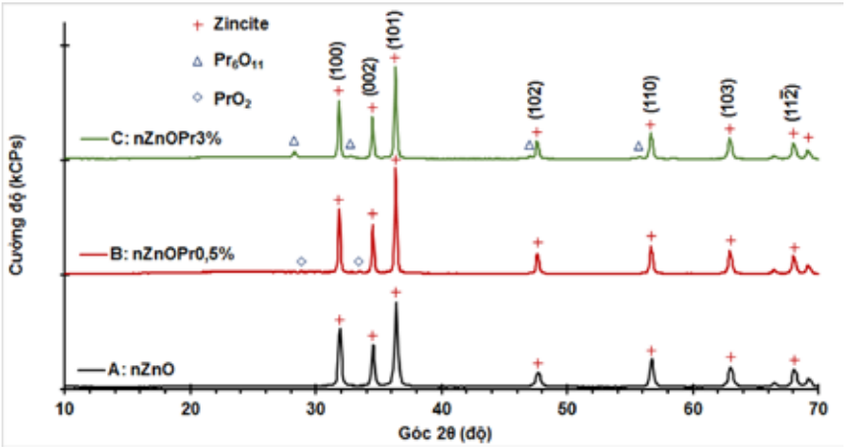
Hình 2 là phổ hồng ngoại (FTIR) của mẫu nZnO và nZnOPr với các hàm lượng Pr khác nhau. Hình 2A cho thấy dao động hóa trị (ν) của Zn-O trong mạng tinh thể xuất hiện ở 436 cm^{-1} [11]. Các peak hấp thụ ở 3448 cm^{-1} và 1634 cm^{-1} là đặc trưng của ν(OH) bề mặt [11]. Khi pha tạp với Pr, phổ FTIR của các mẫu nZnOPr0,5% (hình 2B) và nZnOPr3% (hình 2C) xuất hiện thêm các peak hấp thụ mới, lần lượt ở 1101 và 984 cm^{-1} (mẫu ZnOPr0,5%) và ở các vị trí 1070, 1113 cm^{-1} và 1187 cm^{-1} (với mẫu nZnOPr3%), có thể gán cho các dao động của ν(Pr-O) [12]. Điều này là do các hạt Pr_6O_{11} đã hình thành trên bề mặt các hạt nZnO ban đầu. Cơ chế hình thành oxit này là sự tạo thành $Pr(OH)_3$ ở giai đoạn đầu, sau đó chuyển hóa thành Pr_6O_{11} trong quá trình nung ở nhiệt độ cao.

3.2. Phổ nhiễu xạ tia X của mẫu nZnO và nZnOPr ở các nồng độ khác nhau

Hình 3 là các phổ nhiễu xạ tia X (XRD) của các mẫu nZnO, nZnOPr0,5% và nZnOPr3%. Hình 3A cho thấy các peak nhiễu xạ đặc trưng của ZnO (phù hợp với thẻ chuẩn JCPDS 01-082-9744 của ZnO dạng wurtzite, hay còn được gọi là Zincite) tương ứng với các mặt tinh thể (100), (002), (101), (102), (110), (103) và (11-2). Khi hàm lượng Pr tăng từ 0,5% lên 3%, các phổ XRD trong hình 3B và 3C cho thấy sự xuất hiện của một số đỉnh



Hình 2. Phổ FT-IR của mẫu nZnO (A), nZnOPr0,5% (B) và nZnOPr3% (C).

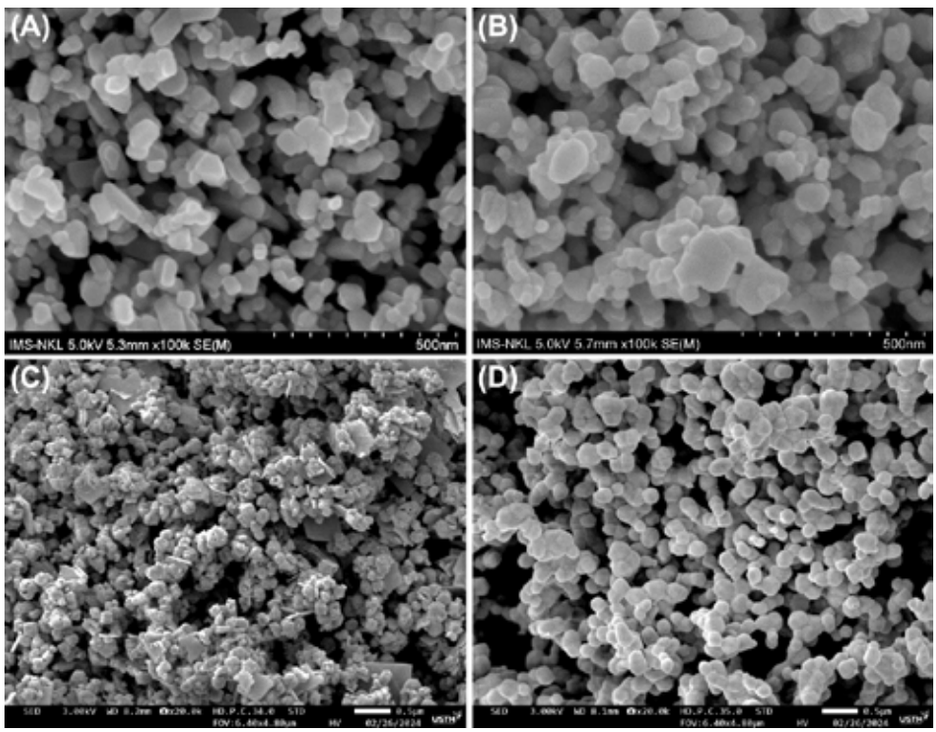


Hình 3. Phổ XRD của mẫu nZnO (A), nZnOPr0,5% (B) và nZnOPr3% (C).

nhiễu xạ mới, mặc dù không thật sự rõ nét. Đối với mẫu nZnOPr0,5%, có hai đỉnh mới tại các góc 2θ là 28,65° và 33,20° (phù hợp với thẻ JCPDS 01-075-6705 của PrO_2). Hình 3C thể hiện rõ hơn với bốn đỉnh mới tại các vị trí 28,25°, 32,74°, 46,99° và 55,71° (phù hợp với thẻ chuẩn JCPDS 00-042-1121 của Pr_6O_{11}) [13, 14].

3.3. Hình thái và kích thước của mẫu nZnO và nZnOPr

Hình 4 là ảnh FESEM của mẫu nZnO ban đầu (nung 900°C), mẫu nZnOPr0,5% (nung 900°C) và mẫu nZnOPr3% chưa nung và sau khi nung ở 900°C. Hình 4A cho thấy hình thái bề mặt của mẫu nZnO, trong đó các hạt có hình dạng gần với lục giác. Hình dạng này phù hợp với cấu trúc wurtzite của ZnO như đã được xác nhận bởi kết quả XRD (hình 3). Dưới tác dụng của quá trình sấy và nung, các hạt nano ZnO sơ cấp có xu hướng kết dính thành từng cụm với số lượng 2-10 hạt sơ cấp. Phần lớn hạt sơ cấp có kích thước nhỏ hơn 100 nm. Hình 4B là ảnh FESEM của các hạt nano nZnOPr0,5%, trong đó phản ứng kết tủa dẫn đến sự tạo thành $Pr(OH)_3$ từ $Pr(NO_3)_3$ đã xúc tiến quá trình liên kết các hạt nano ZnO. Mặc dù vậy, phần lớn các hạt sơ cấp vẫn giữ được đều có kích thước nhỏ hơn 100 nm. Hình dạng đa giác của hạt không còn rõ ràng như ở mẫu ban đầu, chứng tỏ quá trình tổng hợp hạt nZnOPr có thể đã làm biến đổi bề mặt các hạt nano ZnO, khiến chúng trở nên trơn hơn và ít sắc nét góc cạnh hơn. Hình 4C thể hiện hình thái bề mặt của mẫu nZnOPr3% chưa nung, trong đó ngoài các hạt nano ZnO còn quan sát được sự xuất hiện của một cấu trúc hạt khác, phân bố xen kẽ và có hình thái không đồng nhất. Cấu trúc này có thể gắn với sự tạo thành của $Pr(OH)_3$ từ tiền chất $Pr(NO_3)_3$ trong quá trình kết tủa, góp phần làm biến đổi đặc trưng bề mặt so với mẫu nZnO ban đầu. Các hạt nano ZnO phân bố khá rời rạc, bề mặt gồ ghề và tồn tại nhiều khoảng trống giữa các cụm hạt, chúng có xu hướng kết tụ nhưng chưa hình thành biên hạt rõ ràng. Trong khi đó, hình 4D là ảnh FESEM của mẫu nZnOPr3% sau khi nung ở 900°C. Sau khi nung, pha Pr oxide gần như không còn quan sát thấy ở dạng hạt riêng rẽ. Quan sát kỹ hơn cho thấy các cấu trúc có thể gắn với Pr oxide đã phân bố ở vùng biên hạt ZnO, gợi ý rằng Pr có thể tồn tại ở trạng thái pha phụ rất mịn hoặc đã tương tác trực tiếp với ranh giới hạt ZnO. Các hạt đã phát triển lớn hơn, biên hạt trở nên rõ nét và hiện tượng kết khối thể hiện rõ rệt, dẫn đến

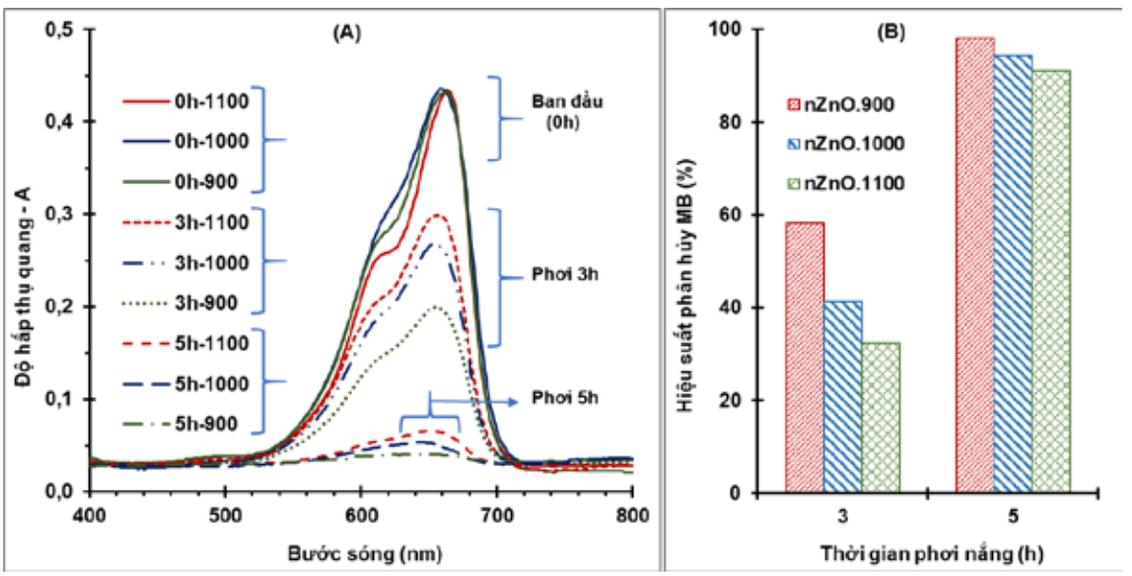


Hình 4. Ảnh FESEM của mẫu nZnO nung ở 900°C (A), nZnOPr0,5% nung ở 900°C (B), nZnOPr3% chưa nung (C) và nZnOPr3% nung ở 900°C (D).

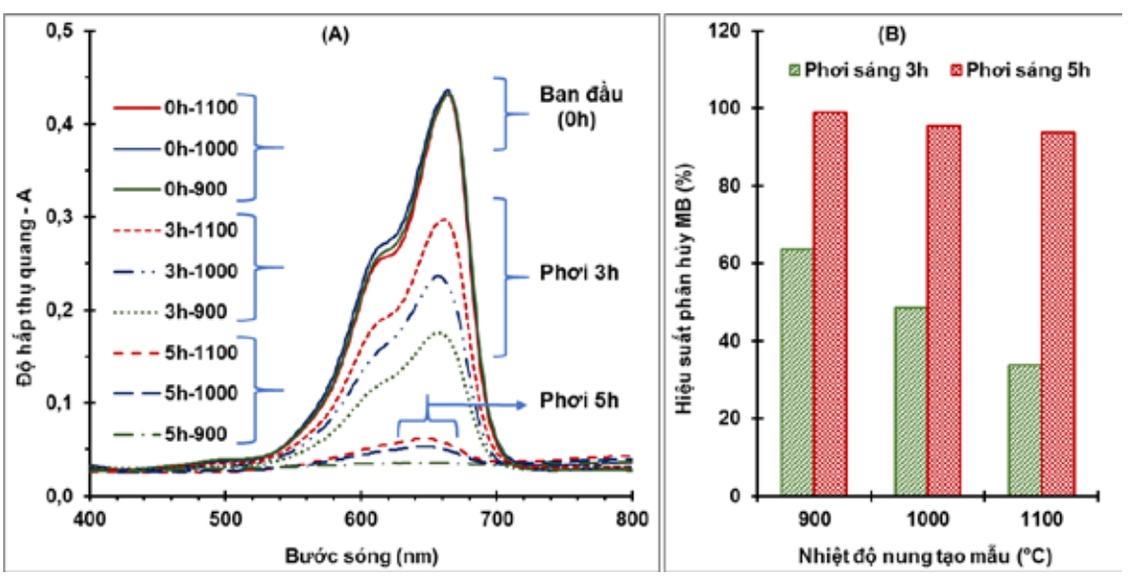
cấu trúc đặc hơn. Quá trình nung cũng thúc đẩy sự kết tinh, khiến bề mặt hạt trở nên đồng đều và giảm đáng kể độ xốp so với mẫu chưa nung.

3.4. Khả năng phân hủy MB của các mẫu nZnO và nZnOPr

Hình 5 trình bày phổ hấp thụ UV-Vis của dung dịch MB sử dụng mẫu nZnO nung ở các nhiệt độ khác nhau (900-1100°C) làm xúc tác phân hủy, trong khi hình 6 thể hiện phổ hấp thụ tương ứng khi sử dụng mẫu nZnOPr0,5% làm xúc tác quang. Nhìn chung, các mẫu nZnO và nZnOPr đều cho hiệu quả xúc tác quang tốt, độ hấp thụ của đỉnh tại 665 nm đều rất thấp và gần như bằng nhau sau 5 giờ phơi nắng. Tuy vậy, khả năng xúc tác phân hủy của cả hai mẫu nZnO và nZnOPr đều có xu hướng giảm, khi tăng nhiệt độ nung. Sau 5 giờ phơi nắng, hiệu suất phân hủy MB của mẫu nZnO nung ở 900, 1000 và 1100°C lần lượt là 58,2; 41,2 và 32,4%. Khi sử dụng mẫu nZnOPr nung ở 900, 1000 và 1100°C, hiệu suất phân hủy MB đạt lần lượt là 63,4; 48,5 và 33,8%. Như vậy, sau 3 giờ phơi nắng mẫu



Hình 5. Phổ UV-Vis của dung dịch MB chứa các mẫu nZnO nung ở các nhiệt độ khác nhau, trước và sau khi phơi nắng (A), hiệu suất phân hủy MB của các dung dịch chứa mẫu nZnO theo thời gian phơi nắng (B).



Hình 6. Phổ UV-Vis của dung dịch MB chứa các mẫu nZnOPr0,5% nung ở các nhiệt độ khác nhau, trước và sau khi phơi nắng (A), hiệu suất phân hủy MB của các dung dịch chứa mẫu nZnOPr0,5% nung ở các nhiệt độ khác nhau (B).

dung dịch chứa nZnOPr0,5% nung ở 900°C có độ hấp thụ A giảm rõ hơn so với mẫu nZnO.

Sau 5 giờ phơi nắng, hiệu suất phân hủy MB của mẫu nZnO nung ở 900, 1000 và 1100°C lần lượt là 98,0; 94,4 và 91,0%. Khi sử dụng mẫu nZnOPr0,5% nung ở 900, 1000 và 1100°C, hiệu suất phân hủy MB đạt lần lượt là 99,0; 95,3 và 93,6%. Có thể thấy, mẫu nZnOPr0,5% nung ở 900°C có độ hấp thụ thấp nhất sau 5 giờ phơi nắng, MB gần như mất màu hoàn toàn trong ống nghiệm, tương ứng với hiệu suất phân hủy tính được là 99,0%. Hiệu suất quang xúc tác cao của mẫu nZnOPr0,5% nung ở 900°C có thể được lý giải bởi việc vật liệu giữ lại một mức độ cao các khuyết tật mạng tinh thể, đặc biệt là các lỗ trống oxy, khi nung ở nhiệt độ tương đối thấp [12]. Những khuyết tật này đóng vai trò quan trọng trong việc kéo dài thời gian sống của các cặp electron - lỗ trống, từ đó nâng cao hiệu quả quang xúc tác. Kết quả này cũng gợi ý rằng việc tiếp tục giảm nhiệt độ nung và/hoặc tối ưu hóa phương pháp tổng hợp có thể là hướng đi tiềm năng để tiếp tục cải thiện hiệu suất xúc tác quang của vật liệu nZnO pha tạp Pr, ví dụ như đồng thời hình thành cấu trúc nano của nZnO và Pr_6O_{11}.

4. Kết luận

Mẫu nZnO pha tạp Pr (nZnOPr) *đã được tổng hợp thành công bằng phương pháp k*ết tủa. Phổ FTIR cho thấy sự xuất hiện các peak đặc trưng của liên kết Pr-O. Phổ XRD cho thấy nZnOPr có cấu trúc chủ yếu là hexagonal wurtzite của ZnO, đồng thời xuất hiện Pr_6O_{11} với hàm lượng nhỏ. Ảnh FESEM cho thấy vật liệu nZnOPr thu được ở dạng hạt với kích thước trung bình dưới 100 nm. Cả hai vật liệu nZnO *và* nZnOPr đều thể hiện khả năng *xúc tác quang* trong phân hủy MB, trong đó, mẫu nZnOPr0,5% nung *ở* 900*°C cho hiệu quả phân hủy MB ngoài trời cao hơn so với các mẫu nung ở* 1000*°C và 1*100*°C*. Sau 5 giờ phơi sáng, vật liệu nZnOPr0,5% gần như làm mất màu hoàn toàn MB, với hiệu suất đạt tới 99,0%.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ (MOST) cho đề tài với mã số ĐTĐLCN.22/23. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] N.T. Huong (2012), *Preparation and Optical Properties of ZnO Nanomaterials*, Master's Thesis, Vietnam National University (in Vietnamese).

[2] F. Moosavi, G. Neri (2023), "Effect of Pb doping on the structural, optical and electrical properties of sol-gel ZnO nanoparticles", *Discover Materials*, **3(1)**, DOI: 10.1007/s43939-023-00066-2.

[3] R. Ullah, J. Dutta (2008), "Photocatalytic degradation of organic dyes with manganese-doped ZnO nanoparticles", *Journal of Hazardous Materials*, **156(1)**, pp.194-200, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2007.12.033.

[4] N.T.T. Loan, N.Q. Hai (2014), "Study the catalytic decomposition of phenol red ZnO nanomaterials doped Ce and Mn", *Journal of Analytical Sciences*, **19(4)**, pp.39-43 (in Vietnamese).

[5] P.T.L. Huong, L.T. Thao, T.T.M. Man, et al. (2023), "Synthesis of Cr^{3+} doped ZnO nano materials for visible light photocatalytic applications", *Journal of Science and Transport Technology*, **3(4)**, pp.1-7, DOI: 10.58845/jstt.utt.2023.vn.3.4.1-7 (in Vietnamese).

[6] D.T.B. Hop, N.V. Cuong, H.Q. Thuan, et al. (2023), "Effect of the Ce^{3+} concentration on the crystallite structure and optical properties of ZnO nanomaterials synthesised by sol-gel method", *Vietnam Journal of Science and Technology-MOST,* **65(11)**, pp.63-68, DOI: 10.31276/VJST.65(11).63-68 (in Vietnamese).

[7] J.L. Chen, N. Li, N. Devi, et al. (2018), "Synthesis of Pr-doped ZnO nanoparticles: Their structural, optical, and photocatalytic properties", *Chinese Physics B*, **27(8)**, DOI:10.1088/1674-1056/27/8/086102.

[8] N.T. Dung (2006), *Analytical Chemistry, Part III: Chemical Quantitative Methods*, Vietnam Education Publishing House, 318pp (in Vietnamese).

[9] V.D. Do (2001), *Physical Analytical Methods in Chemistry*, Vietnam Education Publishing House, 217pp (in Vietnamese).

[10] T.T. Hieu (2003), *Spectrophotometric Analysis by UV-Vis Absorption*, VNU Publishing House, 226pp (in Vietnamese).

[11] Z.L. Wang (2004), "Zinc oxide nanostructures: Growth, properties and applications", *Journal of Physics: Condensed. Matter*, **16(25)**, DOI: 10.1088/0953-8984/16/25/R01.

[12] B. Matovic, J. Maletaskic, M. Đ. Prekajski, N. Radmilović, D. Bucevac, T. Minović, M. Čebela (2013), "Synthesis and characterization of Pr_6O_{11} nanopowders", *Ceramics International*, **39**, pp.3151-3155. DOI: 10.1016/j.ceramint.2012.09.098.

[13] A.B. Djurišić, Y.H. Leung (2006), "Optical properties of ZnO nanostructures" *Small,* **2(8-9)**, pp.944-961, DOI: 10.1002/smll.200600134.

[14] I. Aritman, H. Gergeroğlu, N. Sakar (2021), "Comparative study on structural and optical features of undoped and Eu^{3+} doped Pr_6O_{11} synthesized via sol-gel and flame spray pyrolysis", *Open Ceramics* **(5)**, p.100038. DOI: 10.1016/j.oceram.2020.100038.

 DOI: 10.31276/VJST.2025.3612

Phân lập và tinh chế cordycepin từ quả thể *Cordyceps militaris* nuôi trồng tại Việt Nam

Nguyễn Thanh Ngân[1*], Mạc Đình Hùng[1], Trần Văn Tuấn[2], Vũ Xuân Tạo[3]

[1]Khoa Hoá học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 19 Lê Thánh Tông, phường Cửa Nam, Hà Nội, Việt Nam
[2]Phòng Thí nghiệm Trọng điểm Công nghệ Enzym và Protein, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam 334 Nguyễn Trãi, phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam
[3]Viện Phát triển công nghệ tiên tiến, Viện Đổi mới sáng tạo Quốc gia, Bộ Khoa học và Công nghệ, Toà nhà C6 Thanh Xuân Bắc, Phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 8/9/2025; ngày chuyển phản biện 10/9/2025; ngày nhận phản biện 19/9/2025; ngày chấp nhận đăng 26/9/2025

Tóm tắt:

Cordycepin (3'-deoxyadenosine) là hợp chất chính có hoạt tính sinh học được tìm thấy trong nấm dược liệu *Cordyceps militaris* (*C. militaris*). Dẫn xuất nucleoside này không chỉ được xem là chỉ thị hóa học quan trọng để đánh giá chất lượng và độ xác thực của các sản phẩm từ *C. militaris*, mà còn có tiềm năng ứng dụng đáng kể trong lĩnh vực dược phẩm. Tuy nhiên, các phương pháp tinh chế cordycepin được công bố trước đây thường có kỹ thuật phức tạp, tốn nhiều thời gian, chi phí cao và hiệu suất thấp. Nghiên cứu này đã xây dựng và tối ưu hoá một quy trình đơn giản và hiệu quả để phân lập và tinh chế cordycepin từ quả thể *C. militaris* nuôi cấy nhân tạo. Quy trình tối ưu này bao gồm sự kết hợp giữa chiết dung môi, sắc ký cột pha thường và loại bỏ tạp chất thông qua kết tủa chọn lọc. Cách tiếp cận tích hợp này cho phép thu hồi cordycepin với độ tinh khiết cao, đã được xác nhận bằng phổ cộng hưởng từ hạt nhân (NMR) và so sánh với dữ liệu tham khảo. Quy trình đạt hiệu suất phân lập đáng kể, đồng thời cho thấy tiềm năng cải thiện hiệu quả thu hồi cordycepin so với một số phương pháp đã được công bố trước đây. Quy trình của nhóm nghiên cứu mang lại giải pháp thực tiễn, có thể mở rộng quy mô và có tiềm năng ứng dụng trong phát triển dược phẩm từ hợp chất đầy hứa hẹn này.

Từ khóa: **cordycepin, đông trùng hạ thảo, sắc ký.**

Chỉ số phân loại: **1.4, 2.8, 3.4**

Isolation and purification of cordycepin from fruiting bodies of *Cordyceps militaris* cultivated in Vietnam

Thanh Ngan Nguyen[1*], Dinh Hung Mac[1], Van Tuan Tran[2], Xuan Tao Vu[3]

[1]Faculty of Chemistry, VNU University of Science, 19 Le Thanh Tong Street, Cua Nam Ward, Hanoi, Vietnam
[2]National Key Laboratory of Enzyme and Protein Technology, VNU University of Science, 334 Nguyen Trai Street, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam
[3]Institute for Advanced Technology Development, National Academy for Advanced Technology and Innovation, Ministry of Science and Technology, C6 Thanh Xuan Bac, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam

Received 8 September 2025; revised 19 September 2025; accepted 26 September 2025

Abstract:

Cordycepin (3'-deoxyadenosine) is the major bioactive compound found in the medicinal fungus *Cordyceps militaris*. This nucleoside analog is not only considered an important chemical marker for evaluating the quality and authenticity of *C. militaris* products, but also possesses significant potential for pharmaceutical applications. However, previously reported methods for cordycepin purification tend to be technically complex, time-consuming, costly, and inefficient. This study successfully developed and optimized a simple and efficient procedure for the isolation and purification of cordycepin from artificially cultivated C. militaris fruiting bodies. The optimised protocol involves a combination of solvent extraction, normal-phase column chromatography, and impurity removal through selective precipitation. This integrated approach allows for the recovery of cordycepin with high purity, which was confirmed by nuclear magnetic resonance (NMR) spectroscopy and comparison with reference data. The optimized process provided a substantial isolation yield and demonstrated potential for improving cordycepin recovery compared with selected previously reported methods. Our protocol provides a practical and scalable solution with potential applications in the pharmaceutical development of this promising compound.

Keywords: **chromatography, *Cordyceps militaris*, cordycepin.**

Classification numbers: **1.4, 2.8, 3.4**

[*]Tác giả liên hệ: Email: nguyenthanhngan@hus.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Đông trùng hạ thảo *Cordyceps militaris* là một trong những loại thảo dược bổ dưỡng nổi tiếng của y học cổ truyền Trung Quốc trong nhiều thế kỷ, chứa nhiều thành phần có hoạt tính sinh học có thể ứng dụng trong y học, sản phẩm chăm sóc sức khỏe, mỹ phẩm và các lĩnh vực khác [1]. Đông trùng hạ thảo có khoảng 400 loài, phân bố ở những nơi có khí hậu ẩm ướt và cận nhiệt đới [1]. Cho đến nay, *Cordyceps sinensis* và *C. militaris* là những loài nấm được nghiên cứu rộng rãi nhất. Trong khi *C. sinensis* có phạm vi phân bố tự nhiên rất hạn chế, đến nay vẫn khó khăn trong nuôi cấy ở điều kiện nhân tạo, thì *C. militaris* hiện đã được nuôi cấy thành công ở quy mô công nghiệp. Cả *C. militaris* và *C. sinensis* đều chứa các hợp chất có hoạt tính sinh học chính như polysaccharide, cordycepin, adenosine, ergosterol, D-mannitol, axit amin và các nucleoside khác [2, 3]. Trong số đó, cordycepin được coi là một trong những thành phần chuyển hóa thứ cấp có hoạt tính quan trọng của đông trùng hạ thảo. Cấu trúc của cordycepin được xác định là 3'-deoxyadenosine vào năm 1950 [4]. Cordycepin được tìm thấy trong cả phần quả thể và sợi nấm đông trùng hạ thảo, tuy nhiên hàm lượng thu được trong quả thể là vượt trội hơn hẳn so với sợi nấm [5]. Đáng chú ý, hàm lượng cordycepin trong *C. militaris* cao hơn *C. sinensis* từ 2 tới 10 lần, trong khi thành phần polysaccharide và axit amin có sự tương đồng lớn giữa hai loài này [6-10]. Do đó, *C. militaris* có thể thay thế *C. sinensis* trong nhiều ứng dụng dược lý, nhất là khi nguồn *C. sinensis* ngày càng khan hiếm và giá thành cao [9, 11].

Cordycepin đã được chứng minh là có khả năng ức chế sự phát triển của nhiều loại tế bào ung thư, bao gồm ung thư gan, ung thư vú, ung thư phổi, ung thư đại trực tràng bằng cách tác động vào con đường tín hiệu tế bào như MAPK/ERK, PI3K/Akt và kích hoạt quá trình chết theo chương trình (apoptosis) [1]. Không những vậy, cordycepin ức chế các cytokine gây viêm như TNF-α, IL-6 và IL-1β; hay có khả năng chống oxy hóa và ngăn ngừa các bệnh lý liên quan đến sự suy giảm chức năng tế bào, bao gồm bệnh tim mạch và tiểu đường [12]. Ngoài ra, dịch chiết ethanol giàu cordycepin của quả thể nấm *C. militaris* chủng *HL8* có khả năng ức chế các dòng ung thư ở người với giá trị IC_{50} trong khoảng 6,41-11,51 µg/ml, khả năng kháng nấm da Malassezia ở nồng độ 7 mg/ml và kháng nấm *Penicillium digitatum* gây mốc hoa quả với nồng độ 1 mg/ml ở các thí nghiệm *in vitro* trước đó [13]. Với các tác dụng dược lý kể trên, cordycepin được coi là hoạt chất quý giá, tuy nhiên nguồn cung còn hạn chế do giới hạn phân bố địa lý và hàm lượng cordycepin sinh tổng hợp từ tự nhiên không cao. Các nghiên cứu đã được thực hiện nhằm chọn lọc giống nấm và tối ưu các điều kiện nuôi cấy *C. militaris*, tuy nhiên hàm lượng cordycepin chỉ có thể đạt tới 14,43 mg/g quả thể khô [13-15].

Ngoài quả thể và sợi nấm thì một lượng lớn cordycepin cũng được tìm thấy trong cơ chất dùng để lên men nấm ở trạng thái rắn và dịch lên men chìm nấm *C. militaris* [16]. Theo đó, nhiều phương pháp chiết tách cordycepin từ những nguồn này đã được báo cáo, bao gồm chiết dung môi có hỗ trợ đánh sóng siêu âm hoặc vi sóng [17, 18], chiết áp suất [19], chiết Soxhlet và chiết hồi lưu [20]. Nhìn chung, các phương pháp này chủ yếu dựa trên việc chiết ngâm nên còn hạn chế: hiệu suất chiết thấp, cần lượng dung môi lớn và tiêu tốn nhiều năng lượng. Về mặt tinh chế, các phương pháp được báo cáo chủ yếu dựa trên sắc ký trao đổi ion [21], sắc ký hấp phụ [21], hoặc sắc ký hấp phụ kết hợp sắc ký trao đổi ion [22], chiết lỏng-lỏng kết hợp sắc ký cột thường và kết tinh lại [23]. Tuy nhiên, các kỹ thuật này thường có khả năng hấp phụ thấp, hiệu suất thu hồi kém và khó thu được sản phẩm tinh khiết, vì trong *C. militaris* thường chứa nhiều nucleotide và polysaccharide có tính chất phân cực tương tự cordycepin, khó loại bỏ hoàn toàn [24, 25]. Zhou và cs (2016) [26] đã thành công trong việc thu cordycepin tinh khiết cao bằng phương pháp sắc ký lỏng hiệu năng cao pha đảo (reversed-phase HPLC) ở quy mô bán chuẩn bị, nhưng phương pháp này đòi hỏi thiết bị chuyên dụng và chi phí sản xuất lớn. Đáng chú ý phương pháp sắc ký ngược dòng tốc độ cao đã được áp dụng để phân tách và tinh chế nhiều loại dược liệu, trong đó có cordycepin [24, 26-31]. Đây là một dạng kỹ thuật sắc ký phân vùng lỏng - lỏng không sử dụng chất nền hỗ trợ, cố định pha tĩnh lỏng bằng lực ly tâm, loại bỏ sự hấp phụ không thể đảo ngược của mẫu lên chất nền rắn được sử dụng trong cột sắc ký thông thường và có khả năng thu hồi mẫu tốt. Độ tinh khiết cao nhất của sản phẩm được báo cáo đạt tới 98,9% [32]. Tuy nhiên, kỹ thuật này chủ yếu phù hợp cho quy mô chuẩn bị vì nếu áp dụng trên lượng mẫu lớn thì lượng dung môi tiêu thụ tăng đáng kể, kéo theo chi phí xử lý dung môi sau tách chiết. Ngoài ra, không tồn tại công thức chuẩn cho việc lựa chọn hệ dung môi, do đó cần tiến hành khảo sát và tối ưu hóa

nhiều tổ hợp dung môi hai pha để đạt hiệu quả mong muốn. Không những vậy, mẫu cần xử lý sơ bộ để loại tạp (ví dụ: chiết dung môi, sắc ký trao đổi ion, điều chỉnh pH) trước khi đưa vào sắc ký ngược dòng tốc độ cao, làm cho quy trình trở nên phức tạp và tốn thời gian hơn. Cũng bởi những khó khăn kể trên trong quá trình phân lập hoạt chất, cordycepin hiện đang được phân phối trên thị trường với giá rất cao (10 mg cordycepin tinh khiết ≥98% có giá hơn 4,8 triệu VNĐ, theo Công ty Hoá chất Sigma Aldrich).

Nghiên cứu này đề xuất quy trình tối ưu để phân lập cordycepin từ quả thể nấm *C. militaris* cho hiệu suất và độ tinh khiết cao. Theo đó, cordycepin được tách chiết theo phương pháp sắc ký cột thường và rửa với dung môi phân cực để hoà tan tạp chất. Sản phẩm sau tinh chế được xác định độ tinh khiết bằng các phương pháp đo phổ hiện đại.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên liệu, hóa chất, thiết bị nghiên cứu

Nguyên liệu: Nấm đông trùng hạ thảo (*C. militaris*) được tối ưu nuôi cấy cho hàm lượng cordycepin cao bởi một thành viên nhóm tác giả tại Viện Phát triển công nghệ tiên tiến, Viện Đổi mới sáng tạo Quốc gia. Hàm lượng cordycepin trong quả thể nấm *C. militaris* ban đầu đạt 23,18 mg, được xác định trên hệ thống HPLC theo T.X. Vu và cs (2024) [13]: Quả thể nấm *C. militaris* tươi được sấy khô trên thiết bị sấy thăng hoa ở -40°C tới khi độ ẩm đạt 5%. Mẫu quả thể nấm đã nghiền nhỏ và lọc qua rây được chiết hồi lưu với methanol 80% trong 30 phút. Dịch chiết được lọc qua màng cellulose acetate 0,45 µm để sử dụng cho phân tích HPLC. Hệ thống HPLC sử dụng trong phân tích (Hãng Shimadzu, Nhật Bản) gồm: bơm LC 20AD, bộ tiêm mẫu tự động SIL20A HT, Detector SPD 20A. Sử dụng cột C18 (Agillent) với kích thước cột là 250x4,6 mm và kích thước hạt 5 µm. Tốc độ rửa giải là 0,5 ml/phút, pha động gồm dung môi nước và acetonitril. Nhiệt độ lò cột được đặt ở 25°C. Detector UV được đặt quan sát tại bước sóng 260 nm.

Hoá chất: Các dung môi dichloromethane (CH_2Cl_2), methanol (MeOH), chloroform ($CHCl_3$) dùng để chiết thu cordycepin thô từ cao chiết quả thể nấm *C. militaris* và kết tủa cordycepin từ hỗn hợp chứa tạp chất.

Thiết bị nghiên cứu: Phổ cộng hưởng từ hạt nhân ^{1}H-NMR (500 MHz), ^{13}C-NMR (125 MHz) đo trên máy Bruker Avance-500 tại Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Dung môi khử proton được sử dụng là DMSO-d_6, chất nội chuẩn là tetramethylsilane (TMS) cho ^{1}H-NMR và tín hiệu dung môi cho ^{13}C-NMR. Cho khoảng 5 mg mẫu vào ống phổ có chứa 0,6 ml DMSO-d_6. Sắc ký lớp mỏng được thực hiện trên bản mỏng tráng sẵn DC-Aluofolien 60 F245 (Merck 1,05715). Phát hiện vệt chất bằng đèn tử ngoại ở bước sóng 254 nm. Sắc ký cột được tiến hành với chất hấp phụ là silicagel Merck, pha thường, cỡ hạt 0,040-0,063 mm (240-430 mesh).

2.2. Quy trình chiết và tinh chế cordycepin từ nấm C. militaris

Quy trình xử lý mẫu và chiết xuất: 100 g quả thể đông khô của nấm đông trùng hạ thảo *C. militaris* sau khi nghiền nhỏ được ngâm chiết trong 1 l MeOH ở nhiệt độ phòng trong 3 ngày. Dịch chiết được lọc qua giấy lọc, phần cặn tiếp tục ngâm thêm hai lần nữa với MeOH theo quy trình trên. Dịch lọc gộp lại đem cô quay thu được 17,455 g cao chiết MeOH.

Quy trình phân lập cordycepin thô*:* Từ cao chiết MeOH, tiến hành sắc ký cột silica gel với hệ dung môi rửa giải CH_2Cl_2:MeOH (9:1, v/v) thu được 6 phân đoạn, ký hiệu F1-F6. Khảo sát sơ bộ bằng sắc ký bản mỏng, đối chiếu với chất chuẩn cordycepin đã xác định được hợp chất này có mặt trong F6. Thu lấy phân đoạn F6, cô quay dưới áp suất giảm thu được chất rắn màu vàng nhạt (3,263 g).

Quy trình tinh chế cordycepin*:* Làm sạch hợp chất F6 bằng cách hoà phần chất rắn này với hệ dung môi $CHCl_3$:MeOH (1:1, v/v) thu được kết tủa màu trắng, ký hiệu là F6.1 (0,424 g) và phần dịch lọc màu vàng nâu, ký hiệu là F6.2.

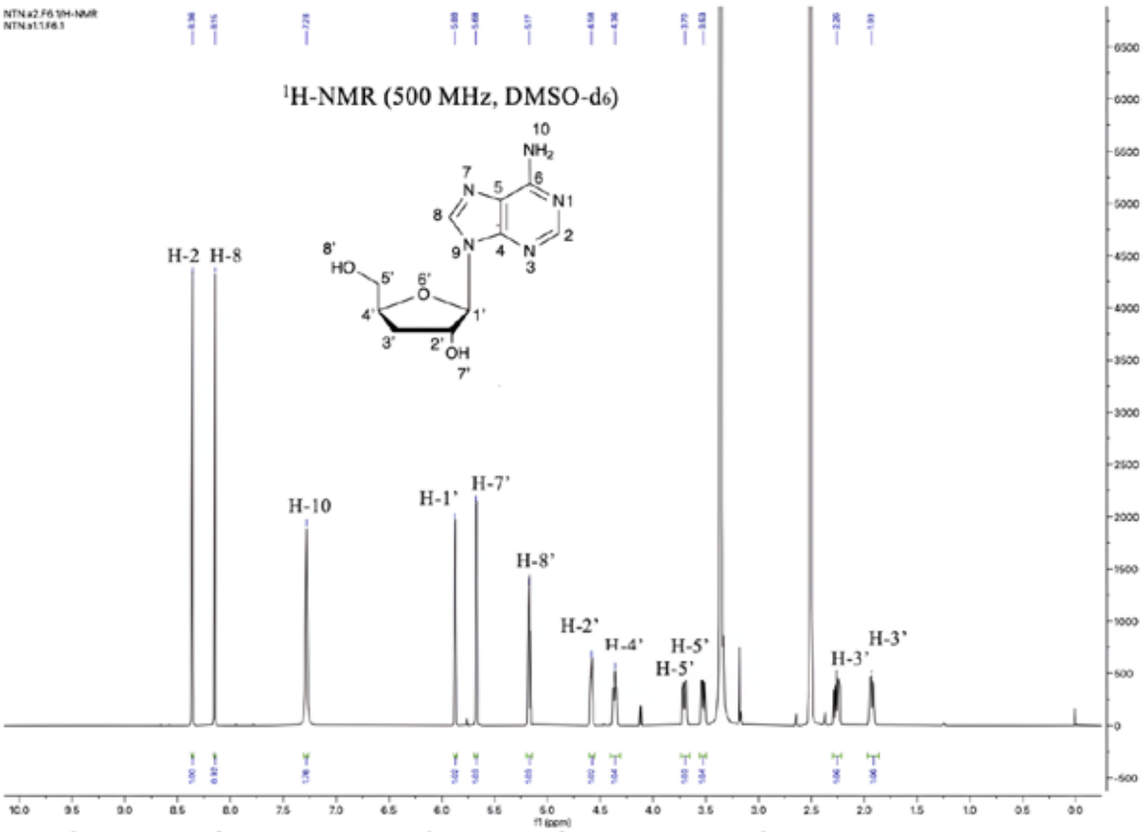
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Dữ liệu phổ

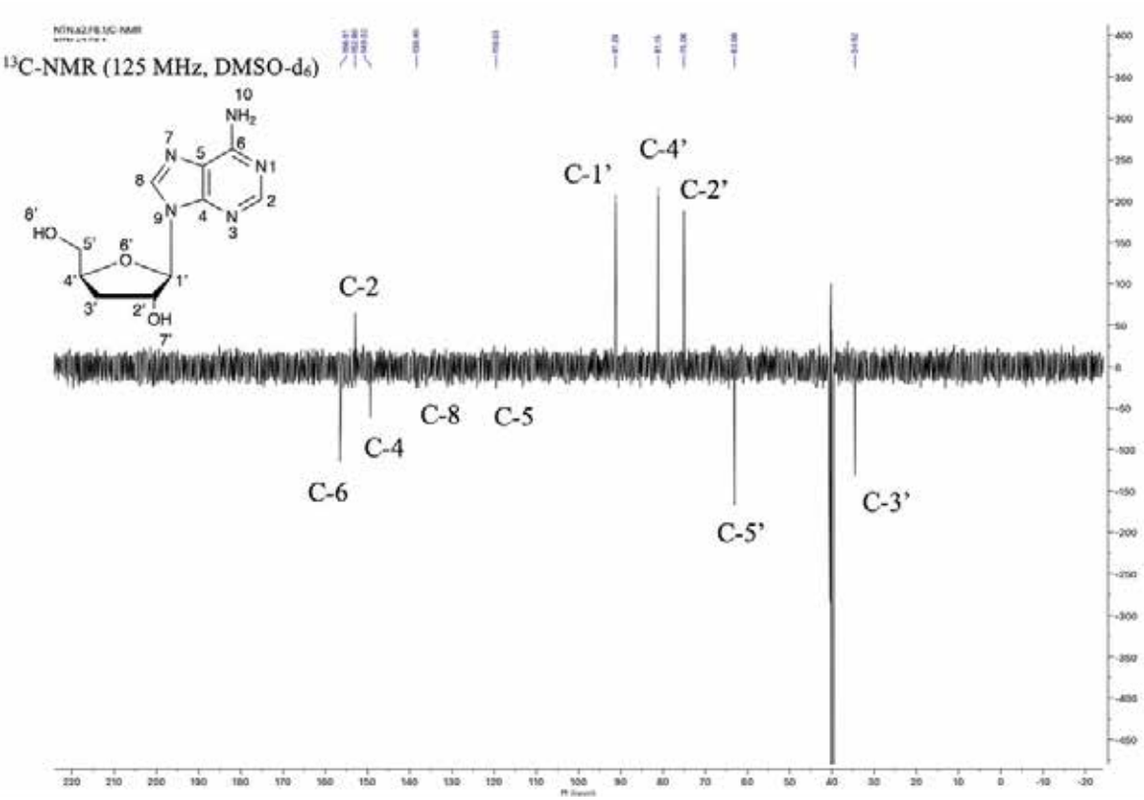
Hợp chất F6.1: Dạng bột màu trắng, tan tốt trong DMSO, dữ liệu phổ ^{1}H-NMR và ^{13}C-NMR thu được như hình 1 và hình 2:

^{1}H-NMR (500 MHz, DMSO) δ 8,36 (s, 1H), 8,15 (s, 1H), 7,28 (s, 2H), 5,88 (d, J=2,4 Hz, 1H), 5,68 (d, J=4,3 Hz, 1H), 5,17 (dd, J=6,1, 5,1 Hz, 1H), 4,62-4,55 (m, 1H), 4,36 (ddt, J=9,7, 6,8, 3,6 Hz, 1H), 3,70 (ddd, J=12,0, 5,2, 3,3 Hz, 1H), 3,53 (ddd, J=12,0, 6,1, 3,9 Hz, 1H), 2,26 (ddd, J=13,1, 8,6, 5,8 Hz, 1H), 1,93 (ddd, J=13,0, 6,3, 3,3 z, 1H).

^{13}C-NMR (125 MHz, DMSO) δ 156,51, 152,90, 149,32, 138,40, 119,53, 91,25, 81,15, 75,06, 63,08, 34,52.



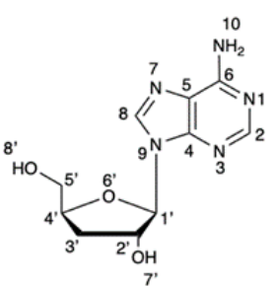
Hình 1. Phổ ^{1}H-NMR của hợp chất F6.1.



Hình 2. Phổ ^{13}C-NMR của hợp chất F6.1.

Phổ ^{1}H-NMR của hợp chất F6.1 cho thấy, hai tín hiệu δ_H 8,36 ppm (s, 1H) và 8,15 ppm (s, 1H) là các tín hiệu singlet đặc trưng cho proton ở vị trí C-2 và C-8 của vòng purine. Vị trí này thường có độ dịch chuyển hóa học lớn do ảnh hưởng của hệ vòng thơm. Trong đó, proton H-2 vì bị ảnh hưởng khử che chắn mạnh từ hai nitơ kế cận (N-1 và N-3) trong vòng pyrimidine, nên tương ứng với tín hiệu δ 8,36 ppm, còn H-8 ở δ 8,15 ppm chỉ nằm cạnh N-7 (có tính hút electron) và N-9 (nối glycosidic với đường, hút electron yếu hơn), nên hiệu ứng khử che chắn tổng thể nhỏ hơn, dẫn tới tín hiệu dịch chuyển hóa học thấp hơn H-2. Sự có mặt của hai proton từ nhóm amino ($-NH_2$) gắn vào vòng purine đặc trưng bởi tín hiệu tại δ_H 7,28 ppm (s, 2H). Sự xuất hiện của một phân tử đường ribose cũng được xác định trên phổ ^{1}H-NMR bởi tín hiệu proton anomer tại δ_H 5,88 (d, J=2,4 Hz, 1H), giá trị J=2,4 Hz phù hợp với cấu hình β. Các tín hiệu proton tại δ_H 5,68 ppm (d, J=4,3 Hz, 1H) và δ_H 5,17 ppm (dd, J=6,1, 5,1 Hz, 1H) đặc trưng cho nhóm hydroxyl lần lượt gắn với C-7' và C-8'. Tín hiệu ở δ_H 4,62-4,55 (m, 1H) và 4,36 (ddt, J=9,7, 6,8, 3,6 Hz, 1H) lần lượt là 2 proton gắn với C-2' và C-4' của đường ribose, do gần với nguyên tử oxy âm điện nên dịch chuyển về vùng trường cao. Cặp tín hiệu δ_H 3,70 và 3,53 là 2 proton cùng gắn với C-5' của đường ribose, carbon này gắn trực tiếp với nhóm hydroxyl nên cho tín hiệu proton cộng hưởng ở vùng trường thấp hơn so với 2 proton δ_H 2,26 (ddd, J=13,1, 8,6, 5,8 Hz, 1H) và δ_H 1,93 (ddd, J=13,0, 6,3, 3,3 Hz, 1H) cùng gắn với C-3'.

Phổ ^{13}C-NMR cho thấy, sự xuất hiện tín hiệu của 10 carbon trong đó có 3 carbon không liên kết trực tiếp với hydro tại δ_C 119,53 (C-5); 149,32 (C-4); 156,51 (C-6). Ngoài ra, có sự xuất hiện của 5 nhóm methine (-CH) tại δ_C 75,06 (C-2'); 81,15 (C-4'); 91,25 (C-1'); 138,40 (C-8); 152,90 (C-2) và hai tín hiệu δ_C 34,52 (C-3'), 63,08 (C-5') đặc trưng của 2 nhóm methylene ($-CH_2$). Các tín hiệu này là phù hợp với dữ liệu đã quan sát thấy trên phổ ^{1}H-NMR với 5 nguyên tử carbon vùng trường cao của đường ribose và các tín hiệu vùng trường thấp thuộc về vòng thơm purine.



Hình 3. Cấu trúc hoá học của hợp chất F6.1.

Từ những dữ kiện phổ NMR và đối chiếu với tài liệu tham khảo cho phép xác định cấu trúc hoá học của hợp chất F6.1 (hình 3) tương đồng với hợp chất cordycepin đã được phân lập từ đông trùng hạ thảo [33] (bảng 1).

Bảng 1. So sánh dữ liệu phổ NMR của hợp chất F6.1 và cordycepin theo tài liệu [33].

Vị trí	$\delta_C^{\#}$	δ_C (ppm)	$\delta_H^{\#}$	δ_H (J, Hz)	Quy kết
2	152,4	152,90	8,35 (s)	8,36 (s)	
4	148,9	149,32	-	-	
5	119,1	119,53	-	-	
6	156,0	156,51	-	-	
8	139,0	138,40	8,14 (s)	8,15 (s)	
10			7,28 (s)	7,28 (s)	$-NH_2$
1'	90,8	91,25	5,87 (d, 2,4)	5,88 (d, 2,4)	
2'	74,5	75,06	4,59 (m)	4,58 (m)	
3'	34,1	34,52	2,26 (m) 1,96 (m)	2,26 (ddd, 13,1, 8,6, 5,8) 1,93 (ddd, 13,0, 6,3, 3,3)	
4'	80,6	81,15	4,35 (m)	4,36 (ddt, 9,7, 6,8, 3,6)	
5'	62,6	63,08	3,67 (m) 3,53 (m)	3,70 (ddd, 12,0, 5,2, 3,3) 3,53 (ddd, 12,0, 6,1, 3,9)	
7'				5,68 (d, 4,3)	-OH
8'				5,17 (dd, 6,1, 5,1)	-OH

$^{\#}\delta_C$ và $^{\#}\delta_H$ của cordycepin [33], đo trong DMSO-d_6

3.2. Kết quả tinh chế cordycepin

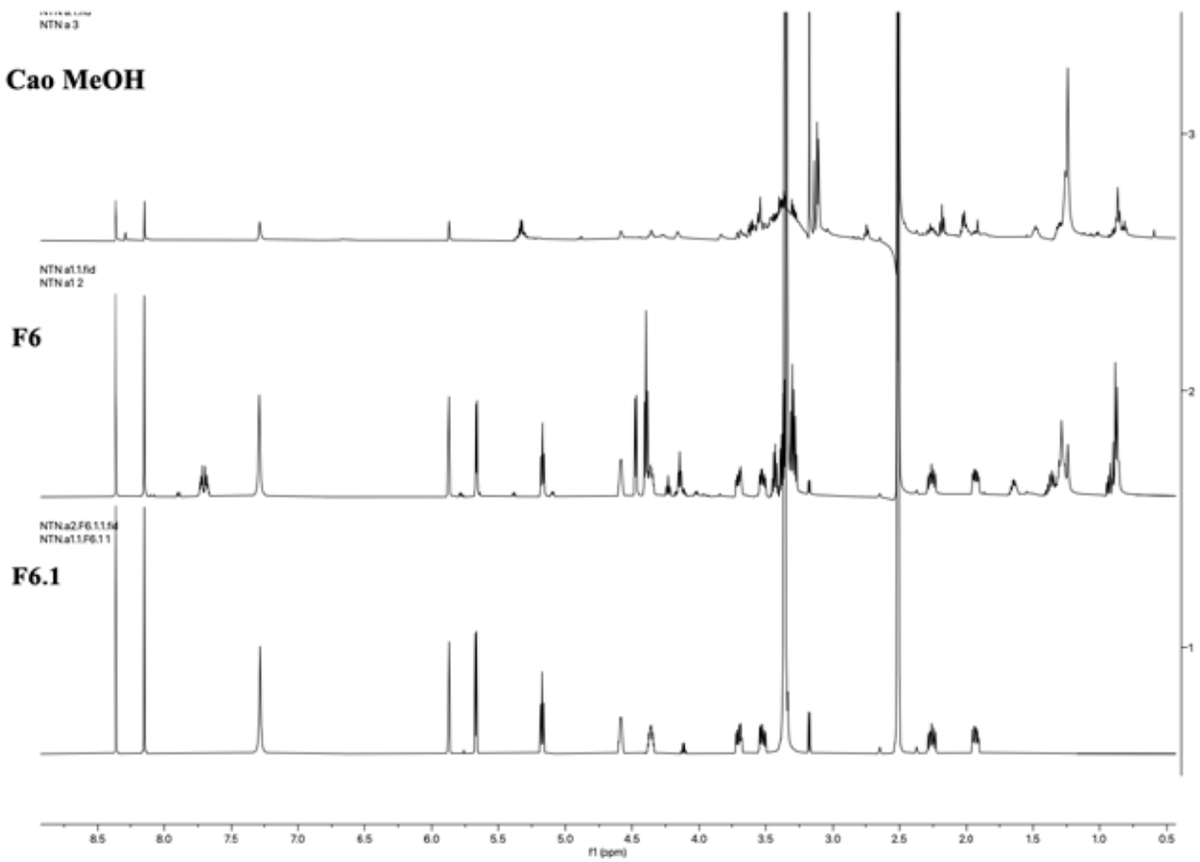
Các phương pháp sắc ký đã được sử dụng để chiết tách cordycepin bao gồm: sắc ký silica gel, sắc ký hấp phụ, sắc ký loại trừ kích thước. Tuy nhiên, đây chỉ là bước tiền xử lý, thực tế cần thêm các bước làm tinh chế (ví dụ, sắc ký trao đổi ion, sắc ký cột pha đảo, sắc ký polyamide, sắc ký ngược dòng tốc độ cao, kết tinh lại, rửa kết tủa) để thu được sản phẩm tinh khiết. Gần đây, một nhóm nghiên cứu tại Nhật Bản đã công bố quy trình phân lập cordycepin từ quả thể của *C. militaris* bằng phương pháp chiết phân bố lỏng - lỏng kết hợp sắc ký cột thường và kết tinh để thu sản phẩm có độ tinh khiết cao [23]. Theo đó, các phân đoạn có chứa hợp chất mong muốn sau khi sắc ký cột được hoà trong hệ dung môi $CHCl_3$:MeOH (1:1, v/v). Dịch lọc thu được đem cô quay dưới áp suất giảm thu được phần rắn thô, sau đó thực hiện kết tinh với hệ dung môi EtOAc:MeOH (3:7, v/v). Tinh thể thu được đem rửa với dung môi chứa $CHCl_3$, ethyl acetate (EtOAc) và MeOH (6:2:2, v/v/v) để loại tạp chất.

Trong thí nghiệm của chúng tôi, phần rắn sau khi sắc ký cột silica gel chỉ hoà tan một phần trong hệ dung môi $CHCl_3$:MeOH (1:1, v/v). Sau khi lọc thu được phần rắn có màu trắng, phân tích bằng phổ ^{1}H-NMR và ^{13}C-NMR cho dữ liệu phù hợp với hợp chất cordycepin theo Z.G. Chen và cs (2013) [33]. Sự khác biệt giữa thực nghiệm và báo cáo trước đó có thể được giải thích dựa vào độ tan của cordycepin. Thông thường, độ tan của cordycepin ở 25°C là khoảng 7 mg/ml [34]. Khi nhiệt độ giảm, độ tan cũng giảm dần. Nếu nồng độ cordycepin trong dung dịch vượt quá giới hạn hòa tan thì tinh thể sẽ xuất hiện. Như vậy, độ tan của cordycepin là rất ít nên có thể dùng hệ dung môi $CHCl_3$:MeOH với tỷ lệ chọn lọc để rửa sạch kết tủa. Khi đó, một phần cordycepin tan trong dung dịch rửa cũng sẽ bị rửa trôi, nhưng bù lại, độ tinh khiết của sản phẩm sẽ tăng lên. Bên cạnh đó, nếu mẫu ban đầu chưa được xử lý kỹ thì các polysaccharide, protein, và tạp chất khác tồn tại trong mẫu cũng sẽ ảnh hưởng tới sự sắp xếp mạng lưới tinh thể và độ tan của cordycepin. Do đó, phần lớn cordycepin có thể không kết tinh bình thường mà hoà tan vào dịch rửa [35].

Phương pháp kết tủa để tăng độ tinh khiết của sản phẩm đã được chứng minh tính hiệu quả bằng cách đối chiếu dữ liệu phổ ^{1}H-NMR của cao chiết MeOH, hợp chất F6 và F6.1 (hình 4). Có thể quan sát thấy, các peak tạp chất ở cao chiết MeOH ban đầu đã được loại bỏ hiệu quả sau bước sắc ký cột thường (thể hiện trên phổ ^{1}H-NMR của hợp chất F6) và đặc biệt sau bước kết tủa, đã thu được cordycepin chứa rất ít tạp chất. Đặc biệt, tín hiệu tại δH 5,68 (d, J=4,3 Hz, 1H) đặc trưng cho nhóm hydroxyl gắn với C-2' chỉ quan sát được trên phổ proton của hợp chất F6 và F6.1, nhưng không xuất hiện trên phổ proton của cao chiết MeOH. Điều này có thể giải thích rằng, hàm lượng cordycepin sau quá trình chiết và tinh chế đã được làm giàu so với trong cao chiết lần đầu, các tạp chất cũng được loại bỏ hiệu quả khi đối chiếu phổ proton của hợp chất F6 và F6.1, chứng minh tính hiệu quả của quá trình làm sạch sản phẩm thông qua một bước rửa kết tủa.

3.3. Kết quả hiệu suất phân lập và thu hồi

Theo kết quả đo HPLC, hàm lượng cordycepin tính trên mẫu quả thể khô kiệt ban đầu là 23,18 mg/g, tức là trong 100 g mẫu quả thể khô ban đầu có chứa 2,318 g cordycepin. Mặt khác, thông qua sắc ký cột thường kết hợp loại bỏ tạp chất bằng phương pháp rửa kết tủa, lượng cordycepin tinh khiết thu được là 0,424 g. Như vậy, hiệu suất thu hồi đạt 18,29%. Bên cạnh đó, quy trình phân lập và tinh chế đạt hiệu suất thu hồi cordycepin



Hình 4. So sánh phổ ^{1}H-NMR của cao chiết MeOH, hợp chất F6 và F6.1 theo thứ tự từ trên xuống dưới.

0,424%, cao hơn đáng kể so với các quy trình đã được báo cáo trước đây, bao gồm phương pháp sắc ký cột kết hợp kết tinh lại (0,04%) [23] và phương pháp kết hợp sắc ký lỏng siêu tới hạn với sắc ký ngược dòng tốc độ cao (0,18%) [36]. Tuy nhiên, cũng cần lưu ý rằng chất lượng quả thể ban đầu (bao gồm giống nấm, môi trường nuôi cấy, giai đoạn sinh trưởng) có ảnh hưởng tới khả năng sinh tổng hợp cordycepin, và từ đó ảnh hưởng tới hiệu suất thu hồi sản phẩm.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã cải tiến quy trình phân lập và tinh chế cordycepin từ quả thể nấm *C. militaris*, hướng tới nâng cao hiệu suất thu hồi và độ tinh khiết của sản phẩm. Khác với các nghiên cứu trước đây chủ yếu tập trung vào tối ưu hóa các điều kiện chiết tách và định lượng cordycepin trong dịch chiết, quy trình hiện tại hướng đến thu nhận trực tiếp cordycepin ở dạng rắn thông qua sự kết hợp có hệ thống giữa các bước chiết dung môi, sắc ký cột làm giàu phân đoạn chứa cordycepin và các bước tinh chế tiếp theo. Quy trình đạt hiệu suất thu hồi 0,424% và tạo ra sản phẩm có độ tinh khiết cao, được xác nhận bằng phổ ^{1}H-NMR và ^{13}C-NMR. Quy trình có tiềm năng ứng dụng trên quy mô lớn đối với nhiều hợp chất tự nhiên khác. Bên cạnh đó, nghiên cứu đề xuất cần tiếp tục đánh giá hoạt tính sinh học của cordycepin phân lập, làm cơ sở cho việc phát triển các hợp chất dẫn đường trong tổng hợp dược phẩm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi đề tài mã số TN.24.07 của Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S.Y. Yoon, S.J. Park, Y.J. Park (2018), "The anticancer properties of cordycepin and their underlying mechanisms", *International Journal of Molecular Sciences*, **19(10)**, DOI: 10.3390/ijms19103027.

[2] K.J. Jędrejko, J. Lazur, B. Muszyńska (2021), "*Cordyceps militaris*: An overview of its chemical constituents in relation to biological activity", *Foods*, **10(11)**, DOI: 10.3390/foods10112634.

[3] L.U. Maľučká, A. Uhrinová, P. Lysinová (2022), "Medicinal mushrooms *Ophiocordyceps sinensis* and *Cordyceps militaris*", *Ceska a Slovenska Farmacie: Casopis Ceske Farmaceuticke Spolecnosti a Slovenske Farmaceuticke Spolecnosti*, **71(6)**, pp.259-265.

[4] K.G. Cunningham, W. Manson, F.S. Spring, et al. (1950), "Cordycepin, a metabolic product isolated from cultures of *Cordyceps militaris* (Linn.) Link", *Nature*, **166**, DOI: 10.1038/166949a0.

[5] T.N.H. Lai (2024), "Nutritional and medicinal value of cultivated *Cordyceps militaris*", *Vietnam National University of Agriculture*, https://vnua.edu.vn/tin-tuc-su-kien/nghien-cuu-khoa-hoc/gia-tri-dinh-duong-va-duoc-lieu-cua-dong-trung-ha-thao-nuoi-trong-cordyceps-militaris-55631, accessed 20 November 2024 (in Vietnamese).

[6] L. Huang, Q.Z. 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.

[7] K. Yue, M. Ye, Z. Zhou, et al. (2013), "The genus Cordyceps: A chemical and pharmacological review", *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, **65(4)**, pp.474-493, DOI: 10.1111/j.2042-7158.2012.01601.x.

[8] H. Zhang, H.M. Zhang, L. Han, et al. (2014), "Cultivation technique of selenium-enriched *Cordyceps militaris*", *Applied Mechanics and Materials*, **522-524**, pp.1147-1150, DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.522-524.1147.

[9] Y. Liu, K. Xiao, Z. Wang, et al. (2021), "Comparison of metabolism substances in *Cordyceps sinensis* and *Cordyceps militaris* cultivated with tussah pupa based on LC-MS", *Journal of Food Biochemistry*, **45(6)**, DOI: 10.1111/jfbc.13735.

[10] V.K. Kondapalli, A. Malaviya (2024), "Comparison of cultivated *Cordyceps militaris* and wild *Ophiocordyceps sinensis* using high-performance thin-layer chromatography", *Research Journal of Biotechnology*, **19(12)**, pp.163-170, DOI: 10.25303/1912rjbt1630170.

[11] A.T. Anyu, W.H. Zhang, Q.H. Xu (2021), "Cultivated Cordyceps: A tale of two treasured mushrooms", *Chinese Medicine and Culture*, **4(4)**, pp.221-227, DOI: 10.4103/CMAC.CMAC_41_21.

[12] H.S. Tuli, S.S. Sandhu, A.K. Sharma (2014), "Pharmacological and therapeutic potential of *Cordyceps* with special reference to *Cordycepin*", *3 Biotech*, **4(1)**, pp.1-12, DOI: 10.1007/s13205-013-0121-9.

[13] 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)**, DOI: 10.1007/s00203-024-03833-8.

[14] T.T. Thy (2019), "Study on solid medium to increase cordycepin and adenosine content of *Cordyceps militaris* mushroom", *Can Tho University Journal of Science*, **55(Special Issue: Biotechnology)**, pp.27-33, DOI: 10.22144/ctu.jsi.2019.040 (in Vietnamese).

[15] K.Y. Huynh, B.T. Le, T.Y. Vu, et al. (2024), "Evaluation of cordycepin and adenosine content of *Cordyceps militaris* cultivated on organic medium", *Journal of Industry and Trade*, https://tapchicongthuong.vn/danh-gia-ham-luong-cordycepin-va-adenosin-cua-cordyceps-militaris-nuoi-trong-tren-moi-truong-huu-co-122258.htm, accessed 10 October 2024 (in Vietnamese).

[16] L. Wang, H. Yan, B. Zeng, et al. (2022), "Research progress on cordycepin synthesis and methods for enhancement of cordycepin production in *Cordyceps militaris*", *Bioengineering*, **9(2)**, DOI: 10.3390/bioengineering9020069.

[17] J. Song, C. Liu, D. Li, et al. (2007), "Optimization of cordycepin extraction from cultured *Cordyceps militaris* by HPLC-DAD coupled with uniform design", *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, **82(12)**, pp.1122-1126, DOI: 10.1002/jctb.1784.

[18] T.P.T. Doan, T.N.A. Tran, T.M. Nguyen (2018), "Study on the effect of extraction conditions on the extraction efficiency of cordycepin from *Cordyceps militaris Linn. Link*", *Ho Chi Minh City Open University Journal of Science*, **13(1)**, pp.106-115, DOI: 10.46223/HCMCOUJS.tech.vi.13.1.795.2018 (in Vietnamese).

[19] F.Q. Yang, S.P. Li (2008), "Effects of sample preparation methods on the quantification of nucleosides in natural and cultured Cordyceps", *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, **48(1)**, pp.231-235, DOI: 10.1016/j.jpba.2008.05.012.

[20] H. Ni, X.H. Zhou, H.H. Li, et al. (2009), "Column chromatographic extraction and preparation of cordycepin from *Cordyceps militaris* waste medium", *Journal of Chromatography B*, **877(22)**, pp.2135-2141, DOI: 10.1016/j.jchromb.2009.06.009.

[21] W. Zhang, B. Li, X. Dong, et al. (2017), "Enzyme-assisted extraction of cordycepin and adenosine from cultured *Cordyceps militaris* and purification by macroporous resin column chromatography", *Separation Science and Technology*, **52(8)**, pp.1350-1358, DOI: 10.1080/01496395.2017.1287736.

[22] Z. Jing, T. Tuernisan, Z. Zhong, et al. (2019), "Separation and purification of cordycepin by macroporous resin coupled with KB - 2 microsphere column chromatography", *Acta Edulis Fungi*, **35(02)**, pp.65-71, DOI: 10.16488/j.cnki.1005-9873.2019.02.010.

[23] N.V. Quan, Y. Iuchi, L.H. Anh, et al. (2022), "Simple isolation of cordycepin from *Cordyceps militaris* by dual-normal phase column chromatography and its potential for making kombucha functional products", *Separations*, **9(10)**, DOI: 10.3390/separations9100290.

[24] X. Zhou, Z. Gong, Y. Su, et al. (2009), "Two-step purification of cordycepin from *Cordyceps militaris* by high-speed counter-current chromatography", *Journal of Chromatography B*, **877(17-18)**, pp.1751-1757, DOI: 10.1016/j.jchromb.2009.04.033.

[25] Z. Hu, J. Wang, L. Jin, et al. (2022), "Preparation, characterization and anti-complementary activity of three novel polysaccharides from *Cordyceps militaris*", *Polymers*, **14(21)**, pp.4636, DOI: 10.3390/polym14214636 (in Chinese).

[26] X. Zhou, G. Cai, Y. He et al. (2016), "Separation of Cordycepin from Cordyceps militaris fermentation supernatant using preparative HPLC and evaluation of its antibacterial activity as an NAD+-dependent DNA ligase inhibitor". *Experimental and Therapeutic Medicine*, **12(3)**, pp.1812–1816, DOI: 10.3892/etm.2016.3536.

[27] D. He, Y. Huang, A. Ayupbek, et al. (2010), "Separation and purification of flavonoids from black currant leaves by high-speed countercurrent chromatography and preparative HPLC", *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, **33(5)**, pp.615-628, DOI: 10.1080/10826071003608447.

[28] L. Niu, Z. Xie, T. Cai, et al. (2011), "Preparative isolation of alkaloids from *Corydalis bungeana* Turcz. by high-speed counter-current chromatography using stepwise elution", *Journal of Separation Science*, **34(9)**, pp.987-994, DOI: 10.1002/jssc.201000785.

[29] H. Li, Y. Zhang, Q. Liu, et al. (2016), "Preparative separation of phenolic compounds from *Chimonanthus praecox* flowers by high-speed counter-current chromatography using a stepwise elution mode", *Molecules (Basel, Switzerland)*, **21(8)**, DOI: 10.3390/molecules21081016.

[30] L. Fang, H. Zhang, J. Zhou, et al. (2018), "Rapid screening and preparative isolation of antioxidants from *Alpinia officinarum* hance using HSCCC coupled with DPPH-HPLC assay and evaluation of their antioxidant activities", *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, **2018**, DOI: 10.1155/2018/3158293.

[31] F. Yang, Y. Qi, W. Liu, et al. (2019), "Separation of five flavonoids from aerial parts of *Salvia miltiorrhiza* Bunge using HSCCC and their antioxidant activities", *Molecules*, **24(19)**, DOI: 10.3390/molecules24193448.

[32] X. Huichun, Y. Liang, D. Lao, et al. (2011), "Preparative separation of high-purity cordycepin from *Cordyceps militaris* (L.) Link by high-speed counter current chromatography", *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, **34(7)**, pp.491-499, DOI: 10.1080/10826076.2011.556965.

[33] Z.G. Chen, D.N. Zhang, L. Cao, et al. (2013), "Highly efficient and regioselective acylation of pharmacologically interesting cordycepin catalyzed by lipase in the eco-friendly solvent 2-methyltetrahydrofuran", *Bioresource Technology*, **133**, pp.82-86, DOI: 10.1016/j.biortech.2013.01.117.

[34] M. Masuda, M. Hatashita, S. Fujihara, et al. (2015), "Simple and efficient isolation of cordycepin from culture broth of a *Cordyceps militaris* mutant", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **120(6)**, pp.732-735, DOI: 10.1016/j.jbiosc.2015.04.008.

[35] P. Liu, J. Ma, R. Liang, et al. (2023), "Development of an efficient method for separation and purification of cordycepin from liquid fermentation of *Cordyceps militaris* and analysis of cordycepin antitumor activity", *Heliyon*, **9(3)**, DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14184.

[36] J.Y. Ling, G.Y. Zhang, J.Q. Lin, et al. (2009), "Supercritical fluid extraction of cordycepin and adenosine from *Cordyceps kyushuensis* and purification by high-speed counter-current chromatography", *Separation and Purification Technology*, **66(3)**, pp.625-629, DOI: 10.1016/j.seppur.2008.12.022.

 DOI: 10.31276/VJST.2025.3471

Đặc điểm kháng kháng sinh và gen độc lực của 7 chủng *Pseudomonas aeruginosa* trong nước đóng chai, đóng bình tại Hà Nội

Phạm Ngọc Hà[1], Vũ Khánh Vân[1], Phạm Văn Quân[1], Ninh Thị Hạnh[1], Nguyễn Hùng Thanh[2], Lý Công Hiếu[3], Đỗ Văn Huy[4], Lê Thị Phương Thảo[1*]

[1]Viện Kiểm nghiệm An toàn vệ sinh thực phẩm Quốc gia, 65 Phạm Thận Duật, phường Phú Diễn, Hà Nội, Việt Nam
[2]Văn phòng Bộ Khoa học và Công nghệ, 18 Nguyễn Du, phường Cửa Nam, Hà Nội, Việt Nam
[3]Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, 41A Phú Diễn, phường Phú Diễn, Hà Nội, Việt Nam
[4]Học viện Nông nghiệp Việt Nam, 236 Ngô Xuân Quảng, xã Gia Lâm, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 1/10/2025; ngày chuyển phản biện 3/10/2025; ngày nhận phản biện 20/10/2025; ngày chấp nhận đăng 29/10/2025

Tóm tắt:

***Pseudomonas aeruginosa* là vi khuẩn cơ hội có khả năng kháng kháng sinh cao và mang nhiều yếu tố độc lực, gây nguy cơ đối với sức khỏe cộng đồng khi hiện diện trong nước uống. Nghiên cứu này được thực hiện trên 50 mẫu nước đóng chai và đóng bình tại Hà Nội nhằm xác định tỷ lệ nhiễm, đặc điểm kháng kháng sinh và hồ sơ gen độc lực của *P. aeruginosa*. Kết quả cho thấy, 38% mẫu dương tính với *P. aeruginosa*. Các chủng phân lập thể hiện tỷ lệ kháng cao với cephalosporin thế hệ 3-4 và aminoglycoside, trong khi nhạy với doripenem và piperacillin-tazobactam (100%). Phân tích gen độc lực cho thấy, các chủng mang đồng thời nhiều gen độc lực thuộc hệ thống tiết type II và III (*exo*A, *exo*Y, *exo*S, *exo*U) và hệ thống quorum sensing (*las*A, *las*B, *rhl*AB, *rhl*I, *las*I, *las*R), cho thấy tiềm năng hình thành biofilm và gây bệnh cao. Nghiên cứu này nhấn mạnh sự cần thiết của việc giám sát vi sinh định kỳ và kiểm soát chặt chẽ chất lượng nước uống đóng chai.**

Từ khóa: **hệ thống cảm ứng quorum, hệ thống tiết type II và III, kháng kháng sinh, *Pseudomonas aeruginosa*.**

Chỉ số phân loại: **1.6, 2.10, 3.3**

Antimicrobial resistance and virulence gene profiles of seven *Pseudomonas aeruginosa* in bottled and large-volume packaged drinking water in Hanoi

Ngoc Ha Pham[1], Khanh Van Vu[1], Van Quan Pham[1], Thi Hanh Ninh[1], Hung Thanh Nguyen[2], Cong Hieu Ly[3], Van Huy Do[4], Thi Phuong Thao Le[1*]

[1]National Institute for Food Control, 65 Pham Than Duat Street, Phu Dien Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Office of the Ministry of Science and Technology, 18 Nguyen Du Street, Cua Nam Ward, Hanoi, Vietnam
[3]Hanoi University of Natural Resources and Environment, 41A Phu Dien Street, Phu Dien Ward, Hanoi, Vietnam
[4]Vietnam National University of Agriculture, 236 Ngo Xuan Quang Street, Gia Lam Commune, Hanoi, Vietnam

Received 1 October 2025; revised 20 October 2025; accepted 29 October 2025

Abstract:

***Pseudomonas aeruginosa* is an opportunistic pathogen with high levels of antimicrobial resistance and multiple virulence factors, posing a potential public health risk when present in drinking water. This study was conducted using 50 bottled and large-volume packaged drinking water samples collected in Hanoi to determine the prevalence, antimicrobial resistance characteristics, and virulence gene profiles of *P. aeruginosa*. The results showed that 38% of the samples were positive for *P. aeruginosa*. The isolates exhibited high resistance rates to third- and fourth-generation cephalosporins and aminoglycosides, whereas all isolates were susceptible to doripenem and piperacillin-tazobactam (100%). Virulence gene analysis showed that the isolates simultaneously carried multiple genes associated with the type III secretion system (*exo*A, *exo*Y, *exo*S, and *exo*U) and the quorum-sensing system (*lasA*, *lasB*, *rhlAB*, *rhlI*, *lasI*, and *lasR*), indicating a high potential for biofilm formation and pathogenicity. These findings highlight the need for routine microbiological surveillance and stringent quality control of bottled drinking water.**

Keywords: **antimicrobial resistance, *Pseudomonas aeruginosa*, quorum-sensing system, type II and III secretion system.**

Classification numbers: **1.6, 2.10, 3.3**

[*]Tác giả liên hệ: Email: thaoltp@nifc.gov.vn

1. Đặt vấn đề

Nước uống đóng chai, đóng bình là một sản phẩm thiết yếu được tiêu thụ rộng rãi trên toàn cầu, đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp nước uống tiện lợi cho người tiêu dùng. Tuy nhiên, trong loại nước uống này, sự hiện diện của các vi sinh vật, đặc biệt là các vi khuẩn gây bệnh có khả năng kháng kháng sinh là một mối nguy cần kiểm soát. Trong số đó, *P. aeruginosa* là một tác nhân gây bệnh cơ hội có ý nghĩa lâm sàng quan trọng, có khả năng chịu nhiệt độ trong khoảng 4-42°C nên nó tồn tại trong nhiều môi trường nước khác nhau [1].

P. aeruginosa là một trực khuẩn Gram âm, hiếu khí, có khả năng sinh tồn trong nhiều môi trường khác nhau nhờ vào sự đa dạng sinh học và khả năng thích nghi cao [2]. Vi khuẩn này có thể gây ra nhiều bệnh nghiêm trọng như nhiễm trùng đường hô hấp, nhiễm trùng máu, nhiễm trùng vết thương và viêm tai giữa. Đặc biệt, sự xuất hiện của *P. aeruginosa* trong nước uống đóng chai không chỉ làm suy giảm chất lượng sản phẩm, mà còn tiềm ẩn nguy cơ ảnh hưởng đến sức khỏe người tiêu dùng, đặc biệt là những đối tượng có hệ miễn dịch suy yếu như trẻ nhỏ, người cao tuổi và người mắc bệnh mãn tính [3].

Một trong những đặc điểm đáng lo ngại của *P. aeruginosa* là khả năng kháng kháng sinh cao, làm giảm hiệu quả điều trị trong các bệnh nhiễm trùng do vi khuẩn này gây ra. Cơ chế kháng thuốc của *P. aeruginosa* rất phức tạp, bao gồm sự giảm tính thấm màng tế bào đối với kháng sinh, hoạt động của các bơm tống kháng sinh ra ngoài, sản xuất enzyme phân hủy kháng sinh như β-lactamase và sự đột biến làm thay đổi cấu trúc đích của kháng sinh. Sự xuất hiện của các chủng *P. aeruginosa* kháng đa thuốc (MDR) trong nước đóng chai có thể dẫn đến nguy cơ lây nhiễm trong cộng đồng và làm tăng gánh nặng bệnh tật [1]. *P. aeruginosa* biểu hiện khả năng kháng nhiều loại kháng sinh, bao gồm aminoglycoside, quinolone và β-lactam [4]. Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) gần đây đã liệt kê *P. aeruginosa* kháng carbapenem là một trong ba loài vi khuẩn có nhu cầu cấp thiết về việc phát triển các loại kháng sinh mới để điều trị nhiễm trùng [5]. Carbapenem là một nhóm kháng sinh mạnh thường dùng để điều trị các nhiễm trùng do vi khuẩn Gram âm, đặc biệt đáng báo động vì nó giới hạn sự lựa chọn trong điều trị lâm sàng [6].

Ngoài khả năng kháng thuốc, *P. aeruginosa* còn sở hữu nhiều gen độc lực giúp vi khuẩn xâm nhập, bám dính, gây tổn thương mô và né tránh hệ miễn dịch của vật chủ. Các gen này bao gồm nhóm liên quan đến hệ thống tiết type II và III (*exoA, exoS, exoT, exoU, exoY*), góp phần gây tổn thương tế bào vật chủ [7], và nhóm điều hòa hệ thống cảm ứng quorum (*lasA, lasB, aprA, rhlAB, rhlI, rhlR, lasI, lasR*), liên quan đến việc sản xuất enzyme ngoại bào, hình thành biofilm và tăng cường khả năng thích nghi trong môi trường [8]. Sự hiện diện đồng thời của các gen này làm gia tăng độc lực và khả năng tồn tại của *P. aeruginosa* trong nước uống, từ đó tiềm ẩn nguy cơ đối với sức khỏe cộng đồng.

Các cơ chế kháng kháng sinh của *P. aeruginosa* có mối liên hệ chặt chẽ với hệ thống gen độc lực [9]. Các gen thuộc hệ thống tiết type III như *exoA, exoS, exoU, exoT* giúp vi khuẩn xâm nhập và phá hủy tế bào vật chủ, đồng thời tạo điều kiện cho việc kích hoạt các đáp ứng stress và điều hòa biểu hiện gen kháng thuốc [10]. Bên cạnh đó, nhóm gen cảm ứng quorum (*lasA, lasB, rhlI, rhlR, lasI, lasR*) đóng vai trò điều phối sản xuất enzyme ngoại bào và hình thành biofilm, một cấu trúc bảo vệ giúp vi khuẩn bám dính bề mặt và giảm tính thấm của kháng sinh [11]. Sự hình thành biofilm làm tăng đáng kể khả năng kháng thuốc do các tế bào trong biofilm có tốc độ trao đổi chất chậm, lớp ma trận polysaccharide cản trở khuếch tán thuốc, và vi khuẩn có thể trao đổi gen kháng dễ dàng hơn [12]. Do đó, sự phối hợp giữa độc lực và khả năng hình thành biofilm chính là yếu tố trung tâm khiến *P. aeruginosa* trở thành loài vi khuẩn khó kiểm soát trong cả môi trường và lâm sàng.

Tại Việt Nam, kết quả giám sát mối nguy ô nhiễm nước uống đóng chai, đóng bình trên thị trường 5 tỉnh Tây Nguyên từ năm 2017-2018 cho thấy: tình trạng nhiễm vi sinh vật chủ yếu tập trung vào sản phẩm nước uống đóng chai, đóng bình chiếm 41,5% (162/390), chủ yếu nhiễm Coliform và *P. aeruginosa*. Năm 2021 tỷ lệ nhiễm vi sinh vật trong sản phẩm nước uống đóng bình tăng lên rất cao (78,7%), trong đó nhiễm *P. aeruginosa* chiếm 44,7%; nhiễm Coliform tổng số chiếm 53,2% [13]. Tại Quảng Trị, nước uống đóng chai bị nhiễm *P. aeruginosa* có tỷ lệ khá cao so với một số địa phương khác trong cả nước. Kết quả hậu kiểm cho thấy, trong năm 2011 có 13/56 mẫu nước uống đóng chai bị nhiễm *P. aeruginosa*, chiếm tỷ lệ 23,21%; năm 2012, có đến 26,32% mẫu nước nhiễm *P. aeruginosa* (15/57); năm 2013 tỷ lệ này chỉ có 13,33% (8/60); năm 2014 là 22,22% (14/63) [14].

Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định sự hiện diện của *P. aeruginosa* trong các mẫu nước uống đóng chai, đóng bình được thu thập, mô tả hồ sơ kháng kháng sinh và sự có mặt của các gen độc lực ở các chủng được tuyển chọn, đồng thời thảo luận sự đồng hiện diện của độc lực và kháng thuốc ở mức thăm dò. Kết quả

nghiên cứu sẽ cung cấp dữ liệu quan trọng, giúp nâng cao hiệu quả kiểm soát chất lượng nước đóng chai, hỗ trợ việc xây dựng các chiến lược giám sát và phòng ngừa nguy cơ nhiễm khuẩn, từ đó góp phần bảo vệ sức khỏe cộng đồng.

2. Nguyên liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên liệu

Nghiên cứu được thực hiện theo thiết kế cắt ngang - thăm dò trên 50 mẫu nước uống, gồm 20 mẫu nước uống đóng chai và 30 mẫu nước uống đóng bình, thu thập từ nhiều nguồn khác nhau trên địa bàn TP. Hà Nội trong các tháng 11-12 năm 2024. Các mẫu bao gồm (i) mẫu giám sát định kỳ thu thập tại các cơ sở kinh doanh, đại lý và siêu thị, và (ii) mẫu dịch vụ được lưu trữ tại Viện Kiểm nghiệm An toàn vệ sinh thực phẩm Quốc gia (NIFC), nhằm đảm bảo tính khách quan và đa dạng của nguồn mẫu. Mẫu được bảo quản ở 4-8°C và vận chuyển về phòng thí nghiệm trong vòng 24 giờ kể từ khi lấy.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phát hiện và định lượng các chủng P. aeruginosa trong mẫu nước đóng chai và đóng bình

250 ml mẫu nước đóng chai, đóng bình được lọc qua màng lọc cellulose nitrate có kích thước lỗ 0,45 µm (Merck). Sau khi lọc, màng lọc được chuyển lên môi trường thạch Pseudomonas cơ bản và thạch Pseudomonas bổ sung ceftazidime (1 µg/ml) để sàng lọc chủng Pseudomonas kháng kháng sinh. Các đĩa được ủ trong tủ ấm ở 37°C trong 24 giờ. Các khuẩn lạc có hình thái điển hình như tròn, nhẵn bóng, phát huỳnh quang xanh lá dưới ánh sáng UV (254 nm) được nhuộm Gram để xác nhận hình thái dưới kính hiển vi và lưu trữ ở -80°C.

2.2.2. Phân lập và định danh các chủng P. aeruginosa trong mẫu nước đóng chai và đóng bình

Để định danh, các khuẩn lạc này được ria phân lập trên thạch Tryptone Soya Agar (TSA, Merck), ủ trong 24 giờ ở 37°C và định danh bằng công nghệ MALDI-TOF Matrix-Assisted Laser Desorption Ionisation - Time of Flight trên hệ thống VITEK® MS (BioMérieux SA, Marcy l'Etoile, Pháp). Sử dụng que cấy dùng một lần để lấy một phần của một khuẩn lạc phát triển trên thạch TSA, sau đó tán đều lên một giếng của đĩa mục tiêu VITEK Kirby-Bauer. Theo khuyến cáo của nhà sản xuất, chủng *E. coli* ATCC 8739 được sử dụng làm chủng đối chứng trong quá trình chạy [15]. Sau khi khẳng định các chủng *P. aeruginosa* phân lập được từ các mẫu nước uống đóng chai và đóng bình, chúng được khảo sát khả năng kháng kháng sinh.

2.2.3. Đánh giá đặc điểm kháng kháng sinh của các chủng P. aeruginosa trong mẫu nước đóng chai và đóng bình

Khả năng kháng kháng sinh của 7 chủng *P. aeruginosa* được tuyển chọn trong nghiên cứu này được điều tra bằng phương pháp khuếch tán đĩa Kirby-Bauer [16]. *P. aeruginosa* được nuôi tăng sinh trong 10 ml môi trường BHI vô trùng cho đến khi mật độ tế bào tương đương với độ đục 0,5 McFarland, xấp xỉ $1,5\times10^8$ CFU/ml tế bào vi khuẩn. Tăm bông vô trùng được sử dụng để ria huyền phù vi khuẩn trên thạch Mueller-Hinton. Tổng cộng 13 loại kháng sinh đã được thử nghiệm theo CLSI M45 về thử nghiệm độ nhạy kháng sinh đối với các vi khuẩn ít gặp hoặc khó nuôi cấy, bao gồm aztreonam, piperacillin, piperacillin-tazobactam, ceftazidime, cefepime, imipenem, meropenem, doripenem, ciprofloxacin, gentamicin, tobramycin, amikacin và netilmicin. Các đĩa được đặt trên bề mặt môi trường cách đều nhau bằng kẹp vô trùng và ủ ở 37°C trong 18 giờ. Kết quả xét nghiệm độ nhạy với kháng sinh được xác định bằng đường kính của vùng ức chế, chính là vùng trong suốt xung quanh đĩa kháng sinh [17]. Nếu không xuất hiện vùng trong suốt xung quanh đĩa kháng sinh hoặc độ trong không rõ ràng thì chủng thu thập được có khả năng kháng lại kháng sinh đó. Các giá trị này sau đó được nhập vào phần mềm Microsoft Excel và phân loại thành ba nhóm: kháng thuốc (vùng ức chế ≤ giới hạn CLSI), trung gian (vùng ức chế nằm giữa ngưỡng nhạy cảm và kháng), và nhạy cảm (vùng ức chế ≥ giới hạn CLSI). Biểu đồ cột được tạo ra để minh họa tỷ lệ phần trăm các chủng kháng, trung gian hoặc nhạy cảm với từng loại kháng sinh.

2.2.4. Phát hiện gen độc lực của các chủng P. aeruginosa trong mẫu nước đóng chai và đóng bình

Phương pháp tách chiết DNA: Các chủng *P. aeruginosa* phân lập từ mẫu nước đóng chai và đóng bình được ria lại trên môi trường thạch Pseudomonas cơ bản, nuôi tăng sinh trong môi trường canh thang BHI (Brain Heart Infusion broth), ủ 18-24 giờ ở 37°C. DNA tổng số của *P. aeruginosa* được tách chiết theo quy trình dành cho vi khuẩn Gram âm của bộ kit GeneJET Genomic DNA Purification (Thermo Fisher, C5042). Nồng độ DNA tổng số của các chủng *P. aeruginosa* được định lượng bằng máy nanodrop tại bước sóng 260 nm. Dung dịch chứa DNA được bảo quản ở nhiệt độ -20°C cho đến khi sử dụng.

Phản ứng PCR: Các cặp mồi được sử dụng trong nghiên cứu này để phát hiện các gen độc lực của các chủng *P. aeruginosa* trong mẫu nước đóng chai và đóng bình được liệt kê trong bảng 1.

Bảng 1. Các cặp mồi được sử dụng để phát hiện gen độc lực của *P. aeruginosa*.

Tên mồi	Trình tự (5'-3')	Gen	Nhiệt độ (°C)	Chiều dài (bp)	Tài liệu tham khảo
*exo*UF	ATGCATATCCAATCGTTG	*exo*U	57	2000	[18]
*exo*UR	TCATGTGAACTCCTTATT				
*exo*SF	GCGAGGTCAGCAGAGTATCG	*exo*S	58	118	[19]
*exo*SR	TTCGGCGTCACTGTGGAT				
*exo*YF	CGGATTCTATGGCAGGGAGG	*exo*Y	59	289	[19]
*exo*YR	GCCCTTGATGCACTCGACCA				
*exo*TF	AATCGCCGTCCAACTGCATGCG	*exo*T	60	152	[19]
*exo*TR	TGTTCGCCGAGGTACTGCTC				
*exo*AF	GACAACGCCCTCAGCATCACCAGC	*exo*A	72	396	[18]
*exo*AR	CGCTGGCCCATTCGCTCCAGCGCT				
*las*AF	CGCCATCCAACCTGATGCAAT	*las*A	60	514	[21]
*las*AR	AGGCCGGGGTTGTACAACGGA				
*las*BF	TTCTACCCGAAGGACTGATAC	*las*B	52	153	[22]
*las*BR	AACACCCATGATCGCAAC				
*apr*AF	ACCCTGTCCTATTCGTTCC	*apr*A	52	140	[22]
*apr*AR	GATTGCAGCGACAACTTGG				
*rhl*ABF	TCATGGAATTGTCACAACCGC	*rhl*AB	52	151	[22]
*rhl*ABR	ATACGGCAAAATCATGGCAAC				
*rhl*IF	CTTGGTCATGATCGAATTGCTC	*rhl*I	50	625	[23]
*rhl*IR	ACGGCTGACGACCTCACAC				
*rhl*RF	CAATGAGGAATGACGGAGGC	*rhl*R	50	730	[23]
*rhl*RR	GCTTCAGATGAGGCCCAGC				
*las*IF	ATGATCGTACAAATTGGTCGGC	*las*I	50	605	[23]
*las*IR	GTCATGAAACCGCCAGTCG				
*las*RF	CGGGTATCGTACTAGGTGCATCA	*las*R	60	1100	[18]
*las*RR	GACGGGAAAGCCAGGAAACTT				

Hỗn hợp PCR (25 µl) gồm: 12,5 µl PCR Master Mix 2× (Thermo Scientific, chứa 0,05 U/µl Taq DNA polymerase, đệm phản ứng, $MgCl_2$ 4 mM và dNTP 0,4 mM), 1 µl mồi xuôi (10 pmol), 1 µl mồi ngược (10 pmol), 3 µl DNA khuôn và 7,5 µl H_2O khử ion vô trùng. Chu trình PCR được tối ưu theo kích thước sản phẩm khuếch đại. Phản ứng bắt đầu bằng biến tính ban đầu ở 95°C trong 5 phút, tiếp theo 35 chu kỳ gồm: 94°C 30 giây, gắn mồi ở nhiệt độ thích hợp (bảng 1) trong 20-30 giây, và kéo dài ở 72°C theo nguyên tắc khoảng 1 phút/1 kb (≤600 bp: 30-45 giây, 600-1200 bp: 60-90 giây, ~2000 bp: 120 giây). Cuối cùng, phản ứng được kéo dài hoàn thiện ở 72°C trong 10 phút. Đối với các gen có kích thước amplicon lớn như *exo*U (~2.000 bp) và *las*R (~1.100 bp), thời gian kéo dài được điều chỉnh tương ứng (90-120 giây) nhằm đảm bảo khuếch đại đầy đủ toàn bộ vùng mã hóa, theo khuyến cáo của S.M.C. Petit và cs (2013) [18].

Gel agarose 1,5% được chuẩn bị trong đệm TAE 1X (Tris-base 40 mM, axit axetic 10 mM và EDTA 1 mM, pH 8) có bổ sung thêm nhuộm Redsafe (iNtRON Biotechnology) với tỷ lệ 2 µl dung dịch nhuộm: 100 ml gel. Sản phẩm PCR được trộn với loading dye 6X (Thermo Scientific). Quá trình điện di trong đệm TAE 1X và được thực hiện với hiệu điện thế ổn định 110 V trong 50 phút. Bản gel sau khi điện di được soi dưới đèn UV để quan sát và chụp ảnh. Chủng được lưu giữ tại -80°C cho các nghiên cứu tiếp theo.

2.2.5. Phân tích thống kê

Để so sánh sự khác biệt về số lượng khuẩn lạc phát triển trên hai loại môi trường (thạch Pseudomonas cơ bản và thạch Pseudomonas bổ sung ceftazidime), kiểm định phi tham số Wilcoxon signed-rank test một phía được sử dụng. Phân tích được thực hiện bằng Excel và đối chiếu với bảng giá trị tới hạn Wilcoxon tại mức ý nghĩa α=0,05.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Tỷ lệ nhiễm P. aeruginosa trong mẫu nước đóng chai và đóng bình

Kết quả phân tích 50 mẫu nước uống đóng chai và đóng bình cho thấy 38% mẫu (19/50) nhiễm P. aeruginosa với nồng độ dao động từ $4,0\times10^{0}$ đến $5,4\times10^{2}$

vi khuẩn/250 ml, vượt quá giới hạn quy định của Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia đối với nước khoáng thiên nhiên và nước uống đóng chai QCVN 6-1:2010/BYT (0 vi khuẩn/250 ml). Theo quy trình sàng lọc song song, mỗi mẫu được nuôi đồng thời trên thạch Pseudomonas cơ bản và thạch Pseudomonas bổ sung ceftazidime (1 µg/ml) (bảng 2).

Kết quả bảng 2 cho thấy, số lượng vi khuẩn giảm mạnh khi nuôi cấy trên môi trường thạch Pseudomonas bổ sung ceftazidime (1 µg/ml). Kiểm định Wilcoxon signed-rank test một phía xác nhận sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê ($p \approx 2.437 \times 10^{-5} < 0,05$) cho thấy, ceftazidime có hiệu quả ức chế đáng kể đối với phần lớn chủng *P. aeruginosa* trong mẫu nước. Trong số 19 mẫu phát hiện *P. aeruginosa* trên môi trường thạch Pseudomonas, trên môi trường thạch Pseudomonas bổ sung ceftazidime có 15/19 mẫu không phát hiện *P. aeruginosa*, 4/19 mẫu vẫn phát hiện *P. aeruginosa* chứng tỏ có sự hiện diện của các chủng kháng ceftazidime thuộc nhóm cephalosporin thế hệ ba, kháng sinh quan trọng trong điều trị lâm sàng là vấn đề đáng quan tâm. Do số mẫu hạn chế, chưa đủ cơ sở suy rộng xu hướng theo nhóm sản phẩm hoặc xác định nguyên nhân ô nhiễm, từ 4 mẫu này, 07 khuẩn lạc điển hình được lựa chọn ngẫu nhiên để phân lập, định danh và đánh giá hồ sơ kháng kháng sinh.

Bảng 2. Kết quả phát hiện *P. aeruginosa* trong mẫu nước đóng chai và đóng bình khi nuôi trên các môi trường thạch Pseudomonas cơ bản và thạch Pseudomonas bổ sung ceftazidime (1 µg/ml).

TT	Kết quả phát hiện *P. aeruginosa* (CFU/250 ml)	
	Nuôi trên thạch Pseudomonas cơ bản	*Nuôi trên thạch Pseudomonas bổ sung ceftazidime (1 µg/ml)*
1	$1,4x10^2$	0
2	$4,0x10^1$	0
3	$4,0x10^0$	0
4	$5,0x10^0$	0
5	$5,6x10^1$	0
6	$4,2x10^2$	0
7	$5,0x10^0$	0
8	$5,4x10^2$	0
9	$6,0x10^1$	0
10	$9,0x10^0$	0
11	$9,6x10^1$	$4,0x10^0$
12	$4,5x10^2$	$1,0x10^1$
13	$3,0x10^1$	$2,0x10^0$
14	$6,2x10^1$	0
15	$4,2x10^1$	0
16	$1,5x10^1$	0
17	$9,0x10^0$	0
18	$2,0x10^2$	0
19	$9,6x10^1$	$2,0x10^0$

3.2. Kết quả định danh MALDI-TOF từ mẫu nước đóng chai và đóng bình

7 khuẩn lạc có khả năng phát triển trên môi trường thạch Pseudomonas có bổ sung ceftazidime (1 µg/ml) đã được phân lập và định danh bằng công nghệ phổ khối MALDI-TOF. Kết quả được thể hiện ở bảng 3.

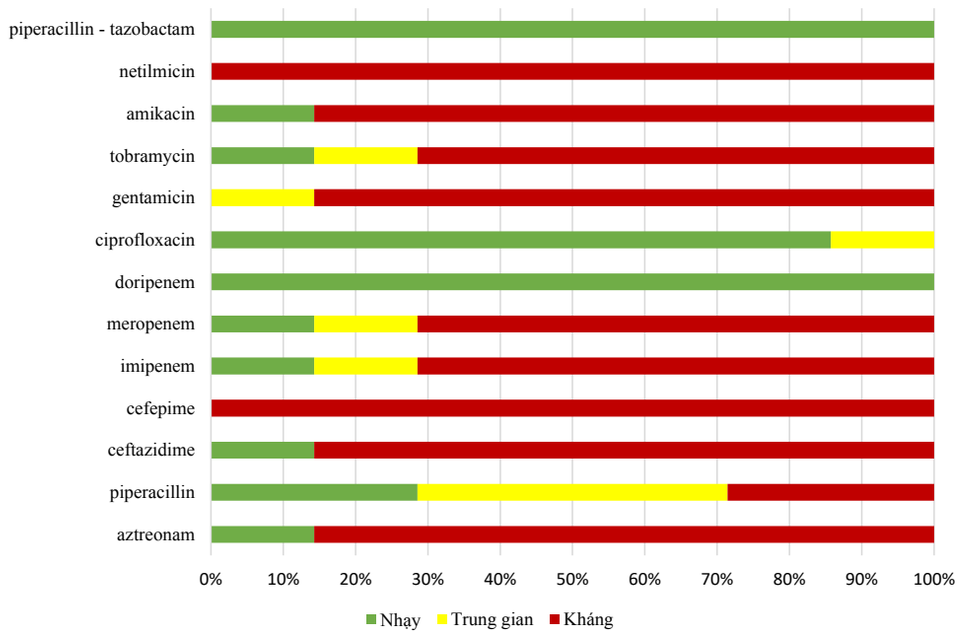
Bảng 3. Kết quả định danh các khuẩn lạc phân lập được từ 4 mẫu nước đóng bình phát hiện *P. aeruginosa* trên môi trường thạch Pseudomonas bổ sung ceftazidime.

Mã chủng	Tên loài	Độ tin cậy (%)
01	*Pseudomonas aeruginosa*	99,9
02	*Pseudomonas aeruginosa*	99,9
03	*Pseudomonas aeruginosa*	99,9
04	*Pseudomonas aeruginosa*	99,9
05	*Pseudomonas aeruginosa*	99,9
06	*Pseudomonas aeruginosa*	99,9
07	*Pseudomonas aeruginosa*	99,9

Kết quả định danh bằng MS MALDI-TOF cho thấy, cả 7 khuẩn lạc đều đạt điểm số >2,0 với độ tin cậy 99,9% (bảng 3), cho phép xác định chính xác ở cấp độ loài là *P. aeruginosa* (07/07, 100%).

3.3. Hồ sơ kháng kháng sinh của các chủng P. aeruginosa phân lập từ mẫu nước đóng chai và đóng bình

Hồ sơ kháng kháng sinh của 7 chủng *P. aeruginosa* phân lập từ mẫu nước đóng chai và đóng bình cho thấy, mức độ kháng thuốc tương đối cao, đặc biệt đối với các kháng sinh thuộc nhóm β-lactam và aminoglycoside (hình 1).



Hình 1. Hồ sơ kháng sinh của *P. aeruginosa* dựa trên đường kính vùng ức chế (mm). Đỏ: kháng thuốc, vàng: trung gian, xanh lá cây: nhạy cảm.

Trong 7 chủng *P. aeruginosa* được tuyển chọn, toàn bộ chủng kháng cefepime và netilmicin (7/7; 100%); 6/7 chủng (85,7%) kháng aztreonam, ceftazidime, gentamicin và amikacin; 5/7 chủng (71,4%) kháng imipenem, meropenem và tobramycin; 2/7 chủng (28,6%) kháng piperacillin. Đối với ciprofloxacin, 6/7 chủng nhạy cảm và 1/7 chủng có mức đáp ứng trung gian, không ghi nhận chủng kháng. Piperacillin-tazobactam và doripenem duy trì hoạt tính tốt trên toàn bộ các chủng khảo sát. Nhìn chung, các chủng biểu hiện mức kháng cao đối với cephalosporin thế hệ 3-4, aminoglycoside và một số carbapenem, trong khi mức độ nhạy cảm với ciprofloxacin, doripenem và piperacillin-tazobactam vẫn được bảo tồn. Việc tuyển chọn các chủng có khả năng phát triển trên môi trường bổ sung ceftazidime có thể góp phần giải thích tỷ lệ kháng β-lactam tương đối cao trong nhóm chủng khảo sát. Vì vậy, kết quả kháng sinh đồ chủ yếu phản ánh đặc điểm của các chủng được tuyển chọn theo tiêu chí này. Về cơ chế, kháng cefepime ở *P. aeruginosa* có thể liên quan đến tăng biểu hiện AmpC, sự hiện diện của β-lactamase phổ mở rộng, giảm tính thấm màng hoặc tăng hoạt động của các bơm tống thuốc. Kháng meropenem thường liên quan đến suy giảm hoặc mất porin OprD, tăng hoạt động bơm tống thuốc và sự hiện diện của carbapenemase; trong khi kháng amikacin có thể liên quan đến các enzyme biến đổi aminoglycoside, hệ MexXY-OprM hoặc methylase 16S rRNA [5]. Tuy nhiên, do nghiên cứu chưa khảo sát các dấu ấn kháng thuốc hoặc biểu hiện của các cơ chế này, nguyên nhân của kiểu hình kháng chưa thể được xác định.

So với các nghiên cứu trên chủng môi trường, tỷ lệ kháng trong nghiên cứu này cao hơn mức được ghi nhận tại Cộng hòa Séc, nơi tỷ lệ kháng meropenem, gentamicin và ceftazidime lần lượt là 27,2, 28,8 và 11,5% [24]. Tại Ghana, tỷ lệ kháng aztreonam của *P. aeruginosa* trong nước uống là 48%, trong khi tỷ lệ kháng ciprofloxacin chỉ ở mức 4,9% [25]. Ngược lại, L. Wei và cs (2020) [26] ghi nhận toàn bộ 132 chủng *P. aeruginosa* phân lập từ nước uống tại Trung Quốc đều nhạy cảm với 14 kháng sinh được khảo sát. Sự khác biệt giữa các nghiên cứu có thể liên quan đến nguồn mẫu, quy trình xử lý nước, chiến lược phân lập và tuyển chọn chủng, tiêu chuẩn diễn giải cũng như bối cảnh địa lý. Các nghiên cứu lâm sàng trong khu vực cung cấp thêm bằng chứng về sự lưu hành của nhiều cơ chế kháng ở *P. aeruginosa*. Tại Thái Lan, tỷ lệ kháng amikacin, gentamicin và tobramycin lần lượt đạt 92, 95 và 96%, đồng thời các enzyme biến đổi aminoglycoside và hệ MexXY được phát hiện phổ biến [27]. Tại Việt Nam, các biến thể *bla*IMP, *bla*DIM, *bla*KPC và dòng ST235 mang *bla*IMP-26 đã được ghi nhận ở các chủng kháng carbapenem [28, 29]. Do số chủng được khảo sát còn hạn chế (n=7) và được tuyển chọn sau bước sàng lọc ceftazidime, các tỷ lệ kháng trên đây chỉ có giá trị mô tả trong nhóm chủng nghiên cứu, việc so sánh với các nghiên cứu khác nhằm đặt kết quả trong bối cảnh tham khảo. Đồng thời, do khác biệt về nguồn phân lập, các dữ liệu lâm sàng này chủ yếu có giá trị tham khảo về phổ cơ chế kháng và không thể được ngoại suy trực tiếp cho các chủng nước uống trong nghiên cứu hiện tại. Sự đồng

thời xuất hiện kiểu hình kháng với nhiều nhóm kháng sinh cho thấy việc giám sát liên tục và nghiên cứu sâu hơn về cơ chế kháng kháng sinh là cần thiết để đảm bảo hiệu quả điều trị và an toàn sức khỏe cộng đồng. Các chủng này tiếp tục được phân tích nhằm phát hiện sự hiện diện của các gen độc lực liên quan đến khả năng xâm nhập, gây tổn thương mô và hình thành biofilm.

3.4. Phát hiện gen độc lực của P. aeruginosa trong mẫu nước đóng chai và đóng bình

Kết quả heatmap (hình 2) cho thấy mỗi chủng phát hiện 10-12/13 gen độc lực. Các gen exoA, exoY, lasA, lasB, aprA, rhlAB, rhlI và rhlR hiện diện ở 7/7 chủng, trong khi exoU, exoS, exoT, lasI và lasR phân bố không đồng đều. Điều này cho thấy các chủng phân lập mang đồng thời nhiều yếu tố liên quan đến hệ thống tiết type II và III, enzyme ngoại bào và quorum sensing.

Nhóm chức năng	Gen	01	02	03	04	05	06	07	Số chủng dương tính	Tỷ lệ (%)
Hệ thống tiết type III	*exoU*	-	-	-	-	+	-	+	2	28,6%
	exoT	+	+	-	+	+	+	+	6	85,7%
	exoY	+	+	+	+	+	+	+	7	100,0%
	exoA	+	+	+	+	+	+	+	7	100,0%
	exoS	+	+	-	+	-	-	+	4	57,1%
Enzyme ngoại bào	*lasA*	+	+	+	+	+	+	+	7	100,0%
	lasB	+	+	+	+	+	+	+	7	100,0%
	aprA	+	+	+	+	+	+	+	7	100,0%
Quorum sensing/ biofilm	*rhlAB*	+	+	+	+	+	+	+	7	100,0%
	rhlI	+	+	+	+	+	+	+	7	100,0%
	rhlR	+	+	+	+	+	+	+	7	100,0%
	lasI	+	-	+	+	+	+	+	6	85,7%
	lasR	+	+	+	+	+	-	-	5	71,4%
Tổng số gen phát hiện/chủng		12	11	10	12	12	10	12	10-12/13 gen/chủng	

Hình 2. Heatmap biểu diễn sự phân bố các gen độc lực ở 7 chủng *P. aeruginosa* phân lập trong nghiên cứu. +: dương tính, -: âm tính.

Đối với các gen liên quan đến hệ thống tiết, exoA thuộc hệ thống tiết type II và III được phát hiện ở 7/7 chủng (100%); trong khi các gen mã hóa protein hiệu ứng của hệ thống tiết type II và III gồm exoU, exoS, exoT và exoY được phát hiện lần lượt ở 2/7 (28,6%), 4/7 (57,1%), 6/7 (85,7%) và 7/7 chủng (100%). Tỷ lệ *exoU* trong nghiên cứu này thấp hơn mức 56 và 58,9% được báo cáo lần lượt tại Iran và Ai Cập [30], nhưng tương đương với tỷ lệ 27,6% ở các chủng phân lập từ nước sông tại Tây Ban Nha [31]. Tỷ lệ exoS (57,1%) cũng gần với các mức 58,9% tại Ba Lan và 51,2% tại Iran [32]. Đáng chú ý, chủng 07 đồng thời phát hiện *exoU* và *exoS*, kết quả này cho thấy sự đa dạng của hồ sơ gen hệ thống tiết type III giữa các chủng, nhưng cần được xác nhận thêm bằng giải trình tự sản phẩm khuếch đại hoặc phân tích hệ gen trước khi suy luận về kiểu độc lực.

Đối với nhóm enzyme ngoại bào và quorum sensing, các gen *lasA*, *lasB*, *aprA*, *rhlAB*, *rhlI* và *rhlR* được phát hiện ở tất cả các chủng, trong khi *lasI* và *lasR* được phát hiện lần lượt ở 6/7 và 5/7 chủng. Kết quả này cho thấy, các thành phần di truyền của mạng lưới quorum sensing Las/Rhl hiện diện phổ biến trong nhóm chủng khảo sát, phù hợp với vai trò của hệ thống này trong điều hòa enzyme ngoại bào và hình thành biofilm [8, 11]. Tuy vậy, việc không phát hiện *lasR* ở các chủng 06 và 07 không đồng nghĩa với mất hoàn toàn khả năng hình thành biofilm, ngược lại, sự hiện diện của các gen quorum sensing cũng không đủ để khẳng định chủng tạo biofilm mạnh, do kiểu hình này còn phụ thuộc vào tính toàn vẹn và mức biểu hiện của gen, sự phối hợp giữa nhiều hệ thống điều hòa và điều kiện môi trường.

Khi đối chiếu với kết quả kháng sinh đồ, các chủng trong nghiên cứu vừa mang nhiều gen độc lực, vừa biểu hiện mức kháng cao với một số nhóm kháng sinh, đặc biệt là cephalosporin và aminoglycoside. Sự đồng hiện diện này có ý nghĩa cảnh báo vì các chủng tồn tại trong nước uống có thể đồng thời mang đặc điểm hỗ trợ thích nghi, gây bệnh và giảm nhạy cảm với kháng sinh, biofilm, nếu được hình thành, còn có thể góp phần làm giảm khả năng thấm thuốc và tăng khả năng tồn lưu trong hệ thống sản xuất, chiết rót hoặc bình chứa [12]. Tuy nhiên, với chỉ 7 chủng được lựa chọn sau bước sàng lọc trên môi trường bổ sung ceftazidime, nghiên cứu hiện mới cho phép mô tả sự đồng hiện diện, chưa đủ cơ sở thống kê để kết luận *exoU* liên quan đến mức kháng mạnh hơn, *exoS* liên quan đến ciprofloxacin hoặc *lasR* liên quan trực tiếp đến kiểu hình biofilm.

4. Kết luận

Nghiên cứu cho thấy, 38% trong các mẫu nước đóng chai được nghiên cứu phát hiện nhiễm *P. aeruginosa*, trong đó các chủng phân lập thể hiện hồ sơ kháng thuốc đa dạng và đáng lo ngại. Tất cả các chủng đều kháng cefepime (100%), phần lớn kháng aminoglycoside (amikacin và gentamicin, 85,7%), nhưng vẫn còn nhạy cảm với piperacillin-tazobactam và doripenem (100%). Về mặt độc lực, các chủng mang đồng thời nhiều gen quan trọng như *exoA*, *exoY*, *lasA*, *lasB*, *exoS* (57,1%) và *exoU* (28,6%). Kết quả này cung cấp thêm dữ liệu khoa học về đặc điểm kháng kháng sinh và gen độc lực của *P. aeruginosa* trong nước uống đóng chai, đóng bình, góp phần nhấn mạnh sự cần thiết của việc duy trì giám sát vi sinh định kỳ, kiểm soát điều kiện sản xuất và bảo đảm chất lượng sản phẩm theo quy định hiện hành.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] D. Vukić Lušić, N. Maestro, N. Maestro, et al. (2021), "Occurrence of *P. aeruginosa* in water intended for human consumption and in swimming pool water", *Environments*, **8(12)**, DOI: 10.3390/environments8120132.

[2] T.D. Sousa, M. Hebraud, M.L.N.E. Dapkevicius, et al. (2021), "Genomic and metabolic characteristics of the pathogenicity in *Pseudomonas aeruginosa*", *Int. J. Mol. Sci.*, **22(23)**, DOI: 10.3390/ijms222312892.

[3] X. Li, N. Gu, T.Y. Huang, et al. (2022), "*Pseudomonas aeruginosa*: A typical biofilm forming pathogen and an emerging but underestimated pathogen in food processing", *Front. Microbiol.*, **13**, DOI: 10.3389/fmicb.2022.1114199.

[4] P. Pachori, R. Gothalwal, P. Gandhi (2019), "Emergence of antibiotic resistance *Pseudomonas aeruginosa* in intensive care unit; a critical review", *Genes Dis.*, **6(2)**, pp.109-119, DOI: 10.1016/j.gendis.2019.04.001.

[5] Z. Pang, R. Raudonis, B.R. Glick, et al. (2019), "Antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: Mechanisms and alternative therapeutic strategies", *Biotechnol. Adv.*, **37(1)**, pp.177-192, DOI: 10.1016/j.biotechadv.2018.11.013.

[6] G. Mancuso, S.D. Gaetano, A. Midiri, et al. (2023), "The challenge of overcoming antibiotic resistance in carbapenem-resistant Gram-negative bacteria: 'Attack on titan'", *Microorganisms*, **11(8)**, DOI: 10.3390/microorganisms11081912.

[7] C.G. Nolasco-Romero, F.J. Perez-Galbarro, R.N.J. Juarez, et al. (2024), "The exoS, exoT, exoU and exoY virulotypes of the type 3 secretion system in multidrug resistant *Pseudomonas aeruginosa* as a death risk factor in pediatric patients", *Pathogens*, **13(12)**, DOI: 10.3390/pathogens13121030.

[8] J. Lee, L. Zhang (2015), "The hierarchy quorum sensing network in *Pseudomonas aeruginosa*", *Protein Cell*, **6(1)**, pp.26-41, DOI: 10.1007/s13238-014-0100-x.

[9] H. Wei, Y. Fu, W. Qin, et al. (2025), "The relationship between virulence and drug resistance genes in *Pseudomonas aeruginosa* and antibiotic resistance: A targeted next-generation sequencing approach", *Front. Cell. Infect. Microbiol.*, **15**, DOI: 10.3389/fcimb.2025.1563741.

[10] T. Wu, Z. Zhang, T. Li, et al. (2024), "The type III secretion system facilitates systemic infections of *Pseudomonas aeruginosa* in the clinic", *Microbiol. Spectr.*, **12(1)**, DOI: 10.1128/spectrum.02224-23.

[11] A.A. Elnegery, W.K. Mowafy, T.A. Zahra, et al. (2021), "Study of quorum-sensing LasR and RhlR genes and their dependent virulence factors in *Pseudomonas aeruginosa* isolates from infected burn wounds", *Access Microbiol.*, **3(3)**, DOI: 10.1099/acmi.0.000211.

[12] P. Shree, C.K. Singh, K.K. Sodhi, et al. (2023), "Biofilms: Understanding the structure and contribution towards bacterial resistance in antibiotics", *Med. Microecol.*, **16**, DOI: 10.1016/j.medmic.2023.100084.

[13] N.V. Thuan, V.C. Chinh, T.T. Quoc, et al. (2024), "The state of food safety and hygiene in bottled water production facilities in the five provinces of the Central Highlands region in 2023", *Vietnam Journal of Food Control*, **7(3)**, pp.369-377, DOI: 10.47866/2615-9252/vjfc.4364.

[14] H.S. Bien (2025), "The current situation and causes of *Pseudomonas Aeruginosa* contamination in bottled drinking water", https://antoanthucpham.quangtri.gov.vn/Tin-tuc-su-kien/Thuc-trang-nguyen-nhan-nhiem-Pseudomonas-Aeruginosa-trong-nuoc-uong-dong-chaiThuc-trang-nguyen-nhan-nhiem-Pseudomonas-Aeruginosa-trong-nuoc-uong-dong-chai-629.html, accessed 2 June 2025 (in Vietnamese).

[15] N.A.E. Fahim, G.A.E.W. Ismail, M.B. Abdelaleem, et al. (2022), "Identification, characterization and antibiotic susceptibility testing for Bacillus species", *Iran. J. Microbiol.*, **14(4)**, DOI: 10.18502/ijm.v14i4.10234.

[16] A.W. Bauer, W.M. Kirby, J.C. Sherris, et al. (1966), "Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method", *Am. J. Clin. Pathol.*, **45(4)**, pp.493-496.

[17] J.J. Biemer (1973), "Antimicrobial susceptibility testing by the Kirby-Bauer disc diffusion method", *Ann. Clin. Lab. Sci.*, **3(2)**, pp.135-140.

[18] S.M.C. Petit, R. Lavenir, C.C. Dupuich, et al. (2013), "Lagooning of wastewaters favors dissemination of clinically relevant *Pseudomonas aeruginosa*", *Res. Microbiol.*, **164(8)**, pp.856-866, DOI: 10.1016/j.resmic.2013.06.007.

[19] T. Ajayi, L.R. Allmond, T. Sawa, et al. (2003), "Single-nucleotide-polymorphism mapping of the *Pseudomonas aeruginosa* type III secretion toxins for development of a diagnostic multiplex PCR system", *J. Clin. Microbiol.*, **41(8)**, pp.3526-3531, DOI: 10.1128/JCM.41.8.3526-3531.2003.

[20] A.A. Khan, C.E. Cerniglia (1994), "Detection of *Pseudomonas aeruginosa* from clinical and environmental samples by amplification of the exotoxin A gene using PCR", *Appl. Environ. Microbiol.*, **60(10)**, pp.3739-3745, DOI: 10.1128/aem.60.10.3739-3745.1994.

[21] J.A. Lomholt, K. Poulsen, M. Kilian (2001), "Epidemic population structure of *Pseudomonas aeruginosa*: Evidence for a clone that is pathogenic to the eye and that has a distinct combination of virulence factors", *Infect. Immun.*, **69(10)**, pp.6284-6295, DOI: 10.1128/IAI.69.10.6284-6295.2001.

[22] H. Zhu, R. Bandara, T.CR. Conibear, et al. (2004), "*Pseudomonas aeruginosa* with LasI Quorum-sensing deficiency during corneal infection", *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.*, **45(6)**, pp.1897-1903, DOI: 10.1167/iovs.03-0980.

[23] J.A. Schaber, N.L. Carty, N.A. McDonald, et al. (2004), "Analysis of quorum sensing-deficient clinical isolates of *Pseudomonas aeruginosa*", *J. Med. Microbiol.*, **53(9)**, pp.841-853, DOI: 10.1099/jmm.0.45617-0.

[24] N. Roulová, P. Moťková, I. Brožková, et al. (2022), "Antibiotic resistance of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from hospital wastewater in the Czech Republic", *J. Water Health*, **20(4)**, pp.692-701, DOI: 10.2166/wh.2022.101.

[25] H. Ahmed, M. Zolfo, A. Williams, et al. (2022), "Antibiotic-resistant bacteria in drinking water from the greater accra region, Ghana: A cross-sectional study, December 2021 - March 2022", *Int. J. Environ. Res. Public. Health*, **19(19)**, DOI: 10.3390/ijerph191912300.

[26] L. Wei, Q. Wu, J. Zhang, et al. (2020), "Prevalence, virulence, antimicrobial resistance, and molecular characterization of *Pseudomonas aeruginosa* isolates from drinking water in China", *Frontiers in Microbiology*, **11**, DOI: 10.3389/fmicb.2020.544653.

[27] K. Poonsuk, C. Tribuddharat, R. Chuanchuen (2013), "Aminoglycoside resistance mechanisms in *Pseudomonas aeruginosa* isolates from non-cystic fibrosis patients in Thailand", *Can. J. Microbiol.*, **59(1)**, pp.51-56, DOI: 10.1139/cjm-2012-0465.

[28] H.A. Tran, T.N.B. Vu, S.T. Trinh, et al. (2021), "Resistance mechanisms and genetic relatedness among carbapenem-resistant *Pseudomonas aeruginosa* isolates from three major hospitals in Hanoi, Vietnam (2011-15)", *JAC-Antimicrob. Resist.*, **3(3)**, DOI: 10.1093/jacamr/dlab103.

[29] T. Tada, P.H. Nhung, T.M. Akiyama, et al. (2016), "Multidrug-resistant sequence type 235 *Pseudomonas aeruginosa* clinical isolates producing imp-26 with increased carbapenem-hydrolyzing activities in Vietnam", *Antimicrob. Agents Chemother.*, **60(11)**, pp.6853-6858, DOI: 10.1128/aac.01177-16.

[30] N.A. Hassuna, S.A. Mandour, E.S. Mohamed (2020), "Virulence constitution of multi-drug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in upper Egypt", *Infect. Drug Resist.*, **13**, pp.587-595, DOI: 10.2147/IDR.S233694.

[31] B.R. Bezares, C. Casado, T. Ceniceros, et al. (2024), "*Pseudomonas aeruginosa* from river water: Antimicrobial resistance, virulence and molecular typing", *FEMS Microbiol. Ecol.*, **100(5)**, DOI: 10.1093/femsec/fiae028.

[32] S.A. Bazghandi, M. Arzanlou, H. Peeridogaheh, et al. (2021), "Prevalence of virulence genes and drug resistance profiles of *Pseudomonas aeruginosa* isolated from clinical specimens", *Jundishapur Journal of Microbiology*, **14(8)**, DOI: 10.5812/jjm.118452.

Tình trạng dinh dưỡng ở trẻ dưới 5 tuổi khám tại Viện Dinh dưỡng năm 2025

Trần Thị Liên[1], Phạm Thị Dung[1*], Phạm Thị Kiều Chinh[1], Trần Thị Lan[2], Nguyễn Trọng Hưng[3]

[1]Trường Đại học Y Dược Thái Bình, 373 Lý Bôn, phường Trần Lãm, tỉnh Hưng Yên, Việt Nam
[2]Trường Đại học Quốc tế Hồng Bàng, 215 Điện Biên Phủ, phường Gia Định, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam
[3]Viện Dinh dưỡng, 48B Tăng Bạt Hổ, phường Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 5/8/2025; ngày chuyển phản biện 7/8/2025; ngày nhận phản biện 26/8/2025; ngày chấp nhận đăng 5/9/2025

Tóm tắt:

Suy dinh dưỡng (SDD) ở trẻ dưới 5 tuổi vẫn đang là một trong những thách thức lớn đối với sức khỏe cộng đồng ở nhiều quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam. Nghiên cứu mô tả cắt ngang trên 224 trẻ 0-59 tháng tuổi đến khám tại Khoa Khám tư vấn dinh dưỡng trẻ em, Viện Dinh dưỡng năm 2025 và mẹ của trẻ. Trẻ được đo các chỉ số nhân trắc về cân nặng, chiều cao hoặc chiều dài cơ thể để đánh giá tình trạng dinh dưỡng. Kết quả cho thấy, tỷ lệ trẻ SDD thể nhẹ cân, thấp còi và gầy còm lần lượt là 32,6, 31,2 và 17,4%. Tỷ lệ trẻ thừa cân, béo phì là 2,7%. Tỷ lệ trẻ mắc ít nhất một thể SDD là 49,1%; thấp còi đơn thuần là 11,6%; thấp còi phối hợp nhẹ cân là 19,2% và cả ba thể phối hợp là 7,6%. Kết quả cho thấy, trẻ đến khám tại Khoa Khám tư vấn dinh dưỡng trẻ em, Viện Dinh dưỡng có tỷ lệ SDD các thể ở mức cao, cần tăng cường can thiệp dinh dưỡng sớm và cá nhân hóa cho trẻ trong 1.000 ngày đầu đời.

Từ khóa: **nhẹ cân, suy dinh dưỡng, thấp còi, trẻ dưới 5 tuổi.**

Chỉ số phân loại: **1.6, 3.2, 3.3**

Nutritional status of children under five years old visiting the National Institute of Nutrition in 2025

Thi Lien Tran[1], Thi Dung Pham[1*], Thi Kieu Chinh Pham[1], Thi Lan Tran[2], Trong Hung Nguyen[3]

[1]Thai Binh University of Medicine and Pharmacy, 373 Ly Bon Street, Tran Lam Ward, Hung Yen Province, Vietnam
[2]Hong Bang International University, 215 Dien Bien Phu Street, Gia Dinh Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam
[3]National Institute of Nutrition, 48B Tang Bat Ho Street, Hai Ba Trung Ward, Hanoi, Vietnam

Received 5 August 2025; revised 26 August 2025; accepted 5 September 2025

Abstract:

Malnutrition among children under five remains one of the major public health challenges in many developing countries, including Vietnam. A cross-sectional study was conducted in 2025 on 224 children aged from 0 to 59 months visiting the Department of Pediatric Nutrition Consultation at the National Institute of Nutrition and their mothers. Anthropometric measurements, including weight, height, or length were taken to assess the children's nutritional status. The results showed that the prevalence of underweight, stunting, and wasting was 32.6, 31.2, and 17.4%, respectively. The prevalence of overweight and obesity was 2.7%. In total, 49.1% of the children had at least one form of malnutrition; 11.6% had stunting alone; 19.2% had both stunting and underweight; and 7.6% presented with all three forms of malnutrition. These findings indicate children attending the Department of Paediatric Nutrition Consultation at the National Institute of Nutrition had high prevalences of malnutrition, highlighting the need for strengthened early and personalised nutritional interventions during the first 1,000 days of life.

Keywords: **children under five years old, malnutrition, stunting, underweight.**

Classification numbers: **1.6, 3.2, 3.3**

[*]Tác giả liên hệ: Email: dungpt@tbump.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Suy dinh dưỡng (SDD) ở trẻ dưới 5 tuổi vẫn đang là một trong những thách thức lớn đối với sức khỏe cộng đồng ở nhiều quốc gia đang phát triển, trong đó có Việt Nam [1]. Giai đoạn từ 0 đến 59 tháng tuổi, đặc biệt là trong 1.000 ngày đầu đời (từ khi thụ thai đến khi trẻ 2 tuổi), được coi là "giai đoạn cửa sổ cơ hội vàng" để can thiệp dinh dưỡng, nhằm đảm bảo sự phát triển tối ưu về thể chất, tinh thần và khả năng học tập sau này của trẻ. Tuy nhiên, trong giai đoạn này, trẻ rất dễ bị tổn thương bởi các yếu tố dinh dưỡng không hợp lý, nhiễm trùng và các yếu tố môi trường bất lợi.

Theo Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), SDD không chỉ bao gồm tình trạng thiếu hụt các vi chất và năng lượng, mà còn bao gồm cả tình trạng thừa cân, béo phì - tạo nên một "gánh nặng kép" về dinh dưỡng. Ở Việt Nam, mặc dù đã đạt được một số thành tựu đáng ghi nhận trong việc cải thiện tình trạng dinh dưỡng trẻ em, song tỷ lệ SDD, đặc biệt là thể thấp còi và gầy còm vẫn ở mức đáng lo ngại. Đồng thời, tỷ lệ trẻ bị thừa cân, béo phì đang có xu hướng tăng lên nhanh chóng tại các khu vực thành thị và đang len lỏi vào cả khu vực nông thôn [2].

Thực tế tại các cơ sở y tế, đặc biệt là các trung tâm khám và tư vấn dinh dưỡng cho thấy, nhiều trẻ đến khám có biểu hiện của nhiều thể SDD kết hợp (nhẹ cân - thấp còi - gầy còm), hoặc thậm chí chuyển từ tình trạng SDD sang thừa cân do chiến lược can thiệp chưa cá thể hóa và chưa theo dõi sát [3]. Việc chẩn đoán đúng thể SDD, nhận diện nguy cơ sớm và xây dựng các biện pháp can thiệp phù hợp có ý nghĩa quan trọng trong việc cải thiện tình trạng dinh dưỡng của trẻ.

Xuất phát từ thực tiễn đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm mô tả thực trạng SDD ở trẻ 0-59 tháng tuổi đến khám tại Khoa Khám tư vấn dinh dưỡng trẻ em, Viện Dinh dưỡng năm 2025, qua đó cung cấp cơ sở khoa học cho việc xây dựng chương trình can thiệp dinh dưỡng cá thể hóa, kịp thời và hiệu quả.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Trẻ em dưới 5 tuổi (dưới 60 tháng tuổi) đến khám tại Viện Dinh dưỡng trong thời gian tiến hành nghiên cứu và có bố/mẹ đồng ý tham gia nghiên cứu.

Tiêu chuẩn lựa chọn được thực hiện như sau:

- Dưới 5 tuổi (tính đến thời điểm khám bệnh, dựa theo hồ sơ). Có tái khám sau khoảng thời gian 3 tháng.

- Không mắc các bệnh bẩm sinh, bệnh mạn tính hoặc bệnh cấp tính tại thời điểm nghiên cứu.

Địa điểm và thời gian nghiên cứu: Thu thập số liệu từ tháng 1/2025 đến hết tháng 3/2025 tại Khoa Khám tư vấn dinh dưỡng trẻ em, Viện Dinh dưỡng. Nghiên cứu thực hiện từ tháng 3/2025-6/2025.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Thiết kế nghiên cứu: Thiết kế nghiên cứu mô tả cắt ngang.

2.2.2. Cỡ mẫu và phương pháp chọn mẫu

Cỡ mẫu được tính theo công thức sau: $n = Z^2_{(1-\alpha/2)} \frac{p(1-p)}{(p \times \varepsilon)^2}$

trong đó: n: Cỡ mẫu cần thiết; Z: Độ tin cậy (với độ tin cậy 95% thì $Z_{(1-\alpha/2)}$ =1,96); p=30% là tỷ lệ trẻ em SDD thấp còi dưới 5 tuổi theo nghiên cứu của B.N. Phan và cs (2024) [3]; ε là khoảng sai lệch tương đối, chọn 0,2. Thay vào công thức tính n=224.

Cách chọn mẫu: Nghiên cứu sử dụng phương pháp chọn mẫu thuận tiện. Các đối tượng là hồ sơ trẻ dưới 5 tuổi (dưới 60 tháng tuổi) đến khám tại Khoa Khám tư vấn dinh dưỡng trẻ em, Viện Dinh dưỡng trong thời gian nghiên cứu. Trẻ được lựa chọn nếu đáp ứng đầy đủ tiêu chuẩn lựa chọn, cho đến khi đủ cỡ mẫu cho nghiên cứu là 224 trẻ.

2.2.3. Phương pháp và công cụ thu thập số liệu

Cách tính tháng tuổi: Căn cứ vào sổ khám để xác định ngày sinh của trẻ. Sử dụng cách tính tuổi theo hướng dẫn của Viện Dinh dưỡng, dựa trên khuyến cáo của WHO năm 2005. Tuổi của trẻ được tính dựa vào ngày sinh của trẻ và ngày điều tra.

Phương pháp cân đo: Thông tin về các chỉ số nhân trắc học của trẻ được thu thập bằng cách cân đo trực tiếp. Trẻ được cân và đo chiều dài nằm/chiều cao đứng tại phòng cân đo bởi điều tra viên.

- Cân trẻ: Cân nằm hoặc ngồi với trẻ dưới 24 tháng: sử dụng cân lòng máng SECA 354 với độ chính xác 0,01 kg được tính theo đơn vị gram. Cân đứng với trẻ trên 24 tháng: sử dụng cân điện tử SECA 354 với độ chính xác 0,01 kg.

- Đo chiều dài nằm cho trẻ dưới 24 tháng tuổi: Sử dụng thước gỗ 2 mảnh của UNICEF với độ chính xác 1 mm. Đọc kết quả theo cm với 1 số lẻ thập phân.

- Đo chiều cao đứng cho trẻ từ 24 tháng tuổi trở lên: Sử dụng thước gỗ 3 mảnh của UNICEF với độ chính xác 1 mm. Đọc kết quả theo cm với 1 số lẻ thập phân.

- Đánh giá tình trạng dinh dưỡng: Các chỉ số cân nặng theo tuổi (WAZ), chiều cao theo tuổi (HAZ) và cân nặng theo chiều cao (WHZ) được tính bằng phần mềm WHO Anthro. Tình trạng dinh dưỡng của trẻ được phân loại dựa trên điểm Z-score so với quần thể tham chiếu của WHO 2006: SDD thấp còi khi HAZ<-2SD. SDD nhẹ cân khi WAZ<-2SD. SDD gầy còm khi WHZ<-2SD. Thừa cân, béo phì khi WHZ>+2SD.

2.2.4. Xử lý số liệu

Dữ liệu sau khi thu thập được tiến hành kiểm tra, làm sạch và xử lý sơ bộ (xử lý thô). File nhập liệu được xây dựng và thực hiện trên phần mềm EpiData 3.1 để đảm bảo tính chính xác và dễ kiểm soát trong quá trình nhập liệu. Phân tích bằng phần mềm SPSS phiên bản 20.0. Phân tích thống kê mô tả được sử dụng cho các biến định tính (phân loại) và biến phụ thuộc, kết quả được trình bày dưới dạng tần số và tỷ lệ phần trăm (%). Các biến định lượng được mô tả thông qua giá trị trung bình và độ lệch chuẩn (SD).

2.2.5. Đạo đức trong nghiên cứu

Nghiên cứu đã được Hội đồng xét duyệt đề cương theo Quyết định số 436/QĐ-YDTB ngày 25/2/2025 của Trường Đại học Y Dược Thái Bình thông qua và được Viện Dinh dưỡng đồng ý cho phép triển khai nghiên cứu. Bố mẹ hoặc người giám hộ hợp pháp của trẻ đã được cung cấp đầy đủ thông tin về mục tiêu, nội dung và phương pháp tiến hành nghiên cứu. Việc tham gia nghiên cứu là hoàn toàn tự nguyện. Trẻ chỉ được đưa vào nghiên cứu sau khi cha mẹ hoặc người giám hộ đồng thuận khi đến khám lần thứ hai. Tất cả các dụng cụ đo lường được kiểm tra và đảm bảo an toàn tuyệt đối cho trẻ. Thông tin thu thập được bảo mật, chỉ sử dụng cho mục đích nghiên cứu khoa học.

3. Kết quả

Nghiên cứu thực hiện trên 224 trẻ trong đó có 125 trẻ nam (55,8%) và 99 trẻ nữ (44,2%). Tỷ lệ trẻ ở nhóm tuổi dưới 12 tháng là 28,6%; 12 đến 23 tháng là 23,7%; 24 đến 35 tháng tuổi là 16,5%; 36 đến 47 tháng tuổi là 17,4% và 13,8% trẻ từ trên 48 tháng (bảng 1).

Bảng 1. Phân bố trẻ tham gia nghiên cứu theo tháng tuổi (n=224).

Nhóm tuổi \ Giới tính	Nam (n=125)		Nữ (n=99)		Chung (n=224)	
	n	*%*	*n*	*%*	*n*	*%*
<12 tháng	32	25,6	32	32,3	64	28,6
12-23 tháng	27	21,6	26	26,3	53	23,7
24-35 tháng	21	16,8	16	16,2	37	16,5
36-47 tháng	27	21,6	12	12,1	39	17,4
48-59 tháng	18	14,4	13	13,1	31	13,8

Theo phân loại tháng tuổi, cân nặng và chiều cao trung bình lần lượt là: nhóm dưới 12 tháng (6,4±1,6 kg, 64,8±7,8 cm), nhóm 12-23 tháng (8,9±1,7 kg, 73,2±6,1 cm), nhóm 24-35 tháng (10,4±1,5 kg, 83,2±5,7 cm), nhóm 36-47 tháng (11,9±1,7 kg, 91,0±5,7 cm) và nhóm 48-59 tháng (13,4±2,5 kg, 95,9±7,0 cm) (bảng 2). Giá trị trung bình các chỉ số Z-score WAZ và WHZ có sự khác biệt theo nhóm tuổi.

Bảng 2. Giá trị trung bình các chỉ số Z-score theo giới và nhóm tuổi (n=224).

Chỉ số		WAZ (TB±ĐLC)	HAZ (TB±ĐLC)	WHZ (TB±ĐLC)
Giới tính	Nam (n=125)	-1,38±1,36	-1,52±1,39	-0,86±1,36
	Nữ (n=99)	-1,34±1,32	-1,43±1,59	-0,65±1,35
Phân loại tháng tuổi	<12 tháng (n=64)	-1,66±1,49	-1,73±1,62	-0,87±1,66
	12-23 tháng (n=53)	-0,74±1,28	-1,06±1,54	-0,25±1,28
	24-35 tháng (n=37)	-1,33±1,05	-1,32±1,40	-0,81±1,11
	36-47 tháng (n=39)	-1,68±1,30	-1,75±1,31	-1,22±1,18
	48-59 tháng (n=31)	-1,44±1,16	-1,54±1,18	-0,81±1,02
	p	<0,05	>0,05	<0,05

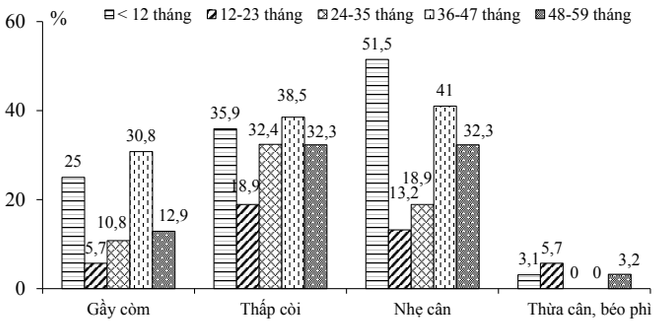
Tỷ lệ trẻ nhẹ cân là 32,6% (nam: 34,4%; nữ: 30,7%), thấp còi 31,2% (nam: 34,4%, nữ: 27,3%), gầy còm 17,4% (nam: 20,0%; nữ: 14,1%) và thừa cân, béo phì 2,7% (nam: 2,4%, nữ: 3%) (bảng 3). Không có sự khác biệt theo giới tính.

Bảng 3. Phân loại tình trạng dinh dưỡng của trẻ theo giới (n=224).

TTDD \ Giới tính	Nam (n=125)		Nữ (n=99)		Chung (n=224)		P
	n	*%*	*n*	*%*	*n*	*%*	
Gầy còm	25	20,0	14	14,1	39	17,4	>0,05
Thấp còi	43	34,4	27	27,3	70	31,2	>0,05
Nhẹ cân	43	34,4	30	30,7	73	32,6	>0,05
Thừa cân, béo phì	3	2,4	3	3,0	6	2,7	>0,05
Bình thường	59	47,2	55	55,6	114	50,9	>0,05

TTDD: tình trạng dinh dưỡng.

Kết quả biểu đồ 1 cho thấy, tỷ lệ trẻ SDD thấp còi cao nhất ở nhóm 36-47 tháng tuổi với 38,5%. Tỷ lệ trẻ SDD nhẹ cân cao nhất ở nhóm dưới 12 tháng tuổi với 51,5%. Tỷ lệ trẻ gầy còm cao nhất ở nhóm 36-47 tháng tuổi với 30,8%.



Biểu đồ 1. Phân loại tình trạng dinh dưỡng của trẻ theo nhóm tuổi (n=224).

Kết quả bảng 4 cho thấy, tỷ lệ trẻ mắc ít nhất 1 thể SDD là 49,1%; mắc thấp còi đơn thuần là 11,6%; tỷ lệ thấp còi phối hợp nhẹ cân là 19,2%; mắc cả ba thể phối hợp là 7,6%.

Bảng 4. Đặc điểm mắc phối hợp các thể suy dinh dưỡng theo giới tính của trẻ (n=224).

Thể SDD \ Giới tính	Nam (n=125)		Nữ (n=99)		Chung (n=224)		p
	n	%	*n*	%	*n*	%	
Ít nhất 1 thể SDD	66	52,8	44	44,4	110	49,1	>0,05
Thấp còi đơn thuần	17	13,6	9	9,1	26	11,6	>0,05
Thấp còi + Nhẹ cân	25	20,0	18	18,2	43	19,2	>0,05
Cả ba thể phối hợp	11	8,8	6	6,1	17	7,6	>0,05

4. Bàn luận

Nghiên cứu được tiến hành trên 224 trẻ dưới 5 tuổi đến khám tại Viện Dinh dưỡng. Kết quả phân loại tình trạng dinh dưỡng theo giới cho thấy, tỷ lệ trẻ SDD còn ở mức cao, trong đó SDD thể nhẹ cân chiếm 32,6%, thấp còi chiếm 31,2% và gầy còm chiếm 17,4%. Đây là các chỉ số phản ánh những khía cạnh khác nhau của tình trạng thiếu dinh dưỡng ở trẻ em. SDD thể nhẹ cân cho thấy tình trạng thiếu hụt dinh dưỡng chung, thấp còi phản ánh hậu quả của thiếu dinh dưỡng kéo dài hoặc tái diễn trong thời gian dài, trong khi gầy còm thường liên quan nhiều hơn đến tình trạng thiếu dinh dưỡng cấp tính hoặc sụt cân gần đây.

Việc cả ba thể SDD đều chiếm tỷ lệ đáng kể cho thấy, nhóm trẻ đến khám tại Viện Dinh dưỡng có gánh nặng thiếu dinh dưỡng rõ rệt, điều này có thể được lý giải bởi đặc điểm của đối tượng nghiên cứu. Đây không phải là mẫu đại diện cho trẻ dưới 5 tuổi trong cộng đồng, mà là nhóm trẻ được đưa đến khám tại cơ sở chuyên khoa dinh dưỡng. Trên thực tế, cha mẹ thường đưa trẻ đi khám khi trẻ có các biểu hiện như biếng ăn, chậm tăng cân, thấp bé hơn so với lứa tuổi, hoặc đã được nghi ngờ có vấn đề về dinh dưỡng. Vì vậy, mẫu nghiên cứu có xu hướng tập trung nhiều hơn vào nhóm trẻ có nguy cơ SDD, làm cho tỷ lệ nhẹ cân, thấp còi và gầy còm cao hơn so với một số nghiên cứu tại cộng đồng. Theo R.E. Black và cs (2013) [4], chỉ số nhân trắc thấp liên quan đến thiếu hụt năng lượng và bệnh lý cấp tính như tiêu chảy hoặc nhiễm trùng hô hấp. Kết quả này nhấn mạnh cần can thiệp dinh dưỡng sớm để cải thiện tăng trưởng và giảm nguy cơ thấp còi mạn tính cho cả trẻ nam và nữ. Tỷ lệ SDD cao hơn nghiên cứu của Q.A. Phan và cs (2023) [5] là 20,8%.

Ngược lại, tỷ lệ thừa cân, béo phì trong nghiên cứu chỉ chiếm 2,7%, thấp hơn so với xu hướng gia tăng thừa cân, béo phì ở trẻ em hiện nay và thấp hơn nghiên cứu của V.H. Pham và cs (2022) [6] là 4,8%. Trẻ thừa cân, béo phì có thể ít được gia đình đưa đi khám hơn so với trẻ nhẹ cân hoặc chậm tăng trưởng, do một số phụ huynh vẫn có quan niệm trẻ bụ bẫm là khỏe mạnh và chưa nhận thức đầy đủ thừa cân, béo phì là một tình trạng dinh dưỡng bất lợi cần được tư vấn sớm. Bên cạnh đó, nhóm trẻ đến khám tại Viện Dinh dưỡng trong nghiên cứu chủ yếu là nhóm có biểu hiện thiếu hụt dinh dưỡng hoặc rối loạn tăng trưởng, nên tỷ lệ thừa cân, béo phì ghi nhận tại phòng khám có thể thấp hơn so với các nghiên cứu thực hiện trên cộng đồng. Một số nghiên cứu cho thấy, gánh nặng kép dinh dưỡng phản ánh sự chuyển đổi dinh dưỡng nhanh chóng, với thực phẩm năng lượng cao và lối sống ít vận động góp phần vào thừa cân, béo phì, trong khi thiếu vi chất dẫn đến SDD [7, 8].

Phân loại tình trạng dinh dưỡng theo nhóm tuổi cho thấy, tỷ lệ trẻ SDD thấp còi cao nhất ở nhóm 36-47 tháng tuổi với 38,5%. Tỷ lệ trẻ SDD nhẹ cân cao nhất ở nhóm dưới 12 tháng tuổi với 51,5%. Tỷ lệ trẻ gầy còm cao nhất ở nhóm 36-47 tháng tuổi với 30,8%. Tỷ lệ SDD cao ở nhóm dưới 12 tháng có thể liên quan đến dinh dưỡng bào thai và dinh dưỡng sớm khi trẻ bú mẹ không đủ hoặc ăn bổ sung không đúng cách. Đối với trẻ 36-47 tháng, lúc này trẻ thường đã đi học, thường ăn chung với các món ăn trong gia đình nên có thể trẻ không phù hợp và không ăn đủ lượng so với nhu cầu, đặc biệt trong giai đoạn chuyển từ bú mẹ sang ăn dặm, như tác giả T.D. Tran (2020) [9] ghi nhận. Tỷ lệ thừa cân - béo phì thấp ở

tất cả các nhóm tuổi, đặc biệt không ghi nhận ở nhóm 24-35 tháng và 36-47 tháng, tương đồng với nghiên cứu của tác giả V.H. Pham và cs (2022) [6] (4,8%), nhưng thấp hơn mức toàn quốc (7,4%).

Một số nghiên cứu khác được thực hiện tại cộng đồng ghi nhận tỷ lệ SDD thấp hơn so với kết quả nghiên cứu của chúng tôi [10-12]. Sự khác biệt này là hợp lý và có thể lý giải được bởi đặc điểm đối tượng nghiên cứu: nghiên cứu của chúng tôi được tiến hành tại Viện Dinh dưỡng, nơi tiếp nhận chủ yếu các trường hợp trẻ có biểu hiện rối loạn dinh dưỡng như biếng ăn, chậm tăng cân. Đây là nhóm trẻ có nguy cơ cao và thường được phụ huynh chủ động đưa đến khám, do đó tỷ lệ SDD ghi nhận trong nghiên cứu có xu hướng cao hơn so với các nghiên cứu cộng đồng.

Nghiên cứu của chúng tôi cho thấy, tỷ lệ trẻ mắc ít nhất một thể SDD là 49,1%; mắc thấp còi đơn thuần là 11,6%; tỷ lệ thấp còi phối hợp nhẹ cân là 19,2%; mắc cả ba thể phối hợp là 7,6%. Tỷ lệ SDD phối hợp cao hơn so với nghiên cứu của Q.A. Phan và cs (2023) [5] (15,0%). Theo Z.A. Bhutta và cs (2013) [13], SDD phối hợp làm tăng nguy cơ bệnh tật và chậm phát triển nghiêm trọng hơn SDD đơn lẻ [13].

5. Kết luận

Nghiên cứu cho thấy tình trạng SDD ở trẻ đến khám tại Viện Dinh dưỡng ở mức cao, với nhiều dạng phối hợp, đặc biệt ở nhóm dưới 12 tháng và 36-47 tháng tuổi. Kết quả này nhấn mạnh sự cần thiết của can thiệp dinh dưỡng sớm, phù hợp theo độ tuổi và thể trạng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] WHO (2022), https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition, accessed 1 July 2025.

[2] N.P. Huynh, V.P. Hoang, V.K. Phi, et al. (2020), "Assessment of nutrition capacity building to implement the National Nutrition Strategy", *Journal of Nutrition and Food*, **16(5)**, pp.13-22 (in Vietnamese).

[3] B.N. Phan, T.H. Hoang, T.L.H. Nguyen, et al. (2024), "Assessment of nutritional status and incidence of some nutrition-related diseases of children under 5 years old visiting the National Institute of Nutrition in 2023", V*ietnam Medical Journal*, **539**, pp.101-109 (in Vietnamese).

[4] R.E. Black, C.G. Victora, S.P. Walker, et al. (2013), "Maternal and child undernutrition and overweight in low-income and middle-income countries", *The Lancet*, **382**, pp.427-451, DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60937-X.

[5] Q.A. Phan, T.P.L. Tran, T.H.L. Nguyen, et al. (2023), "Nutritional status of children 6-23 months old at the nutrition and vaccination consultation clinic, Institute of Preventive Medicine and Public Health", *Vietnam Medical Journal*, **528(Special Issue)**, pp.56-62 (in Vietnamese).

[6] V.H. Pham, H.T. Tran, H.T. Doan, et al. (2022), "Nutritional status and some related factors of children under 5 years old in Chi Minh commune, Tu Ky, Hai Duong", *Vietnam Medical Journal*, **516(2)**, pp.123-128 (in Vietnamese).

[7] B.M. Popkin, C. Corvalan, L.M. Grummer-Strawn (2020), "Dynamics of the double burden of malnutrition and the changing nutrition reality", *The Lancet*, **395**, pp.65-74, DOI: 10.1016/S0140-6736(19)32497-3.

[8] B.M. Popkin (2015), "Nutrition transition and the global diabetes epidemic", *Current Diabetes Reports*, **15(9)**, pp.64-73, DOI: 10.1007/s11892-015-0631-4.

[9] T.D. Tran (2020), *Nutritional Status and Some Related Factors of Children Under 5 Years Old Visiting The National Institute of Nutrition in 2018*, Master's Thesis in Nutrition, Hanoi Medical University (in Vietnamese).

[10] H.H. Vo, V.H. Truong (2023), "Malnutrition status of children under 5 years old and some related factors in underweight malnourished children in Hau Giang province in 2019-2020", *Journal of Preventive Medicine*, **33(6)**, pp.330-337 (in Vietnamese).

[11] T.P.M. Chu, T.T.H. Nguyen, T.H. Nguyen (2022), "Micronutrient deficiency in children from 6 months to under 5 years old", *Vietnam Medical Journal*, **515(2)**, pp.83-90 (in Vietnamese).

[12] M.P. Pham, T.N. Bui, T.L.A. Nguyen, et al. (2023), "Nutritional status and boarding rations of children at Hoa Hong kindergarten, Dong Da district, Hanoi city", *Journal of Nutrition and Food*, **19(1+2)**, pp.50-56 (in Vietnamese).

[13] Z.A. Bhutta, J.K. Das, A. Rizvi, et al. (2013), "Evidence-based interventions for improvement of maternal and child nutrition: what can be done and at what cost?", *The Lancet*, **382**, pp.452-477, DOI: 10.1016/S0140-6736(13)60996-4.

 DOI: 10.31276/VJST.2026.3653

Phân lập và tuyển chọn vi khuẩn tía không lưu huỳnh từ ao nuôi thủy sản tại Ninh Bình và đánh giá khả năng loại bỏ sulfide trong điều kiện phòng thí nghiệm

Hoàng Thị Ngọc Anh*, Trần Thị Bảo Yến, Nguyễn Võ Trà My, Nguyễn Thị Hồng Tâm, Nguyễn Thúy Hằng

Công ty TNHH Tập đoàn Sinh học AQ, phường Đông Ngạc, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 16/9/2025; ngày chuyển phản biện 23/9/2025; ngày nhận phản biện 30/9/2025; ngày chấp nhận đăng 13/10/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu với mục tiêu phân lập và tuyển chọn chủng vi khuẩn tía không lưu huỳnh từ 10 mẫu nước và 15 mẫu bùn của các ao nuôi thủy sản khác nhau tại tỉnh Ninh Bình, Việt Nam nhằm xác định những chủng có tiềm năng xử lý sulfide trong nước, từ đó góp phần cải thiện chất lượng nước, nâng cao năng suất và giảm rủi ro dịch bệnh trong các ao nuôi thủy sản. Kết quả phân lập được 17 chủng vi khuẩn có tiềm năng xử lý sulfide, trong đó 2 chủng ND2 và NH6 có khả năng xử lý sulfide cao nhất (>96%) trong điều kiện sulfide từ 10 đến 20 mg/l. Chủng ND2 và NH6 sinh trưởng tốt nhất ở 2% NaCl với giá trị OD_{660nm} lần lượt đạt 1,03 và 1,15, sau đó giảm khi tăng 3-5% NaCl. Chủng ND2 và NH6 có khả năng xử lý sulfide cao trong môi trường 2-3% NaCl, hiệu suất xử lý lần lượt đạt 97,48 và 96,40% tại 2% NaCl. Hiệu suất xử lý sulfide giảm ở 4-5% NaCl, hiệu suất xử lý sulfide của chủng ND2 và NH6 lần lượt đạt 86,79 và 84,84% ở 5% NaCl. Chủng ND2 sinh trưởng và xử lý sulfide tốt hơn chủng NH6 ở nồng độ muối cao 4-5%, được lựa chọn định danh sinh học phân tử xác định thuộc loài *Rhodovulum sulfidophilum*. Như vậy, *R. sulfidophilum* ND2 có tiềm năng cao ứng dụng xử lý hiệu quả sulfide trong nước nuôi trồng thủy sản.

Từ khóa: **phân lập, *Rhodovulum sulfidophilum*, sulfide, tuyển chọn, vi khuẩn quang dưỡng tía không lưu huỳnh.**

Chỉ số phân loại: **1.6, 4.5, 4.6**

Isolation and characterisation of purple non-sulfur bacteria from aquaculture ponds in Ninh Binh and evaluation of their sulfide-removal capacity under laboratory conditions

Thi Ngoc Anh Hoang*, Thi Bao Yen Tran, Vo Tra My Nguyen, Thi Hong Tam Nguyen, Thuy Hang Nguyen

AQ Biological Group Company Limited, Dong Ngac Ward, Hanoi, Vietnam

Received 16 September 2025; revised 30 September 2025; accepted 13 October 2025

Abstract:

This study aimed to isolate and select purple non-sulfur bacteria (PNSB) strains from 10 water and 15 sediment samples collected from various aquaculture ponds in Ninh Binh province, Vietnam, to identify strains with high sulfide-removal potential for improving water quality, enhancing productivity, and reducing the risk of disease outbreaks in aquaculture ponds. A total of 17 PNSB strains were isolated, among which strains ND2 and NH6 exhibited the highest sulfide removal efficiency (>96%) at sulfide concentrations of 10-20 mg/l. Both strains showed optimal growth at 2% NaCl, with OD_{660nm} values of 1.03 and 1.15, respectively, and their growth decreased as the NaCl concentration increased to 3-5%. Both strains maintained high sulfide removal efficiency in media containing 2-3% NaCl, reaching 97.48% for ND2 and 96.40% for NH6 at 2% NaCl. However, removal efficiency decreased at 4-5% NaCl, with values of 86.79 and 84.84% for ND2 and NH6, respectively, at 5% NaCl. Strain ND2 exhibited better growth and sulfide removal than strain NH6 at NaCl concentrations of 4-5% and was selected for molecular identification as *Rhodovulum sulfidophilum*. These findings suggest that *R. sulfidophilum* ND2 has strong potential for efficient sulfide removal in aquaculture water.

Keywords: **isolation, purple non-sulfur phototrophic bacteria, *Rhodovulum sulfidophilum*, selection, sulfide.**

Classification numbers: **1.6, 4.5, 4.6**

**Tác giả liên hệ: Email: hoangngocanh.edu@gmail.com*

1. Đặt vấn đề

Ngành nuôi trồng thủy sản đã tăng trưởng nhanh chóng nhằm đáp ứng nhu cầu thực phẩm ngày càng lớn của dân số thế giới, tuy nhiên nguồn tài nguyên hải sản trên toàn cầu đang dần bị hạn chế. Sự thiếu hụt diện tích đất dành cho nuôi tôm đã dẫn đến việc áp dụng mô hình nuôi thâm canh để đáp ứng nhu cầu thị trường [1]. Trong môi trường nuôi thâm canh, lượng lớn thức ăn dư thừa và chất thải từ tôm sẽ tích tụ ở đáy ao và được chuyển đổi kỵ khí tạo thành khí NH_3, H_2S. Cả hai hợp chất này đều độc đối với tôm, chúng làm giảm tốc độ sinh trưởng, tăng tỷ lệ chết và làm suy giảm chất lượng nước [2].

Khí H_2S hình thành trong điều kiện yếm khí của hệ thống nuôi thủy sản có mùi đặc trưng của trứng thối. Sự tích tụ khí này ở nồng độ cao không chỉ ảnh hưởng đến tỷ lệ sống mà còn tác động xấu đến hoạt động sinh lý và miễn dịch của sinh vật thủy sinh. Theo D. Thulasi và cs (2020) [3], khoảng 10% tổn thất mùa vụ trong nuôi tôm có liên quan đến quá trình tạo sulfide và đến nay ước tính khoảng 4 triệu tấn tôm chết do hiện tượng sự phát tán khí sulfide. Mặc dù độc tính của sulfide cao gấp 100 lần so với các hợp chất chứa nitơ, nhưng trong thực tế sulfide hầu như không được đo đạc tại các đầm nuôi thủy sản [3]. Các phương pháp hiện nay để kiểm soát sự tích tụ chất thải và những tác động tiêu cực của sulfide trong ao nuôi chủ yếu là xử lý cơ học để loại bỏ hoặc oxy hóa bùn đáy. Đây là phương pháp đòi hỏi nhiều nhân công và thường chỉ có thể thực hiện trong giai đoạn khô hạn giữa các vụ nuôi tôm [4]. Do đó trong những năm gần đây, các nghiên cứu đã tập trung vào việc sử dụng vi khuẩn quang dưỡng tía không lưu huỳnh (PNSB) để cải thiện chất lượng nước và giảm khí độc, nhằm giảm chất ô nhiễm và kiểm soát mùi một cách bền vững [2].

Vi khuẩn PNSB thường được tìm thấy trong các nguồn nước tự nhiên, bao gồm cả ao nuôi tôm do chúng có nhiều kiểu sinh trưởng đa dạng như: quang tự dưỡng hoặc quang dị dưỡng trong điều kiện yếm khí - ánh sáng hoặc vi hiếu khí - ánh sáng và dị dưỡng trong điều kiện hiếu khí - tối. Điều này có nghĩa, chúng có thể tiêu thụ chất hữu cơ cả trong điều kiện sáng lẫn tối và một số loài còn có khả năng loại bỏ H_2S [5].

Nghiên cứu này nhằm mục đích phân lập, tuyển chọn các chủng PNSB từ nước và bùn của các ao nuôi trồng thủy sản tại tỉnh Ninh Bình, có tiềm năng trong việc giảm H_2S hiệu quả trong môi trường tổng hợp, từ đó cải thiện chất lượng nước, nâng cao năng suất và giảm rủi ro dịch bệnh trong các ao nuôi tôm. PNSB trong ao nuôi thủy sản vừa có tác dụng cải thiện chất lượng môi trường nước, vừa tăng cường sức khỏe và hiệu suất nuôi của tôm, cá. Đây là cơ sở để nhiều chế phẩm vi sinh thương mại hiện nay bổ sung PNSB như một probiotic sinh học trong nuôi trồng thủy sản.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

2.1.1. Thu thập mẫu

10 mẫu nước và 15 mẫu bùn được thu thập từ các ao nuôi thâm canh, quảng canh khác nhau (tôm thẻ chân trắng, cua biển, vẹm xanh và cá rô phi) tại tỉnh Ninh Bình. Mẫu phân tích được thu thập theo TCVN 8880:2011 "Chất lượng nước - lấy mẫu để phân tích vi sinh". Đối với mẫu nước, sử dụng chai nhựa sạch dung tích 1000 ml; mỗi mẫu nước được lấy ở 3-4 vị trí khác nhau trong một ao, độ sâu cách mặt nước khoảng 1 đến 1,5 m và cách bờ khoảng 1 m mỗi ao. Trong khi đó đối với mẫu bùn, 100 g bùn đáy ao với độ dày 5 cm đựng trong túi zip sạch. Tất cả các mẫu sau đó được đậy kín, ký hiệu mẫu, ghi rõ địa điểm lấy mẫu, bảo quản lạnh và được vận chuyển về phòng thí nghiệm, giữ ở 4°C. Các mẫu được phân lập trong vòng không quá 24 giờ.

2.1.2. Môi trường tăng sinh và phân lập

Môi trường tăng sinh và phân lập chủng PNSB là môi trường DSMZ-27 cải tiến (g/l): succinate-Na 1,0; cao nấm men 0,3; acetate-Na 1,0; NH_4Cl 0,4; KH_2PO_4 0,5; K_2HPO_4 1,0; $CaCl_2.2H_2O$ 0,05; $MgSO_4.7H_2O$ 0,4; NaCl 20; H_2O 1 l; vi lượng SL6(*) 1 ml; dung dịch vitamin B12 0,4 ml; pH 6,8±0,2. Môi trường thạch DSMZ-27: Môi trường DSMZ-27 bổ sung 20 g/l agar. (*) Thành phần dung dịch vi lượng SL6 (g/l): $CoCl_2.6H_2O$ 0,25; $CuCl_2.5H_2O$ 0,01; $MnCl_2.4H_2O$ 0,07; $ZnCl_2$ 0,1; $NiCl.6H_2O$ 0,01; $Na_2SiO_3.5H_2O$ 0,01; $FeCl_2.4H_2O$ 1,8; H_3BO_3 0,5; $Na_2MoO_4.2H_2O$ 0,03.

Môi trường làm thuần chủng vi sinh vật: Môi trường King's B agar (KB) (g/l): glycerol 10; K_2HPO_4 1,5; $MgSO_4.7H_2O$ 1,5; peptone 20; agar 20; H_2O 1 l; pH 7,0±0,2. Tất cả các môi trường được hấp tiệt trùng bằng nồi hấp Tomy ES 315 (Nhật Bản) ở 121°C trong 15 phút. Tất cả hóa chất sử dụng trong nghiên cứu được sản xuất tại Trung Quốc.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp tăng sinh và phân lập vi khuẩn

Tất cả mẫu thu thập về phòng thí nghiệm được nuôi tăng sinh theo phương pháp Winogradsky's cải tiến [6]. Mẫu nước (2 ml) hoặc bùn đáy (5 g) được cho vào lọ thủy tinh (150×15 mm: 50 ml) riêng biệt chứa lần lượt 20 ml hoặc 45 ml môi trường DSMZ-27, sau đó được phủ một lớp (2 ml) paraffin hấp tiệt trùng để tạo điều kiện kỵ khí, vặn kín nắp. Tất cả các mẫu được ủ trong tủ ấm 303-1AB (Trung Quốc) ở nhiệt độ 28-30°C, chiếu sáng bằng đèn sợi đốt 60 W (khoảng 2000 lux). Sau 7-10 ngày, các lọ xuất hiện màu từ nâu, vàng đến đỏ tía được chọn để tiếp tục phân lập trên đĩa petri chứa môi trường thạch DSMZ-27 bằng phương pháp cấy trang. Để tạo điều kiện kỵ khí, một lớp mỏng thạch DSMZ-27 được đổ lên đĩa sau khi cấy trang. Các đĩa ủ ở nhiệt độ 28-30°C, chiếu sáng. Các khuẩn lạc riêng rẽ có màu nâu, vàng đến đỏ tía sau đó được làm thuần theo phương pháp cấy ria trên môi trường KB agar và xác định các đặc điểm hình dạng, màu sắc, hình thái tế bào bằng phương pháp nhuộm Gram và quan sát dưới kính hiển vi L2800 (Trung Quốc) vật kính 100X [7]. Các chủng thuần được lưu giữ trong dung dịch glycerol 20% ở -80°C.

2.2.2. Thử nghiệm sinh hóa xác định vi khuẩn tía không lưu huỳnh

Môi trường Simmon's citrate agar, urea agar đã được chuẩn bị để xác định khả năng sử dụng citrate, khả năng sinh enzyme urease [8]. Thuốc thử $C_6H_4[N(CH_3)_2]_2$ 1%, H_2O_2 3% và thuốc thử Kovac's được sử dụng để thử nghiệm hoạt tính oxidase, catalase, indole [8]. Tất cả các môi trường nuôi cấy được đổ vào các đĩa petri vô trùng riêng biệt hoặc ống nghiệm sau đó được cấy vi khuẩn PNSB đã phân lập và ủ 48-72 giờ. Đặc điểm sinh hóa chủng được so sánh với các chủng cùng loại theo thang phân loại vi khuẩn [9].

2.2.3. Sàng lọc khả năng xử lý sulfide của chủng PNSB

Chủng PNSB được nuôi cấy trên môi trường DSMZ-27 bổ sung $Na_2S.9H_2O$ ở các nồng độ 0; 10; 15; 20 mg/l nuôi cấy ở điều kiện kỵ khí, có chiếu sáng. Khả năng xử lý sulfide của các chủng vi khuẩn được đánh giá bằng phương pháp methylene blue (SMEWW S^{2-} B&D: 2017) sau 7 ngày nuôi cấy. Thuốc thử: dung dịch A: hòa tan 2,7 g $C_8H_{12}N_2$ trong 50 ml H_2SO_4 định mức 100 ml, thuốc thử chuẩn B: dung dịch A 2,5%; dung dịch C: hòa tan 100 g $FeCl_3.6H_2O$ trong 40 ml nước, dung dịch D: hòa tan 400 g $(NH_4)_2HPO_4$ trong 800 ml nước. Thực hiện: hút 7,5 ml mẫu vào ống nghiệm, sau đó lần lượt cho vào 0,5 ml thuốc thử B; 150 µl dung dịch C. Chờ 3-5 phút và thêm 1,6 ml dung dịch D vào mỗi ống. Chờ 3-15 phút và so màu ở bước sóng 660 nm. Đường chuẩn sulfide được xác định dựa trên sự thay đổi nồng độ $Na_2S.9H_2O$ từ 0 đến 2,5 mg/l và xác định sự tương quan giữa nồng độ sulfide (C) và giá trị OD_{660nm} (A) theo phương trình A=0,3731C+0,0002 và xác định hàm lượng sulfide trong mẫu phân tích. Mỗi thí nghiệm được tiến hành ba lần lặp lại lấy giá trị trung bình.

2.2.4. Đánh giá khả năng xử lý sulfide ở các nồng độ muối khác nhau

Chủng vi khuẩn PNSB có khả năng khử sulfide tốt ở thí nghiệm trên được lựa chọn và nuôi cấy trong 20 ml môi trường DSMZ-27 chứa S^{2-} có nồng độ 10, 15, 20 mg/l và bổ sung NaCl ở các nồng độ 2, 3, 4, 5%, điều kiện nuôi cấy kỵ khí, chiếu sáng. Khả năng khử sulfide của các chủng vi khuẩn được xác định bằng phương pháp methylene blue (SMEWW S^{2-} B&D: 2017), khả năng sinh trưởng được xác định bằng phương pháp đo quang (OD) ở bước sóng 660 nm sau 7 ngày nuôi cấy.

2.2.5. Định danh phân tử và phân tích phát sinh chủng loại

Phân loại vi khuẩn PNSB bằng sinh học phân tử dựa trên trình tự *16S rRNA*. DNA tổng số được tách bằng Kit RIBO-prep của Liên bang Nga. Gen *16S rRNA* được tổng hợp với cặp mồi 27F: 5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3' và 1492R: 5'-GGCTACCTTGTTACGACTT-3' [10]. Sản phẩm PCR sau tinh sạch (bằng bộ kit Bioneer của Hàn Quốc) được gửi đến trung tâm Macrogen (Hàn Quốc) để xác định trình tự. Phân tích phả hệ và xác định mối quan hệ di truyền với các chủng vi khuẩn khác bằng phần mềm MEGA 11.

2.2.6. Phương pháp xử lý số liệu

Các kết quả được trình bày dưới dạng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (TB±SD). Số liệu thống kê và biểu đồ được thực hiện bằng phần mềm SPSS 20. Sự khác biệt giữa các nghiệm thức được phân tích bằng ANOVA với mức ý nghĩa α=0,05.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Kết quả thu thập mẫu và phân lập vi khuẩn PNSB

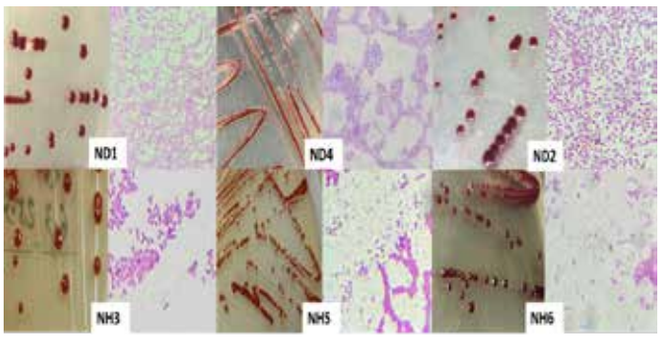
Từ 10 mẫu nước và 15 mẫu bùn phân lập được 17 chủng vi khuẩn có hình thái khuẩn lạc khác nhau. Kết quả phân lập được trình bày cụ thể tại bảng 1.

Bảng 1. Đặc điểm hình thái các chủng vi khuẩn phân lập.

Ký hiệu mẫu	Đặc điểm hình thái			
	Gram	*Tế bào*	*Khuẩn lạc*	*Màu sắc*
ND1	-	Que	Tròn, lồi	Đỏ tía
ND2	-	Que	Tròn, lồi	Đỏ tía
ND4	-	Cầu	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
ND5	-	Cầu	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
ND6	-	Que	Tròn, lồi	Đỏ tía
ND12	-	Que	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
ND13	-	Que	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
NH1	-	Cầu	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
NH2	-	Cầu	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
NH3	-	Que	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
NH4.1	-	Que	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
NH4.2	-	Que	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
NH5	-	Cầu	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
NH6	-	Que	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
NH8	-	Que	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
NH9.1	-	Cầu	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu
NH10	-	Que	Tròn, lồi, nhầy	Đỏ nâu

(-): Gram âm.

Cụ thể, 17/17 chủng vi khuẩn là Gram âm; 11/17 chủng có tế bào hình que chiếm 64,7%; 6/17 chủng có tế bào cầu chiếm 35,3%. Về hình thái khuẩn lạc, hầu hết các chủng có khuẩn lạc tròn, lồi, bóng nhầy ngoại trừ chủng ND1, ND2 và ND6 (hình 1). Về màu sắc khuẩn lạc, 3/17 chủng có màu đỏ tía chiếm 17,6%; 14/17 chủng có màu đỏ nâu chiếm 82,4%. Kết quả cho thấy, chủng phân lập có đặc điểm tương đồng với nhóm PNSB, kết quả này cũng được thể hiện ở nghiên cứu của T.V. Quyen và cs (2022) [11] và J.F. Imhoff và cs (1989) [12].



Hình 1. Hình ảnh một số chủng vi khuẩn phân lập.

3.2. Đặc điểm sinh hóa của các chủng vi khuẩn

Các chủng vi khuẩn sau khi làm thuần khiết được thử nghiệm để xác định một số đặc điểm sinh hóa. Kết quả cụ thể được trình bày ở bảng 2.

Bảng 2. Kết quả thử nghiệm sinh hóa chủng vi khuẩn PNSB.

Ký hiệu chủng	Catalase	Oxidase	Citrate	Urease	Indole
ND1	+	+	-	+	-
ND2	+	+	-	+	-
ND4	+	+	-	-	-
ND5	+	+	-	-	-
ND6	+	+	-	+	-
ND12	+	+	-	-	-
ND13	+	+	-	-	-
NH1	+	+	-	-	-
NH2	+	+	-	-	-
NH3	+	+	-	+	-
NH4.1	+	+	-	+	-
NH4.2	+	+	-	+	-
NH5	+	+	-	-	-
NH6	+	+	-	+	-
NH8	+	+	-	-	-
NH9.1	+	+	-	-	-
NH10	+	+	-	-	-

(+): phản ứng dương tính; (-): phản ứng âm tính.

Kết quả bảng 2 cho thấy, hầu hết các chủng vi khuẩn đều phản ứng dương tính với oxidase và catalase, phản ứng âm tính với citrate và indole; 7/17 chủng dương tính với urease. Đặc điểm sinh hóa chủng vi khuẩn cho

thấy, chủng vi khuẩn phân lập được có kết quả tương đồng với nghiên cứu trước đó của H.T. Yen và cs (2019) [13] và A. Srinivas và cs (2014) [14]. Kết quả này bước đầu xác nhận các chủng vi khuẩn phân lập được có thể thuộc chi *Rhodovulum*.

3.3. Khả năng xử lý sulfide của các chủng vi khuẩn PNSB

Bảng 3. Khả năng sinh trưởng của các chủng PNSB ở các nồng độ sulfide khác nhau.

Ký hiệu chủng	Nồng độ sulfide (mg/l)			
	0	*10*	*15*	*20*
ND1	1,22±0,74	1,25±1,20	1,21±0,38	1,00±0,36
ND2	1,05±0,38	1,12±0,56	1,11±0,02	1,04±0,45
ND4	1,29±0,74	1,17±1,14	1,04±0,08	1,08±0,08
ND5	0,93±0,29	1,12±0,69	1,11±0,18	1,03±0,06
ND6	0,77±0,42	0,95±0,46	0,94±0,17	0,78±0,12
ND12	0,84±0,43	1,02±1,19	0,99±0,21	0,98±0,25
ND13	0,84±0,49	0,81±0,60	0,47±0,18	0,56±0,26
NH1	1,17±0,46	1,04±0,84	0,98±0,40	0,90±0,15
NH2	1,26±0,56	1,26±0,76	1,16±0,32	1,06±0,33
NH3	1,31±0,38	1,19±0,20	1,01±0,64	0,92±0,42
NH4.1	1,06±0,45	0,91±0,29	0,89±0,16	0,80±0,21
NH4.2	0,86±0,42	0,92±0,40	0,47±0,31	0,45±0,11
NH5	0,80±0,63	1,11±1,21	0,55±0,05	0,53±0,19
NH6	1,25±0,33	1,12±0,48	0,76±0,25	0,76±0,04
NH8	0,77±0,84	1,04±0,45	0,91±0,03	0,50±0,06
NH9.1	1,26±0,51	1,27±0,41	1,14±0,46	1,05±0,41
NH10	1,18±0,17	0,94±0,41	0,85±0,45	0,78±0,22

Khả năng xử lý sulfide và sinh trưởng của các chủng PNSB sau 7 ngày nuôi cấy được trình bày tại bảng 3. Theo bảng 3, các chủng PNSB sinh trưởng tốt nhất trong điều kiện 0-10 mg/l không có sự khác biệt về mặt thống kê. Cụ thể, 10/17 chủng cho thấy sinh trưởng tốt (OD_{660nm}≥1,0) sau 7 ngày nuôi cấy gồm các chủng ND1, ND2, ND4, NH1, NH2, NH3, NH4.1, NH6, NH9.1, NH10; 7/17 chủng sinh trưởng thấp hơn (0,7≤OD_{660nm}<1,0) gồm các chủng ND5, ND6, ND12, ND13, NH4.2, NH5, NH8. Trong khi tăng nồng độ sulfide lên 15-20 mg/l sinh trưởng của các chủng PNSB giảm đáng kể. Điều này cho thấy, chủng PNSB có thể sử dụng được một hàm lượng sulfide nhất định để sinh trưởng. Kết quả nghiên cứu cũng tương đồng với nghiên cứu của H.T. Trong và cs (2024) [15]. Từ kết quả nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành khảo sát khả năng xử lý sulfide của các chủng PNSB (bảng 4).

Bảng 4. Hiệu suất xử lý sulfide của các chủng PNSB (%).

Ký hiệu chủng	Nồng độ S^{2-} (mg/l)		
	10	*15*	*20*
ND1	$90,90^{abcg}$±0,33	$87,23^{ah}$±0,09	$89,87^{abh}$±0,11
ND2	$97,76^{fg}$±0,03	$97,54^{fh}$±0,03	$97,36^{fh}$±0,04
ND4	$95,61^{defg}$±0,04	$92,95^{bcdeh}$±0,08	$92,47^{bcdh}$±0,08
ND5	$94,65^{cdefg}$±0,12	$94,20^{cdefh}$±0,08	$93,44^{bcdeh}$±0,08
ND6	$91,19^{abcdg}$±0,14	$91,23^{abcdh}$±0,09	$90,37^{abch}$±0,04
ND12	$94,59^{cdefg}$±0,05	$95,12^{defh}$±0,11	$94,54^{cdefh}$±0,04
ND13	$94,65^{cdefg}$±0,03	$89,06^{abh}$±0,06	$89,31^{abh}$±0,04
NH1	$93,07^{bcdefg}$±0,32	$88,01^{ah}$±0,05	$87,54^{ah}$±0,05
NH2	$93,75^{cdefg}$±0,02	$94,77^{defh}$±0,12	$93,92^{cdefh}$±0,08
NH3	$90,60^{abcg}$±0,15	$90,64^{abch}$±0,11	$89,04^{abh}$±0,06
NH4.1	$96,29^{efg}$±0,07	$95,64^{defh}$±0,08	$95,14^{defh}$±0,04
NH4.2	$94,80^{defg}$±0,04	$90,46^{abch}$±0,03	$89,31^{abh}$±0,05
NH5	$93,80^{cdefg}$±0,03	$93,52^{bcdeh}$±0,03	$93,51^{bcdeh}$±0,05
NH6	$96,64^{efg}$±0,03	$96,93^{efh}$±0,11	$96,06^{efh}$±0,08
NH8	$94,06^{cdefg}$±0,03	$94,02^{cdefi}$±0,15	$92,98^{bcdeh}$±0,01
NH9.1	$94,59^{cdefg}$±0,01	$90,80^{abch}$±0,10	$90,10^{abch}$±0,02
NH10	$88,56^{ag}$ ±0,31	$87,64^{ah}$±0,12	$87,48^{ah}$±0,03

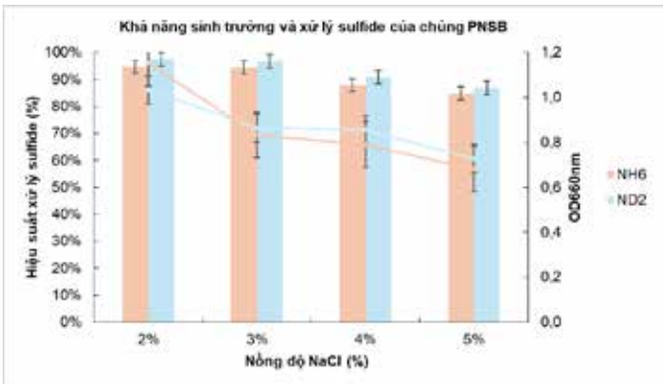
Các giá trị trong cùng bảng có các chữ cái a, b, c, d… giống nhau biểu thị khác biệt không có ý nghĩa thống kê (p=0,05).

Theo bảng 4, chủng ND2 và NH6 có khả năng xử lý sulfide cao nhất trong 17 chủng khảo sát, không có sự khác biệt sau 7 ngày nuôi cấy. Hiệu suất xử lý sulfide của chủng ND2 và NH6 lần lượt là 97,76 và 96,64% ở S^{2-} ban đầu (10 mg/l). Khi tăng S^{2-} ban đầu lên 15 mg/l, hiệu suất xử lý S^{2-} của chủng NH6 tăng nhẹ ở mức 96,93% sau đó giảm còn 96,06% ở mức S^{2-} ban đầu 20 mg/l. Hiệu suất xử lý sulfide của chủng ND2 giảm khi nồng độ S^{2-} tăng đến 15-20 mg/l nhưng vẫn duy trì ở mức cao nhất đạt 97,36% tại mức S^{2-} ban đầu 20 mg/l. Trong khi đó, chủng NH10 có hiệu suất xử lý sulfide thấp nhất đạt 88,56% ở nồng độ S^{2-} ban đầu 10 mg/l và 87,48% ở nồng độ S^{2-} ban đầu 20 mg/l sau 7 ngày nuôi cấy. Các chủng còn lại cho thấy, hiệu suất xử lý sulfide cao (>90%) trong điều kiện

S^{2-} ban đầu 10 mg/l, sau đó giảm dần khi nồng độ sulfide tăng đến 15-20 mg/l. Kết quả nghiên cứu cũng tương đồng với một số nghiên cứu trước đó của H.T. Trong và cs (2024) [15] và C. Hunter và cs (2009) [6] cho rằng, chủng PNSB có thể xử lý được sulfide ở một ngưỡng nhất định, nếu nồng độ sulfide tăng lên mức cao hơn có thể dẫn đến ức chế hoàn toàn hoặc gây chết tế bào, từ đó ảnh hưởng đến hiệu suất xử lý sulfide trong môi trường. Dựa vào kết quả trên, nồng độ 10 mg/l sulfide ban đầu, chủng vi khuẩn ND2 và NH6 được lựa chọn để khảo sát khả năng sinh trưởng và xử lý sulfide ở các nồng độ muối 2-5%.

3.4. Khả năng sinh trưởng và xử lý sulfide trong điều kiện muối khác nhau

Theo hình 2, chủng ND2 và NH6 sinh trưởng tốt nhất trong môi trường bổ sung 2% NaCl, giá trị OD_{660nm} lần lượt là 1,03 và 1,15. Khi tăng 3-5% NaCl, sinh trưởng của chủng ND2 và NH6 giảm. Chủng ND2 sinh trưởng tốt hơn chủng NH6 ngay cả khi nồng độ muối cao có ý nghĩa thống kê ($p<0,05$), giá trị OD_{660nm} của chủng ND2 và NH6 lần lượt đạt 0,728 và 0,681 ở 5% NaCl. Về khả năng xử lý sulfide, chủng ND2 và NH6 có khả năng xử lý sulfide cao ở 2-3% NaCl không có sự khác biệt. Tại 2% NaCl, khả năng xử lý sulfide của chủng ND2 và NH6 lần lượt đạt 97,48 và 96,40%. Hiệu suất xử lý sulfide giảm rõ rệt khi nồng độ muối tăng 4-5% ($p<0,05$), hiệu suất xử lý sulfide của chủng ND2 và NH6 lần lượt đạt 86,79 và 84,84% trong môi trường chứa 5% NaCl. Theo kết quả trên, chủng PNSB có thể sinh trưởng và xử lý sulfide trong điều kiện muối cao. Kết quả này cũng tương đồng với nghiên cứu trước đó rằng, PNSB có thể phát triển tốt trong môi trường chứa NaCl trong khoảng 1 đến 4%; trong khi sự phát triển bị chậm lại trong môi trường chứa NaCl từ 5 đến 10% [16]. Điều này được giải thích rằng, khi gặp môi trường mặn, các chủng PNSB huy động năng lượng (ATP) thông qua quang hợp để tái cấu trúc tế bào, rút ngắn kích thước, củng cố màng - vách tế bào, điều hòa thẩm thấu và kích hoạt hệ thống bảo vệ protein. Những thay đổi này giúp tế bào duy trì cân bằng nội môi và khả năng sống sót cao dưới điều kiện mặn [17]. Việc phân lập được các chủng PNSB có khả năng sinh trưởng trong điều kiện mặn cao có ý nghĩa quan trọng trong ứng dụng thực tiễn. Trong các hệ thống nuôi trồng thủy sản nước mặn, lợ các chủng PNSB chịu mặn có thể duy trì hoạt động ổn định, góp phần xử lý H_2S, NH_3 và NO_2, từ đó cải thiện chất lượng nước, giảm stress thẩm thấu cho tôm cá, và hạn chế bùng phát dịch bệnh [18]. Ngoài ra, PNSB chịu mặn còn có thể tăng sinh khối trong môi trường mặn, ứng dụng trong sản xuất sinh khối protein vi sinh (single-cell protein), chế phẩm sinh học (probiotic) [19]. Dựa trên kết quả nghiên cứu, chủng ND2 có khả năng sinh trưởng và xử lý sulfide ở độ mặn cao và ổn định được lựa chọn để định danh đến loài.



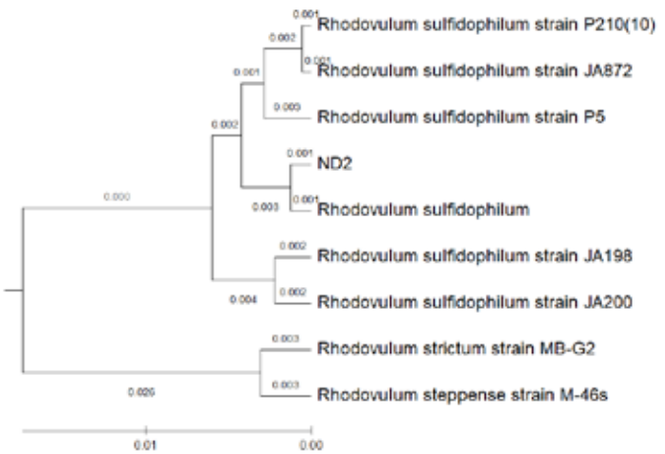
Hình 2. Kết quả đánh giá khả năng xử lý sulfide và sinh trưởng của chủng PNSB.

3.5. Kết quả định danh và xây dựng cây phân loại vi khuẩn

Chủng ND2 được giải trình tự đoạn gen *16S rRNA* và phân tích trên NCBI. Tiến hành xác định độ tương đồng với các đoạn trình tự có sẵn trên NCBI. Kết quả cho thấy, chủng ND2 thuộc chi *Rhodovulum* với độ tương đồng 99,75% so với loài *Rhodovulum sulfidophilum* (hình 3). Bằng phần mềm MEGA 11, gen *16S rRNA* từ chủng ND2 và một số loài đã công bố trên GenBank để vẽ cây phả hệ (hình 4). Như vậy, chủng vi khuẩn PNSB ND2 có thể thuộc loài *Rhodovulum sulfidophilum* và được đặt tên là *Rhodovulum sulfidophilum* ND2.



Hình 3. Kết quả phân tích dữ liệu NCBI để định danh chính xác chủng ND2.



Hình 4. Kết quả phân tích cây phả hệ chủng ND2.

4. Kết luận

Tổng cộng 25 mẫu bao gồm 10 mẫu nước và 15 mẫu bùn thu thập từ các ao nuôi thủy sản khác nhau tại tỉnh Ninh Bình đã phân lập được 17 chủng vi khuẩn PNSB. Hai chủng ND2 và NH6 có khả năng xử lý sulfide cao trong điều kiện S^{2-} (10-20 mg/l) được lựa chọn để khảo sát khả năng sinh trưởng và xử lý sulfide trong điều kiện muối khác nhau. Chủng ND2 và NH6 sinh trưởng tốt nhất trong môi trường bổ sung 2% NaCl, giá trị OD_{660nm} lần lượt là 1,03 và 1,15. Ở nồng độ 2% NaCl giá trị OD_{660nm} của chủng NH6 tốt hơn ND2, trong khi tăng 3-5% NaCl sinh trưởng cả hai chủng đều giảm. Ngoài ra, chủng ND2 và NH6 có khả năng xử lý sulfide cao ở 2-3% NaCl và giảm dần khi tăng 4-5% NaCl. Tại 2% NaCl, khả năng xử lý sulfide của chủng ND2 và NH6 lần lượt đạt 97,48% và 96,40%. Chủng ND2 có khả năng xử lý sulfide cao hơn chủng NH6 ngay cả khi nồng độ muối cao, hiệu suất xử lý sulfide của chủng ND2 và NH6 lần lượt đạt 86,79% và 84,84% trong môi trường chứa 5% NaCl. Dựa trên kết quả đặc điểm hình thái, khuẩn lạc, phân tích trình tự gen, chủng ND2 được đặt tên là *Rhodovulum sulfidophilum* ND2. Chủng *Rhodovulum sulfidophilum* ND2 có tiềm năng xử lý sulfide hiệu quả, từ đó được ứng dụng xử lý nước trong nuôi trồng thủy sản góp phần cải thiện chất lượng môi trường nuôi thủy sản, giúp giảm rủi ro bệnh tật. Chủng *Rhodovulum sulfidophilum* ND2 tiềm năng được đề nghị tiếp tục nghiên cứu để tối ưu điều kiện môi trường nâng cao sinh khối định hướng sản xuất chế phẩm sinh học xử lý nước trong nuôi trồng thủy sản.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được hỗ trợ kinh phí từ Công ty TNHH Tập đoàn Sinh học AQ. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] N. Seangtumnor, D. Kantachote, P. Nookongbut, et al. (2018), "The potential of selected purple nonsulfur bacteria with ability to produce proteolytic enzymes and antivibrio compounds for using in shrimp cultivation", *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, **14**, pp.138-144, DOI: 10.1016/J.BCAB.2018.02.013.

[2] K. Mukkata, D. Kantachote, B. Wittayaweerasak, et al. (2016), "Diversity of purple nonsulfur bacteria in shrimp ponds with varying mercury levels", *Saudi Journal of Biological Sciences*, **23(4)**, pp.478-487, DOI: 10.1016/j.sjbs.2015.05.014.

[3] D. Thulasi, M. Maralidhar, R. Saraswathy (2020), "Effect of sulphide in Pacific white shrimp *Penaeus vannamei* under varying oxygen and pH levels", *Aquaculture Research*, **51**, pp.2389-2399, DOI: 10.1111/are.14582.

[4] F. Torun, B. Hostins, J. Teske, et al. (2020), "Nitrate amendment to control sulphide accumulation in shrimp ponds", *Aquaculture*, **521**, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2020.735010.

[5] S. Chumpol, D. Kantachote, T. Nitoda, et al. (2017), "The roles of probiotic purple nonsulfur bacteria to control water quality and prevent acute hepatopancreatic necrosis disease (AHPND) for enhancement growth with higher survival in white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) during cultivation", *Aquaculture*, **473**, pp.327-336, DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.02.033.

[6] C.N. Hunter, F. Daldal, M.C. Thurnauer, et al. (2009), *The Purple Phototrophic Bacteria*, Springer, 1013pp, DOI: 10.1007/978-1-4020-8815-5.

[7] R. Coico (2005), "Gram staining", *Curr. Protoc. Microbiol.*, Appendix 3, 3C, DOI: 10.1002/9780471729259.mca03cs00.

[8] E.I. Madukasi, H. Chunhua, G. Zhang (2011), "Isolation and application of a wild strain photosynthetic bacterium to environmental waste management", *International Journal of Environmental Science & Technology*, **8(3)**, pp.513-522, DOI: 10.1007/BF03326237.

[9] N.R. Krieg, J.G. Holt (1984), *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*, Williams and Wilkins, Baltimore, London, 992pp.

[10] S. Yuli, L. Chengxu, B. Mauricio, et al. (2005), "Evaluation of *16S rRNA* sequencing and reevaluation of a short biochemical scheme for identification of clinically significant bacteroides species", *Journal of Clinical Microbiology*, **43(4)**, pp.1531-1537, DOI: 10.1128/jcm.43.4.1531-1537.2005.

[11] T.V. Quyen, T.H. Khang, T.V. Be (2022), "Isolating, selecting and identifying purple nonsulfur bacteria, and testing the sulfide handling ability of purple nonsulfur bacteria in shrimp pond water in Kien Luong district, Kien Giang province", *Journal of Industry and Trade*, **10**, pp.380-386 (in Vietnamese).

[12] J.F. Imhoff, H.G. Truper (1989), "The purple nonsulfur bacteria", *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology,* Williams and Wilkins, Baltimore, pp.1658-1680.

[13] H.T. Yen, T.T.T. Quynh, C.H. Ha, et al. (2019), "Identification and characterization of a purple nonsulfur bacterium isolated from coastal area of Hai Phong for using in production of unsaturated fatty acid (omega 6, 7, 9)", *Vietnam Journal of Science and Technology*, **57(6)**, pp.665-676, DOI: 10.15625/2525-2518/57/6/13711.

[14] A. Srinivas, B.V. Kumar, B.D. Sree, et al. (2014), "*Rhodovulum salis* sp. nov. and *Rhodovulum viride* sp. nov., phototrophic Alphaproteobacteria isolated from marine habitats", *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, **64(3)**, pp.957-962, DOI: 10.1099/ijs.0.058974-0.

[15] H.T. Trong, T.P.T. Hoang, V.T.Q. Thang, et al. (2024), "Isolation and selection of purple non-sulfur photosynthetic bacteria strates capable of sulfide treatment in aquacultural water environment in Dong Hoa town, Phu Yen province", *National Scientific Conference on Biotechnology*, pp.836-846 (in Vietnamese).

[16] C. Matsuo, M. Abo, A. Okubo, et al. (2001), "Identification of osmotic regulators in halophilic photosynthetic bacteria by NMR and capillary electrophoresis", *Analytical Sciences*, **17(Supplement)**, pp.i1601-i1604.

[17] N. Kanno, K. Matsuura, S. Haruta (2014), "Differences in survivability under starvation conditions among four species of purple nonsulfur phototrophic bacteria", *Microbes Environ.*, **29(3)**, pp.326-328, DOI: 10.1264/jsme2.ME14013.

[18] S. Wasai, N. Kanno, K. Matsuura, et al. (2018), "Increase of salt tolerance in carbon-starved cells of *Rhodopseudomonas palustris* depending on photosynthesis or respiration", *Microorganisms*, **6(1)**, DOI: 10.3390/microorganisms6010004.

[19] H. Miyasaka, A. Koga, Y. Tani, et al. (2021), "The effects of a marine photosynthetic bacteria *Rhodovulum sulfidophilum* on the growth and survival rate of *Marsupenaeus japonicus* (kuruma shrimp)", *SDRP Journal of Aquaculture, Fisheries & Fish Science*, **3(2)**, pp.245-249, DOI: 10.25177/JAFFS.3.2.RA.10713.

 DOI: 10.31276/VJST.2026.3652

Ảnh hưởng của thời gian khuấy gia nhiệt đến hoạt tính quang xúc tác của g-C_3N_4 pha tạp Mg

Đoàn Thị Thúy Phượng*, Lê Thị Mai Oanh[2], Đỗ Khắc Thịnh[2]

[1]Khoa Khoa học Cơ bản, Trường Đại học Giao thông Vận tải, 3 Cầu Giấy, phường Láng, Hà Nội, Việt Nam
[2]Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội, 136 Xuân Thủy, phường Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 10/9/2025; ngày chuyển phản biện 12/9/2025; ngày nhận phản biện 29/9/2025; ngày chấp nhận đăng 8/10/2025

Tóm tắt:

Trong nghiên cứu này, vật liệu graphite carbon nitride (g-C_3N_4) pha tạp kim loại Mg được tổng hợp thành công bằng phương pháp hóa học đơn giản, với thời gian phản ứng từ 3 đến 18 giờ, kết hợp xử lý nhiệt ở 90°C. Cấu trúc tinh thể và trạng thái hóa học của vật liệu được đặc trưng bằng phổ nhiễu xạ tia X (XRD), phổ Raman và phổ quang điện tử tia X (XPS); trong khi đó, các tính chất quang học được đánh giá thông qua phổ hấp thụ UV-Vis và huỳnh quang (PL). Hoạt tính quang xúc tác được khảo sát thông qua quá trình phân hủy dung dịch hữu cơ Rhodamine B (RhB) dưới sự chiếu sáng của đèn Xenon và ánh sáng mặt trời. Kết quả cho thấy, các mẫu sau khi pha tạp Mg đều thể hiện hoạt tính quang xúc tác cao hơn so với g-C_3N_4 tinh khiết. Sự cải thiện này được cho là do sự hiện diện của ion Mg^{2+} đóng vai trò "tâm bẫy" electron, giúp hạn chế quá trình tái hợp cặp electron - lỗ trống. Đồng thời, việc chèn Mg vào cấu trúc heptazine làm tăng diện tích bề mặt riêng, từ đó nâng cao hiệu quả quang xúc tác của vật liệu. Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc pha tạp Mg với hàm lượng 10% vào vật liệu nền g-C_3N_4, kết hợp với việc tối ưu hóa thời gian chế tạo, là điều kiện phù hợp nhất nhằm nâng cao hoạt tính quang xúc tác của vật liệu. Kết quả này cho thấy thời gian tổng hợp có ảnh hưởng đáng kể đến tính chất và hiệu suất quang xúc tác của vật liệu.

Từ khóa: **graphite carbon nitride pha tạp Mg, quang xúc tác, Rhodamine B.**

Chỉ số phân loại: **1.7, 2.4, 2.5**

Influence of heated stirring time on the photocatalytic activity of Mg-modified g-C_3N_4

Thi Thuy Phuong Doan[1*], Thi Mai Oanh Le[2], Khac Thinh Do[2]

[1]Faculty of Basic Sciences, University of Transport and Communications, 3 Cau Giay Street, Lang Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Faculty of Physics, Hanoi National University of Education, 136 Xuan Thuy Street, Cau Giay Ward, Hanoi, Vietnam

Received 10 September 2025; revised 29 September 2025; accepted 8 October 2025

Abstract:

In this study, magnesium-doped graphite carbon nitride (Mg-doped g-C_3N_4) material was successfully synthesised via a simple chemical method, with reaction times ranging from 3 to 18 hours, followed by thermal treatment at 90°C. The crystal structure and chemical states of the material were characterised by X-ray diffraction (XRD), Raman spectroscopy, and X-ray photoelectron spectroscopy (XPS), while the optical properties were evaluated through UV-Vis absorption and photoluminescence (PL) spectroscopy. The photocatalytic performance was investigated through the degradation of Rhodamine B (RhB) solution under irradiation from a Xenon lamp and natural sunlight. The results revealed that all Mg-doped samples exhibited superior photocatalytic activity compared with pristine g-C_3N_4. This enhancement is attributed to the presence of Mg^{2+} cations acting as electron "trapping centres", which suppress the recombination of photogenerated electron-hole pairs. Moreover, the incorporation of Mg into the heptazine framework increases the specific surface area, thereby promoting the overall photocatalytic efficiency of the materials. The results of this study indicate that doping g-C_3N_4 with 10% Mg and selecting an appropriate synthesis time are effective strategies for enhancing its photocatalytic performance.

Keywords: **magnesium-doped graphite carbon nitride, photocatalysis, Rhodamine B.**

Classification numbers: **1.7, 2.4, 2.5**

Tác giả liên hệ: Email: phuongthuydoan@utc.edu.vn

1. Mở đầu

Hiện nay, vấn đề ô nhiễm môi trường nói chung, đặc biệt là ô nhiễm nguồn nước nói riêng đang là một trong những mối đe đọa rất lớn đối với cuộc sống của nhân loại. Ở Việt Nam, lượng nước thải khổng lồ chưa qua xử lý của các nhà máy, các làng nghề xả ra môi trường, phần lớn là những chất thải hữu cơ bền, khó bị phân hủy khi không được xử lý triệt để [1-4]. Trong nhiều năm qua, hàng loạt nỗ lực nghiên cứu đã được triển khai nhằm tìm ra một phương pháp xử lý hiệu quả [5, 6]. Trong số những giải pháp có tính ưu việt cao, phải kể đến việc sử dụng công nghệ quang xúc tác bởi nó sở hữu nhiều ưu điểm như hiệu quả cao, chi phí rẻ và thân thiện với môi trường [7]. Vật liệu g-C_3N_4 là một trong những vật liệu quang xúc tác tiềm năng đang được quan tâm nghiên cứu bởi đây là một chất bán dẫn hữu cơ phi kim loại với độ rộng vùng cấm nhỏ (cỡ 2,7 eV), độ cứng cao, ít độc hại, ổn định về mặt hóa học trong môi trường, diện tích bề mặt riêng lớn, tương thích sinh học và có độ hòa tan vượt trội so với nhiều loại vật liệu khác [8]. Tuy nhiên, theo kết quả nghiên cứu của Z. Mo và cs (2015) [9], vật liệu g-C_3N_4 tinh khiết có nhược điểm lớn khi triển khai trong lĩnh vực quang xúc tác đó là tốc độ tái tổ hợp điện tử - lỗ trống lớn và hiệu suất lượng tử thấp, chính nguyên nhân này đã làm giảm hoạt tính quang xúc tác của vật liệu.

Để tăng hoạt tính quang xúc tác của vật liệu g-C_3N_4, đã có rất nhiều công bố nghiên cứu như pha tạp nguyên tố đất hiếm như Nd, Y [10, 11], kim loại chuyển tiếp như Fe, Co [12, 13], hay kim loại nhóm kiềm thổ như Mg [14]..., với mục đích tạo ra các tâm bắt điện tử, từ đó tăng thời gian tồn tại của cặp quang - điện tử, giảm tốc độ tái hợp của cặp quang điện tử - lỗ trống. Trong số đó, các công bố chủ yếu là nghiên cứu về ảnh hưởng của nồng độ tạp chất lên việc cải thiện hoạt tính quang xúc tác của vật liệu g-C_3N_4 [15]. Tuy nhiên, ảnh hưởng của quy trình công nghệ chế tạo đến tính chất quang xúc tác của vật liệu Mg pha tạp g-C_3N_4 chưa được quan tâm nghiên cứu. Bộ số liệu tối ưu về quy trình chế tạo như thời gian xử lý nhiệt, nhiệt độ... sẽ đóng một vai trò quan trọng trong việc làm chủ công nghệ chế tạo vật liệu. Do đó, báo cáo này tập trung vào nghiên cứu tối ưu ảnh hưởng của quy trình chế tạo vật liệu thông qua sự thay đổi thời gian tổng hợp vật liệu Mg pha tạp g-C_3N_4 với nồng độ 10% nhằm tăng hoạt tính quang xúc tác của vật liệu nền g-C_3N_4.

2. Thực nghiệm

2.1. Tổng hợp vật liệu g-C_3N_4

Vật liệu g-C_3N_4 được tổng hợp từ hợp chất hữu cơ urê có công thức hóa học $(NH_2)_2CO$, nguồn gốc xuất xứ từ Trung Quốc. Sử dụng phương pháp nhiệt phân urê trong không khí: Cho urê vào cốc sứ dung tích 50 ml và bọc kín bằng giấy bạc, sau đó cho vào lò nung nóng trong không khí ở nhiệt độ 550°C trong thời gian 2 giờ. Sản phẩm thu được sau khi làm nguội tự nhiên tới nhiệt độ phòng quan sát được ở dạng bột, xốp và có màu vàng nhạt.

2.2. Tổng hợp vật liệu g-C_3N_4 pha tạp kim loại Mg

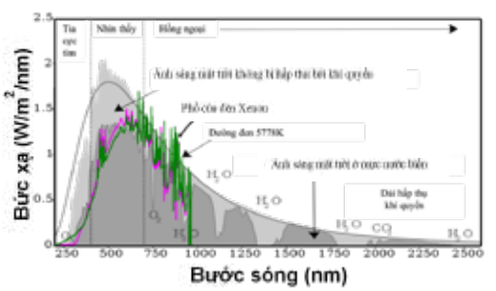
Vật liệu Mg pha tạp g-C_3N_4 được chế tạo bằng phương pháp nhiệt phân đơn giản dựa trên nguồn vật liệu g-C_3N_4 được chế tạo ở mục 2.1, và nguồn tạp Mg từ muối magnesium nitrate hexahydrate ($Mg(NO_3)_2.6H_2O$). Quy trình chế tạo vật liệu được thể hiện theo các bước sau: trước tiên, cho 0,5 g bột g-C_3N_4 vào 50 ml nước cất và khuấy từ trong nửa giờ, sau đó được xử lý siêu âm trong 1 giờ, thu được dung dịch (I). Cân một lượng muối $Mg(NO_3)_2.6H_2O$ tương ứng với tỷ phần 10% cho thêm vào dung dịch (I), khuấy từ dưới điều kiện gia nhiệt 90°C trong thời gian *x* giờ, sản phẩm thu được dung dịch (II). Trong đó, thời gian khuấy từ *x* lần lượt là 3, 6, 9, 12, 15 và 18 giờ. Đem hỗn hợp dung dịch (II) tiến hành lọc rửa 3 lần trong môi trường cồn ethanol. Mẫu thu được sau khi lọc rửa được sấy khô trong không khí ở 70°C, trong 24 giờ. Sau đó, mẫu được làm nguội tự nhiên ở nhiệt độ phòng thí nghiệm, sản phẩm thu được là mẫu bột g-C_3N_4 pha tạp chất Mg 10% khuấy từ trong *x* giờ và được ký hiệu là gCN-Mg-*x*h trong các hình vẽ chú thích mô tả kết quả.

2.3. Đánh giá hoạt tính quang xúc tác

Đưa 0,06 g mẫu gCN-Mg-*x*h vào cốc chứa 30 ml nước cất, khuấy từ trong 30 phút ở nhiệt độ phòng. Sau đó, nhỏ thêm vào 30 ml dung dịch RhB nồng độ 20 ppm để thu được dung dịch hỗn hợp RhB nồng độ 10 ppm. Dung dịch được khuấy từ trong điều kiện không có ánh sáng, trong thời gian 30 phút, để đảm bảo quá trình hấp phụ RhB của mẫu gCN-Mg-*x*h được bão hòa. Tiếp theo, dung dịch được chiếu sáng dưới đèn xenon trong thời gian 80 phút hoặc dưới ánh sáng mặt trời trong thời gian 60 phút. Cứ sau khoảng 15 phút hoặc 20 phút, 2 ml dung dịch lại được lấy ra để tiến hành ly tâm lọc bỏ chất kết tủa. Dung dịch RhB sau khi ly tâm lọc rửa thành phần gCN-Mg-*x*h được đo độ hấp thụ, để xác định nồng độ RhB

còn lại trong mẫu sau khi xử lý quang xúc tác, từ đó đánh giá được hiệu suất quang xúc tác của vật liệu đối với các mẫu có thời gian xử lý nhiệt khác nhau. Quy trình đánh giá hiệu suất quang xúc tác được thực hiện tại phòng thí nghiệm thuộc Trung tâm Khoa học và Công nghệ Nano, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội.

Phổ phát xạ của đèn Xenon được chúng tôi khảo sát bằng máy quang phổ Ocean Optic tại Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội trong khoảng bước sóng từ 200 đến 1000 nm. Kết quả so sánh phổ của đèn Xenon với quang phổ mặt trời được trình bày trên hình 1 cho thấy, hình dáng của phổ đèn Xenon tương tự quang phổ của ánh sáng mặt trời khi đi qua khí quyển. Đỉnh phổ có cường độ lớn và rộng nhất ở bước sóng khoảng 600 nm, nằm trong vùng ánh sáng nhìn thấy. Chúng tôi thấy rằng, phổ của đèn Xenon có ít thành phần tử ngoại hơn so với phổ của ánh sáng mặt trời, vì vậy, nếu ánh sáng đèn Xenon có thể kích thích phản ứng quang xúc tác thì ánh sáng mặt trời cũng sẽ cho kết quả tương đương.



Hình 1. Quang phổ mặt trời và quang phổ đèn Xenon (đường màu hồng là phổ đèn Xenon sau khi đã cắt UV).

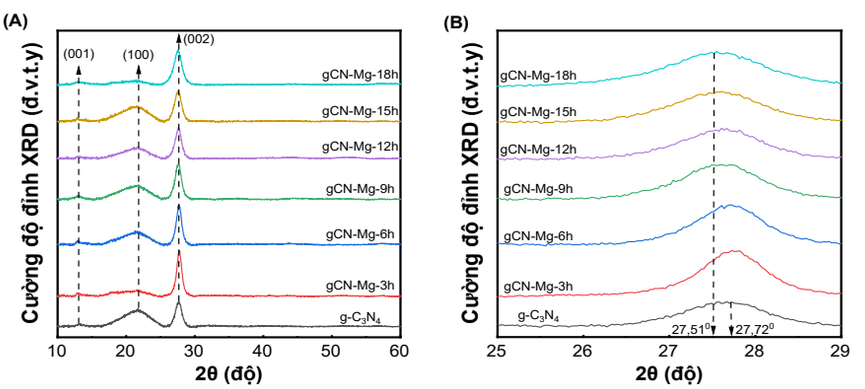
2.4. Các phép phân tích

Kết quả ảnh hưởng của thời gian xử lý nhiệt đến hiệu suất quang xúc tác của vật liệu sẽ được lý giải thông qua ảnh hưởng của cấu trúc, hình thái bề mặt, đặc trưng liên kết cũng như các đặc trưng quang học của vật liệu Mg pha tạp g-C_3N_4. Cấu trúc tinh thể của vật liệu được sử dụng phương pháp nhiễu xạ tia X trên máy SIEMENS D5005 Bruker - Đức ở nhiệt độ phòng với bức xạ Cu K_a có bước sóng λ = 1,5406 Å, tại Viện Khoa học Vật liệu thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; phổ tán xạ Raman được thực hiện trên hệ Labram HR 800 và phổ quang điện tử tia X (XPS) được thực hiện trên máy ESCALab 250 với nguồn tia X đơn sắc của Al Kα (1486,6 eV), tại Trường Đại học Ewha Womans, Hàn Quốc; phổ huỳnh quang của vật liệu được ghi nhận trong khoảng bước sóng 400-800 nm với nguồn kích thích laser 355 nm và phổ hấp thụ UV-Vis được thực hiện trên máy Jasco - V670. Các phép đo về quang học này được thực hiện tại Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Giản đồ nhiễu xạ tia X

Ảnh hưởng của thời gian khuấy từ đến độ kết tinh của mẫu Mg pha tạp g-C_3N_4, với hàm lượng 10% được thể hiện trên hình 2A. Từ giản đồ nhiễu xạ tia X có thể nhận thấy, các mẫu đều xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ tại các vị trí góc là 2θ = 13,11°, 2θ = 21,69° và 2θ = 27,61°; phù hợp với thẻ chuẩn JCPDS số 01-087-1526 của vật liệu g-C_3N_4 [12]. Qua đó cho thấy, các mẫu vật liệu sau khi chế tạo kết tinh tốt với pha cấu trúc lục giác. Đỉnh ở vị trí 13,11° phù hợp với kết quả nhiễu xạ trên mặt phẳng (001), có cường độ yếu, đặc trưng cho khoảng cách giữa các mặt phẳng graphite trong tinh thể g-C_3N_4 [12, 16]. Đỉnh ở vị trí 27,61° là kết quả nhiễu xạ trên mặt phẳng (002), có cường độ mạnh, đặc trưng cho khoảng cách của các đơn vị heptazine trên một mặt graphite [12, 16]. Từ giản đồ nhiễu xạ tia X của các mẫu gCN-Mg-*x*h không thấy có sự xuất hiện thêm của các đỉnh nhiễu xạ mới, lạ, chứng tỏ các mẫu chế tạo không xuất hiện các pha thứ cấp hình 2B, biểu diễn sự phóng đại đỉnh nhiễu xạ tia X vị trí góc 2θ từ 25° đến 29° cho thấy, vị trí của đỉnh nhiễu xạ (002) dịch nhẹ về phía góc 2θ bé. Kết quả này thể hiện rõ ràng nhất khi thời gian khuấy từ thay đổi từ 9 giờ đến 18 giờ. Cũng trên hình 2B cho thấy sự dịch đỉnh của mẫu gCN-Mg-9h là khác biệt nhất so với mẫu gCN-Mg-*x*h

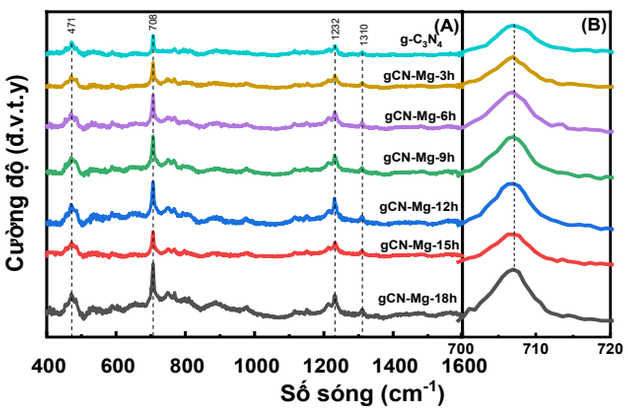


Hình 2. Giản đồ nhiễu xạ tia X của hệ mẫu gCN-Mg-*x*h theo các thời gian khác nhau trong khoảng góc 2θ (A) 10°-60°; (B) 25°-29°. Nguồn: Nhóm nghiên cứu.

(x = 3,6 giờ). Sự dịch nhẹ vị trí đỉnh nhiễu xạ có thể được giải thích là do các ion Mg^{2+} xen vào không gian giữa các đơn vị heptazine, tạo các liên kết yếu với các nguyên tử N, gây ảnh hưởng tới cấu trúc tinh thể g-C_3N_4.

3.2. Phổ tán xạ Raman

Ảnh hưởng của thời gian khuấy trong quá trình phân tán ion Mg^{2+} vào cấu trúc g-C_3N_4 đến dao động mạng tinh thể của vật liệu nền được thể hiện trong hình 3A, trong đó phổ tán xạ Raman được ghi nhận với số sóng 400-1600 cm^{-1}. Phổ tán xạ Raman cho thấy các mẫu gCN-Mg-*x*h đều xuất hiện các mode dao động có cường độ lớn ứng với các số sóng 471, 708, 1232 và 1310 cm^{-1}. Kết quả này phù hợp với sự xuất hiện các mode dao động của vật liệu g-C_3N_4 tinh khiết [17].

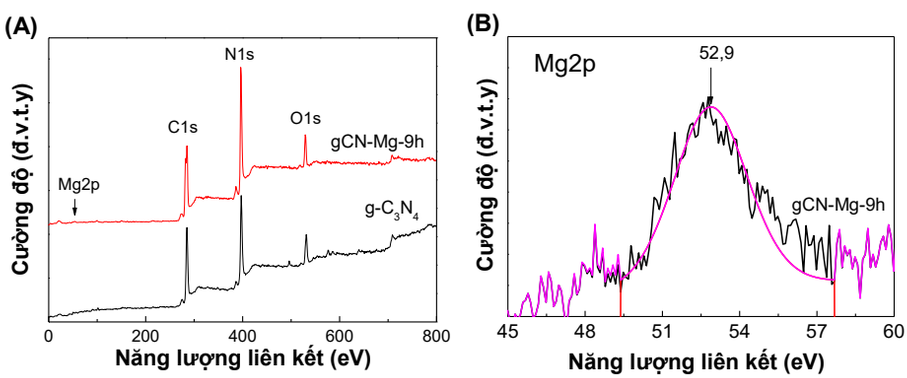


Hình 3. Phổ tán xạ Raman của hệ mẫu gCN-Mg-xh theo các thời gian khác nhau trong khoảng số sóng (A) 400-1600 cm^{-1}; (B) 700-720 cm^{-1}.

Ngoài ra, khi thay đổi thời gian khuấy từ, các mẫu chế tạo được không thấy xuất hiện đỉnh mới. Điều này chứng tỏ rằng, các mẫu chế tạo được là tương đối đồng đều về cấu trúc. Đỉnh có cường độ lớn tại vị trí số sóng 708 cm^{-1} đặc trưng cho dao động của các đơn vị heptazine [10]. Dao động của các đơn vị heptazine chính là dao động của các liên kết N-$(C)_3$. Tuy nhiên, khi phân tích kỹ các đỉnh tán xạ ứng với số sóng 708 cm^{-1}, chúng tôi nhận thấy vị trí đỉnh đặc trưng này có sự khác nhau theo thời gian khuấy từ, trong quá trình chế tạo vật liệu Mg pha tạp g-C_3N_4, thể hiện trên hình 3B với số sóng được ghi nhận trong khoảng từ 700-720 cm^{-1}. Khi thời gian khuấy từ tăng đến 9, 12, 15 và 18 giờ, các mẫu này có sự dịch không đáng kể về phía số sóng nhỏ. Các mẫu có thời gian khuấy từ là 3 và 6 giờ thì không quan sát thấy có sự dịch đỉnh. Từ các kết quả trên chúng tôi cho rằng, thời gian khuấy từ có ảnh hưởng đến sự phân tán các cations tạp chất Mg^{2+} trong mạng tinh thể g-C_3N_4. Do đó, ảnh hưởng của tạp chất cations Mg^{2+} trong mạng tinh thể g-C_3N_4 khiến cho các dao động của đơn vị heptazine khác nhau và phụ thuộc vào thời gian khuấy. Điều đó cho thấy, quá trình cations Mg^{2+} pha tạp vào vật liệu g-C_3N_4 có thể phụ thuộc vào giới hạn về thời gian khuấy từ trong quá trình chế tạo mẫu. Nói cách khác, thời gian khuấy từ cao chưa đảm bảo quá trình pha tạp là tối ưu và chất lượng mẫu kết tinh sau pha tạp sẽ tốt hơn, hay hiệu quả quang xúc tác sẽ cao hơn.

3.3. Phổ quang điện tử tia X

Để tìm hiểu thêm về thành phần hóa học của các mẫu chế tạo được, làm cơ sở giải thích hoạt tính quang xúc tác của vật liệu, chúng tôi tiến hành phép đo phổ XPS của mẫu gCN-Mg-9h và mẫu g-C_3N_4 tinh khiết. Từ đồ thị hình 4 ta thấy, các nguyên tử C, N và O là những thành phần chủ yếu trong các mẫu. Đỉnh C1*s* trên phổ XPS của các mẫu ứng với năng lượng khoảng 285 eV đặc trưng cho liên kết C-C, C=N, N-C=N. Đỉnh N1*s* ứng với mức năng lượng khoảng 400 eV đặc trưng cho các liên kết đơn và liên kết đôi: C-N=C, N-$(C)_3$, C-N-H [18]. Từ phép phân tích phổ XPS của mẫu gCN-Mg-9h, đỉnh phổ đặc trưng cho mức năng lượng 2*p* của Mg có cường độ bé được tìm thấy ở vị trí khoảng 53 eV. Với mức Mg2*p* ở vị trí này, chúng tôi nhận định rằng, tạp chất Mg tồn tại trong mẫu gCN-Mg-9h dưới dạng cations Mg^{2+}.

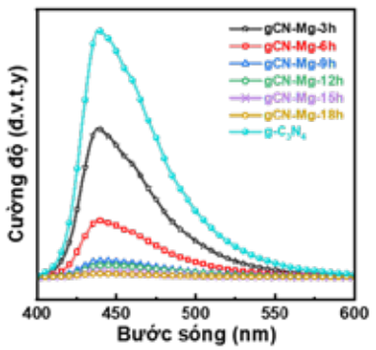


Hình 4. (A) Phổ XPS của mẫu gCN-Mg-9h và mẫu g-C_3N_4 tinh khiết; (B) Phổ XPS đặc trưng của trạng thái Mg2*p* của mẫu gCN-Mg-9h.

Kết quả này được cho là do sự tương tác của C1*s* và N1*s* với Mg2*p*. Kết quả này phù hợp với các kết quả phân tích về cấu trúc đã trình bày ở trên (XRD, Raman).

3.4. Phổ huỳnh quang

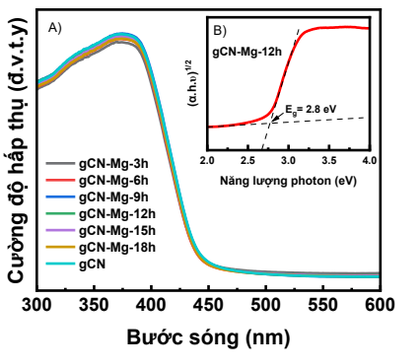
Khi electron hấp thụ photon có năng lượng phù hợp, nó sẽ bứt ra để tạo một lỗ trống. Thời gian sống của cặp điện tử - lỗ trống này khá nhỏ, chúng sẽ tái hợp lại với nhau và phát xạ ra photon. Cường độ huỳnh quang của vật liệu với cùng công suất chiếu xạ ánh sáng kích thích sẽ cho thông tin quan trọng về khả năng tái hợp của cặp điện tử - lỗ trống. Hay nói cách khác, bằng cách so sánh cường độ đỉnh phát xạ huỳnh quang có thể dự đoán về hiệu suất quang xúc tác của các mẫu từ việc so sánh tốc độ tái hợp cặp điện tử - lỗ trống [19].



Hình 5. Phổ huỳnh quang của hệ mẫu gCN-Mg-*x*h theo thời gian.

Ảnh hưởng của thời gian khuấy từ phân tán cations Mg^{2+} trong nền vật liệu g-C_3N_4 được thể hiện qua phổ huỳnh quang của vật liệu trên hình 5. Phổ huỳnh quang của hệ mẫu gCN-Mg-*x*h là một dải rộng từ 400 đến 550 nm. Vị trí đỉnh của các mẫu pha tạp có xu hướng dịch về phía bước sóng ngắn. Cường độ đỉnh của các mẫu cũng có sự khác nhau và giảm so với mẫu tinh khiết. Các mẫu gCN-Mg-*x*h (*x*=3, 6h) có sự dịch đỉnh và cường độ đỉnh giảm dần so với mẫu g-C_3N_4 tinh khiết. Tuy nhiên, khi thời gian là *x* = 9, 12, 15, 18 giờ, các mẫu gCN-Mg-*x*h có sự dịch đỉnh mạnh nhất và cường độ đỉnh phát xạ suy yếu rõ rệt nhất. Điều này cho thấy, việc thay đổi thời gian khuấy từ có khả năng làm tăng hiệu suất quang xúc tác của hệ gCN-Mg-*x*h và chỉ cần khuấy từ trong 9 giờ, cường độ đỉnh huỳnh quang giảm rõ rệt nhất. Sự dập tắt huỳnh quang của vật liệu dự đoán mẫu gCN-Mg-9h sẽ cho hiệu suất quang xúc tác tốt nhất, khi tốc độ tái hợp cặp điện tử - lỗ trống là thấp nhất.

3.5. Phổ hấp thụ UV-Vis

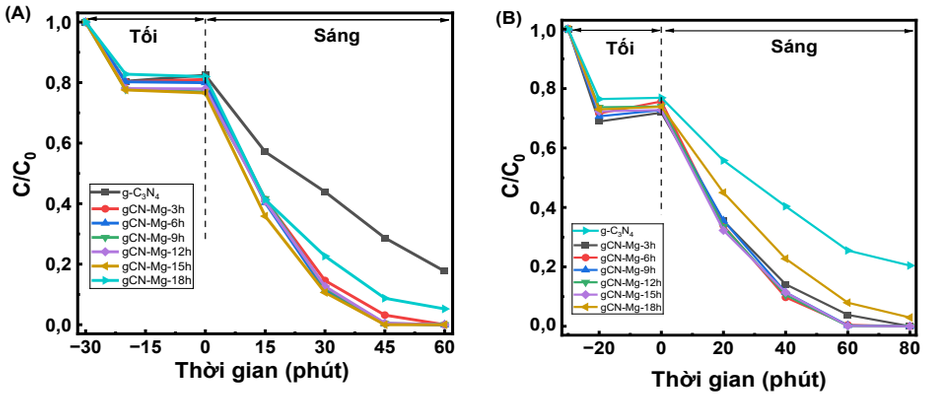


Hình 6. Phổ hấp thụ UV-Vis của hệ mẫu gCN-Mg-*x*h.

Phổ hấp thụ UV-Vis của các mẫu gCN-Mg-*x*h được biểu diễn trên hình 6. Kết quả cho thấy, tất cả các mẫu có bờ hấp thụ trong khoảng bước sóng từ 375 đến 450 nm. Dựa trên vị trí của bờ hấp thụ, có thể dự đoán rằng bước sóng của ánh sáng kích thích quá trình chuyển mức điện tử nằm trong vùng tử ngoại, hoặc cận tử ngoại. Sử dụng phương pháp Wood-Tauc để xác định độ rộng vùng cấm của vật liệu và ước lượng được giá trị đạt khoảng 2,7 eV. Cũng theo hình 6, bờ hấp thụ của các mẫu gCN-Mg-*x*h và mẫu g-C_3N_4 gần như trùng nhau, điều này cho thấy việc pha tạp chất Mg vào g-C_3N_4 kèm theo sự thay đổi thời gian khuấy từ hầu như không làm thay đổi bề rộng vùng cấm của vật liệu.

3.6. Kết quả xử lý quang xúc tác

Khi tiếp xúc với ánh sáng liên tục từ đèn xenon hoặc ánh sáng Mặt trời, vật liệu g-C_3N_4 thể hiện hoạt tính quang xúc tác đáng kể trong quá trình phân hủy RhB. Dưới tác động của bức xạ có năng lượng photon bằng hoặc lớn hơn vùng cấm (cỡ 2,7 eV), electron trong vùng hóa trị (VB) được kích thích chuyển lên vùng dẫn (CB), để lại lỗ trống quang sinh trong VB. Các electron ở CB có thể tham gia phản ứng khử với O_2 hòa tan, hình thành gốc superoxide ($\cdot O_2^-$), sau đó tiếp tục chuyển hóa thành ($HO_2\cdot$), H_2O_2 và gốc hydroxyl ($\cdot$OH) có tính oxy hóa mạnh. Đồng thời, các lỗ trống (h^+) tại VB có khả năng trực tiếp oxy hóa phân tử RhB hoặc phản ứng với $H2_2O/OH^-$ để tạo ra thêm ($\cdot$OH), qua đó thúc đẩy quá trình phân hủy. Sự kết hợp đồng thời của các tác nhân oxy hóa mạnh ($\cdot O_2^-$, $\cdot$OH, h^+) dẫn đến phá vỡ cấu trúc vòng thơm và các nhóm chức hữu cơ trong RhB, cuối cùng khoáng hóa thành CO_2, H_2O và các sản phẩm vô cơ nhỏ hơn [12].



Hình 7. Hiệu suất quang xúc tác của hệ mẫu gCN-Mg-*x*h. Dưới ánh sáng mặt trời (A), dưới ánh sáng đèn Xenon (B).

Việc đánh giá hiệu suất quang xúc tác của hệ mẫu gCN-Mg-*x*h được thực hiện dưới ánh sáng mặt trời (trong khoảng 12 đến 13 giờ ngày 30/07/2025), với điều kiện nhiệt độ môi trường là 36°C, cường độ ánh sáng đo được trong khoảng thời gian thực nghiệm có giá trị trung bình khoảng 37665 lm (hình 7A). Ta thấy thời gian khuấy từ trong quy trình phân tán cations Mg^{2+} trong g-C_3N_4 có sự ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu suất quang xúc tác của vật liệu khi so sánh với vật liệu nền g-C_3N_4.

Kết quả nghiên cứu cho thấy các mẫu gCN-Mg-*x*h với thời gian *x* = 6, 9, 12, 15 giờ có hiệu suất quang xúc tác gần như tương đương nhau và cao hơn hẳn so với mẫu tinh khiết. Chỉ sau 45 phút chiếu sáng bằng ánh sáng mặt trời tự nhiên, dung dịch RhB đã được các mẫu này khử hoàn toàn. Riêng mẫu gCN-Mg-3h, hiệu suất chỉ đạt tới 95% và mẫu gCN-Mg-18h hiệu suất giảm xuống còn khoảng 90% sau 45 phút chiếu sáng. Kết quả về hiệu suất của hai mẫu này phù hợp với kết quả phân tích cấu trúc từ phổ tán xạ Raman (không thấy sự dịch đỉnh của hai mẫu này). Trong khi đó, mẫu tinh khiết g-C_3N_4 chỉ đạt hiệu suất khoảng 70%. Sự bất thường này cho thấy có thể tồn tại một giới hạn về thời gian khuấy từ trong quá trình chế tạo mẫu. Kết quả trên cũng được chúng tôi kiểm tra lại bằng cách xử lý quang xúc tác của hệ mẫu dưới sự chiếu sáng của đèn Xenon. Kết quả kiểm tra được trình bày trên hình 7B. So sánh hai kết quả này có thể thấy sự phù hợp giữa hai cách thí nghiệm được thể hiện tương đối rõ. Kết quả trên hình 7B cho thấy, các mẫu gCN-Mg-*x*h (*x* = 6, 9, 12, 15giờ) thể hiện hiệu suất quang xúc tác tốt nhất sau 60 phút chiếu sáng dưới đèn Xenon, dung dịch RhB đã được các mẫu trên khử hoàn toàn. Tuy nhiên, đối với mẫu đối chứng gCN-Mg-3h, hiệu suất đạt khoảng 95% và với mẫu gCN-Mg-18h, hiệu suất lại giảm xuống còn khoảng 90%. Như vậy, khác với kết quả trên hình 7A, thời gian khử hoàn toàn là 45 phút. Điều này cho thấy, hiệu suất quang xúc tác bị ảnh hưởng mạnh bởi cường độ ánh sáng chiếu tới trong quá trình quang xúc tác. Khi xử lý quang xúc tác dưới ánh sáng mặt trời, chúng tôi đo được thông lượng ánh sáng tại thời điểm làm thí nghiệm là 37665 lm, lớn hơn thông lượng sáng đèn Xenon (34450 lm). Do vậy, hiệu suất quang xúc tác của các mẫu trong hệ có sự khác nhau như trên. Từ sự khác nhau về hiệu suất quang xúc tác của các mẫu có thời gian khác nhau và các phép phân tích về cấu trúc, tính chất quang nêu trên, chúng tôi cho rằng khi thời gian khuấy từ là 9 giờ thì hệ mẫu cho hiệu quả quang xúc tác hiệu quả nhất.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã chế tạo thành công vật liệu g-C_3N_4 pha tạp kim loại Mg 10% và thay đổi thời gian tổng hợp bằng phương pháp hóa học đơn giản. Từ giản đồ XRD và sự dịch đỉnh nhiễu xạ của các mẫu gCN-Mg-*x*h cho thấy nguyên tố Mg có trong thành phần mẫu làm thay đổi không đáng kể đến cấu trúc tinh thể của g-C_3N_4. Từ phổ huỳnh quang, chúng tôi dự đoán khi thời gian khuấy từ 9 giờ trở đi, các mẫu có khả năng cho hiệu suất quang xúc tác cao nhất. Kết quả phổ tán xạ Raman và phổ XPS cho thấy các ion tạp chất khi được pha tạp vào vật liệu sẽ xen kẽ vào các vị trí trống giữa các đơn vị heptazine trong vật liệu g-C_3N_4, tham gia liên kết yếu với các nguyên tử C, N ở gần, dẫn đến sự thay đổi nhỏ các dao động của các liên kết cơ bản trong cấu trúc mạng tinh thể g-C_3N_4, kết quả này phù hợp với giản đồ XRD và phổ huỳnh quang. Hiệu suất quang xúc tác của vật liệu g-C_3N_4 đã được cải thiện đáng kể khi thay đổi thời gian chế tạo từ 3 đến 18 giờ khi pha tạp 10% Mg. Mẫu gCN-Mg-*x*h (*x* = 6, 9, 12, 15h) có hiệu suất quang xúc tác tốt nhất, phân hủy 100% RhB sau 45 phút chiếu ánh sáng tự nhiên của mặt trời và sau 60 phút chiếu sáng bằng đèn Xenon và hiệu suất cao hơn hẳn so với mẫu g-C_3N_4 tinh khiết. Từ các kết quả nêu trên, chúng tôi cho rằng thời gian chế tạo để mẫu cho hiệu suất cao là *x* = 9h. Kết quả nghiên cứu này cho thấy, giải pháp pha tạp nguyên tố kim loại Mg 10% trong vật liệu nền g-C_3N_4 và lựa chọn thời gian chế tạo phù hợp là

lựa chọn tối ưu để làm tăng hiệu suất quang xúc tác. Từ đó, hệ vật liệu chế tạo được sẽ có tiềm năng ứng dụng trong thực tiễn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông Vận tải trong đề tài mã số T2025-CB-004. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] V.T. Doan, C.C. Le, H.V.T. Le, et al. (2025), "Comprehensive statistical analysis for characterizing water quality assessment in the Mekong Delta: Trends, variability, and key influencing factors", *Sustainability*, **17(12)**, DOI: 10.3390/su17125375.

[2] T.M.T. Le, T.N.S. Truong, P.D. Nguyen, et al. (2023), "Evaluation of microplastic removal efficiency of wastewater-treatment plants in Vietnam", *Environmental Technology & Innovation*, **29**, DOI: 10.1016/j.eti.2022.102994.

[3] D.K. Chi (2022), "Pollution in craft villages in Vietnam and proposed environmental protection solutions for the period 2021-2025", *Environment Magazine*, **1**, pp.61-66 (in Vietnamese).

[4] L.T. Mai, N.V. Son (2022), "Current situation of water pollution caused by industrial dyes and evaluation of current treatment technologies", *Environmental Science Journal*, **17(2)**, pp.34-42 (in Vietnamese).

[5] U.Z. Zakariyya, S.K. Kuan, G. Abdurrahman, et al. (2023), "A review on superior advanced oxidation and photocatalytic degradation techniques for perfluorooctanoic acid (PFOA) elimination from wastewater", *Environmental Research,* **221**, DOI: 10.1016/j.envres.2023.115326.

[6] A. Kaleem, H.R. Ghosh, S.M. Ahuja (2020). "A review on photocatalytic remediation of environmental pollutants and H_2 production through water splitting: A sustainable approach", *Environmental Technology & Innovation*, **19**, DOI: 10.1016/j.eti.2020.100893.

[7] N.T.T. Loan, D.T.T. Hoai, N.Q. Hai (2020), "Synthesis, structural characteristics, properties, and photocatalytic activity for methylene blue degradation of La^{3+}-doped $CoFe_2O_4$ spinel nanoparticles", *Journal of Analytical Chemistry*, *Physics and Biology*, **25(2)**, pp.7-13, DOI: 10.14741/ijaie/v.11.3.1.

[8] X. Li, G. Huang, X. Chen, et al. (2021), "A review on graphitic carbon nitride (g-C_3N_4) based hybrid membranes for water and wastewater treatment", *Science of the Total Environment*, **792**, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148462.

[9] Z. Mo, X. She, Y. Li, et al. (2015), "Synthesis of g-C_3N_4 at different temperatures for superior visible/UV photocatalytic performance and photoelectrochemical sensing of MB solution", *RSC Advances*, **5(123)**, pp.101552-101553, DOI: 10.1039/C5RA19586A.

[10] D.T.T. Phuong, L.T.M. Oanh (2022a), "Study on fabrication and photocatalytic activity of rare-earth-metal-doped g-C_3N_4 with Nd", *Journal of Analytical Chemistry*, *Physics and Biology*, **28(4)**, pp.222-225.

[11] D.T.T. Phuong, N.X. Tuyen (2022b). "Study on fabrication and photocatalytic activity of rare-earth-metal-doped g-C_3N_4 with Y", *Proceedings of The 23rd Conference on Teaching and Basic Science Research Solutions*, *University of Transport and Communications*, pp.277-282 (in Vietnamese).

[12] N.V. Minh, L.T.M. Oanh, P.D. Chung, et al. (2020), "Fe-doped g-C_3N_4: High-performance photocatalysts in Rhodamine B decomposition", *Polymers (Basel)*, **12(9)**, pp.1-13, DOI: 10.3390/polym12091963.

[13] P.W. Chen, K. Li, Y.X. Yu, et al. (2017), "Cobalt-doped graphitic carbon nitride photocatalysts with high activity for hydrogen evolution", *Applied Surface Science*, **392**, pp.608-615, DOI: 10.1016/j.apsusc.2016.09.086.

[14] Q. Deng, Q. Li (2017), "Facile preparation of Mg-doped graphitic carbon nitride composites as a solid base catalyst for Knoevenagel condensations", *Journal of Materials Science*, **53(1)**, pp.506-515, DOI: 10.1007/s10853-017-1534-3.

[15] X. Dong, S. Zhang, H. Wu, et al. (2019), "Facile one-pot synthesis of Mg-doped g-C_3N_4 for photocatalytic reduction of CO_2", *RSC Advances,* **9(49)**, pp.28894-28901, DOI: 10.1039/C9RA07573D.

[16] K.M. Abdullah, I.F. Teixeira, M.J. Li, et al. (2016), "Graphitic carbon nitride catalysed photoacetalization of aldehyde/ketones under ambient conditions", *Chemical Communications*, **13**, pp.2272-2275, DOI: 10.1039/C5CC08344C.

[17] C. Fan, J. Miao, G. Xu, et al. (2017), "Graphitic carbon nitride nanosheets obtained by liquid stripping as efficient photocatalysts under visible light", *RSC Advances*, **7(59)**, pp.37185-37193, DOI: 10.1039/C7RA05732F.

[18] Y. Wang, H. Wang, F. Chen, et al. (2017), "Facile synthesis of oxygen-doped carbon nitride hollow microsphere for photocatalysis", *Applied Catalysis B: Environmental*, **206**, pp.417-425, DOI: 10.1016/j.apcatb.2017.01.041.

[19] T. Sun, H.Y. Jiang, C.C. Ma, et al. (2016), "Ag/g-C_3N_4 photocatalysts: Microwave-assisted synthesis and enhanced visible-light photocatalytic activity", *Catalysis Communications*, **79**, pp.45-48, DOI: 10.1016/j.catcom.2016.03.004.

Cơ sở khoa học lựa chọn khung vệ tinh viễn thám tầm thấp cho Việt Nam

Ngô Duy Tân[1*], Bùi Trọng Tuyên[2], Bùi Quang Huy[1], Nguyễn Đức Hiếu[1], Lê Quang Toan[1], Phạm Anh Tuấn[1], Phùng Đức Thưởng[1], Trần Kim Chi[1], Vũ Thị Dung[1], Phạm Ngọc Minh[3]

[1]Trung tâm Vũ trụ Việt Nam, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam
[2]Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam
[3]Viện Công nghệ thông tin, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 20/10/2025; ngày chuyển phản biện 21/10/2025; ngày nhận phản biện 8/11/2025; ngày chấp nhận đăng 27/11/2025

Tóm tắt:

Vệ tinh viễn thám tầm thấp (vệ tinh VTTT) đóng vai trò quan trọng trong hình thành năng lực quan sát Trái Đất của một quốc gia. Khung vệ tinh bao gồm các cấu phần kỹ thuật đảm bảo hoạt động của các payload (thiết bị quan sát) trên vệ tinh VTTT. Việc lựa chọn khung này được dựa trên các tiêu chí như thời gian triển khai, cơ hội và chi phí phóng, khả năng tích hợp và làm chủ công nghệ, thời gian sống trên quỹ đạo, mục tiêu ứng dụng và xu hướng trên thế giới. Thông qua nghiên cứu và đánh giá các khung vệ tinh VTTT phổ biến và kết quả đã đạt được từ các chương trình vệ tinh quan sát Trái Đất của Việt Nam như VNREDSat-1, nhóm tác giả tập trung phân tích và đề xuất lựa chọn khung vệ tinh cỡ nhỏ (100 đến 500 kg), có khả năng mở rộng thành chùm vệ tinh lưỡng dụng. Đề xuất này hướng tới việc Việt Nam làm chủ công nghệ vệ tinh tầm thấp theo Nghị quyết số 57-NQ/TW ngày 22/12/2024 của Bộ Chính trị về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo và chuyển đổi số quốc gia, đồng thời học hỏi và tiếp thu công nghệ từ các nước phát triển, cũng như gắn với Danh mục sản phẩm công nghệ chiến lược theo Quyết định số 21/2026/QĐ-TTg.

Từ khóa: **khung vệ tinh, vệ tinh tầm thấp, vệ tinh viễn thám.**

Chỉ số phân loại: **2.2, 2.11**

Scientific basis for selecting a Low Earth Orbit remote sensing satellite platform for Vietnam

Duy Tan Ngo[1*], Trong Tuyen Bui[2], Quang Huy Bui[1], Duc Hieu Nguyen[1], Quang Toan Le[1], Anh Tuan Pham[1], Duc Thuong Phung[1], Kim Chi Tran[1], Thi Dung Vu[1], Ngoc Minh Pham[3]

[1]Vietnam National Space Centre, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam
[3]Institute of Information Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam

Received 20 October 2025; revised 8 November 2025; accepted 27 November 2025

Abstract:

Low Earth Orbit (LEO) remote sensing satellites play a crucial role in building a nation's Earth observation capabilities. The satellite platform consists of technical components that ensure the operation of payloads on LEO satellites. The selection of this platform is based on criteria such as deployment time, launch opportunities and costs, integration and technology mastery capabilities, orbital lifespan, application objectives and global trends. Through research and evaluation of widely used LEO satellite platforms and the results achieved from Vietnam's Earth observation satellite programmes, such as VNREDSat-1, the authors focus on analysing and proposing the selection of small satellite platforms (100 to 500 kg) with the potential to expand into dual-use satellite constellations. This proposal aims to enable Vietnam to achieve mastery of LEO satellite technology in line with Resolution No. 57-NQ/TW dated 22 December 2024 of the Political Bureau on breakthrough development in science and technology, innovation and national digital transformation, while learning from and adopting technologies from developed countries and aligning with the List of Strategic Technology Products under Decision No. 21/2026/QD-TTg.

Key words: **Low Earth Orbit satellite, remote sensing satellite, satellite platform.**

Classification numbers: **2.2, 2.11**

[*] *Tác giả liên hệ: Email: ndtan@vnsc.vast.vn*

1. Đặt vấn đề

Trong bối cảnh cuộc Cách mạng công nghiệp lần thứ tư và chuyển đổi số quốc gia đang diễn ra mạnh mẽ, các vệ tinh quỹ đạo thấp ngày càng đóng vai trò quan trọng trong quá trình mở rộng hạ tầng kết nối Internet, giám sát tài nguyên, thiên nhiên, môi trường, đồng thời hỗ trợ tích cực cho ứng phó thiên tai tại Việt Nam [1]. Vệ tinh VTTT có các ưu điểm như độ trễ truyền tín hiệu thấp, độ phân giải ảnh cao, chi phí và thời gian thực hiện phù hợp và có thể liên tục thay thế để đảm bảo tính liên tục và cập nhật công nghệ [2].

Trong hơn một thập kỷ qua, Việt Nam đã ghi dấu những bước tiến quan trọng trong lĩnh vực quan sát Trái Đất dựa trên vệ tinh, từ ứng dụng dữ liệu vệ tinh đến làm chủ hệ thống hoàn chỉnh như vệ tinh viễn thám VNREDSat-1 (phóng năm 2013, tuổi thọ theo thiết kế 5 năm và vẫn đang hoạt động) đến dự án LOTUSat-1 đang chờ thời điểm phóng phù hợp [3]. Những nỗ lực này thể hiện rõ chiến lược phát triển khoa học, công nghệ và đổi mới sáng tạo được xác định trong Nghị quyết số 57-NQ/TW ngày 22/12/2024 của Bộ Chính trị [4], nhấn mạnh yêu cầu nghiên cứu ứng dụng khoa học, công nghệ trong khai thác không gian vũ trụ. Gần đây, chương trình khoa học và công nghệ về công nghệ vũ trụ giai đoạn 2016-2020 (tiếp nối và phát triển của Chương trình các giai đoạn 2008-2011 và 2012-2015) đã đạt được nhiều kết quả nổi bật như: Nghiên cứu, chế tạo và phóng vệ tinh NanoDragon (10 kg). Ngoài ra, Trung tâm Vũ trụ Việt Nam đã nghiên cứu, chế tạo thành công vệ tinh siêu nhỏ PicoDragon (1 kg) vào năm 2013 và vệ tinh MicroDragon (50 kg) được phóng lên quỹ đạo vào năm 2019 [5]. Song, việc lựa chọn khung vệ tinh phù hợp cho vệ tinh VTTT đáp ứng những nhu cầu ở Việt Nam đòi hỏi phân tích đa chiều về công nghệ, kinh tế cũng như chiến lược quốc gia. Cụ thể, việc lựa chọn khung vệ tinh được dựa trên các tiêu chí như thời gian triển khai, cơ hội và chi phí phóng, khả năng tích hợp và làm chủ công nghệ, thời gian sống trên quỹ đạo, mục tiêu ứng dụng và xu hướng trên thế giới.

2. Khung vệ tinh viễn thám tầm thấp

Vệ tinh quỹ đạo thấp là loại vệ tinh chuyển động quanh Trái Đất ở độ cao từ khoảng 160 đến 2.000 km so với mặt đất. Đây là lớp quỹ đạo gần Trái Đất nhất và có mật độ vệ tinh hoạt động đông đảo nhất hiện nay. Các hệ thống vệ tinh quỹ đạo thấp được chia thành hai nhóm chính: vệ tinh viễn thông tầm thấp và VTTT.

Trong lĩnh vực viễn thám quang học và ra-đa, các vệ tinh VTTT đóng vai trò cốt lõi trong thu nhận dữ liệu quan sát bề mặt Trái Đất. Các hệ thống thương mại nổi bật bao gồm WorldView và GeoEye của Maxar (Mỹ), Pléiades và Pléiades Neo của Airbus (Pháp - EU), KOMPSAT của Hàn Quốc, Gaofen của Trung Quốc, TeLEOS của Singapore và Sentinel thuộc chương trình Copernicus của Liên minh châu Âu. Những vệ tinh này thường hoạt động ở độ cao từ 500 đến 750 km, cung cấp ảnh quang học có độ phân giải không gian từ 0,5 đến 10 m, phục vụ cho giám sát đô thị, nông nghiệp chính xác, theo dõi khu vực rừng, đất, nước, khí hậu và ứng phó thiên tai [6-10] (hình 1).



Hình 1. Ảnh chụp Phú Quốc từ vệ tinh VNREDSat-1 [11].

Khung vệ tinh đóng vai trò là "xương sống" của toàn bộ vệ tinh, cung cấp nền tảng cơ học, điện, điều khiển và truyền thông để payload (thiết bị quan sát) có thể hoạt động ổn định trên quỹ đạo. Cấu trúc của vệ tinh VTTT bao gồm khung vệ tinh và payload như được mô tả trong hình 2 [12]. Khung vệ tinh bao gồm các phân hệ cơ bản sau đây:

- Khung cấu trúc: Bộ khung vật lý để cố định các thành phần của vệ tinh, đảm bảo vệ tinh duy trì sự bền vững trong môi trường vũ trụ.

- Nguồn điện: Tạo, lưu trữ và phân phối năng lượng điện cho toàn bộ các hệ thống con.

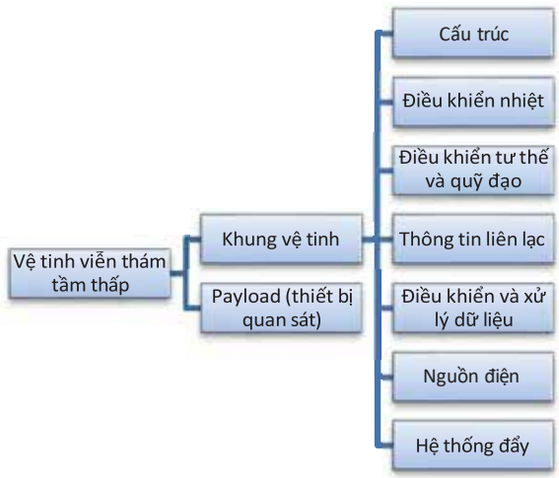
- Điều khiển tư thế: Xác định và duy trì hướng của vệ tinh trong không gian, định hướng vệ tinh về phía mục tiêu và giữ quỹ đạo ổn định.

- Thông tin - liên lạc: Giao tiếp với trạm điều khiển mặt đất, tiếp nhận lệnh, gửi dữ liệu.

- Điều khiển và xử lý dữ liệu: Đóng vai trò "bộ não" của vệ tinh, xử lý các lệnh, thu thập dữ liệu từ thiết bị và quản lý các hoạt động cũng như giao tiếp bên trong trên vệ tinh.

- Hệ thống đẩy: Cung cấp lực đẩy để điều chỉnh vị trí vệ tinh, như duy trì quỹ đạo, thay đổi quỹ đạo hoặc đưa vệ tinh ra khỏi quỹ đạo khi kết thúc vòng đời.

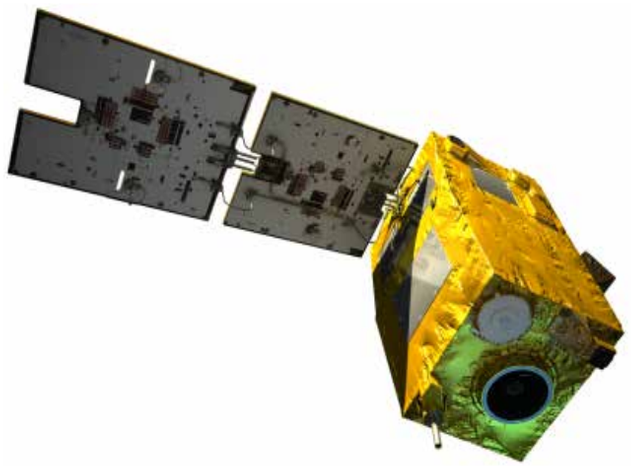
- Điều khiển nhiệt: Đảm bảo các bộ phận hoạt động trong phạm vi nhiệt độ tối ưu.



Hình 2. Cấu trúc vệ tinh viễn thám tầm thấp [12].

Hiện nay, trên thế giới có nhiều loại khung vệ tinh VTTT phổ biến được phân loại theo khối lượng và độ phức tạp. Nhóm thứ nhất là khung vệ tinh cho dòng vệ tinh CubeSat và nanosatellite (1-10 kg), thường dùng cho mục đích thử nghiệm công nghệ, viễn thám quy mô nhỏ hoặc giáo dục. Các khung vệ tinh tiêu biểu cho dòng vệ tinh này gồm GOMSpace NanoSat (Đan Mạch), Tyvak NanoSat (Mỹ), ISIS (Hà Lan), NanoAvionics (Litva). Các khung vệ tinh này được thiết kế theo chuẩn mô đun (1U-27U), sử dụng linh kiện thương mại (COTS) để giảm chi phí, và có thể tích hợp cảm biến quang học hoặc ra-đa nhỏ gọn. Tuy nhiên, hạn chế chính của loại khung vệ tinh này là công suất thấp, khả năng định hướng chỉ đạt mức vài trăm đến vài nghìn arcsec, chính vì thế, chúng chưa đáp ứng được yêu cầu của ảnh quang học độ phân giải cao.

Nhóm thứ hai là khung vệ tinh cho dòng vệ tinh microsatellite (10-100 kg) và minisatellite (100-500 kg), là phân khúc được sử dụng rộng rãi nhất cho vệ tinh quang học quan sát Trái Đất, độ phân giải từ 0,5 đến 5 m. Vệ tinh VNREDSat-1 của Việt Nam (khoảng 130 kg) nằm trong phân khúc này (hình 3).



Hình 3. Vệ tinh viễn thám tầm thấp VNREDSat-1 của Việt Nam [13].

Nhóm thứ ba là khung vệ tinh cho vệ tinh cỡ trung bình (1000-1500 kg), thường dùng cho các vệ tinh thương mại lớn hoặc vệ tinh quốc gia có nhiệm vụ đa cảm biến, ví dụ như Airbus AstroBus-L (Pháp), Ambassador (Mỹ), CAST2000 và CAST3000 (Trung Quốc). Các hệ thống này sở hữu một cấu trúc vững chắc, năng lực điều khiển quỹ đạo chính xác cao, nguồn điện lớn và khả năng duy trì tuổi thọ lên đến 7 năm. Tuy nhiên, các khung vệ tinh này có chi phí phát triển cao và yêu cầu mức độ về công nghệ lớn hơn [14-17].

Các quốc gia và công ty lớn hiện nay đều có dòng sản phẩm khung vệ tinh riêng cho phân khúc vệ tinh VTTT Airbus Defence & Space (Pháp) với dòng AstroBus đã được sử dụng cho hàng loạt vệ tinh như PeruSat-1, Azersky, VNREDSat-1 và KazEOSat-1. SSTL (Anh) là đơn vị tiên phong trong khung vệ tinh nhỏ gọn (SSTL-100, 150, 300) được hơn 20 quốc gia sử dụng [18]. Satrec Initiative (Hàn Quốc) cung cấp dòng khung vệ tinh SpaceEye và SI-300/500, cũng có khả năng tùy chỉnh cho vệ tinh 100-300 kg. Trong khi đó, các công ty như NanoAvionics, Tyvak, GomSpace lại hướng tới thị trường nhỏ, cung cấp khung vệ tinh thương mại sẵn có với khả năng sản xuất hàng loạt, thời gian giao hàng ngắn. NEXTAR là dòng khung vệ tinh quỹ đạo thấp do NEC Corporation (Nhật Bản) phát triển, thiết kế theo kiến trúc dạng mô-đun linh hoạt, gồm các biến thể NX-300L, NX-1500L, NX-G, phù hợp cho vệ tinh quan sát Trái đất khối lượng 300-3000 kg. Khung vệ tinh này nổi bật nhờ độ tin cậy cao, hệ thống điều khiển chính xác, khả năng tự chẩn đoán và tích hợp bộ đẩy điện. Trong đó, biến thể NX-300L đã được ứng dụng trong dự án ASNARO-1 [19].

3. Xu hướng phát triển khung vệ tinh cho các vệ tinh quỹ đạo thấp

Trong những năm gần đây, sự thay đổi mạnh mẽ của ngành công nghiệp vũ trụ đã làm xuất hiện một loạt xu hướng mới trong thiết kế và phát triển khung vệ tinh cho vệ tinh quỹ đạo thấp. Trước đây, các vệ tinh quang học quan sát Trái Đất thường được phát triển theo hướng đơn chiếc (one-off), kích thước lớn, chi phí cao và thời gian chế tạo kéo dài 5-7 năm. Với sự phát triển của điện tử công suất thấp, hiệu năng cao, vật liệu siêu nhẹ và linh kiện có sẵn, ngành công nghiệp vệ tinh đang chuyển dịch sang mô hình sản xuất hàng loạt, chi phí thấp, độ linh hoạt cao và khả năng tái cấu hình nhanh. Những xu hướng này đang định hình lại cách mà các cơ quan vũ trụ, doanh nghiệp và quốc gia lựa chọn khung vệ tinh cho các thế hệ vệ tinh mới, trong đó có Việt Nam.

Mô-đun hóa và chuẩn hóa kiến trúc khung vệ tinh: Một trong những thay đổi nổi bật nhất là mô-đun hóa trong thiết kế khung vệ tinh. Thay vì phát triển mỗi vệ tinh như một sản phẩm độc lập, các hãng hiện nay xây dựng các dòng khung vệ tinh có thể tái sử dụng cho nhiều nhiệm vụ khác nhau bằng cách hoán đổi mô-đun hoặc điều chỉnh cấu hình. Mỗi phân hệ - như nguồn điện, điều khiển tư thế, truyền thông, máy tính trung tâm - được chuẩn hóa thành mô-đun có giao diện cơ - điện thống nhất. Nó cho phép rút ngắn chu kỳ phát triển, tăng khả năng tái sử dụng, giảm chi phí sản xuất và dễ dàng nâng cấp công nghệ mới. Các nền tảng như SSTL-100/300 (Anh), AstroBus-S/M (Airbus, Pháp) hay NanoAvionics M16P/M12P (Litva) là ví dụ điển hình, có thể dùng chung cấu trúc khung vệ tinh cho nhiều vệ tinh có payload khác nhau từ quan sát Trái Đất, vô tuyến, cho đến nhiệm vụ khoa học [20].

Tích hợp linh kiện thương mại: Một xu hướng khác là tăng cường sử dụng linh kiện thương mại có sẵn trên thị trường để thay thế cho các linh kiện chuyên dụng trong vũ trụ vốn có giá thành rất cao. Sự tiến bộ của ngành điện tử tiêu dùng và công nghiệp viễn thông đã tạo ra các vi xử lý, cảm biến, bộ nhớ, camera và mạch nguồn nhỏ gọn, bền bỉ, có thể hoạt động ổn định trong môi trường có điều kiện khắc nghiệt khi được bọc bảo vệ và kiểm tra thích hợp. Việc ứng dụng linh kiện này giúp giảm đáng kể chi phí phát triển khung vệ tinh, đồng thời rút ngắn thời gian sản xuất. Tuy nhiên, điều này đòi hỏi năng lực kiểm định và đánh giá bức xạ cũng như khả năng tích hợp hệ thống cao [21].

Gia tăng độ chính xác và tự động hóa trong điều khiển định hướng: Công nghệ điều khiển tư thế và quỹ đạo đang được cải tiến nhanh chóng nhờ cảm biến sao, cơ cấu chấp hành chính xác cao, kèm theo các thuật toán điều khiển thích nghi. Mục tiêu là đạt được độ ổn định định hướng để chụp ảnh quang học độ phân giải siêu cao (dưới 1 m) [22]. Nhiều hệ thống khung vệ tinh hiện nay tích hợp thêm cảm biến quán tính, hệ thống định vị toàn cầu và cảm biến mặt trời có độ chính xác cao để nâng cao khả năng định hướng. Các hệ thống điều khiển hiện đại có tính tự động và thích nghi cao với môi trường vũ trụ, giúp giảm can thiệp từ mặt đất, đồng thời nâng cao độ tin cậy [23, 24].

Tăng cường khả năng truyền dữ liệu băng rộng và xử lý trên quỹ đạo: Với lượng dữ liệu khổng lồ, đặc biệt từ cảm biến quang học độ phân giải cao và siêu phổ, khả năng truyền dữ liệu về trạm mặt đất trở thành một tiêu chí then chốt trong khung vệ tinh. Các khung vệ tinh mới được trang bị bộ phát băng tần X hoặc Ka với tốc độ truyền lên đến 1 Gbps, thậm chí có thể tích hợp truyền laser cho các nhiệm vụ cần băng thông rất lớn. Bên cạnh đó, xử lý dữ liệu trên quỹ đạo đang được đẩy mạnh, nhờ vào các mô-đun máy tính hiệu năng cao hoặc sử dụng các vi mạch FPGA (Field Programmable Gate Array) hoặc SoC (Systems on a Chip). Điều này giúp giảm đáng kể lượng dữ liệu cần gửi về mặt đất, tiết kiệm năng lượng và tăng khả năng phản ứng thời gian thực, đặc biệt trong các ứng dụng phát hiện nhanh (rapid monitoring) như thiên tai, nông nghiệp và môi trường [23].

Tích hợp hệ thống đẩy điện và khả năng cơ động quỹ đạo: Trước đây, các vệ tinh quang học nhỏ thường không có hệ thống đẩy. Hiện nay, nhiều khung vệ tinh được tích hợp hệ thống đẩy điện mini hoặc động cơ đẩy khí lạnh giúp điều chỉnh quỹ đạo, tránh va chạm và chủ động hạ quỹ đạo khi kết thúc nhiệm vụ để giảm rác vũ trụ. Việc trang bị hệ thống đẩy không chỉ kéo dài tuổi thọ vệ tinh mà còn tăng tính linh hoạt khi bố trí chùm vệ tinh. Các hệ thống đẩy điện hiện đã được tích hợp trong nhiều khung vệ tinh thương mại cỡ 50-300 kg [24].

Phát triển mô hình chùm vệ tinh và khung vệ tinh đồng nhất: Một xu hướng quan trọng khác là chuẩn hóa khung vệ tinh cho mục đích triển khai chùm vệ tinh. Các công ty như Planet Labs (Mỹ) với chùm Flock, BlackSky, ICEYE (Phần Lan) hay Satellogic (Argentina) đã chứng minh tính hiệu quả của việc sản xuất hàng loạt khung vệ

tinh cỡ nhỏ, đồng nhất về cấu trúc, chỉ thay đổi payload tùy mục tiêu. Khung vệ tinh đồng nhất giúp đơn giản hóa quá trình lắp ráp, kiểm tra và phóng lên, bên cạnh đó cũng làm giảm đáng kể chi phí mỗi vệ tinh. Xu hướng này mở ra khả năng quan sát toàn cầu với chu kỳ thăm lại chỉ vài giờ, thay vì vài ngày như trước.

Xu hướng hợp tác và chuyển giao công nghệ khung vệ tinh: Trong bối cảnh toàn cầu hóa, các quốc gia đang tăng cường hợp tác và chuyển giao công nghệ trong lĩnh vực phát triển khung vệ tinh. Nhiều dự án vệ tinh quốc gia của các nước đang phát triển (như Peru, Algeria, Philippines, Việt Nam) được triển khai thông qua mô hình hợp tác với các tập đoàn châu Âu hoặc Hàn Quốc, trong đó khung vệ tinh được chuyển giao kèm theo chương trình đào tạo kỹ sư và xây dựng năng lực tích hợp. Xu hướng này không chỉ giúp tiết kiệm chi phí mà còn tạo nền tảng công nghiệp trong nước để từng bước nội địa hóa khung vệ tinh VTTT.

Khung vệ tinh thông minh và tích hợp trí tuệ nhân tạo: Khung vệ tinh thông minh có khả năng học và tự đưa ra quyết định sử dụng trí tuệ nhân tạo (AI). Máy tính trên vệ tinh được trang bị bộ xử lý mạnh và phần mềm tự thích nghi, cho phép vệ tinh tự chẩn đoán lỗi, tối ưu hóa định hướng và điều phối hoạt động payload mà không cần lệnh từ trạm mặt đất. Xu hướng này đang được các tổ chức như Cơ quan Vũ trụ châu Âu (ESA), Cơ quan Hàng không Vũ trụ Mỹ (NASA) và các công ty tư nhân đầu tư mạnh nhằm hướng tới thế hệ vệ tinh tự trị (autonomous satellite), giảm chi phí vận hành và tăng độ linh hoạt trong khai thác dữ liệu [25, 26].

Với đặc điểm quan sát liên tục và chủ động, các vệ tinh VTTT là nguồn dữ liệu quan trọng và hiệu quả cho các công cụ ứng dụng AI trên mặt đất, cụ thể là tự động phân tích, nhận dạng và phát hiện các đối tượng, phân tích và dự đoán xu hướng cho các bài toán sử dụng dữ liệu đa nguồn, đa thời gian, hợp nhất dữ liệu đa nguồn...

Những xu hướng này đang định hình tương lai của ngành công nghiệp vệ tinh toàn cầu, giúp giảm rào cản công nghệ cho các quốc gia đang phát triển. Đối với Việt Nam, việc nắm bắt các xu hướng này là điều kiện tiên quyết để lựa chọn và phát triển khung vệ tinh phù hợp cho vệ tinh VTTT tiếp nối VNREDSat-1, bảo đảm tính khả thi về kỹ thuật, chi phí, cũng như khả năng nội địa hóa và hợp tác quốc tế hiệu quả.

4. Cơ sở khoa học và đề xuất khung vệ tinh cho vệ tinh viễn thám tầm thấp của Việt Nam

4.1. Nhu cầu thực tiễn

Việt Nam là quốc gia có địa hình dài, ven biển, thường xuyên chịu ảnh hưởng của thiên tai như bão lũ, hạn hán và biến đổi khí hậu, dẫn đến nhu cầu cao về vệ tinh VTTT để quan sát bề mặt Trái Đất kịp thời và chính xác [27]. Nhu cầu này đã được thể hiện từ đầu những năm 2000, với các vệ tinh như VNREDSat-1 và các vệ tinh nước ngoài khác. VNREDSat-1 đã giúp Việt Nam tự chủ dữ liệu viễn thám, giảm phụ thuộc nguồn nước ngoài và trở thành nước thứ 5 trong ASEAN sở hữu vệ tinh quan sát Trái Đất. Tuy nhiên, hạn chế là ảnh quang học bị ảnh hưởng bởi điều kiện thời tiết tại khu vực quan tâm và chỉ quan sát được vào ban ngày. Do đó, cần thiết phải lựa chọn các loại khung vệ tinh có khả năng hỗ trợ các thiết bị chụp ảnh độ phân giải cao với tần suất chụp ảnh cao và độ phủ trùm ảnh rộng.

Giám sát thiên tai và biến đổi khí hậu: Hằng năm, khoảng 5-10 cơn bão ảnh hưởng đến đất liền Việt Nam, gây thiệt hại lớn về con người và tài sản [28]. Vệ tinh VTTT với độ phân giải cao (0,3-1 m) cung cấp nguồn dữ liệu ảnh hiệu quả trong việc theo dõi trước, trong và sau khi thiên tai xảy ra, cụ thể là lên kịch bản ứng phó, theo dõi quá trình (khi sử dụng nhiều vệ tinh) và đánh giá thiệt hại. Đê, tường chắn sóng, công trình bị sụp cũng có thể được theo dõi bằng nguồn dữ liệu này. Dữ liệu ảnh vệ tinh có độ phân giải cao cũng giúp quan sát các hiện tượng xói lở bờ sông, bờ biển...

Quản lý tài nguyên thiên nhiên và môi trường: Nguồn dữ liệu ảnh có độ phân giải siêu cao từ vệ tinh VTTT cho phép giám sát chi tiết hiện trạng rừng, đất, nước và khu vực đô thị, đồng thời phát hiện sớm các biến động như suy giảm diện tích rừng, ô nhiễm nguồn nước hay khai thác tài nguyên trái phép. Nhờ chu kỳ chụp ngắn và độ chính xác cao, ảnh vệ tinh VTTT hỗ trợ hiệu quả cho công tác quy hoạch, kiểm kê tài nguyên, đánh giá tác động môi trường và ứng phó biến đổi khí hậu, góp phần hướng tới quản lý bền vững tài nguyên quốc gia.

Phát triển nông nghiệp và kinh tế: Ảnh vệ tinh VTTT độ phân giải siêu cao giúp theo dõi diện tích gieo trồng, sinh trưởng cây trồng, phát hiện sớm sâu bệnh và hạn hán, từ đó tối ưu quy trình canh tác và giảm chi phí sản xuất. Ngoài ra, ảnh vệ tinh độ phân giải siêu cao còn

hỗ trợ đánh giá hiệu quả sử dụng đất, quy hoạch vùng chuyên canh và giám sát chuỗi cung ứng nông sản. Việc ứng dụng ảnh trong quản lý nông nghiệp thông minh góp phần nâng cao năng suất, đảm bảo an ninh lương thực và thúc đẩy phát triển kinh tế bền vững.

An ninh và hạ tầng số: Hỗ trợ giám sát biên giới, cảng biển, khu công nghiệp và các công trình trọng điểm, giúp phát hiện sớm hoạt động bất thường hoặc xâm phạm lãnh thổ. Trong xây dựng hạ tầng số, ảnh vệ tinh cung cấp nền tảng bản đồ chính xác phục vụ quy hoạch đô thị thông minh, giao thông, viễn thông và hệ thống thông tin địa lý quốc gia. Việc ứng dụng ảnh vệ tinh VTTT độ phân giải siêu cao góp phần nâng cao năng lực giám sát, quản lý lãnh thổ và đảm bảo an ninh quốc gia trong thời đại số.

Mức độ cấp thiết cao do Việt Nam phụ thuộc dữ liệu nước ngoài, dẫn đến độ trễ và chi phí lớn. Trong khi đó, biến đổi khí hậu ngày càng nhanh, biến đổi địa chính trị cũng ngày càng phức tạp, vấn đề này đòi hỏi dữ liệu vệ tinh được cung cấp nhanh chóng và tần suất nhiều hơn. Việc đầu tư dòng vệ tinh VTTT có độ phân giải ảnh siêu cao có thể giảm khoảng cách số, tạo việc làm và thúc đẩy ngành công nghiệp vũ trụ, đồng thời hỗ trợ kịp thời trong quá trình ứng phó với thiên tai và biến đổi khí hậu, phát hiện kịp thời những biến động mới nhất có nguy cơ ảnh hưởng tới an ninh quốc phòng. VTTT khi kết hợp với các nền tảng khác như các cảm biến trên mặt đất, thiết bị bay không người lái sẽ hình thành hệ thống quan sát đa tầng, cung cấp nguồn dữ liệu đa chiều, đóng góp hiệu quả vào công tác giám sát tài nguyên thiên nhiên, môi trường và thiên tai, đặc biệt trong các hệ thống hỗ trợ ra quyết định. Hệ thống đa tầng này mở ra cơ hội cho các ứng dụng AI, dữ liệu lớn để tạo đột phá trong nghiên cứu và ứng dụng công nghệ vũ trụ tại Việt Nam.

Tuy nhiên, thách thức bao gồm vốn đầu tư, nhân lực và hợp tác quốc tế. Xét về tổng thể, nhu cầu vệ tinh VTTT là mang tính chiến lược, phù hợp với xu hướng toàn cầu và mục tiêu tự chủ công nghệ [27].

4.2. Các tính năng kỹ thuật cơ bản

Tương thích với payload: Khung vệ tinh của vệ tinh VTTT là hệ thống kỹ thuật hỗ trợ và đảm bảo hoạt động của payload trên quỹ đạo. Do vậy, khung vệ tinh của vệ tinh phải đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật của payload được lựa chọn theo yêu cầu như camera quang học, phổ kế, cảm biến ra-đa (SAR) hoặc thiết bị vô tuyến. Điều này bao gồm cung cấp năng lượng, không gian vật lý, kiểm soát nhiệt độ và giao diện dữ liệu. Hiện nay, các nhà sản xuất vệ tinh VTTT trên thế giới thường tích hợp payload từ các nhà sản xuất uy tín, do đó tính tương thích và đồng bộ giữa khung vệ tinh và payload là một trong những yếu tố quan trọng đảm bảo hoạt động ổn định của vệ tinh trên quỹ đạo.

Vệ tinh VNREDSat-1 của Việt Nam sử dụng thiết bị chụp ảnh quang học có độ phân giải 2,5 m cho mục đích giám sát tài nguyên thiên nhiên, môi trường và thiên tai. Thiết bị này có tổng khối lượng khoảng 30 kg và được đảm bảo hoạt động trên khung vệ tinh có khối lượng khoảng 100 kg.

Độ ổn định và linh hoạt: Trên quỹ đạo, payload của vệ tinh được điều khiển định hướng vào các khu vực theo yêu cầu của người sử dụng. Vì thế, độ ổn định và chính xác chỉ hướng của khung vệ tinh là các tham số kỹ thuật đặc biệt quan trọng quyết định chất lượng dữ liệu và năng lực của vệ tinh. Tiêu chí này được đảm bảo bởi phân hệ điều khiển tư thế và quỹ đạo của vệ tinh VTTT. Phân hệ này bao gồm các thiết bị để tính toán, xác định tư thế của vệ tinh đồng thời phải có khả năng điều chỉnh hướng linh hoạt và chính xác. Bên cạnh đó, vệ tinh VTTT cần được trang bị hệ thống đẩy để điều khiển các thông số quỹ đạo khi cần thiết (điều chỉnh độ cao, góc nghiêng, tránh va chạm…).

Năng lượng và thông tin liên lạc: Thông qua hệ thống pin mặt trời và ắc quy lưu trữ, khung vệ tinh phải cung cấp đủ điện năng cho tải trọng và các phân hệ hỗ trợ khác. Do vậy, việc thiết kế bộ nguồn cần được phân tích dựa trên các kịch bản vận hành của vệ tinh, nhằm xác định công suất tấm pin mặt trời, dung lượng bộ lưu trữ điện và các thiết bị điều khiển, giám sát kèm theo. Việc cung cấp công suất là một trong những tiêu chí quan trọng khi lựa chọn khung vệ tinh, vì nó quyết định khả năng đáp ứng yêu cầu hoạt động của tải trọng và ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất cũng như tuổi thọ của hệ thống.

Ngoài ra, hệ thống thông tin liên lạc cũng là một phân hệ quan trọng của khung vệ tinh. Vệ tinh VTTT phải duy trì liên lạc với trạm mặt đất để nhận lệnh điều khiển, truyền dữ liệu (gồm dữ liệu của payload và các dữ liệu khác), các đặc trưng truyền dẫn (băng thông, điều chế, công suất,…), cần đáp ứng yêu cầu truyền dẫn của nhiệm vụ, đồng thời tuân thủ các quy định về quản lý tần số vô tuyến điện và phối hợp tần số của Việt Nam cũng như quốc tế.

Thời gian sống trên quỹ đạo: Khi hoạt động trên quỹ đạo, vệ tinh VTTT phải chịu được môi trường khắc nghiệt của không gian (bức xạ, nhiệt độ, chân không, oxy nguyên tử, nguy cơ va chạm...) và độ bền của các linh kiện. Vì vậy, thiết kế của vệ tinh VTTT, đặc biệt là khung vệ tinh phải lựa chọn các thiết bị, linh kiện đạt tiêu chuẩn, có độ dự phòng và được trang bị các bộ phận (phần cứng và phần mềm) để giám sát và ứng phó với các tình huống lỗi hoặc hỏng khi vệ tinh hoạt động.

Vệ tinh VNREDSat-1 được thiết kế với thời gian sống 5 năm, đến nay vệ tinh vẫn hoạt động (trên 10 năm) do sử dụng các linh kiện, thiết bị đã được kiểm chứng, có các thiết bị dự phòng phù hợp và cơ chế tự phát hiện và khắc phục lỗi ngay trên vệ tinh.

Kích thước, khối lượng và khả năng phóng của khung vệ tinh: Vệ tinh VTTT chỉ thực sự có tính ứng dụng khi được đưa vào đúng quỹ đạo và hoạt động ổn định trong không gian. Bởi vậy, việc phóng vệ tinh phải được cân nhắc ngay từ ban đầu, căn cứ vào yêu cầu về tiến độ, khối lượng và kích thước của vệ tinh.

Kích thước và khối lượng của khung vệ tinh ảnh hưởng trực tiếp đến thiết kế vệ tinh, khả năng tích hợp payload và yêu cầu tương thích với phương tiện phóng. Khung vệ tinh phải đủ không gian cho các phân hệ và đảm bảo tải trọng trong giới hạn cho phép. Đồng thời phải tối ưu hóa tỷ lệ khối lượng giữa payload và khung vệ tinh để tăng hiệu quả. Đối với VNREDSat-1 tỷ lệ này đạt khoảng 30%, phù hợp cho vệ tinh VTTT cỡ nhỏ. Ngoài ra, khung vệ tinh phải có kích thước nhỏ gọn để tương thích với các thiết bị phóng và giảm lực cản khí quyển khi hoạt động trong vũ trụ (tỷ lệ với diện tích mặt cắt ngang).

Khả năng chuyển giao công nghệ: Khả năng chuyển giao công nghệ liên quan đến việc thiết kế khung vệ tinh dễ dàng truyền đạt kiến thức, tài liệu và quy trình sản xuất từ nhà cung cấp đến đối tác. Khung vệ tinh phải có thiết kế mô-đun với tài liệu chuẩn hóa để hỗ trợ đào tạo kỹ sư và tích hợp nội địa (Assembly, Integration, and Testing - AIT). Đây là một trong những yêu cầu quan trọng trong giai đoạn hiện nay của Việt Nam đối với lĩnh vực vệ tinh VTTT.

Trong khuôn khổ dự án VNREDSat-1 (dựa trên khung vệ tinh Myriade, hợp tác Airbus/Pháp), 15 kỹ sư Việt Nam được đào tạo tại Pháp đã chuyển giao đầy đủ quyền kiểm soát vệ tinh cho Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST) sau 2 năm.

Trên cơ sở phân tích như trên, khung vệ tinh tiếp theo đảm bảo tính liên tục và kế thừa của VNREDSat-1, được đề xuất với các tiêu chí cơ bản trong bảng 1.

Bảng 1. Tiêu chí của khung vệ tinh đề xuất.

Tiêu chí	Vệ tinh VNREDSat-1	Khung vệ tinh đề xuất
Nhu cầu thực tiễn	Chụp ảnh quang học, có khả năng chụp ảnh toàn cầu với độ phân giải 2,5 m.	Chụp ảnh quang học, khả năng chụp toàn cầu với độ phân giải cao nhất lên đến 0,5 m.
Tương thích với payload	Gắn và đảm bảo hoạt động của 1 payload quang học.	Gắn và đảm bảo hoạt động của 1 payload quang học.
Thời gian sống trên quỹ đạo	5 năm theo thiết kế.	Tối thiểu 5 năm theo thiết kế.
Độ ổn định và linh hoạt	Độ chính xác địa lý dưới 300 m. Khả năng quay nghiêng 30° trong vòng 90 giây. Kênh truyền dữ liệu ảnh: 60 Mbps, băng tần X; kênh điều khiển: băng tần S. Điều khiển quỹ đạo bằng hệ thống đẩy.	Độ chính xác địa lý dưới 100 m. Khả năng quay nghiêng 30° trong vòng 15 giây. Kênh truyền dữ liệu ảnh: 600 Mbps, băng tần X; kênh điều khiển: băng tần S. Có hệ thống đẩy để điều khiển quỹ đạo.
Năng lượng và thông tin liên lạc	Sử dụng cánh pin mặt trời và ắc quy.	Sử dụng cánh pin mặt trời và ắc quy.
Kích thước, khối lượng và khả năng phóng	Khối lượng ~130 kg, tương thích với nhiều thiết bị phóng.	Khối lượng từ 100 kg đến 500 kg (chủng loại minisatellite), tương thích với nhiều thiết bị phóng.
Khả năng chuyển giao công nghệ	Chương trình đào tạo và chuyển giao công nghệ cho vận hành và điều khiển vệ tinh, tham quan quá trình AIT của vệ tinh và trạm mặt đất.	Chương trình đào tạo và chuyển giao công nghệ cho vận hành và điều khiển vệ tinh, tiếp nhận chuyển giao công nghệ khung vệ tinh cỡ nhỏ, hình thành năng lực tự phát triển vệ tinh tương tự.

Nguồn: Nhóm tác giả.

Các ứng dụng của khung vệ tinh trên được mô tả như sau:

Với nhiệm vụ quan sát bề mặt Trái Đất ở phạm vi toàn cầu, khung vệ tinh đề xuất có thể gắn thiết bị chụp ảnh quang học với độ phân giải siêu cao (khoảng 0,5 m) để trở thành nguồn cung cấp dữ liệu ảnh viễn thám chủ động và hiệu quả cho Việt Nam. Vệ tinh này sẽ cung cấp những bức ảnh bề mặt Trái Đất hoặc các đối tượng quan tâm với độ chi tiết cao và siêu cao. Ngoài ra, vệ tinh này có khả năng kết hợp kỹ thuật với các vệ tinh quang học hoặc ra-đa khác để hình thành hệ thống quan sát Trái đất bằng chùm vệ tinh. Việc kết hợp với vệ tinh khác có thể được thực hiện ở ba cấp độ khác nhau: 1) Phối hợp hoàn toàn về quỹ đạo và điều khiển các vệ tinh cùng loại khung nhằm nâng cao vùng quan sát và tăng cường dữ liệu; 2) Phối hợp điều khiển các vệ tinh khác nhau nhằm cải thiện vùng chụp và nguồn thông tin; 3) Phối hợp dữ liệu từ các vệ tinh khác nhau để bổ trợ dữ liệu lẫn nhau.

5. Kết luận

Vệ tinh VTTT được xác định là sản phẩm công nghệ chiến lược quốc gia theo Quyết định số 21/2026/QĐ-TTg, đóng vai trò quan trọng trong quá trình tự chủ dữ liệu quan sát Trái Đất của Việt Nam. Trong bối cảnh nhu cầu ứng phó thiên tai, quy hoạch đô thị, phát triển nông nghiệp - thủy sản, quản lý tài nguyên, môi trường và đảm bảo an ninh quốc phòng ngày càng gia tăng, việc phát triển các vệ tinh VTTT kế tiếp VNREDSat-1 là hết sức cần thiết.

Các vệ tinh này cần có khả năng cung cấp dữ liệu ảnh quang học độ phân giải cao hoặc siêu cao, ổn định và tin cậy, phục vụ đồng thời nhiều lĩnh vực dân sinh và chiến lược. Chính vì thế, việc lựa chọn khung vệ tinh kế tiếp VNREDSat-1 phải bảo đảm khả năng hỗ trợ thực hiện nhiệm vụ quan sát Trái Đất với độ phân giải siêu cao và chính xác, đồng thời có khả năng mở rộng thành chùm vệ tinh với những vệ tinh khác. Bên cạnh đó, khung vệ tinh này phải có tính năng kỹ thuật mạnh mẽ, tin cậy và tương thích được với nhiều thiết bị phóng để nhanh chóng đưa vệ tinh hoạt động trên quỹ đạo và tối đa hóa hiệu quả đầu tư.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí từ nhiệm vụ khoa học và công nghệ mã số NVCC34.01/25-25 do Trung tâm Vũ trụ Việt Nam, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam thực hiện. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Vietnam Government (2025a), "Pilot implementation under controlled conditions of telecommunications services using low Earth orbit satellite technology", *Viet Nam Government News*, https://baochinhphu.vn/thi-diem-co-kiem-soat-trien-khai-dich-vu-vien-thong-su-dung-cong-nghe-ve-tinh-quy-dao-tam-thap-tai-viet-nam-102250326112020508.htm, accessed 9 October 2025 (in Vietnamese).

[2] ESI Motion (2025), "LEO vs GEO Satellite Requirements", https://esimotion.com/blogs/news/leo-vs-geo-satellite-requirements, accessed 9 October 2025.

[3] eoPortal (2024), "LOTUSat-1 (JV-LOTUSat)", https://www.eoportal.org/satellite-missions/lotusat-1#eop-quick-facts-section, accessed 9 October 2025.

[4] Political Bureau (2025b), *"Resolution No. 57-NQ/TW on breakthroughs in the development of science, technology, innovation, and national digital transformation"*, https://xaydungchinhsach.chinhphu.vn/toan-van-nghi-quyet-ve-dot-pha-phat-trien-khoa-hoc-cong-nghe-doi-moi-sang-tao-va-chuyen-doi-so-quoc-gia-119241224180048642.htm, accessed 9 October 2025 (in Vietnamese).

[5] Hanoi Management Board of Industrial and Export Processing Zones (2021), "Summary of the National-level Science and Technology Program on Space Technology for the period 2016-2020", https://hhtp.gov.vn/vi/thong-tin-kh-cn/tong-ket-chuong-trinh-khoa-hoc-va-cong-nghe-cap-quoc-gia-ve-cong-nghe-vu-tru-giai-doan-2016-2020-428.html? utm_source, accessed 7 November 2025 (in Vietnamese).

[6] eoPortal (2023), "WorldView-3", https://www.eoportal.org/satellite-missions/worldview-3?utm_source.com#eop-quick-facts-section, accessed 7 November 2025.

[7] European Space Agency (2014), "GeoEye-1 overview", https://earth.esa.int/eogateway/missions/geoeye-1/description?utm_source, accessed 7 November 2025.

[8] Centre National D'études Spatiales (2025), "Pléiades", https://cnes.fr/en/projects/pleiades, accessed 7 November 2025 (in French).

[9] eoPortal (2025a), "KOMPSAT-3A (Korea Multi-Purpose Satellite-3A) / Arirang-3A", https://www.eoportal.org/satellite-missions/kompsat-3?utm_source#mis sion-status, accessed 7 November 2025.

[10] eoPortal (2025b), GF-1 (Gaofen-1)", https://www.eoportal.org/satellite-missions/gaofen-1?utm_source, accessed 7 November 2025.

[11] Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (2013), "Some images taken by VNREDSat-1 Satellite", https://vast.gov.vn/CmsView-EcoIT-portlet/html/print_cms.jsp?articleId=2870, accessed 16 October 2025 (in Vietnamese).

[12] T.M. Tuan, N.D. Tan, B.T. Tuyen, et al. (2007), *Satellite Technology*, Science and Technology Publishing House, pp.33 (in Vietnamese).

[13] Vega Space and Geospatial Academy (2025), "VNREDSat-1", https://vsgacademy.com/satellites/vnredsat-1, accessed 9 October 2025 (in Vietnamese).

[14] Terran Orbital (2024), "Ambassador", https://terranorbital.com/spacecraft-platforms/ambassador, accessed 8 November 2025.

[15] China Academy of Space Technology (2025), *"Optical Remote Sensing Series"*, https://www.cast.cn/english/channel/1987, accessed 8 November 2025.

[16] ESTEC (2015), "CleanSat workshop evolution of LEO platforms", https://indico.esa.int/event/73/attachments/2542/2932/Airbus_Evolution_of_LEO_platforms.pdf?utm_source, accessed 7 November 2025.

[17] Orbital ATK (2017), "LEOStar™-3 bus a medium-to-large, high performance, versatile and expandable spacecraft bus designed for 1 - 10 years", https://satsearch.co/products/orbital-atk-leostar-3-bus-a-medium-to-large-high-performance-versatile-and-expandable-spacecraft-bus-designed-for-1-10-years, accessed 7 November 2025.

[18] M. Adachi (2014), "Introduction of NEC Space Business (Launch of Satellite Integration Center)", https://www.nec. com/en/global/ir/pdf/library/140702/140702_01.pdf, accessed 7 November 2025.

[19] Q. Young (2005), "ssc05-i-6 modular platform architecture for small satellites: evaluating applicability and strategic issues", *19th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites*, https://digitalcommons.usu.edu/smallsat/2005/all2005/7/, 7 November 2025.

[20] BIS Research (2022), "satellite commercial-off-the-shelf components enabling innovation in space technology", https://bisresearch.com/ news/satellite-commercial-off-the-shelf-components-enabling-innovation-in-space-technology-?utm_source, accessed 16 October 2025.

[21] C.C. Liebe (1995), "Star trackers for attitude determination", *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, **10(6)**, pp.10-16, DOI: 10.1109/62.387971.

[22] ASPINA (2023), "Importance of satellite attitude control and types of attitude control devices", https://us.aspina-group.com/en/learning-zone/columns/2023041901/?utm_source, accessed 16 October 2025.

[23] The National Remote Sensing Department (2025), "TCVN 14362:2025", https://nrsd.mae.gov.vn/noidung/Lists/VBQPPL/Attachments/86/3.TCVN14362%202025.pdf, accessed 7 November 2025.

[24] Enpulsion (2025), "The new system brings the benefits of FEEP technology to spacecraft up to 500 kg, with higher thrust, improved orbit raising, and seamless integration", https://www.enpulsion.com/enpulsion-unveils-nexus-its-most-powerful-electric-propulsion-system-to-date/, accessed 16 October 2025.

[25] National Aeronautics and Space Administration (2025), "How nasa is testing ai to make earth-observing satellites smarter", https://www.nasa.gov/science-research/earth-science/how-nasa-is-testing-ai-to-make-earth-observing-satellites-smarter/?utm_source, accessed 16 October 2025.

[26] European Space Agency (2024), "New satellite to show how AI advances Earth observation", https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Phsat-2/New_satellite_to_show_how_AI_advances_Earth_observation, accessed 16 October 2025.

[27] University of Science and Technology of Hanoi (2025), "Low-orbit satellite technology: New opportunities for the Space Science sector in Vietnam", https://usth.edu.vn/cong-nghe-ve-tinh-tam-thap-co-hoi-moi-cho-nganh-khoa-hoc-vu-tru-tai-viet-nam-24802/, accessed 9 October 2025 (in Vietnamese).

[28] Disaster Prevention Policy and Technology Center (2025), "Disaster Events", http://www.dmc.gov.vn/thong-tin-thien-tai-pt32.html?lang=vi-VN, accessed 7 November 2025 (in Vietnamese).

 DOI: 10.31276/VJST.2026.3762

Tăng cường khả năng hòa tan bùn và thay đổi cấu trúc bông bùn bằng phương pháp thủy phân nhiệt ở nhiệt độ thấp

Lê Ngọc Thuấn[1], Vũ Thị Mai[1], Nguyễn Xuân Lan[1], Nguyễn Thị Thu Hà[2*]

[1]Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội, 41A Phú Diễn, phường Phú Diễn, Hà Nội, Việt Nam
[2]Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội, 129 Trần Phú, phường Hà Đông, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 28/11/2025; ngày chuyển phản biện 1/12/2025; ngày nhận phản biện 12/12/2025; ngày chấp nhận đăng 31/12/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của xử lý nhiệt 50-90°C trong 0,5-24 giờ đến đặc tính lý hóa, cấu trúc vi mô và khả năng hòa tan của bùn hoạt tính thải từ trạm xử lý nước thải sinh hoạt đô thị. Xử lý nhiệt gây biến đổi đáng kể về sinh khối và khả năng lắng: chất rắn lơ lửng trong nước thải hỗn hợp (MLSS) giảm khoảng 11%, chỉ số thể tích bùn tăng từ 112 đến 189 ml/g, phản ánh sự suy yếu cấu trúc bông bùn và mạng polyme ngoại bào (EPS). Ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) cho thấy thay đổi từ bông bùn đặc, kết dính sang cấu trúc phân mảnh, xốp sau xử lý ở 80°C, chứng tỏ EPS dễ bị phá vỡ do nhiệt. Khả năng hòa tan chất hữu cơ tăng rõ rệt theo nhiệt độ và thời gian. Khả năng hòa tan còn hạn chế ở 50-60°C, nhưng ở 80-90°C làm nhu cầu oxy hóa học dạng hoà tan tăng 2,5-3,3 lần (1450-1504 mg/l), tỷ lệ nhu cầu oxy hóa học dạng hoà tan/nhu cầu oxy hóa học tổng số là 4,6-15,7%, chủ yếu trong 5-10 giờ đầu nhờ phân hủy EPS dễ phân hủy và thành phần nội bào. Kết quả khẳng định thủy phân nhiệt ở nhiệt độ thấp (LT-THP) là giải pháp tiềm năng, tiết kiệm chi phí để cải thiện phân hủy kỵ khí và thu hồi năng lượng từ bùn thải đô thị.

***Từ khóa*:** **nhu cầu oxy hóa học dạng hòa tan, phá vỡ mạng polyme ngoại bào, phân hủy kỵ khí, thủy phân nhiệt ở nhiệt độ thấp, xử lý sơ bộ bùn hoạt tính thải.**

Chỉ số phân loại: **2.4, 2.7, 2.8**

Enhancing sludge solubilisation and altering the structure of sludge flocs using a low-temperature thermal hydrolysis process

Ngoc Thuan Le[1], Thi Mai Vu[1], Xuan Lan Nguyen[1], Thi Thu Ha Nguyen[2*]

[1]Hanoi University of Natural Resources and Environment, 41A Phu Dien Street, Phu Dien Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Hanoi Architectural University, 129 Tran Phu Street, Ha Dong Ward, Hanoi, Vietnam

Received 28 November 2025; revised 12 December 2025; accepted 31 December 2025

Abstract:

This study evaluated the effects of thermal treatment at 50-90°C for 0.5-24 hours on the physicochemical properties, microstructure, and solubilisation of waste activated sludge (WAS) from a municipal wastewater treatment plant. Thermal treatment significantly altered biomass and settleability: mixed liquor suspended solids (MLSS) decreased by approximately 11%, whereas the sludge volume index (SVI_{30}) rose from 112 to 189 ml/g, indicating weakening of the sludge floc structure and disruption of the extracellular polymeric substances (EPS) network. Scanning electron microscopy (SEM) images showed a shift from dense, cohesive sludge flocs to fragmented, porous structures following treatment at 80°C, confirming the thermal vulnerability of EPS. Organic matter solubilisation increases markedly with temperature and treatment time. Solubilisation remain limited at 50-60°C but surged at 80-90°C where soluble chemical oxygen demand (sCOD) increased by 2.5-3.3 fold (1450-1504 mg/l), with the sCOD/total chemical oxygen demand (tCOD) ratio rising from 4.6 to 15.7%, mainly within the first 5-10 hours due to the hydrolysis of readily degradable EPS and intracellular components. These results confirm low-temperature thermal hydrolysis process (LT-THP) as a promising and cost-effective solution for enhancing anaerobic digestion and energy recovery from municipal sewage sludge.

Keywords: **anaerobic digestion, extracellular polymeric substances network disruption, low-temperature thermal hydrolysis process, soluble chemical oxygen demand, waste activated sludge pretreatment.**

Classification numbers: **2.4, 2.7, 2.8**

[*]Tác giả liên hệ: Email: hanttha@hau.edu.vn

1. Mở đầu

Việc phát sinh bùn hoạt tính thải (WAS) là hoạt động thường xuyên của các quy trình xử lý nước thải bằng biện pháp sinh học, và việc quản lý lượng bùn thải khổng lồ này đặt ra những thách thức lớn về kinh tế, vận hành và môi trường cho các nhà máy xử lý nước thải (Waste Water Treatment Plant - WWTP).

Theo nhiều nghiên cứu, việc xử lý bùn thải - bao gồm làm đặc, ổn định, tách nước, vận chuyển và xử lý cuối cùng - chiếm khoảng 50-60% tổng chi phí vận hành của các nhà máy xử lý nước thải [1, 2]. Ngoài áp lực tài chính, việc quản lý bùn thải không tốt có thể gây ô nhiễm môi trường, làm thoái hóa đất, ô nhiễm nước, ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người và thất thoát tài nguyên [3, 4].

WAS có cấu trúc không đồng nhất và phức tạp, bao gồm các tế bào vi sinh vật, các đại phân tử hữu cơ, thành phần rắn vô cơ và một mạng lưới polyme sinh học dày đặc được gọi là các polyme ngoại bào (EPS). Cấu trúc EPS, bao gồm protein, polysaccharides, axit nucleic và lipid, liên kết chặt chẽ với nước, tạo thành một hàng rào bảo vệ, chi phối tính ổn định của bông bùn, có khả năng tách nước và chống lại sự phân hủy của vi sinh vật [5, 6]. Cấu trúc vi mô chặt chẽ này hạn chế đáng kể quá trình thủy phân, bước đầu tiên và cũng là bước quyết định tốc độ của quá trình phân hủy kỵ khí (Anaerobic Digestion - AD), dẫn đến thời gian lưu giữ lâu, phân hủy thành phần hữu cơ không tối ưu và giảm sản lượng khí CH_4 [7].

Phân hủy kỵ khí vẫn là phương pháp thường được dùng để ổn định bùn do những lợi ích về môi trường và khả năng chuyển đổi thành phần rắn hữu cơ thành khí sinh học, chủ yếu là khí CH_4, có thể được khai thác làm nguồn năng lượng tái tạo [1, 8]. Tuy nhiên, hiệu suất của AD bị hạn chế đáng kể bởi quá trình thủy phân chậm của các bông bùn khó phân hủy. Để giải quyết tình trạng này, một loạt các công nghệ tiền xử lý đã được phát triển, nhằm mục đích đẩy nhanh quá trình thủy phân, tăng khả năng hòa tan bùn, cải thiện khả năng phân hủy sinh học và giảm tổng thể tích bùn [7, 9]. Các quá trình tiền xử lý này bao gồm các phương pháp cơ học như siêu âm và đồng nhất hóa áp suất cao, các phương pháp hóa học như xử lý kiềm và quá trình oxy hóa, xử lý sinh học sử dụng các enzyme hoặc vi sinh vật nuôi cấy đặc hiệu, và xử lý nhiệt. Tiền xử lý siêu âm giúp phá vỡ cấu trúc tế bào và tăng oxy hóa học dạng hoà tan (sCOD) hiệu quả, được coi là phương pháp tiết kiệm điện năng nhất. Tuy nhiên, phương pháp hóa học (kiềm, oxy hóa) dù hòa tan mạnh chất hữu cơ nhưng lại tốn chi phí hóa chất, dễ gây ức chế vi sinh và có nguy cơ giải phóng kim loại nặng. Xử lý sinh học ít tiêu tốn năng lượng nhưng vận hành rất phức tạp và hiệu quả thường thấp hơn nhiệt. Trong số các công nghệ tiền xử lý, thủy phân nhiệt (THP) đã nhận được sự chú ý đáng kể và được áp dụng thương mại nhờ khả năng phá vỡ hiệu quả các tế bào vi khuẩn, hòa tan chất hữu cơ, bất hoạt mầm bệnh và cải thiện khả năng tách nước của bùn [10]. THP nhiệt độ cao (HT-THP), thường được vận hành ở nhiệt độ 160-180°C trong điều kiện áp suất cao, đã được chứng minh là làm tăng đáng kể sản xuất CH_4 và giảm chất rắn dễ bay hơi bằng cách phá vỡ thành tế bào và làm biến tính cấu trúc protein [10, 11]. Tuy nhiên, HT-THP đi kèm với mức tiêu thụ năng lượng cao và có thể tạo ra các sản phẩm phụ như melanoidin thông qua phản ứng Maillard, đặc biệt là ở nhiệt độ trên 140°C, điều này có thể ảnh hưởng xấu đến hiệu suất AD [7]. Trong khi đó, công nghệ nhiệt thấp chiếm ưu thế nhờ khả năng nâng cao hiệu suất sinh khí ổn định, diệt khuẩn triệt để và vận hành đơn giản. Khác với nhiệt độ cao (>140°C), nhiệt độ thấp tránh được phản ứng Maillard tạo chất ức chế, đồng thời tận dụng hiệu quả nguồn nhiệt dư sẵn có tại các nhà máy, giúp tối ưu hóa chi phí đầu tư và vận hành [9]. Do đó, LT-THP đang ngày càng được ưa chuộng, thường được áp dụng ở nhiệt độ dưới 100°C. LT-THP cung cấp một giải pháp thay thế tiết kiệm năng lượng hơn và vận hành đơn giản hơn, đồng thời vẫn đạt được những cải thiện đáng kể về khả năng hòa tan chất hữu cơ và phân hủy một phần bông cặn [12-15]. Một số nghiên cứu đã chứng minh rằng nhiệt độ là yếu tố chính ảnh hưởng đến khả năng hòa tan, với khoảng 80°C thường được xác định là chế độ nhiệt tối ưu để giải phóng các hợp chất hữu cơ hòa tan và tăng cường quá trình axit hóa. Điều quan trọng là LT-THP tránh được nhiều phản ứng phân hủy nhiệt thường gặp ở nhiệt độ cao, giảm nguy cơ hình thành các sản phẩm phụ khó phân hủy hoặc ức chế [13, 16].

Các phương pháp tiếp cận kết hợp LT-THP với các tác nhân hóa học, đặc biệt là các chất kiềm, đã cho thấy hiệu quả hòa tan được cải thiện, với các nghiên cứu về sự gia tăng đáng kể sCOD và cải thiện tiềm năng sinh khí CH_4 [14, 17]. Tuy nhiên, các phương pháp này đòi hỏi phải

định lượng hóa chất và có thể tạo ra thêm chất rắn hòa tan, khiến các phương pháp LT-THP thuần túy trở nên ưu thế đối với các cơ sở muốn sử dụng ít hóa chất đầu vào.

Mặc dù lợi ích của LT-THP đã được chứng minh, vẫn còn nhiều khoảng trống về mối quan hệ giữa điều kiện nhiệt độ thấp với các đặc tính lý hóa và hình thái của bùn. Các nghiên cứu hiện tại chưa làm sáng tỏ đầy đủ các biến đổi cấu trúc của bông bùn, các con đường phá vỡ EPS, hoặc mối quan hệ giữa sự phân hủy bông bùn do nhiệt và sự cải thiện về tuổi bùn, khả năng hòa tan và hiệu suất AD [6, 18]. Các bài đánh giá gần đây nhấn mạnh rằng, mặc dù các phương pháp tiền xử lý tiên tiến đã được nghiên cứu rộng rãi, nhưng rất ít nghiên cứu tích hợp các phân tích đa quy mô để so sánh sự giải phóng chất hữu cơ với các thay đổi cấu trúc vi mô trong WAS dưới tác động của nhiệt độ thấp [9, 13]. Việc hiểu rõ các cơ chế này là điều cần thiết để tối ưu hóa các thông số LT-THP và tạo điều kiện cho việc ứng dụng hiệu quả năng lượng, quy mô lớn trong các nhà máy xử lý nước thải đô thị.



Hình 1. Một số hình ảnh lấy mẫu tại Nhà máy xử lý nước thải Kim Liên, Hà Nội. Nguồn: Nhóm tác giả.

Nghiên cứu này nhằm mục đích xem xét tác động của tiền xử lý nhiệt ở nhiệt độ thấp đối với WAS đô thị. Cụ thể, nghiên cứu này tập trung vào: (1) sự tăng cường khả năng hòa tan chất hữu cơ và giảm chất rắn dễ bay hơi dưới tác động của LT-THP, (2) những thay đổi về tuổi bùn, cấu trúc vi mô của bông bùn và đặc điểm hình thái do nhiệt gây ra. Bằng cách thiết lập mối liên hệ cơ học giữa quá trình phá vỡ bông bùn và khả năng hòa tan, nghiên cứu này cung cấp những căn cứ cần thiết cho việc tối ưu hóa và mở rộng quy mô LT-THP trong các cơ sở xử lý nước thải.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguồn bùn thải

Bùn hoạt tính thải sử dụng trong nghiên cứu này được thu thập từ bể lắng thứ cấp của nhà máy xử lý nước thải đô thị Kim Liên, Hà Nội, Việt Nam (hình 1). Cơ sở này có công suất 3700 m^3/ngày đêm, vận hành quy trình bùn hoạt tính thông thường, bao gồm xử lý sơ cấp, sục khí sinh học và các cụm lắng thứ cấp. Nhà máy phục vụ cho một khu vực dân cư đô thị và xử lý chủ yếu nước thải sinh hoạt bằng hệ thống bùn hoạt tính hiếu khí thông thường.

Bùn WAS thu thập được thể hiện các đặc điểm điển hình của bùn thứ cấp từ WWTP đô thị, bao gồm độ ẩm cao (khoảng 98-99%) và tỷ lệ chất rắn dễ bay hơi ở mức trung bình. Để tăng nồng độ tổng chất rắn (TS) và giảm thiểu tác động pha loãng trong các phân tích tiếp theo, bùn được để lắng tự nhiên 0,5-1 giờ, sau đó gạn bỏ bớt nước, sao cho hàm lượng MLSS trong khoảng 18.000-19.000 mg/l. Tất cả các phân tích được thực hiện ngay sau khi lấy mẫu. Khi không thể phân tích ngay, các mẫu bùn được bảo quản ở nhiệt độ 4±1°C trong các thùng kín bằng nhựa polyethylene mật độ cao trong tối đa 72 giờ để ức chế hoạt động của vi sinh vật và ngăn ngừa các biến đổi sinh hóa không mong muốn (theo APHA 2017) và đã được chứng minh là không ảnh hưởng đáng kể đến các thông số lý hóa học chính của WAS như TS, chất rắn dễ bay hơi (VS), pH và thành phần hữu cơ khi thời gian lưu trữ không quá một tuần).

2.2. Thủy phân nhiệt ở nhiệt độ thấp đối với bùn hoạt tính thải

Thủy phân nhiệt ở nhiệt độ thấp được tiến hành trong điều kiện phòng thí nghiệm được kiểm soát bằng một loạt các thí nghiệm theo mẻ (hình 2).



Hình 2. Một số hình ảnh xử lý mẫu tại phòng thí nghiệm. Nguồn: Nhóm tác giả.

Tất cả các thử nghiệm được thực hiện trong bình đong thủy tinh chứa 250 ml bùn hoạt tính thải đã được để lắng để cô đặc. Xử lý nhiệt được áp dụng ở dải nhiệt độ 50; 60; 70; 80 và 90°C, để nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ đến quá trình phân hủy bùn và hòa tan thành phần hữu cơ. Thí nghiệm sử dụng thiết bị gia nhiệt GFL (Model 1023, Đức). Nhiệt độ được kiểm soát bằng cách sử dụng bể điều nhiệt với độ chính xác ±0,5°C. Đối với mỗi điều kiện nhiệt độ, các bình được bịt kín bằng giấy bạc để giảm thiểu sự bay hơi và được trộn nhẹ nhàng trên máy khuấy ở tốc độ 40-50 vòng/phút, đảm bảo phân phối nhiệt đồng đều trong mẫu, ngăn ngừa hiện tượng sủi bọt có thể làm thay đổi cấu trúc bông bùn. Thời gian tiền xử lý được lựa chọn dựa trên các nghiên cứu động học nhiệt thông thường và bao gồm 0,5; 1; 3; 5; 10 và 24 giờ. Các thí nghiệm đều được thực hiện tối thiểu 3 lần để giảm sự sai khác thực nghiệm, lấy giá trị trung bình và độ lệch chuẩn SD.

2.3. Phương pháp phân tích

Các đặc tính lý hóa đều được thực hiện ba lần theo phương pháp tiêu chuẩn (APHA, AWWA, WEF, 2017). Các thông số phân tích gồm pH, TS, VS, MLSS, SVI_{30}, tCOD, sCOD, tổng nitơ (TN), tổng phốt pho (TP) và một số kim loại nặng (Cd, Zn, Pb, Cu, Mn).

Độ pH được đo ngay sau khi lấy mẫu bằng máy đo pH để bàn đã hiệu chuẩn (Hanna HI-2211). TS và VS được xác định bằng phương pháp trọng lượng 2540B và 2540E, MLSS được định lượng theo phương pháp 2540D. SVI_{30} được tính toán từ thể tích bùn lắng trong xi lanh chia độ 1 l sau 30 phút lắng tĩnh (Phương pháp 2710D). Giá trị tCOD được phân tích bằng phương pháp chuẩn độ hồi lưu kín (Phương pháp 5220C). Để xác định sCOD, các mẫu được lọc qua màng lọc 0,45 µm; dịch lọc thu được sau đó được phân tích sCOD. TN và TP được xác định khi phân hủy persulfate, sau đó phát hiện bằng phương pháp quang phổ (Phương pháp 4500-N C và 4500-P B.5). Nitơ amoniac được xác định bằng phương pháp salicylat-hypoclorit (Phương pháp 4500-NH3 F). Nồng độ kim loại nặng được định lượng bằng phương pháp quang phổ phát xạ plasma cảm ứng (ICP-OES, PerkinElmer Optima 8300) sau khi phân hủy bằng axit HNO_3/HCl (Phương pháp EPA 3015A). Các quy trình đảm bảo và kiểm soát chất lượng bao gồm mẫu trắng, mẫu lặp và mẫu đối chứng được chứng nhận trong các lần phân tích. Tất cả kết quả được biểu thị dưới dạng giá trị trung bình, với độ lệch chuẩn tương đối luôn dưới 5% đối với sCOD, TS, VS và kim loại nặng, và dưới 2% đối với pH và SVI_{30}. Cấu trúc vi mô bề mặt của bùn trước và sau khi xử lý nhiệt được chụp bằng SEM.

2.4. Thiết bị thí nghiệm và xử lý số liệu

Các thiết bị thí nghiệm được dùng trong nghiên cứu là: Thiết bị gia nhiệt GFL (Model 1023, CHLB Đức), máy chụp SEM (thiết bị điện tử quét SEM model JSM 6500, hãng Jeol, Nhật Bản), lò nung Nabertherm - Đức.

Số liệu thể hiện giá trị trung bình của n mẫu lặp, kèm theo độ lệch chuẩn (Standard Deviation - SD) được tính theo công thức:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

trong đó: x_i là giá trị đo ở lần lặp thứ i; $\bar{x}$ là giá trị trung bình; n là số lần lặp của thí nghiệm (trong nghiên cứu này n=3).

Số liệu được xử lý và vẽ biểu đồ với các phần mềm Microsoft Excel 2019 và SigmaPlot 13.0.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Đặc điểm của bùn hoạt tính

Các thông số được trình bày trong bảng 1 cho thấy, WAS thu được từ nhà máy xử lý nước thải đô thị Kim Liên. Độ pH 6,9 nằm trong khoảng trung tính thường thấy ở các hệ thống xử lý hiếu khí được vận hành ổn định, phù hợp với các giá trị được báo cáo cho WAS [1, 5]. Hàm lượng ẩm cao (97,45%) phản ánh khả năng giữ nước của các bông bùn, chủ yếu là do EPS cao, liên kết với nước thông qua tương tác vật lý và hóa học. Đặc tính này được công nhận rộng rãi là một yếu tố chính góp phần làm giảm khả năng tách nước và tốc độ thủy phân chậm của WAS [6, 7, 18].

Bảng 1. Đặc tính bùn thải từ trạm xử lý nước thải đô thị dùng trong nghiên cứu (giá trị thể hiện $\bar{x}$±SD với n=3).

Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị
pH		6,9±0,14
Nước	%	97,45±1,17
Tổng chất rắn (TS)	g/l	21,5±0,97
Chất rắn lơ lửng trong dung dịch (MLSS)	g/l	18,42±0,66
Chất rắn dễ bay hơi (VS)	g/l	16,54±0,69
Nhu cầu oxy hoá học dạng hoà tan	mg/l	450±21,15
Nhu cầu oxy hoá học dạng tổng số	mg/l	9556±487,36
Tổng phốt pho (TP)	%TS	1,82±0,06
Tổng nitơ (TN)	%TS	2,76±0,13
Cd	mg/l	0,02
Zn	mg/l	1,45±0,1
Pb	mg/l	0,04
Cu	mg/l	-
Mn	mg/l	0,42±0,03

-: Không phát hiện.

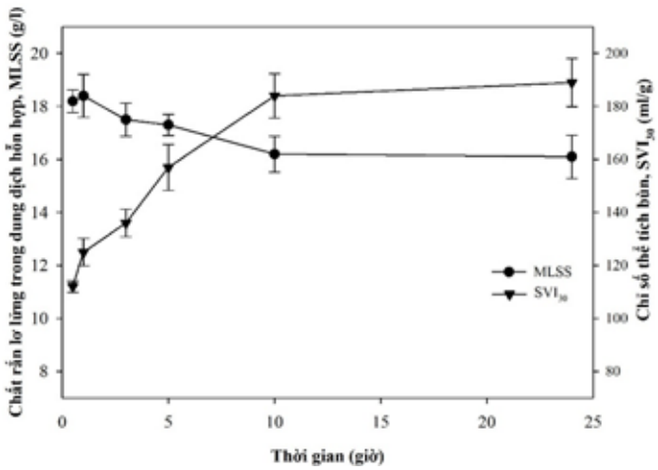
Giá trị TS và VS cho thấy hàm lượng hữu cơ cao (VS/TS là 77%), phù hợp với báo cáo trước đây cho thấy bùn hoạt tính thường chứa 60-80% chất hữu cơ dễ phân hủy sinh học [1, 7]. Hàm lượng VS cao thường có lợi cho quá trình AD về mặt tiềm năng sinh khí CH_4, tuy nhiên, tốc độ phân hủy sinh học vẫn bị hạn chế nếu không được xử lý sơ bộ để phá vỡ sự bảo vệ vật lý của EPS và thành tế bào vi khuẩn [7]. Nồng độ MLSS 18,42 g/l và giá trị SVI_{30} 112 ml/g cho thấy sinh khối đặc với khả năng lắng tốt. Chỉ số SVI_{30} dưới 150 ml/g được coi là dấu hiệu của các bông bùn hoạt tính có cấu trúc chặt chẽ và ổn định, không có xu hướng vón cục. Tuy nhiên, các bông bùn hoạt tính như vậy - được duy trì bởi EPS kết dính và sự kết tụ của vi sinh vật - có thể cản trở khả năng tiếp cận của enzyme, do đó làm chậm quá trình thủy phân trong AD [6, 7]. Giá trị tCOD là 9556 mg/l kết hợp với giá trị sCOD tương đối thấp là 450 mg/l cho thấy phần lớn thành phần hữu cơ tồn tại ở dạng hạt hoặc dạng liên kết với EPS, chỉ có khoảng 4,7% ở dạng hòa tan. Điều này phù hợp với các phát hiện trước đây cho thấy sCOD thường chiếm dưới 5-10% tCOD trong WAS chưa qua xử lý [1, 15]. Tỷ lệ nhu cầu oxy hóa học dạng hoà tan/nhu cầu oxy hóa học tổng số (sCOD/tCOD) thấp cho thấy chất nền bị hạn chế thủy phân, cần phải xử lý sơ bộ - chẳng hạn như xử lý nhiệt ở nhiệt độ thấp - để phá vỡ EPS và tăng cường khả năng hòa tan trước khi xử lý bề mặt [7].

Hàm lượng dinh dưỡng bao gồm TP có giá trị là 1,82% TS và TN là 2,76% TS nằm trong phạm vi điển hình được báo cáo cho WAS [5]. Các kim loại nặng Cd, Pb, Zn và Mn được phát hiện ở mức thấp, trong khi Cu không được phát hiện, cho thấy bùn chủ yếu có nguồn gốc từ nguồn nước thải sinh hoạt chứ không phải nước thải công nghiệp [3, 4]. Nhìn chung, các đặc điểm ban đầu cho thấy bùn giàu chất hữu cơ, có cấu trúc bông bùn chặt chẽ và chỉ chứa một tỷ lệ nhỏ chất hữu cơ hòa tan. Những đặc điểm này khiến bùn trở thành chất nền lý tưởng để nghiên cứu các công nghệ tiền xử lý. Đặc biệt, khoảng cách lớn giữa tCOD và sCOD là cơ sở vững chắc cho việc áp dụng tiền xử lý nhiệt ở nhiệt độ thấp, điều này đã được chứng minh là phá vỡ EPS, tăng cường giải phóng COD hòa tan và cải thiện khả năng phân hủy sinh học sau đó của WAS [1, 13].

3.2. Ảnh hưởng của LT-THP lên sinh khối và khả năng lắng của bùn

Sự biến thiên của chất rắn lơ lửng trong dung dịch hỗn hợp (MLSS) và chỉ số thể tích bùn 30 phút (SVI_{30}) trong quá trình tiền xử lý nhiệt ở nhiệt độ thấp được trình bày trong hình 3. Mối tương quan nghịch giữa hai thông số này được quan sát thấy khi thời gian tiếp xúc nhiệt liên tục tăng lên. MLSS giảm từ giá trị ban đầu là 18,2 g/l sau 0,5 giờ xuống còn 18,1; 17,5; 17,3; 16,2 và

16,1 g/l sau 1; 3; 5; 10 và 24 giờ. Điều này tương ứng với mức giảm tổng thể khoảng 11% sau 24 giờ xử lý.



Hình 3. Sự thay đổi của sinh khối và khả năng lắng của WAS (giá trị thể hiện x̄±SD với n=3). Nguồn: Nhóm tác giả.

Sự suy giảm giá trị MLSS cho thấy sự hòa tan một phần của thành phần hữu cơ dạng hạt, kèm theo sự phá vỡ cấu trúc bông cặn do nhiệt, theo đó các chất rắn liên kết với EPS và các thành phần nội bào được chuyển vào pha hòa tan thông qua quá trình biến tính do nhiệt, làm yếu kết cấu bông cặn [7, 10].

Ngược lại, SVI_{30} tăng rõ rệt, từ 112 ml/g sau 0,5 giờ lên 125, 136, 157, 184 và 189 ml/g sau lần lượt 1; 3; 5; 10 và 24 giờ. Các giá trị vượt quá 150 ml/g sau 5 giờ phản ánh sự chuyển đổi từ bùn lắng tốt sang trạng thái bông cặn lớn, suy yếu dần. Sự suy giảm khả năng lắng này có thể là do mất độ đặc và độ kết dính của các bông bùn, do sự phá vỡ mạng lưới EPS và sự suy yếu các liên kết cation hóa trị II (Ca^{2+}, Mg^{2+}) ảnh hưởng tới tính toàn vẹn của bông bùn [6, 18]. Khi EPS trải qua quá trình trương nở do nhiệt và được hòa tan một phần, các nhóm chức như nhóm carboxyl, phosphate và amino bị ion hóa, tạo ra lực đẩy tĩnh điện giữa các mảnh bông bùn và thúc đẩy sự phân tán của chúng thành các hạt nhỏ hơn, nhẹ hơn và ít đặc hơn. SVI_{30} tăng mạnh phù hợp với các quan sát trong các nghiên cứu tiền xử lý nhiệt trước đây, trong đó nhiệt độ 60-90°C làm giảm mật độ của bông bùn, thúc đẩy quá trình trương nở và phân mảnh, dẫn đến giảm vận tốc lắng trọng lực [12, 13]. Sự khác biệt giữa MLSS giảm và SVI_{30} tăng củng cố kết luận rằng kết cấu bùn trải qua sự thay đổi vi cấu trúc đáng kể, chủ yếu do sự phân hủy EPS và sự vỡ một phần thành tế bào.

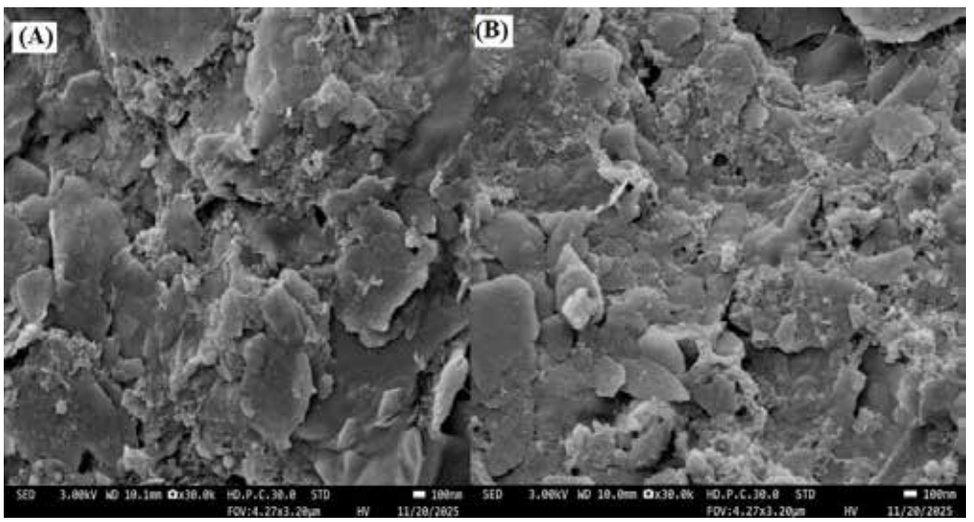
Hơn nữa, việc gia nhiệt kéo dài (≥10 giờ) dường như làm dịch chuyển kết cấu bông bùn chặt chẽ sang trạng thái phân tán và keo hơn, thể hiện qua sự ổn định của MLSS quanh mức 16 g/l và sự gia tăng liên tục của SVI_{30}. Kết quả tương tự đã được báo cáo trong các nghiên cứu mô tả bùn phân hủy nhiệt, trong đó việc giải phóng các polyme sinh học có trọng lượng phân tử cao và các đại phân tử nội bào dẫn đến tăng độ nhớt của chất lỏng, cản trở quá trình lắng và giảm khả năng keo tụ [14, 19]. Mặc dù độ nhớt không được đánh giá trong nghiên cứu này, nhưng đặc điểm SVI_{30} quan sát được cho thấy rõ ràng những thay đổi như vậy.

Nhìn chung, tác động kết hợp của việc giảm MLSS và tăng SVI_{30} liên quan đến quá trình tiền xử lý nhiệt: sự phân hủy và hòa tan hạt tăng lên. Xu hướng này cũng được phản ánh các báo cáo nghiên cứu tiền xử lý nhiệt và nhiệt - kiềm khác, trong đó SVI_{30} tăng lên trong khoảng 150-250 ml/g trong quá trình gia nhiệt kéo dài hoặc điều kiện pH cao. Do đó, để triển khai tiền xử lý nhiệt trên quy mô lớn có thể yêu cầu tăng cường tách lỏng - rắn (ví dụ: bổ sung polyme, ly tâm hoặc xử lý nhiệt - hóa học kết hợp) để giảm thiểu tác động bất lợi đến khả năng lắng trong khi vẫn duy trì lợi ích của việc cải thiện khả năng hòa tan [15, 19].

3.3. Sự thay đổi cấu trúc của bùn hoạt tính khi xử lý bằng nhiệt

Sự thay đổi cấu trúc vi mô của bùn hoạt tính thải trong quá trình tiền xử lý nhiệt ở nhiệt độ thấp đã được kiểm tra bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM), như thể hiện trong hình 4. Sự khác biệt rõ ràng về hình thái đã được quan sát thấy giữa bùn chưa xử lý (hình 4A) và mẫu được xử lý nhiệt ở 80°C (hình 4B), chứng minh rằng việc gia nhiệt nhẹ gây ra những thay đổi vật lý đáng kể trong bông bùn.

Ở điều kiện chưa xử lý, bề mặt bùn có vẻ đặc và kết tụ cao, đặc trưng bởi các bông bùn liên kết chặt chẽ giàu EPS. Độ đặc này là đặc trưng của bùn hoạt tính, nơi các chất chủ yếu bao gồm protein, polysaccharides và lipid đóng vai trò là khung liên kết giữ các tế bào vi sinh vật và các hạt vô cơ lại với nhau [6, 18]. Hình thái mịn, kết dính quan sát được trong hình 4A phản ánh sự kết dính giữa các tế bào mạnh mẽ và mạng lưới EPS cầu nối cation, vốn được biết là hạn chế khả năng phân hủy sinh học và cản trở quá trình thủy phân trong quá trình tiêu hóa kỵ khí [7]. Sau khi xử lý nhiệt ở 80°C, cấu trúc của khối bông



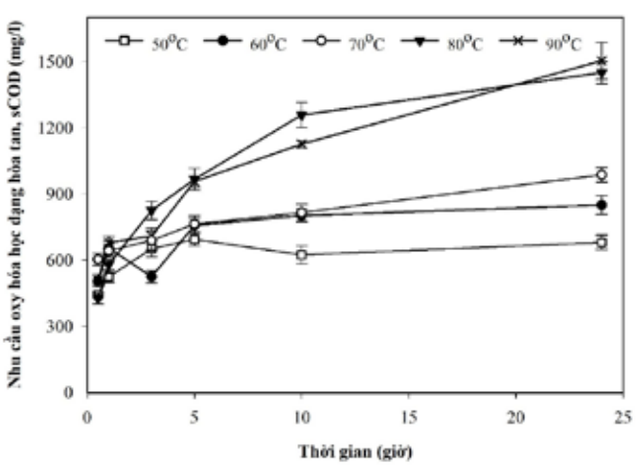
Hình 4. Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét bề mặt của bùn thải trước (A) và sau khi xử lý bằng nhiệt ở 80°C (B). Nguồn: Nhóm tác giả.

trải qua quá trình nới lỏng và phân mảnh đáng kể (hình 4B). Bề mặt trở nên không đều hơn, với các vết nứt nhỏ có thể nhìn thấy, các lỗ rỗng mở rộng và các lớp EPS bị phá vỡ. Những thay đổi hình thái này cho thấy sự khởi đầu của quá trình biến tính nhiệt của EPS, làm suy yếu liên kết hydro và phá vỡ một phần cấu trúc polyme, tất cả làm giảm tính toàn vẹn của khối bông. Sự phân hủy cấu trúc tương tự dưới tác động của nhiệt độ vừa phải (60-90°C) đã được ghi nhận trong các nghiên cứu trước đây, trong đó tiếp xúc với nhiệt thúc đẩy sự mở ra của các polyme sinh học, tách lớp EPS bên ngoài và tăng giải phóng các thành phần nội bào [12, 18].

Sự hình thành các lỗ rỗng và khe nứt cho thấy màng tế bào và xương sống EPS bị mất ổn định dưới tác động của ứng suất nhiệt. Điều này làm tăng tính thấm, cho phép chất hữu cơ hòa tan thẩm thấu từ bên trong các bông cặn vào khối chất lỏng - một cơ chế quan trọng dẫn đến sự gia tăng sCOD được quan sát thấy trong quá trình tiền xử lý nhiệt. Kiểu phân hủy này phù hợp với mô hình trong đó nhiệt độ vừa phải phá vỡ các liên kết yếu (cầu nối ion, tương tác van der Waals, tiếp xúc kỵ nước) trong kết cấu EPS [19], do đó thúc đẩy sự trương nở và phân mảnh của bông cặn. Một quan sát đáng chú ý khác là sự xuất hiện của các hạt nhỏ hơn giống như mảnh vụn nằm rải rác trên bề mặt bùn đã qua xử lý nhiệt. Những hạt mịn này phản ánh sự bong tách và phân hủy các tập hợp vi khuẩn, góp phần làm giảm MLSS và tăng SVI_{30}. Những chuyển đổi như vậy phù hợp với các báo cáo trước đây cho thấy quá trình thủy phân nhiệt làm chuyển dịch bùn từ cấu trúc đặc sang cấu trúc vi mô phân tán hơn [13]. Quan sát hình ảnh hiển vi của bùn có thể đi đến kết luận rằng quá trình tiền xử lý nhiệt ở nhiệt độ thấp tạo ra sự chuyển đổi từ bùn đặc và đàn hồi sang cấu trúc xốp, phân mảnh và yếu hơn. Sự thay đổi cấu trúc này đóng vai trò quan trọng trong việc tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình hòa tan chất hữu cơ, tăng khả năng tiếp cận bùn với các enzyme thủy phân và cải thiện tiềm năng phân hủy sinh học ở các công đoạn xử lý sau này.

3.4. Sự hòa tan thành phần hữu cơ trong quá trình xử lý nhiệt

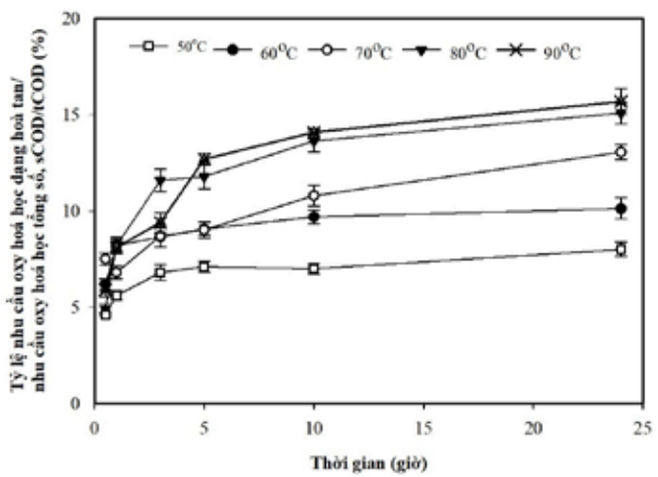
Kết quả hình 5 và 6 cho thấy rõ sự gia tăng đáng kể thành phần sCOD và tỷ lệ sCOD/tCOD tương ứng theo cả nhiệt độ và thời gian xử lý sơ bộ, khẳng định khả năng hòa tan rõ rệt của quá trình xử lý sơ bộ bằng nhiệt ở nhiệt độ thấp trên WAS. Ở điều kiện nhiệt độ thấp nhất (50°C), sCOD chỉ thể hiện sự thay đổi hạn chế, tăng từ 442 mg/l sau 0,5 giờ lên 624 mg/l sau 10 giờ, với tỷ lệ sCOD/tCOD duy trì dưới 7% trong suốt thời gian xử lý. Điều này cho thấy chỉ một phần nhỏ chất hữu cơ dạng hạt được giải phóng, và hầu hết chất hữu cơ vẫn được bao bọc trong ma trận bông bùn nén chặt hoặc các khoang nội bào, hạn chế khả năng tiếp cận của chúng với các quá trình thủy phân, tương tự như các quan sát trong các hệ thống bùn chưa được xử lý hoặc chịu ứng suất tối thiểu [12]. Ở 60°C, khả năng hòa tan chất hữu cơ có xu hướng được cải thiện so với 50°C, nhưng mức tăng sCOD vẫn chưa rõ rệt, cho thấy nhiệt độ này mới bắt đầu thúc đẩy quá trình phá vỡ bông bùn và giải phóng chất hữu cơ hòa tan.



Hình 5. Sự thay đổi của thành phần hữu cơ hòa tan trong quá trình xử lý nhiệt (giá trị thể hiện x̄±SD với n=3). Nguồn: Nhóm tác giả.

Ngược lại, xử lý sơ bộ ở nhiệt độ ≥70°C dẫn đến sự gia tăng nhanh chóng và rõ rệt của thành phần hữu cơ hòa tan. Ở 70°C, sCOD tăng lên 987 mg/l sau 24 giờ, tương ứng với tỷ lệ sCOD/tCOD là 11,7%. Điều kiện nhiệt độ 80 và 90°C gây ra phản ứng hòa tan mạnh nhất: sCOD tăng mạnh trong vòng 3-5 giờ đầu, đạt 1258 mg/l (ở 80°C) và 1335 mg/l (ở 90°C) sau 10 giờ, và tiếp tục tăng lên 1450 và 1504 mg/l sau 24 giờ. Các giá trị này thể hiện mức tăng từ 2,5 đến 3,3 lần so với sCOD ban đầu và khẳng định rằng ứng suất nhiệt từ trung bình đến cao có hiệu quả cao trong việc hòa tan thành phần hữu cơ từ pha hạt vào pha nước.

Tỷ lệ sCOD/tCOD tương ứng tăng lên 13,7% (ở 80°C) và 15,7% (ở 90°C), gần gấp ba lần mức độ hòa tan của bùn thô. Động học quá trình hòa tan ở những nhiệt độ này cho thấy hầu hết sự giải phóng chất hữu cơ xảy ra trong 5-10 giờ đầu tiên, sau đó hệ thống tiến gần đến trạng thái gần bão hòa, cho thấy sự suy giảm các phần dễ phân hủy của EPS và vật liệu tế bào. Việc hòa tan hai pha này phù hợp với các mô tả về việc phá hủy nhanh chóng kết cấu của EPS, sau đó là sự giải phóng nội bào [13, 17].



Hình 6. Tỷ lệ hòa tan thành phần hữu cơ trong quá trình tiền xử lý bùn thải với nhiệt (giá trị thể hiện x̄±SD với n=3). Nguồn: Nhóm tác giả.

Cơ chế cơ bản có thể là do sự suy yếu nhiệt của cấu trúc EPS, sự biến tính của phức hợp protein-polysaccharide và sự vỡ một phần màng tế bào vi khuẩn. Ở nhiệt độ trên 70°C, kết cấu của EPS được sắp xếp lại cấu trúc do phá vỡ các miền kỵ nước, phá vỡ các liên kết hydro và phân ly các cầu cation (Ca^{2+}, Mg^{2+}), do đó giải phóng các biopolymer có trọng lượng phân tử cao vào pha hòa tan [6, 19]. Nhiệt độ cao cũng làm tăng tốc độ khuếch tán của các vật liệu nội bào vào khối chất lỏng sau khi thành tế bào mất ổn định nhiệt - một hiện tượng đã được ghi nhận rõ ràng trong các quá trình thủy phân nhiệt [8]. Khi các bông cặn bị yếu đi do nhiệt và bị tách bông, các hạt rắn chuyển thành các phần mịn hơn hoặc hòa tan vào pha nước, do đó góp phần trực tiếp làm tăng giá trị sCOD. Mối liên hệ cơ học này giữa sự phân hủy cấu trúc và quá trình hòa tan đã được chứng minh rõ ràng trong các nghiên cứu tiền xử lý nhiệt [11, 16]. Giá trị sCOD/tCOD là 15,7%, tuy vẫn thấp hơn ngưỡng 40% thường thấy trong điều kiện tiền xử lý kiềm [16], nhưng vẫn có ý nghĩa quan trọng trong bối cảnh tiền xử lý nhiệt ở nhiệt độ thấp. Điều quan trọng là, nhiệt độ 80-90°C đạt được khả năng hòa tan mạnh nhất với mức năng lượng đầu vào hợp lý, phù hợp đối với các cấu hình xử lý bùn tiết kiệm năng lượng. Nghiên cứu này xác nhận tiềm năng của LT-THP là một phương pháp hiệu quả để cải thiện khả năng thủy phân của WAS và tăng cường khả năng phân hủy sinh học ở giai đoạn xử lý tiếp theo.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, LT-THP khoảng 80-90°C là một phương pháp hiệu quả để tăng cường quá trình phân hủy và hòa tan WAS. Tiếp xúc nhiệt trong khoảng này làm suy yếu đáng kể cấu trúc bùn, thúc đẩy quá trình phân mảnh bông cặn và tạo điều kiện giải phóng các hạt và chất hữu cơ nội bào vào pha hòa tan. Xử lý nhiệt làm tăng 2,5-3,3 lần giá trị sCOD, với giá trị tối đa đạt 1504 mg/l, và tăng tỷ lệ sCOD/tCOD từ 4,6% trong bùn chưa xử lý lên 15,7%. Quá trình hòa tan diễn ra hầu hết trong vòng 5-10 giờ đầu tiên, cho thấy sự suy giảm nhanh chóng các thành phần EPS dễ bị phân hủy. Mặc dù các giá trị này vẫn thấp hơn so với giá trị thường đạt được khi xử lý sơ bộ bằng kiềm mạnh nhưng vẫn thể hiện sự cải thiện đáng kể đối với một quy trình chỉ sử dụng nhiệt, không sử dụng hóa chất.

Hình ảnh SEM xác nhận sự phá vỡ EPS, hình thành lỗ rỗng và bong tróc bông cặn, trong khi các tế bào vi sinh vật phần lớn vẫn giữ nguyên hình thái của chúng - cho thấy sự phân hủy nhiệt chủ yếu tác động đến các polyme ngoại bào, ít tác động sự phân hủy hoàn toàn tế bào. Những thay đổi hình thái này tương ứng với MLSS giảm 11% và SVI_{30} tăng từ 112 lên 189 ml/g, phản ánh sự thay đổi điển hình giữa khả năng hòa tan và khả năng

lắng trong quá trình xử lý nhiệt. Nghiên cứu cũng chỉ ra mối quan hệ về mặt cơ học trong quá trình phân hủy EPS và phân hủy bông cặn trong các điều kiện nhiệt độ thấp. Đây là nghiên cứu đầu tiên ở Việt Nam khảo sát các điều kiện thực nghiệm tiền xử lý WAS từ quá trình sinh học của trạm xử lý nước thải sinh hoạt đô thị tập trung, đưa ra những kết quả về khả năng hòa tan bùn (sCOD), thay đổi đặc tính lắng (SVI_{30}) và quan sát được sự thay đổi của bề mặt bông bùn thông qua ảnh SEM, tạo cơ sở kỹ thuật ban đầu cho việc tối ưu hóa quá trình tiền xử lý WAS trên quy mô lớn.

LỜI CẢM ƠN

Tập thể tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội tạo điều kiện nghiên cứu; Bộ Nông nghiệp và Môi trường đã cấp kinh phí thông qua đề tài mã số TNMT.DL.2023.01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] L. Appels, J. Baeyens, J. Degreve, et al. (2008), "Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge", *Progress in Energy and Combustion Science*, **34(6)**, pp.755-781, DOI: 10.1016/j.pecs.2007.06.006.

[2] S. Yang, X. Li, S. Yu, et al. (2015), "Evaluation of sludge reduction efficiencies using different sludge pretreatment methods", *Bioresource Technology*, **193**, pp.82-90.

[3] T.V. Nguyen, V.T. Nguyen, H.L. Pham (2013), "Assessment of environmental pollution caused by improper sludge management in Vietnam", *Journal of Vietnamese Environmental Science*, **5(2)**, pp.41-49 (in Vietnamese).

[4] N.V Anh, B.T Thuy, V.T.M Thanh (2017), *Sludge Treatment at The Wastewater Treatment Plant*, Construction Publishing House, 360pp (in Vietnamese).

[5] G. Tchobanoglous, F. Burton, H.D. Stensel (2003), *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*, McGraw-Hill, New York, 1496pp.

[6] G. Yu, P.J. He, L.M. Shao (2009), "Characteristics of extracellular polymeric substances (EPS) fractions from excess sludges and their effects on bioflocculability", *Bioresource Technology*, **100(13)**, pp.3193-3198, DOI: 10.1016/j.biortech.2009.02.009.

[7] H. Carrère, C. Dumas, A. Battimelli, et al. (2010), "Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: a review", *Journal of Hazardous Materials*, **183(1-3)**, pp.1-15, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.06.129.

[8] L.N. Tuan, P.N. Chau (2014), "Application of anaerobic digestion in the treatment and energy recovery from municipal sludge", *Hue University Journal of Science*, **91(2)**, pp.75-85 (in Vietnamese).

[9] S. Pilli, P. Bhunia, S. Yan, et al. (2011), "Ultrasonic pretreatment of sludge: A review", *Ultrasonics Sonochemistry*, **18(1)**, pp.1-18, DOI: 10.1016/j.ultsonch.2010.02.014

[10] C. Bougrier, J.P. Delgenès, H. Carrère (2008), "Effects of thermal treatments on five different waste activated sludge samples solubilisation, physical properties and anaerobic digestion", *Chemical Engineering Journal*, **139(2)**, pp.236-244, DOI: 10.1016/j.cej.2007.07.099.

[11] Y. Liu, H. Yuan, N. Zhu, Z. Yuan (2023), "Effect of thermal hydrolysis pretreatment on the stabilization of sludge with different solid contents during autothermal thermophilic aerobic digestion", *Environmental Research,* **232(1-2)**, DOI: 10.1016/j.envres.2023.116347.

[12] L. Appels, J. Degreve, B. Van der Bruggen, et. al (2010), "Influence of low temperature thermal pre-treatment on sludge solubilisation, heavy metal release and anaerobic digestion", *Bioresource Technology*, **101(15)**, pp.5743-5748, DOI: 10.1016/j.biortech.2010.02.068.

[13] N. Yang, Y. Zhang, S. Yang, et al. (2024), "Structural characteristics of organics released from sludge pretreatment and their performance in the synthesis of biomass plastics", *Chemical Engineering Journal*, **490**, DOI: 10.1016/j.cej.2024.151391.

[14] J. Chen, J. Li, X. Zhang, et al. (2020), "Pretreatments for enhancing sewage sludge reduction and reuse in lipid production", *Biotechnology for Biofuels*, **13**, DOI: 10.1186/s13068-020-01844-3**.**

[15] G. Mitraka, K. Kontogiannopoulos, M. Batsioula (2022), "A comprehensive review on pretreatment methods for enhanced biogas production from sewage sludge", *Energies*, **15(18)**, DOI: 10.3390/en15186536.

[16] X. Xu, T. Dockhorn (2024), "Investigation of thermal alkaline pretreatment of primary and waste activated sludge on the energy efficiency of sludge digestion", *Bioresource Technology*, **407**, DOI: 10.1016/j.biortech.2024.131112**.**

[17] B. Li, Y. Tang, X. Xiao, et al. (2024), "Enhanced anaerobic digestion of waste-activated sludge by thermal-alkali pretreatment: A pilot-scale study", *Water Science & Technology*, **90(1)**, pp.303-313, DOI: 10.2166/wst.2024.210.

[18] J.H.Bruus, P.H.Nielsen, K.Keiding (1992), "On the stability of activated sludge flocs with implications to dewatering", *Water Research*, **26(12)**, pp.1597-1604, DOI: 10.1016/0043-1354(92)90159-2**.**

[19] G.P. Sheng, H.Q. Yu, X.Y. Li (2010), "Extracellular polymeric substances (EPS) of microbial aggregates in biological wastewater treatment systems: A review", *Biotechnology Advances*, **28(6)**, pp.882-894, DOI: 10.1016/j.biotechadv.2010.08.001.

Nghiên cứu một số giải pháp kỹ thuật bảo quản hạt dẻ Trùng Khánh, Cao Bằng

Mã Thị Bích Thảo[1*], Trần Hà[1], Nguyễn Phương[1], Trịnh Phan Mạnh[1], Bùi Bích Thùy[1], Phùng Phương Anh[1], Hoàng Văn Tuấn[2]

[1]Viện Đổi mới sáng tạo Quốc gia, nhà C6, phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam
[2]Trường Đại học Phenikaa, đường Nguyễn Trác, phường Dương Nội, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 1/10/2025; ngày chuyển phản biện 3/10/2025; ngày nhận phản biện 20/10/2025; ngày chấp nhận đăng 29/10/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu nhằm xác định các thông số kỹ thuật trong xử lý và bảo quản hạt dẻ Trùng Khánh (tỉnh Cao Bằng cũ) nhằm kéo dài thời gian bảo quản và duy trì chất lượng. Hạt dẻ nguyên vỏ được xử lý bằng dung dịch 0,2% NaCl và 0,2% axit citric trong 30 phút, sau đó sấy ở 60°C trong 4,5 giờ để giảm ẩm xuống khoảng 40%. Sản phẩm được đóng gói chân không bằng bao bì polyethylene (PE), polypropylene (PP), polyamide (PA) và được bảo quản ở các mức nhiệt độ khác nhau (15, 5, 0, -10 và -18°C). Kết quả cho thấy, hạt dẻ đóng trong bao bì PA hút chân không bảo quản ở nhiệt độ -18°C giúp ức chế hoạt động của vi sinh vật, hạn chế oxy hóa, giữ được chất lượng ổn định có thể bảo quản đến 12 tháng mà vẫn đảm bảo chất lượng tương đương hạt dẻ trước bảo quản. Kết quả góp phần đề xuất các giải pháp kỹ thuật phù hợp bảo quản nguyên liệu hạt dẻ vào mùa vụ tại địa phương với điều kiện sản xuất nhỏ và vừa, ổn định chất lượng hạt dẻ và phát triển thương hiệu đặc sản hạt dẻ Trùng Khánh theo hướng bền vững.

Từ khóa: **bảo quản, hạt dẻ, vi sinh vật, xử lý.**

Chỉ số phân loại: **2.10, 4.1**

Study on several technical solutions for the preservation of Trung Khanh chestnuts in Cao Bang

Thi Bich Thao Ma[1*], Ha Tran[1], Phuong Nguyen[1], Phan Manh Trinh[1], Bich Thuy Bui[1], Phuong Anh Phung[1], Van Tuan Hoang[2]

[1]National Academy for Advanced Technology and Innovation, C6 Building, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Phenikaa University, Nguyen Trac Street, Duong Noi Ward, Hanoi, Vietnam

Received 1 October 2025; revised 20 October 2025; accepted 29 October 2025

Abstract:

This study aimed to determine technical parameters for the processing and preservation of Trung Khanh chestnuts (Cao Bang, Vietnam) in order to extend storage life and maintain product quality. In-shell chestnuts were treated with a solution containing 0.2% NaCl and 0.2% citric acid for 30 minutes, then dried at 60°C for 4.5 hours to reduce the moisture content to approximately 40%. The products were vacuum-packed using polyethylene (PE), polypropylene (PP), and polyamide (PA) films, and stored under different temperature conditions (15, 5, 0, -10, and -18°C). The results showed that chestnuts vacuum-packed in PA films and stored at -18°C effectively inhibited microbial activity, limited oxidation, and maintained stable quality, allowing storage for up to 12 months with quality equivalent to pre-storage chestnuts. These findings enable to propose appropriate preservation techniques for chestnut raw materials during the harvest season under small- and medium-scale production conditions, contributing to maintaining the quality of chestnuts and developing sustainable brand development of the Trung Khanh chestnut specialty.

Keywords: **chestnuts, microorganisms, preservation, pretreatment.**

Classification numbers: **2.10, 4.1**

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

1. Đặt vấn đề

Cây dẻ Trùng Khánh (*Castanea mollissima*) thuộc họ Dẻ (Fagaceae), có nguồn gốc từ khu vực Đông Á và hiện nay được trồng tại nhiều quốc gia như Trung Quốc, Nhật Bản, Hàn Quốc, Thổ Nhĩ Kỳ và một số nước vùng Địa Trung Hải [1]. Ở Việt Nam, cây dẻ được gây trồng tập trung chủ yếu tại Trùng Khánh, nơi có điều kiện khí hậu, thổ nhưỡng thích hợp để phát triển. Qua thời gian, cây dẻ đã trở thành đặc sản nổi tiếng, không chỉ mang lại giá trị kinh tế cao mà còn góp phần quan trọng trong xóa đói giảm nghèo và phát triển nông nghiệp bền vững cho đồng bào vùng núi phía Bắc. Toàn huyện Trùng Khánh hiện có diện tích trồng dẻ trên 240 ha, tập trung nhiều ở các xã Trùng Khánh, Đàm Thủy, Đình Phong [2].

Về thành phần hóa học, hạt dẻ Trùng Khánh có hàm lượng nước chiếm khoảng 40-64% trọng lượng tươi, tinh bột chiếm 35-50% chất khô tùy giống và điều kiện sinh trưởng. Ngoài ra hạt dẻ còn chứa protein, lipid, các loại đường (sucrose, glucose, fructose), chất xơ, vitamin C, vitamin nhóm B và khoáng chất thiết yếu như kali, magiê, sắt [3-5]. Nhờ vậy, hạt dẻ không chỉ là thực phẩm giàu năng lượng mà còn là nguồn nguyên liệu tiềm năng cho chế biến sản phẩm giá trị như: bột hạt dẻ, bánh kẹo, đồ hộp và thực phẩm chức năng. Tuy nhiên, chính đặc điểm có hàm lượng nước cao và giàu carbohydrate khiến hạt dẻ rất dễ bị hư hỏng do vi sinh vật, nấm mốc hoặc côn trùng sau thu hoạch nếu không được xử lý và bảo quản đúng cách [6].

Trên thực tế, các phương pháp bảo quản truyền thống ở địa phương như vùi trong cát ẩm, bảo quản trong bao tải hoặc để nơi thoáng mát thường không kiểm soát được nhiệt độ, độ ẩm, dẫn đến tỷ lệ hỏng cao, gây hao hụt lớn và chất lượng không ổn định. Một số cơ sở sử dụng hóa chất để bảo quản hạt dẻ, có thể ảnh hưởng tới niềm tin và sức khỏe người tiêu dùng. Việc thiếu ứng dụng công nghệ hiện đại như bảo quản lạnh cũng như quy trình xử lý trước bảo quản là những hạn chế chính.

Trong bối cảnh nhu cầu tiêu dùng hiện nay ngày càng đề cao yếu tố an toàn thực phẩm, không hóa chất bảo quản, đồng thời yêu cầu kéo dài thời hạn sử dụng để phục vụ tiêu thụ trong nước và xuất khẩu, việc nghiên cứu và ứng dụng các công nghệ bảo quản hiện đại cho hạt dẻ Trùng Khánh là hết sức cần thiết. Mục đích nghiên cứu là xác định các thông số kỹ thuật như: hàm lượng chất xử lý, thời gian, nhiệt độ và độ ẩm của hạt dẻ trước bảo quản, cũng như xác định được bao bì, nhiệt độ và thời gian bảo quản hạt dẻ đảm bảo chất lượng của hạt dẻ sau bảo quản. Kết quả sẽ góp phần đề xuất các giải pháp kỹ thuật phù hợp với điều kiện sản xuất nhỏ và vừa, ổn định chất lượng hạt dẻ và phát triển thương hiệu đặc sản dẻ Trùng Khánh theo hướng bền vững.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Đối tượng nghiên cứu là hạt dẻ tươi có nguồn gốc Trùng Khánh thu hoạch tháng 9-11/2023. Thời gian sau thu hoạch đến khi bảo quản không quá 7 ngày.

2.2. Nội dung nghiên cứu

Xác định ảnh hưởng của chất xử lý cho hạt dẻ trước bảo quản.

Xác định ảnh hưởng của hàm ẩm đến bảo quản hạt dẻ.

Xác định ảnh hưởng của bao bì và nhiệt độ đến bảo quản hạt dẻ.

Xác định ảnh hưởng của thời gian đến bảo quản hạt dẻ.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp đánh giá cảm quan: Đánh giá chỉ tiêu cảm quan của hạt dẻ dựa theo TCVN 3215:1979, điều chỉnh tiêu chí cho phù hợp với hạt dẻ. Lập hội đồng cảm quan 9 thành viên. Cho điểm hạt dẻ theo bảng 1.

Bảng 1. Tiêu chí đánh giá cảm quan hạt dẻ

Chỉ tiêu	Điểm	Hệ số quan trọng	Miêu tả
Màu sắc	5	1,0	Vỏ nâu sáng ánh vàng, nhân màu trắng phớt vàng
	4		Vỏ màu nâu, nhân màu vàng
	3		Vỏ màu nâu sậm, nhân màu vàng sậm
	2		Vỏ màu nâu đen, nhân có vết nâu, bị đen đầu
	1		Vỏ màu đen, nhân màu nâu
Mùi	5	1,0	Mùi rất thơm đặc trưng, dễ chịu
	4		Mùi đặc trưng
	3		Mùi ít đặc trưng
	2		Mùi lạ, ôi thiu nhẹ
	1		Ôi thiu, chua
Vị	5	1,0	Ngọt bùi đặc trưng, tự nhiên, ngon
	4		Ngọt bùi, khá tự nhiên
	3		Vị ngọt nhẹ, có chút kém
	2		Ít ngọt, có vị hơi lạ
	1		Chua, vị lạ, khó ăn
Hình thái	5	1,0	Vỏ sáng bóng, căng mọng, còn lông tơ ở núm,
	4		Vỏ sáng, căng mọng, nhân hạt chắc
	3		Vỏ sáng, không căng, nhân hạt chắc
	2		Vỏ có vết sần, nắn mềm, nhân hạt mềm
	1		Vỏ teo tóp, nhân hạt xốp

Điểm tối đa cho mỗi chỉ tiêu là 5 điểm, điểm tối đa cho cả sản phẩm là 20 điểm.

Phương pháp xác định tổng số nấm men, nấm mốc: Tổng số nấm men, nấm mốc (CFU/g) được xác định theo ISO 21527-1,2: 2008. Tổng số vi khuẩn hiếu khí (CFU/g) được xác định theo ISO 4833-1:2013.

Phương pháp lựa chọn chất xử lý cho hạt dẻ trước bảo quản: Hạt dẻ được ngâm trong dung dịch: Javel 500 ppm (CT1); 0,2% NaCl + 0,1% Na_2CO_3 (CT2); 0,2% NaCl + 0,1% $C_6H_8O_7$ (axit citric) (CT3); 0,2% NaCl + 0,1% $C_7H_6O_3$ (axit salicylic) (CT4); mẫu đối chứng (ĐC) không xử lý. Thời gian ngâm 3 phút các mẫu đem sấy khô ở 37°C trong 20 phút, sau đó xác định tổng số nấm men, nấm mốc và đánh giá điểm màu sắc lựa chọn chất xử lý thích hợp.

Phương pháp xác định hàm lượng chất xử lý cho hạt dẻ trước bảo quản: Từ công thức thích hợp lựa chọn, hạt dẻ được ngâm trong dung dịch: 0,2% NaCl + 0,1% $C_6H_8O_7$ (CM1); 0,2% NaCl + 0,15% $C_6H_8O_7$ (CM2); 0,2% NaCl + 0,20% $C_6H_8O_7$ (CM3); 0,2% NaCl + 0,25% $C_6H_8O_7$ (CM4); 0,2% NaCl + 0,30% $C_6H_8O_7$ (CM5). Thời gian ngâm 3 phút các mẫu đem sấy khô ở 37°C trong 20 phút, sau đó xác định tổng số nấm men, nấm mốc lựa chọn hàm lượng chất xử lý thích hợp.

Phương pháp xác định thời gian xử lý cho hạt dẻ trước bảo quản: Từ công thức xác định hàm lượng chất xử lý, các mẫu hạt dẻ được ngâm theo công thức đã xác định. Thời gian khảo sát: 5, 10, 15, 20, 25 và 30 phút. Sau thời gian ngâm các mẫu đem sấy khô ở 37°C trong 20 phút, sau đó xác định tổng số nấm men, nấm mốc lựa chọn thời gian ngâm xử lý thích hợp.

Phương pháp xác định hàm ẩm hạt dẻ thích hợp cho bảo quản: Hạt dẻ sau ngâm xử lý tiến hành sấy ở nhiệt độ 60°C. Thời gian sấy khảo sát: 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5 và 6 giờ (mẫu đối chứng không qua sấy). Sau khi sấy các mẫu được đóng trong túi PE bảo quản lạnh ở 4°C, thời gian 30 ngày. Sau đó các mẫu được xác định hàm ẩm và đánh giá cảm quan, lựa chọn hàm ẩm thích hợp cho bảo quản.

Phương pháp xác định bao bì và nhiệt độ bảo quản hạt dẻ: Hạt dẻ đã được ngâm xử lý và xác định hàm ẩm thích hợp, các mẫu đóng trong 03 loại bao bì: Polyethylene (PE), Polypropylene (PP) và Polyamide (PA), các mẫu được hút chân không, mỗi loại bao bì 5 túi, (250 g/túi), các mẫu được bảo quản ở các nhiệt độ khác nhau: 15; 5; 0; -10 và -18°C, sau 30 ngày các mẫu được xác định tổng vi sinh vật hiếu khí và đánh giá cảm quan lựa chọn bao bì và nhiệt độ bảo quản thích hợp.

Phương pháp xác định thời gian bảo quản hạt dẻ: Hạt dẻ tươi nguyên vỏ được ngâm xử lý theo kết quả đã xác định. Các mẫu đóng trong bao bì PE, PP và PA, hút chân không, mỗi loại bao bì 12 túi (1 kg/túi). Các mẫu đưa vào bảo quản ở -18°C. Đánh giá chất lượng hạt dẻ bằng cảm quan trong 12 tháng, mỗi tháng 1 lần.

Phương pháp xử lý số liệu: Số liệu được phân tích bằng chương trình thống kê Excel 2007 và phần mềm IRRISTAT 5.0. Kiểm định Tukey được sử dụng trong phân tích ANOVA 1 yếu tố với mức ý nghĩa α=5%.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Nghiên cứu xác định hàm lượng chất xử lý và thời gian xử lý hạt dẻ tươi

Xác định chất xử lý cho hạt dẻ trước bảo quản: Kết quả xác định ảnh hưởng của dung dịch ngâm tới tổng số nấm men, nấm mốc và màu sắc hạt dẻ được trình bày ở bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của dung dịch ngâm tới tổng số nấm men, nấm mốc và màu sắc hạt dẻ.

Tên mẫu	Dung dịch ngâm	Tổng số nấm men, nấm mốc (CFU/g)	Điểm màu sắc	Nhận xét
ĐC	Không	6,91±0,25[a]	4,29	Màu nâu tự nhiên
CT1	Javel 500 ppm	5,66±0,17[b]	4,88	Màu nâu sáng, đẹp
CT2	0,2% NaCl + 0,1% Na_2CO_3	4,82±0,12[c]	3,73	Màu nâu hơi sẫm
CT3	0,2% NaCl + 0,1% $C_6H_8O_7$ (axit citric)	3,86±0,08[d]	4,67	Màu nâu sáng tự nhiên
CT4	0,2% NaCl + 0,1% $C_7H_6O_3$ (axit salicylic)	4,84±0,15[c]	3,94	Màu nâu hơi sẫm

Điểm màu sắc theo thang 5 điểm TCVN 3215:1979. Giá trị được biểu thị trong bảng là trung bình (CFU/g) ± độ lệch chuẩn. Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt đáng kể (p<0,05) giữa các mẫu.

Kết quả bảng 2 cho thấy, các công thức xử lý đều cho kết quả diệt nấm men, nấm mốc tốt hơn mẫu đối chứng, ở CT1 nước Javel (500 ppm) ít hiệu lực với tổng số nấm men, nấm mốc chủ yếu là nấm mốc, mặc dù cho thấy hiệu quả chống biến màu tốt hơn các mẫu khác, tuy nhiên do thời gian ngắn nên lượng vi sinh vật (đặc biệt là nấm mốc) ăn sâu vào bên trong lớp vỏ chưa thể bị loại bỏ. Một nhận xét nữa là các loại axit có khả năng ngấm vào trong vỏ hạt dẻ tốt hơn dịch Clo nên hiệu quả diệt mốc khá hơn. Giữa các loại axit, thì axit citric có khả năng diệt mốc tốt nhất, hơn nữa axit citric chống biến màu cũng rất tốt, vì vậy đề tài chọn công thức CT3: ngâm hạt dẻ trong dung dịch hỗn hợp gồm 0,2% muối và 0,1% axit citric.

Xác định hàm lượng chất xử lý cho hạt dẻ trước bảo quản: Kết quả xác định ảnh hưởng của nồng độ axit citric tới tổng số nấm men, nấm mốc của hạt dẻ được trình bày ở bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng của hàm lượng axit citric tới tổng số nấm men, nấm mốc của hạt dẻ.

Tên mẫu	Axit citric (%)	NaCl (%)	Tổng số nấm men, nấm mốc (CFU/g)
CM1	0,10	0,20	3,87±0,07[a]
CM2	0,15	0,20	2,74±0,14[b]
CM3	0,20	0,20	2,37±0,15[b]
CM4	0,25	0,20	2,32±0,22[b]
CM5	0,30	0,20	2,27±0,06[b]

Giá trị được biểu thị trong bảng là trung bình (CFU/g) ±SD. Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt đáng kể (p<0,05) giữa các mẫu.

Kết quả bảng 3 cho thấy, hàm lượng dịch ngâm thích hợp nhất là 0,20% axit citric và 0,20% muối ăn, vượt quá nồng độ đó không có tác dụng tăng thêm đáng kể. Điều này có thể là dung dịch ngâm chỉ mới tác động ở bên ngoài vỏ, phần vi sinh vật (đặc biệt là nấm mốc) đã ăn sâu vào lớp vỏ vẫn còn tồn tại tốt. Muốn tiêu diệt được chúng phải tăng thời gian xử lý (ngâm) để chất xử lý có thể ngấm sâu vào hơn nữa.

Xác định thời gian xử lý cho hạt dẻ trước bảo quản: Kết quả xác định ảnh hưởng của thời gian xử lý tới tổng số nấm men, nấm mốc của hạt dẻ được trình bày ở bảng 4.

Bảng 4. Ảnh hưởng của thời gian xử lý tới tổng số nấm men, nấm mốc của hạt dẻ.

Tên mẫu	Thời gian xử lý (phút)	Tổng số nấm men, nấm mốc (CFU/g)
TG1	5	2,32±0,17[a]
TG2	10	2,12±0,22[a]
TG3	15	1,90±0,07[a]
TG4	20	1,64±0,13[b]
TG5	25	1,28±0,15[b]
TG6	30	0

Giá trị được biểu thị trong bảng là trung bình (CFU/g) ±SD. Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt đáng kể (p<0,05) giữa các mẫu.

Với kết quả thí nghiệm thu được, mục tiêu loại bỏ các vi sinh vật chủ yếu nấm men, nấm mốc cho hạt dẻ trước bảo quản, chúng tôi chọn mẫu TG6, thời gian ngâm (xử lý) là 30 phút.

Từ nghiên cứu trên, chúng tôi rút ra một kết luận chung là để hạn chế sự ô nhiễm vi sinh vật bề mặt hạt dẻ trước khi bảo quản cần ngâm hạt dẻ trong dung dịch axit citric 0,2% + muối ăn 0,2% trong thời gian 30 phút, sau

đó sấy khô 20 phút ở 37°C. Phương pháp này vừa hiệu quả vừa không gây hại cho sức khỏe người tiêu dùng, bảo đảm vệ sinh an toàn thực phẩm.

Xác định hàm ẩm thích hợp bảo quản hạt dẻ: Kết quả xác định ảnh hưởng của thời gian sấy tới hàm ẩm và chỉ tiêu cảm quan của hạt dẻ được thể hiện ở bảng 5.

Bảng 5 Ảnh hưởng của thời gian sấy tới hàm ẩm và chỉ tiêu cảm quan của hạt dẻ.

Tên mẫu	Thời gian sấy (h)	Hàm ẩm (%)	Điểm cảm quan
ĐC	0	55,00±0,85^{a}	15,47±0,06^{d}
S1	3,0	45,80±0,23^{b}	18,00±0,20^{c}
S2	3,5	43,60±0,63^{c}	18,75±0,15^{c}
S3	4,0	42,60±0,02^{c}	19,82±0,08^{a}
S4	4,5	40,25±0,40^{d}	19,78±0,09^{a}
S5	5,0	39,90±0,78^{d}	19,25±0,05^{b}
S6	5,5	37,30±0,25^{e}	18,13±0,15^{c}
S7	6,0	35,20±0,30^{f}	16,00±0,10^{d}

Các giá trị trình bày dưới dạng trung bình ±SD. Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt đáng kể (p<0,05) giữa các mẫu.

Hàm lượng nước là yếu tố có ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng và khả năng bảo quản của hạt dẻ. Hàm lượng nước quá cao tạo điều kiện cho các phản ứng sinh hóa sau thu hoạch tiếp tục diễn ra, đồng thời làm tăng nguy cơ phát triển của vi sinh vật, đặc biệt là nấm mốc, dẫn đến giảm chất lượng sản phẩm trong quá trình bảo quản. Ngược lại, khi hàm lượng nước quá thấp, hạt dẻ bị mất nước mạnh, làm kết cấu trở nên cứng, giảm độ bở và hương vị đặc trưng, từ đó làm giảm giá trị cảm quan.

Kết quả đánh giá cảm quan sau 01 tháng bảo quản ở 4°C cho thấy tất cả các mẫu sau xử lý đều đạt yêu cầu. Trong đó, mẫu S3 (hàm ẩm 42,60%) đạt điểm cảm quan cao nhất (19,82 điểm), tiếp theo là mẫu S4 (40,25%) với 19,78 điểm. Mặc dù điểm cảm quan của S3 cao hơn S4, nhưng mức chênh lệch rất nhỏ (0,04 điểm), trong khi hàm lượng nước của S3 vẫn còn tương đối cao. Điều này tiềm ẩn nguy cơ xảy ra các biến đổi sinh hóa và vi sinh vật nếu kéo dài thời gian bảo quản. Trong khi đó, mẫu S4 vẫn duy trì chất lượng cảm quan rất tốt, đồng thời có hàm lượng ẩm thấp hơn, góp phần nâng cao độ ổn định của sản phẩm trong bảo quản lạnh. Đối với các mẫu S1 và S2 có hàm lượng ẩm cao (45,80% và 43,60%), điểm cảm quan giảm, màu sắc nhân hạt có xu hướng sẫm hơn. Ngược lại, các mẫu S6 và S7 có hàm lượng ẩm thấp (37,30% và 35,20%) xuất hiện hiện tượng hạt cứng, giảm trạng thái tự nhiên và làm giảm rõ rệt giá trị cảm quan.

Từ các kết quả trên có thể thấy, hàm lượng ẩm khoảng 40% là phù hợp để bảo quản lạnh hạt dẻ trong điều kiện nghiên cứu. Mặc dù mẫu S3 đạt điểm cảm quan cao nhất, nhưng mẫu S4 có chất lượng cảm quan gần tương đương, đồng thời đạt hàm lượng ẩm khoảng 40%, giúp cân bằng giữa việc duy trì chất lượng cảm quan và nâng cao khả năng bảo quản. Vì vậy, chế độ sấy ở 60°C trong 4,5 giờ (hàm lượng ẩm khoảng 40%) được lựa chọn là điều kiện thích hợp cho các nghiên cứu tiếp theo.

3.2. Nghiên cứu xác định bao bì và nhiệt độ bảo quản hạt dẻ

Kết quả xác định ảnh hưởng của bao bì và nhiệt độ tới tổng số vi sinh vật hiếu khí và chỉ tiêu cảm quan của hạt dẻ sau 30 ngày bảo quản được thể hiện ở bảng 6.

Bảng 6. Ảnh hưởng của bao bì và nhiệt độ tới tổng số vi sinh vật hiếu khí và chỉ tiêu cảm quan của hạt dẻ sau 30 ngày bảo quản.

Mẫu	Nhiệt độ (°C)	Tổng số vi khuẩn hiếu khí (CFU/g)	Điểm cảm quan
PE1	15	248±4^{a}	13,44±0,39^{d}
PE2	5	104±3^{c}	14,79±0,33^{c}
PE3	0	29±2^{f}	15,21±0,07^{c}
PE4	-10	0	15,93±0,08^{c}
PE5	-18	0	16,43±0,17^{b}
PP1	15	133±3^{b}	14,87±0,38^{c}
PP2	5	50±2^{e}	15,64±0,20^{c}
PP3	0	11±2^{g}	16,44±0,90^{b}
PP4	-10	0	17,17±0,80^{b}
PP5	-18	0	16,83±0,33^{b}
PA1	15	73±2^{d}	17,52±0,61^{b}
PA2	5	21±2^{f}	18,54±0,43^{a}
PA3	0	0	18,78±0,39^{a}
PA4	-10	0	19,17±0,20^{a}
PA5	-18	0	19,35±0,90^{a}

Các giá trị trình bày dưới dạng trung bình ±SD. Các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt đáng kể (p<0,05) giữa các mẫu.

Kết quả bảng 6 cho thấy, nhiệt độ bảo quản và loại bao bì đều ảnh hưởng rõ rệt đến số lượng vi sinh vật và chất lượng cảm quan của hạt dẻ. Khi nhiệt độ giảm, vi sinh vật bị ức chế mạnh và gần như không phát triển ở nhiệt độ âm, tuy nhiên không bị tiêu diệt hoàn toàn. Trong đó, bao bì PA (hút chân không) có khả năng cách ly oxy và ẩm tốt nhất, nhờ vậy hạn chế được cả vi sinh vật, enzym và phản ứng oxy hóa, giúp hạt dẻ giữ được màu sắc, mùi vị và kết cấu ổn định. Ngược lại, bao bì PE và PP kém kín khí, đặc biệt PE kém hơn PP, nên vi sinh vật vẫn tồn tại và chất lượng cảm quan giảm rõ rệt, nhất là ở nhiệt độ 15°C. Nhìn chung, điểm cảm quan dưới 14 điểm là chưa đạt, từ 16 điểm trở lên được xem là tốt và tổng số vi khuẩn hiếu khí thấp nhất. Các mẫu được lựa chọn: bao bì PE được 1 mẫu (PE5), bao bì PP được 2 mẫu (PP4 và PP5), bao bì PA được 3 mẫu (PA3, PA4 và PA5). Phương pháp bảo quản hiệu quả nhất là ở nhiệt độ -18°C cho cả 3 loại bao bì PE, PP và PA vừa hạn chế vi sinh vật vừa duy trì chất lượng cảm quan cao, tuy nhiên thí nghiệm mới chỉ đúng cho 30 ngày bảo quản, để lựa chọn bao bì thích hợp cần theo dõi thêm thời gian bảo quản.

3.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian bảo quản tới chất lượng cảm quan hạt dẻ

Kết quả xác định ảnh hưởng của bao bì và thời gian bảo quản ở nhiệt độ -18°C tới chất lượng cảm quan hạt dẻ được trình bày ở bảng 7.

Kết quả bảng 7 cho thấy, thời gian không ảnh hưởng đến chất lượng cảm quan hạt dẻ đóng trong bao bì PA (mẫu PA12T) hút chân không bảo quản ở -18°C sau khi hạt dẻ đã được xử lý. Sản phẩm có thể để được 12 tháng mà gần như không có sự biến đổi nào về màu sắc, mùi vị, kết cấu. Hạt dẻ đóng trong túi PE (mẫu PE12T) chất lượng có chiều hướng đi xuống rõ rệt, chỉ có thể giữ được chất lượng tốt trong tháng đầu tiên, sau đó vì bao bì PE dễ thấm khí và thoát ẩm nên màu sắc, kết cấu bị xuống cấp, kéo theo mùi vị bị ảnh hưởng xấu. Bao bì PP (mẫu PP12T) khá hơn PE nhưng do không bảo đảm độ kín nên cũng làm cho chất lượng bị ảnh hưởng, chỉ có thể giữ được chất lượng tốt trong 4 tháng đầu tiên. Chúng tôi chọn bao bì PA và nhiệt độ -18°C cho bảo quản hạt dẻ.

3.4. Xác định các chỉ tiêu hóa học và vi sinh vật của hạt dẻ sau 12 tháng bảo quản

Mẫu hạt dẻ PA12T sau bảo quản 12 tháng ở nhiệt độ -18°C đem xác định các chỉ tiêu hóa học và vi sinh vật so sánh với mẫu hạt dẻ nguyên vỏ trước bảo quản, kết quả được thể hiện trên bảng 8.

Kết quả bảng 8 cho thấy, các chỉ tiêu hóa học của hạt dẻ không có sự thay đổi trong quá trình bảo quản. Về chỉ tiêu vi sinh vật ngoại trừ chỉ tiêu tổng vi khuẩn hiếu khí của mẫu hạt dẻ sau bảo quản có tăng ($2,6x10^3$ CFU/g) so với mẫu trước bảo quản, tuy nhiên chỉ tiêu này vẫn đạt giới hạn cho phép.

Bảng 7. Ảnh hưởng của bao bì và thời gian bảo quản tới chất lượng cảm quan hạt dẻ.

Tên mẫu	Điểm cảm quan theo thời gian bảo quản (tháng)						
	1	*2*	*4*	*6*	*8*	*10*	*12*
PE12T	16,44±1,09^a	15,80±0,19^a	14,92±0,97^b	14,07±1,54^b	13,26±1,21^b	12,54±0,51^b	11,88±1,35^b
PP12T	17,32±1,91^a	16,87±1,89^a	16,25±1,15^b	15,64±0,34^b	15,07±1,95^b	14,53±2,45^b	13,91±0,13^b
PA12T	19,47±1,01^a	19,28±0,05^a	19,31±1,76^a	19,33±1,04^a	19,27±1,09^a	19,28±0,73^a	19,28±1,10^a

Các giá trị trình bày dưới dạng trung bình ±SD. Trong cùng một hàng, các công thức có cùng chữ mũ không khác biệt thống kê có ý nghĩa.

Bảng 8. So sánh các chỉ tiêu hóa học và vi sinh vật của hạt dẻ nguyên vỏ trước bảo quản với hạt dẻ nguyên vỏ sau bảo quản 12 tháng ở nhiệt độ -18°C.

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị tính	Kết quả	
			Hạt dẻ nguyên vỏ trước bảo quản	*Hạt dẻ nguyên vỏ sau bảo quản*
Thành phần hóa học so với phần ăn được				
1	Hàm lượng protein (tính theo % chất khô)	%	4,11	4,08
2	Hàm lượng lipit (tính theo % chất khô)	%	2,52	2,48
3	Hàm lượng gluxit (tính theo % chất khô)	%	49,05	48,97
4	Hàm ẩm	%	40,25	40,36
Chỉ tiêu vi sinh vật				
1	Tổng vi khuẩn hiếu khí	CFU/g	KPH	$2,6x10^3$
2	*E. coli*	CFU/g	KPH	KPH
3	*Coliforms*	CFU/g	KPH	KPH
4	*C. perfringens*	CFU/g	KPH	KPH
5	Tổng số nấm men, nấm mốc	CFU/g	KPH	KPH
6	*B. cereus*	CFU/g	KPH	KPH
7	*S. aureus*	CFU/g	KPH	KPH
8	*Faecal streptococci*	CFU/g	KPH	KPH
Hàm lượng độc tố				
1	Aflatoxin B1	µg/kg	KPH	KPH
Hàm lượng kim loại nặng				
1	As	mg/kg	KPH	KPH
2	Pb	mg/kg	KPH	KPH
3	Cd	mg/kg	KPH	KPH
4	Hg	mg/kg	KPH	KPH

KPH: Không phát hiện.

Chất lượng hạt dẻ nguyên vỏ sau bảo quản tương đương với hạt dẻ nguyên vỏ trước bảo quản cho thấy với các giải pháp kỹ thuật bảo quản hạt dẻ Trùng Khánh hoàn toàn có thể bảo quản được hạt dẻ 12 tháng mà vẫn giữ nguyên chất lượng đảm bảo theo Quy chuẩn Việt Nam: QCVN 4-13:2010/BYT [7] và QCVN 8-2:2011/BYT [8].

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xác định các thông số kỹ thuật quá trình xử lý hạt dẻ trước bảo quản hạt dẻ Trùng Khánh. Để ức chế vi sinh vật, hạt dẻ được ngâm trong dung dịch gồm 0,2% muối và 0,2% axit citric trong 30 phút, sau đó sấy ở 60°C trong 4,5 giờ. Hàm ẩm hạt dẻ 40-41%.

Sau khi xử lý, hạt dẻ được đóng túi PA (1 kg/túi) và hút chân không, bảo quản ở nhiệt độ -18°C. Với điều kiện này, hạt dẻ nguyên vỏ có thể bảo quản được 12 tháng mà vẫn giữ được chất lượng tương đương hạt tươi, không bị hư hỏng và đảm bảo an toàn vệ sinh thực phẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Y. Wang, C. Liu, Z. Fang, et al. (2022), "A review of the stress resistance, molecular breeding, health benefits, potential food products, and ecological value of *Castanea mollissima*", *Plants*, **11(16)**, DOI: 10.3390/plants11162111.

[2] V. Tien (2023), "Efforts to develop the famous specialty brand of Trung Khanh chestnuts", *Phap Luat Newspaper*, https://baophapluat.vn/no-luc-phat-trien-thuong-hieu-dac-san-noi-tieng-hat-de-trung-khanh-post491693.html, accessed 1 June 2025 (in Vietnamese).

[3] C.T. Ciucure, E.I. Geana, M. Botu, et al. (2022), "Phytochemical and nutritional profile composition in fruits of six sweet chestnut cultivars", *Separations*, **9(3)**, DOI: 10.3390/separations9030066.

[4] M.J. Santos, T. Pinto, A. Vilela (2022), "Sweet Chestnut (*Castanea sativa Mill.*) nutritional and phenolic composition interactions with chestnut flavor physiology", *Foods*, **11(24)**, DOI: 10.3390/foods11244052.

[5] S. Zhang, L. Wang, Y. Fu, et al. (2022), "Bioactive constituents, nutritional benefits and woody food plant properties of *Castanea mollissima*", *Food Chem.*, **393**, DOI: 10.1016/j.foodchem.2022.133380.

[6] F. Mencarelli (2001), *Postharvest Handling and Storage of Chestnuts*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, https://www.fao.org/4/AC645E/ac645e01.htm, accessed 1 June 2025.

[7] Ministry of Health (2010), *National Technical Regulation QCVN 4-13:2010/BYT on Food Additive - Stabilizers* (in Vietnamese).

[8] Ministry of Health (2011), QCVN 8-2:2011/BYT *National Technical Regulation for on The Limits of Heavy Metals Contamination in Food* (in Vietnamese).

Ảnh hưởng của bột quả xoài (*Mangifera indica* L.) đến tính chất vật lý, hoạt tính chống oxy hóa và giá trị cảm quan của bánh mì

Trần Tiểu Yến*, Giáp Phạm Ngọc Trâm, Huỳnh Thị Hồng Nhung

Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long, 73 Nguyễn Huệ, phường Long Châu, tỉnh Vĩnh Long, Việt Nam

Ngày nhận bài 25/7/2025; ngày chuyển phản biện 28/7/2025; ngày nhận phản biện 20/8/2025; ngày chấp nhận đăng 28/8/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu này nhằm xác định tỷ lệ bổ sung bột quả xoài tối ưu để cải thiện chất lượng bánh mì. Bột quả xoài được bổ sung vào công thức phối trộn bánh mì ở các tỷ lệ khác nhau (0, 5, 10, 15 và 20%) để đánh giá sự thay đổi về đặc tính lý-hóa và cảm quan. Nghiên cứu khảo sát các chỉ tiêu: tỷ lệ tăng thể tích, độ cứng vỏ bánh, hàm lượng polyphenol, flavonoid, khả năng khử gốc tự do (DPPH) và đánh giá cảm quan. Kết quả cho thấy, khi bổ sung 10% bột quả xoài, bánh mì đạt chất lượng tốt nhất với tỷ lệ tăng thể tích 5,55 lần, độ cứng vỏ bánh 0,56 N, hàm lượng polyphenol 0,42 mg Gallic Acid Equivalent (GAE)/g, flavonoid 0,16 mg Quercetin Equivalent (QE)/g và khả năng DPPH đạt 15,25%. Về cảm quan, sản phẩm được đánh giá cao với điểm màu sắc 8,37; mùi 8,13; vị 8,63; cấu trúc 7,97 và mức độ ưa thích chung là 8,53 điểm. Như vậy, việc bổ sung 10% bột quả xoài giúp nâng cao giá trị dinh dưỡng và cảm quan của bánh mì, góp phần phát triển sản phẩm mới từ nguồn nguyên liệu tự nhiên, giàu chất chống oxy hóa và có lợi cho sức khỏe người tiêu dùng.

Từ khóa: **bánh mì, bột quả xoài, chống oxy hóa, flavonoid, polyphenol.**

Chỉ số phân loại: **2.10, 4.7**

Effect of mango fruit powder (*Mangifera indica* L.) supplementation level on physical properties, antioxidant activity, and sensory characteristics of bread

Tieu Yen Tran*, Pham Ngoc Tram Giap, Thi Hong Nhung Huynh

Vinh Long University of Technology Education, 73 Nguyen Hue Street, Long Chau Ward, Vinh Long Province, Vietnam

Received 25 July 2025; revised 20 August 2025; accepted 28 August 2025

Abstract:

This study aimed to determine the optimal supplementation level of mango fruit powder to improve bread quality. Mango fruit powder was incorporated into the bread dough formulation at different substitution levels (0, 5, 10, 15, 20%) to evaluate changes in physicochemical and sensory properties. The evaluated parameters included volume expansion ratio, crust hardness, polyphenol content, flavonoid content, DPPH free radical scavenging activity, and sensory evaluation. The results indicated that bread supplemented with 10% mango fruit powder exhibited the best quality, with a volume expansion ratio of 5.55, crust hardness of 0.56 N, polyphenol content of 0.42 mg GAE/g, flavonoid content of 0.16 mg QE/g, and DPPH scavenging activity of 15.25%. Sensory evaluation showed high scores for colour (8.37), aroma (8.13), taste (8.63), texture (7.97), and overall acceptability (8.53). Therefore, supplementation with 10% mango fruit powder improved both the nutritional and sensory quality of bread, contributing to the development of new products derived from natural, antioxidant raw materials with potential health benefits for consumers.

Keywords: **antioxidant activity, bread, flavonoids, mango fruit powder, polyphenols.**

Classification numbers: **2.10, 4.7**

Tác giả liên hệ: Email: yentt@vlute.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Xoài Cát Hòa Lộc là loại quả nhiệt đới có nguồn gốc từ xã Hòa Lộc, huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang (trước sáp nhập). Quả xoài được trồng với số lượng lớn và tiêu thụ rộng rãi do có mùi vị thơm ngon, đặc trưng, mọng nước và giàu dinh dưỡng. Trong đó, thịt quả xoài chứa nhiều carbohydrate [1], lipid, acid béo, protein, amino acid và acid hữu cơ [2]. Ngoài ra, quả xoài còn có các vi chất dinh dưỡng như vitamin A, B_1, B_2, B_6, C, E, biotin, pantotenic acid, niacin, folacin; khoáng chất như sắt, phospho, kali, natri, đồng, magie; và các hợp chất dinh dưỡng như hợp chất polyphenol, flavonoid, chất diệp lục, carotenoid và các hợp chất dễ bay hơi [2].

Việc bổ sung quả xoài vào sản phẩm bánh như bánh mì, bánh quy… sẽ góp phần tận dụng nguồn nguyên liệu dồi dào, cũng như nâng cao giá trị kinh tế của quả xoài. Bên cạnh đó, sản phẩm bánh mì là loại thực phẩm được sử dụng phổ biến, góp phần đa dạng hóa bữa ăn hàng ngày. Trong số các dòng bánh mì, bánh mì brioche là một đại diện tiêu biểu của nhóm bánh mì giàu dinh dưỡng, bánh mì được làm giàu bằng các nguyên liệu như trứng, bơ, sữa và đường. Bánh mì brioche có kết cấu mềm, mịn, tơi xốp như bông, vỏ thường vàng óng, ruột bánh lại ẩm và béo. Bánh mì có nhiều loại khác nhau nhưng có một điểm chung là các sản phẩm này đa phần chỉ sử dụng bột mì. Do đó, việc bổ sung một số thành phần nguyên liệu khác sẽ góp phần làm tăng sự phong phú cho sản phẩm bánh mì, hơn nữa bột quả xoài lại có rất nhiều tính chất có lợi cho sức khỏe của người tiêu dùng [3]. Chính vì vậy, ảnh hưởng của tỷ lệ bổ sung bột quả xoài (*Mangifera indica* L.) đến tính chất vật lý, hoạt tính chống oxy hóa và giá trị cảm quan của bánh mì được thực hiện, nhằm tạo ra sản phẩm có giá trị dinh dưỡng cao, góp phần đa dạng hoá sản phẩm cũng như đáp ứng nhu cầu ngày càng cao của người tiêu dùng về thực phẩm tiện lợi và tốt cho sức khỏe.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên vật liệu

Nguyên liệu: Quả xoài Cát Hòa Lộc (Công ty TNHH MTV Thương mại Sài Gòn - Vĩnh Long), sữa tươi không đường (Co.opmart Vĩnh Long), trứng gà (Co.opmart Vĩnh Long), bột mì số 13 Bakers' Choice (hàm lượng protein 11,5%-13%, Co.opmart Vĩnh Long), bơ (Co.opmart Vĩnh Long), đường (Co.opmart Vĩnh Long), muối (Co.opmart Vĩnh Long), men khô Mauripan (Co.opmart Vĩnh Long).

Thời điểm thu hoạch quả xoài: Thu hoạch ở thời điểm 85-90 ngày sau khi đậu trái, ^{o}Brix đạt 20-21%, hàm lượng chất khô đạt 22-28%, tỷ lệ thịt trái 80-82% và tỷ trọng trái 1,02, lúc này quả xoài Cát Hòa Lộc sẽ có chất lượng tốt nhất [4].

Quy trình chế biến bột quả xoài: Quả xoài được rửa kỹ trong nước sạch, gọt bỏ vỏ và phần hạt, tiến hành cắt thịt quả xoài thành miếng mỏng đều nhau (0,5 cm). Thịt quả xoài sấy khô bằng máy sấy đối lưu thực phẩm 16 khay ở nhiệt độ 70°C trong 10 giờ. Thịt quả xoài sau khi sấy khô được nghiền mịn bằng máy xay khô đa năng Yamafuji (DE-300) trong 5 phút và rây ở sàng số 72 (cỡ 0,26 mm) để thu được bột quả xoài.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nội dung nghiên cứu: Khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ bổ sung bột quả xoài (*Mangifera indica* L.) đến chất lượng bánh mì

Bố trí thí nghiệm: Thí nghiệm được thực hiện với một nhân tố và ba lần lặp lại.

Nhân tố A: Tỷ lệ bổ sung bột quả xoài.

A_0: Đối chứng (không có bột quả xoài)=100% bột mì.

A_1=5:95 (%w/w) bột quả xoài:bột mì.

A_2=10:90 (%w/w) bột quả xoài:bột mì.

A_3=15:85 (%w/w) bột quả xoài:bột mì.

A_4=20:80 (%w/w) bột quả xoài:bột mì.

Tổng số nghiệm thức: 5x1=5 (nghiệm thức).

Tổng đơn vị thí nghiệm: 5x3=15 (đơn vị thí nghiệm).

Công thức chế biến bánh mì được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Công thức chế biến bánh mì.

Thành phần (g)	Công thức phối trộn cho 100 g bột nhào				
	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
Bột mì	50,48	47,96	45,43	42,91	40,38
Bột quả xoài	0,00	2,52	5,05	7,57	10,10
Bơ	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04
Trứng	4,04	4,04	4,04	4,04	4,04
Sữa tươi không đường	12,63	12,63	12,63	12,63	12,63
Đường	9,59	9,59	9,59	9,59	9,59
Nước	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9
Muối	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
Men	0,61	0,61	0,61	0,61	0,61

Mô tả thí nghiệm: Cân bột quả xoài và bột mì theo tỷ lệ (0:100 (%w/w); 5:95 (%w/w); 10:90 (%w/w); 15:85 (%w/w); 20:80 (%w/w)), 9,59 g đường, 0,71 g muối và 0,61 g men tiến hành trộn khô. Sau đó, bổ sung 4,04 g trứng, 12,63 g sữa tươi không đường và 17,92 g nước vào hỗn hợp, tiến hành nhào bột và bổ sung bơ, nhào bột đến khi tạo màng mỏng (độ ẩm khối bột nhào đạt 45%), tiếp theo lên men lần 1 (thời gian lên men: 20 phút, nhiệt độ: 32-34°C), tạo hình (khối lượng mỗi bánh đạt: 27 g), lên men lần 2 (thời gian lên men: 150 phút, nhiệt độ: 32-34°C) và nướng bánh ở nhiệt độ 180°C trong 20 phút. Tiến hành phân tích các chỉ tiêu: tỷ lệ tăng thể tích (lần), độ cứng của vỏ bánh (N), hàm lượng polyphenol (mg GAE/g) và flavonoid (mg QE/g), khả năng DPPH (%) và đánh giá cảm quan.

Phương pháp phân tích:

- Hàm lượng ẩm (%): Hàm lượng ẩm được xác định theo phương pháp sấy đến khối lượng không đổi [5].

- Tỷ lệ tăng thể tích (lần): Phương pháp đo thể tích (cm^3) và tính toán tỷ lệ tăng thể tích của bánh mì (lần) [6].

+ Bánh mì được xem như là một nửa hình ellipsoid có ba kích thước khác nhau.

+ Công thức tính thể tích ellipsoid: $V_e = \frac{4}{3} \times \pi \times (abc)$.

+ Do bánh mì có đáy được xem như hình tròn nên ta có: $V_{bánh} = \frac{2}{3} \times \pi \times (\frac{d}{2}) \times 2 \times h$.

trong đó: d là đường kính bánh (cm); h là chiều cao bánh (cm).

+ Thể tích bánh: $V_{bánh} = \frac{2}{3} \times \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times h$ (cm^3).

+ Đo thể tích bánh lúc tạo hình và sau khi nướng ta tính được độ tăng thể tích của bánh (lần):

+ Tỷ lệ tăng thể tích= $\frac{V_2}{V_1}$ (lần).

trong đó: V_1 là thể tích bánh ban đầu (cm^3); V_2 là thể tích bánh sau khi nướng (cm^3).

- Độ cứng của vỏ bánh (N): được xác định bằng thiết bị Food Technology TMS-Pro do Mỹ sản xuất. Độ cứng được đo tại vị trí trung tâm của bánh, độ đâm xuyên 40 mm, tốc độ di chuyển của probe 40 mm/phút, sử dụng đầu đo có tiết diện là 5 mm^2.

- Hàm lượng polyphenols và flavonoid: Được phân tích theo phương pháp của R.M. Salleh và cs (2016) [7].

Trích ly polyphenols: Phương pháp tiến hành như sau: 0,5 gam mẫu được trộn với 25 ml dung dịch methanol 50% và HCl 1,2 M. Sau khi vortex (máy lắc ống nghiệm) xong, hỗn hợp được trích ly trong bóng tối bằng water bath (bể điều nhiệt) ở 90°C trong 2 giờ. Tiếp theo, hỗn hợp được ly tâm ở 3.000 vòng/phút trong 10 phút và được giữ ở 4°C đến khi sử dụng cho các bước phân tích tiếp theo.

Xác định hàm lượng polyphenol: Phương pháp tiến hành như sau: 40 µl của dịch trích (trong sau ly tâm), trộn với 1,8 ml thuốc thử Folin-Ciocalteu's phenol (dạng dung dịch đã được pha loãng 10 lần bằng nước cất). Sau 5 phút, thêm 1,2 ml Na_2CO_3 20% và trộn kỹ. Dung dịch sau đó được để yên trong bóng tối 60 phút và đo độ hấp thu quang phổ ở bước sóng 765 nm.

Gallic acid (pha trước về 2,5 mg/ml, đến khi sử dụng pha về 2; 1,5; 1; 0,5 mg/ml) được sử dụng để xây dựng đường cong chuẩn (6 ống nghiệm) và kết quả được thể hiện như mg/g gallic acid cân bằng (mg/g GAE). Đường cong chuẩn được xây dựng trong khoảng từ 0 đến 5 mg/g.

Bảng 2. Bố trí thí nghiệm xây dựng đường chuẩn acid gallic.

Ống nghiệm	Dung dịch acid gallic (mg)	Thuốc thử Folin	Dung dịch Na_2CO_3 20%
1 (đối chứng)	40 dịch trích	1,8 ml	1,2 ml
2 (0 mg/ml)	40 nước cất 0	1,8 ml	1,2 ml
3 (0,5 mg/ml)	40 a.gallic 0,5	1,8 ml	1,2 ml
4 (1mg/ml)	40 a.gallic 1	1,8 ml	1,2 ml
5 (1,5 mg/ml)	40 a.gallic 1,5	1,8 ml	1,2 ml
6 (2 mg/ml)	40 a.gallic 2	1,8 ml	1,2 ml
7 (2,5 mg/ml)	40a.gallic 2,5	1,8 ml	1,2 ml

Xác định hàm lượng flavonoid: Phương pháp tiến hành như sau: 0,5 ml dịch trích được trộn với 1,5 ml dung dịch ethanol 95%, 0,1 ml $AlCl_3$ 10%, 0,1 ml CH_3COONa 1 M và 2,8 ml nước cất. Hỗn hợp này được ủ ở nhiệt độ phòng khoảng 30 phút trong bóng tối. Độ hấp thu quang phổ của dung dịch được đo ở bước sóng 415 nm. Quercetin được sử dụng để xây dựng đường cong chuẩn trong khoảng 0-100 µg/ml. Hàm lượng flavonoids được tính toán theo mg quercetin cân bằng/gram nguyên liệu khô (mg QE/g).

Hoạt tính chống oxy hóa gồm khả năng DPPH: Được thực hiện theo phương pháp của M. Elmastas và cs (2007) [8].

Quá trình trích ly: Quá trình này được thực hiện như sau: 10 g mẫu được nghiền nhỏ và trộn với 100 ml methanol ở nhiệt độ phòng trong 24 giờ với tốc độ 150 rpm. Quá trình này được thực hiện tới khi dung môi trích ly trở nên không màu. Dịch trích thu được được lọc qua giấy lọc Whatman no. 1 paper. Sau đó dịch lọc được đem đi cô quay ở 40°C để tách khô dung môi. Cao chiết sau đó được đặt trong chai thủy tinh nâu và tồn trữ ở 4°C để ngăn chặn sự oxy hóa cho đến khi phân tích.

Khả năng khử gốc tự do (%):

Dịch trích: 10 mg cao chiết được hòa tan lại với 10 ml methanol.

0,1 mM dung dịch DPPH tan trong methanol được chuẩn bị trước đó và 1 ml dung dịch này được thêm vào 3 ml dịch trích. Hỗn hợp được lắc kỹ và để yên trong bóng tối ở nhiệt độ phòng trong 30 phút. Sau đó độ hấp thu quang phổ (OD) được đo ở bước sóng 517 nm bằng máy đo quang phổ UV-Vis. Giá trị OD của hỗn hợp càng thấp thể hiện hoạt tính DPPH càng cao. Khả năng DPPH được tính theo công thức sau đây:

$$\text{Khả năng khử gốc tự do DPPH (\%)} = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100$$

trong đó: A_0 là giá trị OD của phản ứng đối chứng (không chứa dịch trích từ nguyên liệu) và A_1 là giá trị OD của phản ứng có sự hiện diện của dịch trích từ nguyên liệu.

Phương pháp đánh giá cảm quan được thực hiện theo phương pháp của S. Ahmad và cs (2007) [9] sử dụng thang thị hiếu (hedonic scale) từ 1 (cực kỳ không thích) đến 9 (cực kỳ thích).

3. Kết quả

3.1. Thành phần hóa học cơ bản và hoạt tính chống oxy hóa của bột quả xoài

Thành phần hóa học và hoạt tính chống oxy hóa là những yếu tố quan trọng quyết định giá trị dinh dưỡng và tiềm năng ứng dụng của các sản phẩm có nguồn gốc thực vật. Kết quả phân tích về đặc tính hóa học và hoạt tính chống oxy hóa của bột quả xoài, các chỉ tiêu bao gồm độ ẩm, hàm lượng polyphenol tổng, flavonoid tổng và khả năng DPPH được trình bày tại bảng 3.

Bảng 3. Thành phần hóa học cơ bản và hoạt tính chống oxy hóa của bột quả xoài.

Chỉ tiêu phân tích	Kết quả phân tích
Độ ẩm (%)	5,10±0,08
Polyphenol (mg GAE/g)	2,50±0,12
Flavonoid (mg QE/g)	0,88±0,04
DPPH (%)	55,30±0,7

Kết quả phân tích bột quả xoài (bảng 3) cho thấy, độ ẩm của mẫu thấp (5,10%), nằm trong ngưỡng an toàn để hạn chế sự phát triển của vi sinh vật và kéo dài thời gian bảo quản sản phẩm [10]. Hàm lượng polyphenol và flavonoid lần lượt đạt 2,50 mg GAE/g và 0,88 mg QE/g, phản ánh hàm lượng chất chống oxy hóa tự nhiên đáng kể trong nguyên liệu. Các hợp chất polyphenol và flavonoid đã được chứng minh có khả năng DPPH mạnh, góp phần nâng cao hoạt tính sinh học của thực phẩm [11]. Đồng thời, khả năng DPPH của bột xoài đạt 55,30%, tương đương với giá trị được ghi nhận ở các chiết xuất từ vỏ và thịt quả xoài chín trong một số nghiên cứu trước đây [12]. Những kết quả này cho thấy, bột quả xoài có tiềm năng trở thành nguồn nguyên liệu tự nhiên giàu chất chống oxy hóa, thích hợp ứng dụng trong các sản phẩm thực phẩm.

3.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ bổ sung bột quả xoài đến tỷ lệ tăng thể tích của bánh mì

Tỷ lệ tăng thể tích là chỉ tiêu phản ánh khả năng nở của bánh mì trong quá trình lên men và nướng - một yếu tố quan trọng quyết định độ xốp, độ mềm, cũng như chất lượng cảm quan của sản phẩm. Vì vậy, chỉ tiêu tỷ lệ tăng thể tích giúp đánh giá sự ảnh hưởng của công thức chế biến đối với quá trình lên men, đồng thời giúp xác định tỷ lệ nguyên liệu bổ sung tối ưu nhằm đảm bảo bánh mì có độ nở tốt, kết cấu nhẹ và cảm quan đạt yêu cầu. Tỷ lệ tăng thể tích của bánh mì từ lúc định hình đến sau khi nướng khi thay đổi tỷ lệ bổ sung bột quả xoài được thể hiện ở bảng 4.

Bảng 4. Ảnh hưởng của tỷ lệ bổ sung bột quả xoài đến tỷ lệ tăng thể tích của bánh mì.

Nghiệm thức	Tỷ lệ tăng thể tích
A_0	$3,85^{b}$±0,12
A_1	$5,22^{ab}$±0,15
A_2	$5,55^{a}$±0,27
A_3	$4,53^{ab}$±0,09
A_4	$4,70^{ab}$±1,72

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột hay cùng một dòng biểu thị khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%. a, b, c, d, e trên cùng một vật thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ở mức p<0,05 theo phép thử LSD.

Từ kết quả thống kê được trình bày trong bảng 4 có thể thấy khả năng trương nở của bánh mì bổ sung bột quả xoài có xu hướng tăng và sau đó giảm dần. Cụ thể tăng ở tỷ lệ 0% từ 3,85 lên ở tỷ lệ 5% là 5,22 và ở tỷ lệ 10% là 5,55 sau đó giảm dần ở tỷ lệ 15% còn 4,53 và 4,70 ở tỷ lệ 20%. Trong quá trình sản xuất bánh mì bổ sung bột quả xoài, do tinh bột xoài đã được làm chín bằng phương pháp sấy nên sẽ hút ẩm mạnh. Do đó, tỷ lệ bột quả xoài sử dụng sẽ ảnh hưởng tới độ trương nở. Kết quả cho thấy, độ trương nở giảm tương đối khi tỷ lệ sử dụng bột quả xoài tăng.

Theo kết quả bảng 4, tỷ lệ bột quả xoài bổ sung ở mức 5 và 10% bánh càng thể hiện tăng thể tích rõ rệt. Cụ thể mẫu bột ở tỷ lệ 10% tỷ lệ tăng thể tích đạt 5,55 là cao nhất. Vì bột quả xoài hầu hết các loại trái cây đều chứa một lượng đường tự nhiên khá cao như fructose, glucose, sucrose, giúp men hoạt động mạnh mẽ hơn, sinh ra nhiều khí CO_2 hơn [2]. Ngoài ra, bột trái cây có độ ẩm cao giúp gluten trong bột phát triển tốt hơn, tạo thành mạng lưới đàn hồi bao bọc các bọt khí sinh ra trong quá trình lên men. Vì vậy, bổ sung bột quả xoài ở tỷ lệ 10% là tỷ lệ tốt nhất giúp trương nở bánh tốt. Tuy nhiên khi tăng tỷ lệ bổ sung bột quả xoài, thể tích của bánh có xu hướng giảm rõ rệt. Hiện tượng này liên quan đến việc bổ sung hàm lượng đường cao có trong bột quả xoài, dẫn đến nấm men có thể gặp khó khăn trong quá trình chuyển hóa và giải phóng khí CO_2 khi lên men [13]. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của M.L. Sudha và cs (2007) [14] cho thấy, thể tích bánh giảm dần khi bổ sung bột bã táo (10, 20 và 30%). Nhìn chung, bột quả xoài ở tỷ lệ cao làm giảm khả năng trương nở của bột nhào là do sự pha loãng gluten [15]. Một yếu tố khác gây ra sự giảm thể tích bánh mì có thể là tác động tiêu cực của bột quả xoài lên quá trình hydrat hóa gluten và sự hình thành mạng lưới gluten do sự cạnh tranh nước giữa chất xơ và protein gluten [16]. Những nghiên cứu tương tự cũng về việc bổ sung bột trái cây vào công thức bánh mì đã được báo cáo [17].

3.3. Ảnh hưởng của tỷ lệ bổ sung bột quả xoài đến độ cứng của vỏ bánh mì

Độ cứng của vỏ bánh mì là một chỉ tiêu quan trọng phản ánh kết cấu bên ngoài của sản phẩm sau khi nướng, ảnh hưởng trực tiếp đến cảm quan và chất lượng tổng thể của bánh. Vỏ bánh mì cần đạt được độ giòn vừa phải, giúp tạo nên sự tương phản với phần ruột bánh mềm mại bên trong. Trong quá trình nướng, vỏ bánh mì hình thành từ sự bay hơi ẩm, caramel hóa đường, Maillard và sự biến tính của protein - tinh bột. Các phản ứng này tạo nên lớp vỏ màu vàng nâu cùng cấu trúc giòn và độ cứng nhất định. Tuy nhiên, các yếu tố như thành phần nguyên liệu, tỷ lệ nước, hàm lượng chất xơ hoặc phụ gia thay thế như bột quả xoài và quy trình nướng đều có thể làm thay đổi độ cứng của vỏ bánh. Vì vậy, đánh giá và kiểm soát độ cứng của vỏ bánh mì là cần thiết để đảm bảo sản phẩm đạt được chất lượng cảm quan tốt nhất, đồng thời duy trì độ tươi ngon và khả năng bảo quản. Độ cứng của vỏ bánh sau khi nướng, khi thay đổi tỷ lệ bổ sung bột quả xoài được thể hiện qua bảng 5.

Bảng 5. Ảnh hưởng của tỷ lệ bổ sung bột quả xoài đến độ cứng của vỏ bánh mì.

Nghiệm thức	Độ cứng của vỏ bánh (N)
A_0	$6,31^{a}$±0,06
A_1	$0,71^{b}$±0,04
A_2	$0,56^{c}$±0,01
A_3	$0,45^{d}$±0,00
A_4	$0,36^{e}$±0,02

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột hay cùng một dòng biểu thị khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Từ kết quả thống kê được trình bày trong bảng 5 có thể thấy, độ cứng của vỏ bánh mì có xu hướng giảm khi tăng tỷ lệ bổ sung bột quả xoài. Cụ thể, độ cứng vỏ bánh giảm từ 6,31 N ở tỷ lệ 0% giảm còn 0,36 N ở tỷ lệ 20%, ở tỷ lệ 15% là 0,45 N. Ở tỷ lệ 20% là 0,36 N cho thấy cấu trúc vỏ bánh mềm hơn. Ngược lại, ở tỷ lệ 5% độ cứng vỏ bánh đạt 0,71 N cho thấy ở tỷ lệ này sản phẩm có vỏ bánh giòn hơn so với tỷ lệ bột 10, 15 và 20%. Ở tỷ lệ 0% độ cứng của bánh đạt 6,31 N là cao nhất so với các tỷ lệ bổ sung bột quả xoài, là do ở tỷ lệ này thành phần trong bánh không bổ sung bột quả xoài thay vào đó là 100% bột mì, chính vì vậy mà sản phẩm bánh ở tỷ lệ 0% cho lực đâm xuyên cao và được dùng để đối chiếu với các tỷ lệ bột bổ sung. Hàm lượng chất xơ cao và polyphenol từ bột quả xoài làm giảm khả năng hình thành mạng gluten, ảnh hưởng đến độ ổn định và sự trương nở của bánh [18]. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của C.M. Ajila và cs (2008) [19] ảnh hưởng của hàm lượng chất xơ đến khả năng trương nở sản phẩm bánh quy bổ sung bột vỏ quả xoài. Bên cạnh đó, khả năng giữ ẩm cao của bột quả xoài cũng góp phần duy trì độ ẩm cho bánh và ảnh hưởng đến cấu trúc mạng lưới gluten trong bánh, làm giảm tổng lượng gluten trong hỗn hợp. Nhờ thế, vỏ của bánh mì trở nên mềm hơn và đạt điểm cảm quan (7,97 điểm) tốt nhất trong các mẫu còn lại.

3.4. Ảnh hưởng của tỷ lệ bột quả xoài bổ sung đến khả năng khử gốc tự do của sản phẩm bánh mì

Khả năng khử gốc của bánh mì bổ sung bột quả xoài được thể hiện cụ thể qua bảng 6.

Bảng 6. Ảnh hưởng của tỷ lệ bột quả xoài bổ sung đến khả năng khử gốc tự do của sản phẩm bánh mì.

Tỷ lệ (%)	Khả năng khử gốc tự do (%)
0	$8,08^{d}$±0,10
5	$11,43^{c}$±0,52
10	$15,25^{b}$±0,94
15	$15,53^{b}$±0,52
20	$18,73^{a}$±0,20

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột hay cùng một dòng biểu thị khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, khả năng DPPH có xu hướng tăng dần khi tăng tỷ lệ bổ sung bột quả xoài. Cụ thể, ở tỷ lệ 0-20% khả năng DPPH tăng 8,08-18,73%. Khả năng khử gốc tự do DPPH ở tỷ lệ 5% đạt giá trị thấp nhất trong số các mẫu có tỷ lệ bổ sung bột quả xoài 5% (11,43%) và cao nhất ở tỷ lệ bột 20% (18,73%). Còn ở các tỷ lệ bột 10 và 15% khả năng DPPH lần lượt là 15,25 và 15,53% và không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ở độ tin cậy 95% (p>0,05). Tuy nhiên, ở tỷ lệ bột 15 và 20% khả năng trương nở của bánh quá kém. Vì vậy, tỷ lệ

bột 10% là một trong những tỷ lệ có thể nói tốt nhất cho sản phẩm và thể hiện được khả năng khử gốc tự do cao. Xem xét về sự tồn tại của mối tương quan tích cực giữa hàm lượng polyphenol và DPPH [20], cho thấy rằng khả năng chống oxy hóa tăng lên trong các mẫu bánh mì bổ sung bột quả xoài là do hàm lượng polyphenol cao; các hợp chất khác có đặc tính chống oxy hóa (như vitamin C, E, beta-carotene) và khoáng chất trong bột quả xoài góp phần tạo nên giá trị DPPH cao trong các mẫu bánh mì.

3.5. Ảnh hưởng của tỷ lệ bột quả xoài bổ sung đến hàm lượng polyphenol của sản phẩm bánh mì

Các hợp chất phenolic là những thành phần quan trọng và chiếm tỷ lệ cao trong sản phẩm bột quả xoài, chủ yếu bao gồm acid gallic và acid ferulic với một lượng nhỏ các acid hydroxycinnamic khác. Những nhóm hợp chất này đã được chứng minh có tác dụng bảo vệ sức khỏe con người. Vì vậy, chỉ tiêu này rất cần thiết trong bước đầu nghiên cứu các hoạt tính sinh học của sản phẩm được thể hiện qua bảng 7.

Bảng 7. Ảnh hưởng của tỷ lệ bột quả xoài bổ sung đến hàm lượng polyphenol của sản phẩm bánh mì.

Tỷ lệ (%)	Hàm lượng polyphenol (mg/g GAE)
0	$0,19^{c}$±0,01
5	$0,25^{c}$±0,02
10	$0,42^{b}$±0,04
15	$0,48^{b}$±0,02
20	$0,71^{a}$±0,01

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột hay cùng một dòng biểu thị khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Hàm lượng polyphenol trong bánh mì sau khi phân tích, có sự tăng dần từ 0,19 mg/g GAE lên 0,71 mg/g GAE khi tăng tỷ lệ bột quả xoài. Mẫu bột ở tỷ lệ bổ sung 20% có hàm lượng polyphenol cao nhất đạt 0,71 mg/g GAE. Hàm lượng polyphenol càng cao, khả năng chống oxy hóa càng nhiều, có tác dụng bảo vệ tế bào khỏi tổn thương do gốc tự do, nếu dưỡng chất này không có hoặc ít khi đó các tế bào cơ thể bị tổn thương do sự thoái hóa mô. Tuy nhiên, tỷ lệ bột 10 và 15% hàm lượng polyphenol tương đối cao 0,42 mg/g GAE và 0,48 mg/g GAE so với 5% là 0,25 mg/g GAE, có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ($p<0,05$). Kết quả phân tích cho thấy, ở tỷ lệ 10%, hàm lượng polyphenol đạt tối ưu nhất và có khả năng chống oxy hóa có thể được sử dụng như một nguồn cung cấp các hợp chất phenolic tốt cho sản phẩm.

3.6. Ảnh hưởng của tỷ lệ bột quả xoài bổ sung đến hàm lượng flavonoid của sản phẩm bánh mì

Hàm lượng flavonoid của bánh mì bổ sung bột quả xoài được thể hiện qua bảng 8.

Bảng 8. Ảnh hưởng của tỷ lệ bột quả xoài bổ sung đến hàm lượng flavonoid của sản phẩm bánh mì.

Tỷ lệ (%)	Hàm lượng flavonoid (mg QE/g)
0	$0,06^{d}$±0,01
5	$0,10^{c}$±0,03
10	$0,16^{b}$±0,01
15	$0,17^{b}$±0,03
20	$0,28^{a}$±0,02

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột hay cùng một dòng biểu thị khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Kết quả bảng 8 cho thấy, hàm lượng flavonoid trong sản phẩm bánh mì có sự tăng dần theo tỷ lệ bổ sung bột quả xoài. Giá trị flavonoid có sự tăng từ 0,06 mg QE/g (ở mẫu đối chứng 0%) lên lần lượt 0,10; 0,16; 0,17 và 0,28 mg QE/g tương đương với các tỷ lệ bổ sung 5, 10, 15 và 20%. Mẫu bột ở tỷ lệ bổ sung 20% đã chứng minh được khả năng cũng như các chất chống oxy hóa ở tỷ lệ này là cao nhất và đây cũng được xem là tỷ lệ tối ưu nhất cho hàm lượng flavonoid trong sản phẩm bánh mì bổ sung bột quả xoài.

3.7. Ảnh hưởng của tỷ lệ bổ sung bột quả xoài đến giá trị cảm quan của bánh mì

Giá trị cảm quan là yếu tố quan trọng quyết định chất lượng của sản phẩm sau khi chế biến. Chính vì vậy, việc phân tích các giá trị cảm quan là tiền đề cho việc nghiên cứu và chọn ra được tỷ lệ phối chế tối ưu nhất để tạo ra một sản phẩm bánh đạt chất lượng cao. Bên cạnh đó, các giá trị cảm quan của bánh được thể hiện qua bảng 9.

Từ kết quả bảng 9 cho thấy, điểm cảm quan về màu sắc của sản phẩm bánh mì bổ sung bột quả xoài cao nhất

Bảng 9. Ảnh hưởng của tỷ lệ bổ sung bột quả xoài đến giá trị cảm quan của sản phẩm bánh mì.

NT	Màu sắc	Mùi	Vị	Cấu trúc	Sự ưa thích chung
A_0	$6,57^{d}$±0,63	$6,70^{c}$±0,65	$6,67^{c}$±0,71	$6,87^{c}$±0,63	$6,70^{d}$±0,70
A_1	$6,83^{cd}$±0,65	$6,83^{c}$±0,59	$6,97^{c}$±0,76	$7,13^{bc}$±0,78	$7,00^{cd}$±0,64
A_2	8,37**a** ±0,56	$8,13^{a}$±0,51	$8,63^{a}$±0,49	$7,97^{a}$±0,49	$8,53^{a}$±0,51
A_3	$7,57^{b}$±0,63	$7,27^{b}$±0,58	$7,43^{b}$±0,68	$7,30^{b}$±0,65	$7,37^{b}$±0,49
A_4	$7,20^{bc}$±1,13	$7,17^{b}$±0,75	$6,97^{c}$±0,67	$6,83^{c}$±0,65	$7,07^{bc}$±0,83

Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột hay cùng một dòng biểu thị khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

ở tỷ lệ là 10% đạt 8,37 và thấp nhất ở tỷ lệ 0% đạt 6,57. Tuy nhiên, tỷ lệ bột quả xoài bổ sung càng cao thì điểm cảm quan màu sắc bánh càng giảm, ở tỷ lệ 15% đạt 7,57 và ở tỷ lệ 20% đạt 7,20 khi tỷ lệ bổ sung tăng, màu bánh sẫm hơn và độ sáng giảm. Vì vậy, ở tỷ lệ 10% bánh mì có màu đẹp và đạt điểm cảm quan về màu sắc cao. Ngoài ra, trong quá trình sấy làm giảm hàm lượng nước trong quả xoài, dẫn đến tăng nồng độ các chất dinh dưỡng, làm giảm sự phân hủy của chúng.

Về mùi: Điểm cảm quan về mùi của mẫu bánh mì ở tỷ lệ bổ sung 5% đạt 6,83, ở tỷ lệ 10% đạt 8,13, ở tỷ lệ 15% đạt 7,27 và 20% đạt 7,17 còn ở mẫu đối chứng không bổ sung bột quả xoài đạt 6,70 có điểm cảm quan thấp nhất. Điểm cảm quan về mùi ở mẫu bánh bổ sung tỷ lệ 10% đạt điểm cao nhất là 8,13, ở mẫu 15 và 20% cho thấy không có sự khác biệt ở 2 mẫu này.

Về vị: Điểm cảm quan về vị của sản phẩm khi bổ sung bột quả xoài ở tỷ lệ 10% được đánh giá cao nhất đạt số điểm là 8,63, ở tỷ lệ 0% đạt 6,67 điểm thấp nhất khi chưa bổ sung bột quả xoài. Tỷ lệ bột quả xoài bổ sung ở tỷ lệ 5% và ở tỷ lệ 10% bánh có vị quả xoài không nhiều. Ở tỷ lệ 15% đạt 7,43 và ở tỷ lệ 20% đạt 6,97 bổ sung bột quả xoài nhiều, ảnh hưởng đến vị đặc trưng của bánh mì nên điểm cảm quan thấp.

Về cấu trúc: Ở tỷ lệ 0% và ở tỷ lệ 20% đạt điểm thấp hơn rõ rệt so với các mẫu còn lại lần lượt là 6,87 và 6,83. Ở tỷ lệ 5% đạt 7,13 và ở tỷ lệ 15% đạt 7,30, nhưng ở mẫu 10% đối với cảm quan viên có điểm cảm quan cao hơn là 7,97, điều này cho thấy ở chỉ tiêu về cấu trúc thì mẫu 10% cho cấu trúc tốt và mẫu đạt điểm tốt nhất trong các mẫu còn lại.

Về sự ưa thích chung: Đây là một sản phẩm mới nên việc khảo sát mức độ chấp nhận (ưa thích) của người tiêu dùng đối với sản phẩm. Qua khảo sát, độ ưa thích của sản phẩm đều đạt ở mức độ thích nhẹ đến rất thích (6,70-8,53 điểm). Ở tỷ lệ 10% được ưa thích nhất đạt 8,53 điểm, tiếp đến là tỷ lệ 15%, tỷ lệ 20% và tỷ lệ 5% có số điểm lần lượt là 7,37; 7,07 và 7,00 điểm nằm ở mức thích vừa. Điều này cho thấy, đánh giá về sự ưa thích chung ở tỷ lệ 10% là tốt nhất, có sự hấp dẫn về tổng thể nên được yêu thích nhất.

Nhìn chung, kết quả nghiên cứu cho thấy bổ sung bột quả xoài vào sản phẩm bánh mì nếu bổ sung quá nhiều sẽ ảnh hưởng đến đặc tính cảm quan của bánh. Ở tỷ lệ 10% được đánh giá cao nhất qua các chỉ tiêu đánh giá cảm quan vì lượng bột quả xoài được bổ sung vào ở mức vừa phải nên được yêu thích.

4. Kết luận

Qua kết quả thí nghiệm, việc bổ sung bột quả xoài vào sản phẩm bánh mì cho thấy tiềm năng ứng dụng đáng kể, vừa nâng cao giá trị dinh dưỡng vừa cải thiện đặc tính cảm quan mà còn góp phần tận dụng nguồn nguyên liệu nông sản dồi dào, giảm thiểu lãng phí sau thu hoạch. Trong các tỷ lệ thí nghiệm, tỷ lệ bổ sung 10% bột quả xoài cho kết quả tốt nhất, đảm bảo các chỉ tiêu chất lượng như: tỷ lệ tăng thể tích đạt 5,55 lần, độ cứng vỏ bánh (0,56 N), cùng với hàm lượng polyphenol và flavonoid tương ứng là 0,42 mg GAE/g và 0,16 mg QE/g. Đặc biệt, khả năng DPPH đạt 15,25%, cho thấy tiềm năng chống oxy hóa của sản phẩm. Ngoài ra, bánh mì bổ sung bột quả xoài ở tỷ lệ này cũng đạt điểm cảm quan cao về màu sắc (8,37), mùi (8,13), vị (8,63), cấu trúc (7,97) và mức độ ưa thích chung (8,53), cho thấy sự chấp nhận tốt từ

người tiêu dùng. Từ những kết quả trên, có thể khẳng định rằng bột quả xoài không chỉ là nguyên liệu mới có giá trị sinh học cao, mà còn có khả năng ứng dụng hiệu quả trong sản xuất thực phẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] L.A. Bello-Perez, F.J.G. Suarez, E. Agama-Acevedo (2007), "Mango carbohydrates", *Food*, **1(1)**, pp.36-40.

[2] M.E. Maldonado-Celis, E.M. Yahia, R. Bedoya, et al. (2019), "Chemical composition of mango (*Mangifera indica* L.) fruit: Nutritional and phytochemical compounds", *Frontiers in Plant Science*, **10**, pp.1-21, DOI: 10.3389/fpls.2019.01073.

[3] G.I.O. Badifu, C.E. Chima, Y.I. Ajayi, et al. (2006), "Influence of mango mesocarp flour supplement to micronutrient, physical and organoleptic qualities of wheat-based bread", *Nigerian Food Journal*, **23(1)**, pp.59-68, DOI: 10.4314/nifoj.v23i1.33600.

[4] T.V. Hau, N.C. Linh, N.L. Ho. (2015), "Determination of the harvest time of Hoa Loc mango (*Mangifera indica* L.) in Hoa Hung commune, Cai Be district, Tien Giang province", *Can Tho University Journal of Science*, **37**, pp.111-119 (in Vietnamese)

[5] P. Feldsine, C. Abeyta, W. Andrews. (2002), "Methods committee guidelines for validation of qualitative and quantitative food microbiological official methods of analysis", *Journal of AOAC International*, **85(5)**, pp.1187-1200, DOI: 10.1093/jaoac/85.5.1187.

[6] S.P. Cauvain, L.S. Young, (2020), *Breadmaking: Improving Quality*, *Elsevier*, 814pp.

[7] R.M. Salleh, T.L. Ying, L. Mousavi (2016), "Development of fruit bar using sapodilla *(Manilkara zapota* L.)", *Journal of Food Processing and Preservation*, **41(2),** DOI: 10.1111/jfpp.12806.

[8] M. Elmastas, O. Isildak, I. Turkekul, et al. (2007), "Determination of antioxidant activity and antioxidant compounds in wild edible mushrooms", *Journal of Food Composition and Analysis*, **20(3-4)**, pp.337-345, DOI: 10.1016/j.jfca.2006.07.003.

[9] S. Ahmad, A.K. Vashney, P.K. Srivasta (2007), "Quality attributes of fruit bar made from papaya and tomato by incorporating hydrocolloids", *International Journal of Food Properties*, **8(1)**, pp.89-99, DOI: 10.1081/JFP-200048043.

[10] V. Singh, M. Hedayetullah, P. Zaman, et al. (2014), "Postharvest technology of fruits and vegetables: An overview", *Journal of Postharvest Technology*, **2(2)**, pp.124-135.

[11] Q.V. Vuong, S. Hirun, P.D. Roach, et al. (2013), "Effect of extraction conditions on total phenolic compounds and antioxidant activities of Carica papaya leaf aqueous extracts", *Journal of Herbal Medicine*, **3(3)**, pp.104-111, DOI: 10.1016/j.hermed.2013.04.004.

[12] H. Kim, J.Y. Moon, H. Kim, et al. (2010), "Antioxidant and antiproliferative activities of mango *(Mangifera indica* L.*)* flesh and peel", *Food Chemistry*, **121(2)**, pp.429-436, DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.12.060.

[13] S.P. Cauvain, L.S. Young, (2007), *Technology of Breadmaking (2nd ed.)*, Springer, pp.25-48, 397pp.

[14] M.L. Sudha, V. Baskaran, K. Leelavathi (2007), "Apple pomace as a source of dietary fiber and polyphenols and its effect on the rheological characteristics and cake making", *Food Chem.*, **104(2)**, pp.686-692, DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.12.016.

[15] R. Gupta (2006), "Incorporation of dried apple pomace pulp powder in bread", *J. Dairy, Foods & H.S*, **25**, pp.200-205.

[16] M. Šporin, M. Avbelj, B. Kovač, et al. (2018), "Quality characteristics of wheat flour dough and bread containing grape pomace flour", *Food Sci. Technol. Int.*, **24**, pp.251-263, DOI: 10.1177/1082013217745398.

[17] A. Wahyono, A.Z. Tifania, E.K. Kurniawati, et al. (2018), "Physical properties and cellular structure of bread enriched with pumpkin flour", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **207**, DOI: 10.1088/1755-1315/207/1/012054.

[18] M. Rojo, L.M.P. Menacho, S.R.C. Diestra, et al. (2024), "Dietary fiber, polyphenols and sensory and technological acceptability in sliced bread made with mango peel flour", *Brazilian Journal of Food Technology*, **27**, DOI: 10.1590/1981-6723.07323.

[19] C.M. Ajila, K. Leelavathi, U.J.S.P. Rao (2008), "Improvement of dietary fiber content and antioxidant properties in soft dough biscuits with the incorporation of mango peel powder", *Journal of Cereal Science,* **48(2)**, pp.319-326, DOI: 10.1016/j.jcs.2007.10.001.

[20] C.M. Ajila, K.A. Naidu, S.G. Bhat, et al. (2007), "Bioactive compounds and antioxidant potential of mango peel extract", *Food Chemistry*, **105(3)**, pp.982-988, DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.04.052.

DOI: 10.31276/VJST.2026.4129

Đánh giá giải trình tự gen thế hệ mới trong xác định lao kháng thuốc và khảo sát dòng vi khuẩn lao tại Bệnh viện Phổi Trung ương

Đào Gia Bách[1, 2], Đinh Văn Lượng[1*]

[1]Bệnh viện Phổi Trung ương, 463 Hoàng Hoa Thám, phường Ngọc Hà, Hà Nội, Việt Nam
[2]Trường Đại học Y Hà Nội, 1 Tôn Thất Tùng, phường Kim Liên, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 10/7/2026; ngày chuyển phản biện 13/7/2026; ngày nhận phản biện 27/7/2026; ngày chấp nhận đăng 29/7/2026

Tóm tắt:

Mục tiêu: Đánh giá kỹ thuật giải trình tự gen thế hệ mới (NGS) sử dụng bộ kit Deeplex Myc-TB trong xác định lao kháng thuốc và khảo sát dòng vi khuẩn lao tại Bệnh viện Phổi Trung ương. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu: Nghiên cứu thực hiện trên 79 chủng vi khuẩn lao kháng thuốc được lưu tại kho chủng Khoa Vi sinh và Labo Lao chuẩn Quốc gia, Bệnh viện Phổi Trung ương bằng kỹ thuật NGS sử dụng bộ kit Deeplex Myc-TB trên nền tảng Illumina. Kết quả: Kỹ thuật NGS có độ tương đồng cao so với kỹ thuật kháng sinh đồ kiểu hình, đặc biệt đối với thuốc isoniazid và streptomycin. Các thuốc có độ tương đồng thấp hơn lần lượt là ethambutol, rifampicin, pyrazinamide, amikacin, kanamycin. Kết quả phân tích dịch tễ phân tử cho thấy, dòng lineage 2 (Beijing) chiếm ưu thế (84,8%). Tỷ lệ nhiễm hỗn hợp 41,8% chủ yếu ở cặp lineage 2 và lineage 2.2.1, phản ánh mối quan hệ loài gần và đa dạng tiến hóa của vi khuẩn. Kết luận: Kỹ thuật giải trình tự gen thế hệ mới có độ đồng thuận cao so với kỹ thuật kháng sinh đồ kiểu hình lỏng MGIT. Kết quả dịch tễ phân tử cho thấy, dòng lineage 2 (Beijing) chiếm ưu thế, phù hợp với xu hướng lưu hành của chủng này tại Việt Nam. Ngoài ra, tỷ lệ nhiễm hỗn hợp 41,8% nhưng phần lớn là cặp lineage 2 và lineage 2.2.1 có quan hệ gần phản ánh đa dạng tiến hóa vi mô hơn so với việc nhiễm hai chủng độc lập.

Từ khóa: **giải trình tự gen thế hệ mới, kháng sinh đồ lỏng MGIT, *Mycobacterium tuberculosis* kháng thuốc.**

Chỉ số phân loại: **3.1, 3.3**

Evaluation of next-generation sequencing for detecting drug-resistant tuberculosis and investigating *Mycobacterium tuberculosis* lineages at the National Lung Hospital

Gia Bach Dao[1, 2], Van Luong Dinh[1*]

[1]National Lung Hospital, 463 Hoang Hoa Tham Street, Ngoc Ha Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Hanoi Medical University, 1 Ton That Tung Street, Kim Lien Ward, Hanoi, Vietnam

Received 10 July 2026; revised 27 July 2026; accepted 29 July 2026

Abstract:

Objectives: To evaluate the performance of next-generation sequencing (NGS) using the Deeplex Myc-TB kit in detecting drug-resistant tuberculosis and investigating *Mycobacterium tuberculosis* lineages at the National Lung Hospital. Subjects and methods: This study included 79 *M. tuberculosis* strains retrieved from the strain bank of the Department of Microbiology and the National Tuberculosis Reference Laboratory, National Lung Hospital, which were analysed by NGS using the Deeplex Myc-TB kit on the Illumina platform. Results: NGS demonstrated high concordance with phenotypic drug susceptibility testing (DST), particularly for isoniazid and streptomycin. Lower concordance levels were observed for ethambutol, rifampicin, pyrazinamide, amikacin, kanamycin. Molecular epidemiological analysis revealed that lineage 2 (Beijing) was predominant (84,8%). Mixed infection accounted for 41.8% of isolates, primarily involving lineage 2 and lineage 2.2.1, reflecting their close phylogenetic relationship and the microevolutionary diversity of *M. tuberculosis*. Conclusions: NGS showed a high level of agreement with the MGIT liquid phenotypic drug susceptibility testing method. Molecular epidemiological characterisation confirmed the predominance of lineage 2 (Beijing), consistent with the circulating pattern of this lineage in Vietnam. Additionally, the mixed-infection rate reached 41.8%, but most mixed infections involved the closely related lineage 2 and lineage 2.2.1, suggesting microevolutionary diversification rather than infection with two independent strains.

Keywords: **drug-resistant *Mycobacterium tuberculosis*, next-generation sequencing, MGIT liquid drug susceptibility testing.**

Classification numbers: **3.1, 3.3**

[*]Tác giả liên hệ: Email: dinhvanluong66@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Bệnh lao nói chung và lao kháng thuốc nói riêng đang là thách thức lớn đối với sức khỏe cộng đồng không chỉ tại Việt Nam mà còn trên toàn thế giới. Công tác kiểm soát bệnh lao đã đạt được những thành tựu nhất định, song bệnh lao vẫn là nguyên nhân gây tử vong hàng đầu. Theo báo cáo của Tổ chức Y tế Thế giới năm 2025, trong năm 2024, trên thế giới ghi nhận khoảng 10,7 triệu ca mắc lao. Trong đó, số ca mắc bệnh lao kháng đa thuốc hoặc kháng rifampicin (MDR/RR-TB) khoảng 390 nghìn, tỷ lệ tử vong do bệnh lao khoảng 1,2 triệu ca [1]. Tại Việt Nam, trong năm 2024, tổng số ca mắc lao khoảng 184 nghìn. Trong đó, số ca lao kháng đa thuốc hoặc kháng rifampicin ước tính khoảng 9,4 nghìn và tử vong do bệnh lao khoảng hơn 12,4 nghìn ca [2]. Nghiên cứu dịch tễ học bệnh lao đóng vai trò then chốt trong việc phát hiện các "điểm nóng" lao, lao kháng đa thuốc để từ đó thiết kế can thiệp trong việc kiểm soát và khống chế bệnh lao.

Với sự phát triển vượt bậc của khoa học và kỹ thuật, công nghệ giải trình tự gen thế hệ mới NGS là công nghệ tiên tiến hiện đại. Bộ kit Deeplex Myc-TB của GenoScreen, Pháp giúp phát hiện vi khuẩn lao, vi khuẩn lao kháng thuốc nhanh chóng cùng dữ liệu phân tích các gen kháng thuốc cũng như phân loại được các dòng vi khuẩn lao chính xác. Toàn bộ quy trình giải trình tự cho kết quả trong khoảng 24-48 giờ [3], nhanh hơn nhiều so với thời gian trả kết quả kháng sinh đồ lỏng dương tính (khoảng 14 ngày). Tuy nhiên, kỹ thuật kháng sinh đồ lỏng vẫn được xem là "tiêu chuẩn vàng" trong việc xác định tính kháng thuốc của vi khuẩn lao. Căn cứ vào tính cấp thiết và thời sự, chúng tôi tiến hành thực hiện nghiên cứu: "Đánh giá kỹ thuật giải trình tự gen thế hệ mới trong xác định lao kháng thuốc và khảo sát dòng vi khuẩn lao tại bệnh viện Phổi Trung ương".

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Đối tượng nghiên cứu là các chủng vi khuẩn lao kháng thuốc được lưu giữ tại kho chủng của Khoa Vi sinh và Labo Lao chuẩn Quốc gia, Bệnh viện Phổi Trung ương năm 2024.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Thiết kế nghiên cứu

Nghiên cứu mô tả cắt ngang, có phân tích và sử dụng dữ liệu hồi cứu.

2.2.2. Phương pháp chọn mẫu

Chọn mẫu theo phương pháp thuận tiện các chủng vi khuẩn lao kháng thuốc lưu tại kho chủng của Khoa Vi sinh và Labo Lao chuẩn quốc gia, Bệnh viện Phổi Trung ương. Các mẫu này có đầy đủ hồ sơ về kết quả kháng sinh đồ kiểu hình. Cỡ mẫu lựa chọn được là 79 mẫu.

2.2.3. Quy trình nghiên cứu

Các mẫu chủng vi khuẩn lao được cấy truyền sang môi trường lỏng MGIT. Hút 1 ml huyền dịch để thực hiện kỹ thuật giải trình tự gen đích (tNGS: targeted-Next Generation Sequencing) của vi khuẩn lao kháng thuốc sử dụng bộ kit Deeplex Myc-TB (GenoScreen, Pháp). Các mẫu chủng vi khuẩn lao được tách chiết DNA bằng bộ kit QIAamp DNA Mini Kit (Qiagen, Đức). Lượng DNA thu được sau tách chiết được khuếch đại sử dụng bộ kit PCR Deeplex Myc-TB (GenoScreen, Pháp). Sản phẩm PCR được tinh sạch sử dụng hạt từ AMPure XP (Beckman Coulter, Hoa Kỳ) và thực hiện các bước chuẩn bị thư viện sử dụng bộ kit Illumina DNA Library Prep Kit (Illumina, Hoa Kỳ). Tiến hành giải trình tự trên hệ thống Illumina MiSeq. Sau quá trình giải trình tự, các tệp dữ liệu giải trình tự thô sẽ được phân tích tin sinh học tự động bằng phần mềm phân tích.

2.2.4. Thu thập và phân tích số liệu

Dữ liệu thô sau giải trình tự được phân tích tự động bằng phần mềm. Dữ liệu sau đó được thu thập và làm sạch trên Excel và phân tích bằng phần mềm R.

2.3. Địa điểm nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện tại Khoa Vi sinh và Labo Lao chuẩn Quốc gia, Bệnh viện Phổi Trung ương.

2.4. Đạo đức nghiên cứu

Nghiên cứu này được thực hiện với một mục đích duy nhất nhằm phục vụ và bảo vệ sức khỏe cộng đồng. Các chủng nghiên cứu và kết quả xét nghiệm đã được mã hóa thông tin và không thu thập bất kỳ thông tin nào khác nhằm bảo mật trong quá trình thu thập và phân tích số liệu.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. So sánh mức độ tương đồng giữa kỹ thuật giải trình tự gen thế hệ mới và kháng sinh đồ lỏng MGIT

Độ chính xác của kỹ thuật giải trình tự gen thế hệ mới được so sánh với kỹ thuật kháng sinh đồ kiểu hình môi trường MGIT (KSĐ lỏng MGIT) thông qua hệ số Cohen's Kappa (k) với 12 loại thuốc: Isoniazid (INH), streptomycin (SM), nhóm fluoroquinolone (FLQ), pyrazinamide (PZA), kanamycin (KAN), ethambutol (EMB), rifampicin (RIF), amikacin (AMI), bedaquiline

(BDQ), capreomycin (CAP), clofazimine (CFZ), linezolid (LZD). Kết quả được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Kết quả so sánh kỹ thuật tNGS và kháng sinh đồ kiểu hình lỏng MGIT.

Tên thuốc	n*	Kappa (k)	% đồng thuận
INH	77	0,87	97,4
SM	78	0,85	96,2
FLQ	71	0,62	91,5
PZA	75	0,59	80,0
KAN	77	0,31	87,0
EMB	78	0,28	61,5
RIF	77	0,26	79,2
AMI	77	0,21	85,7
BDQ	75	0,00	98,7
CAP	78	0,00	98,7
CFZ	75	N/A	100
LZD	76	N/A	100

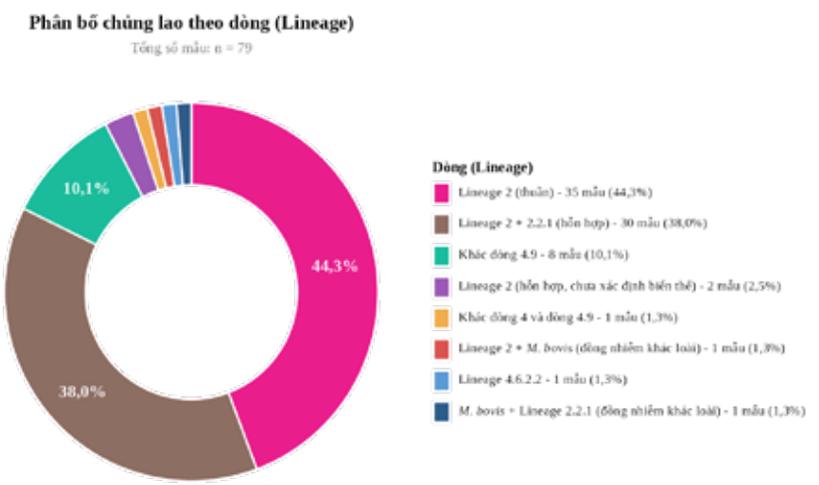
N/A: không xác định, n: cỡ mẫu, k: thước đo độ tin cậy trong nghiên cứu. *Cỡ mẫu không đạt 79 ở các loại thuốc do loại bỏ một số kết quả không xác định hoặc không phân loại được.

Kỹ thuật giải trình tự gen thế hệ mới sử dụng bộ kit Deeplex Myc-TB là một kỹ thuật sinh học phân tử hiện đại cho phép phát hiện vi khuẩn lao cũng như tính kháng thuốc nhanh. Tuy nhiên, theo Tổ chức Y tế Thế giới, kỹ thuật kháng sinh đồ kiểu hình lỏng MGIT vẫn được coi là "tiêu chuẩn vàng" trong việc xác định tính kháng thuốc của vi khuẩn lao. Chính vì vậy, việc so sánh kỹ thuật tNGS và kỹ thuật KSĐ lỏng MGIT để xác định độ chính xác của kỹ thuật tNGS là cần thiết. I. Bonnet và cs (2021) [4] tiến hành nghiên cứu đánh giá về bộ kit Deeplex Myc-TB đều cho thấy mức độ phù hợp cao với kháng sinh đồ kiểu hình với mức độ đồng thuận tổng thể là 85,4% giữa hai phương pháp. Một nghiên cứu xác nhận của A. Jouet và cs (2021) [5] trên 429 chủng phân lập cho thấy, Deeplex dự đoán được 92,2% kiểu hình với độ nhạy khoảng 95,3% và độ đặc hiệu trung bình là 97,4%.

Kết quả bảng 1 cho thấy, hai thuốc có (k) cao nhất là isoniazid và streptomycin (0,87 và 0,85) do cơ chế đề kháng đặc trưng về mặt di truyền (đột biến trội tại *katG* S315T, *inhA* cho INH; *rpsL* K43R, *gidB*, *rrs* cho SM) nên khả năng dự đoán kiểu hình từ kiểu gen có độ chính xác rất cao. Kết quả này tương tự với nghiên cứu của S. Feuerriegel và cs (2021) [6] với mức độ đồng thuận thuốc INH là 94,9%. Bên cạnh đó, kết quả cũng cho thấy một số thuốc như PZA, EMB, RIF, KAN, AMI có (k) thấp, tuy nhiên tỷ lệ phần trăm đồng thuận tương đối cao. Theo S. Mok và cs (2021) [4], PZA chỉ có hoạt tính ở pH acid nên gây ra hiện tượng kháng giả trên hệ thống BACTEC MGIT 960 khiến cho các so sánh với các kỹ thuật về gen có mức độ đồng thuận thấp. Điều này tương tự với nghiên cứu của A. Jouet và cs [5] khi ghi nhận 81,2% các bất đồng liên quan đến pyrazinamide, ethambutol, ethionamide. Ngoài ra, kết quả tại bảng 1 ghi nhận các thuốc như BDQ, CAP, CFZ, LZD là các thuốc có mức độ đồng thuận bằng 0 hoặc không xác định. Tuy nhiên, đây là hiện tượng nghịch lý của hệ số Kappa (Kappa-paradox) do quần thể vi khuẩn lao nghiên cứu hầu hết đều nhạy cảm với cả hai phương pháp, cùng với đó là tỷ lệ đồng thuận ngẫu nhiên cao dẫn đến việc (k) bị giảm xuống gần bằng 0 hoặc không có giá trị thống kê [8]. Đối với các trường hợp thuốc RIF, AMI, KAN, bất đồng có thể xảy ra do hiện tượng vi khuẩn không đồng nhất. Các nghiên cứu giải trình tự sâu cho thấy, hiện tượng heteroresistance (sự hiện diện của biến thể thiểu số kháng thuốc) có thể tồn tại với tần suất dưới 1% và không phải lúc nào cũng được phát hiện đồng nhất giữa kỹ thuật giải trình tự gen và kỹ thuật kháng sinh đồ kiểu hình. Các nghiên cứu trước đây sử dụng bộ kit Deeplex đã ghi nhận các bất đồng xuất phát từ các biến thể có tần suất thấp gây đề kháng ở mức độ nhẹ, ví dụ với đột biến *katG* S315G chỉ xuất hiện với tần suất 5,5% [6, 9].

3.2. Kết quả dịch tễ học phân tử

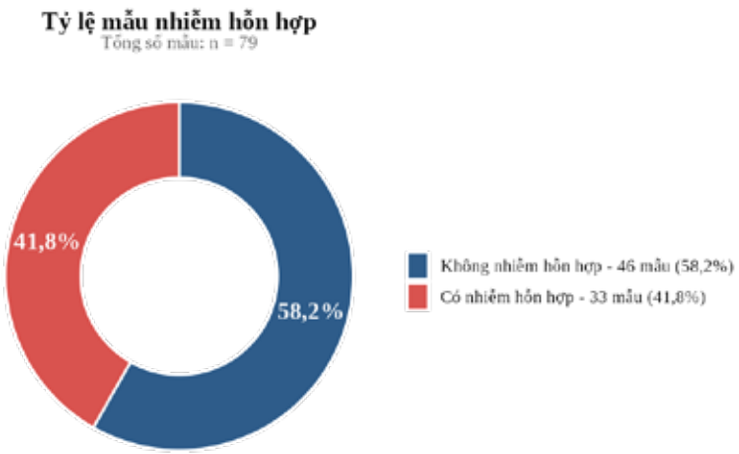
Kỹ thuật giải trình tự gen sử dụng bộ kit Deeplex cho phép phân tích đồng thời thông tin về chủng loại vi khuẩn lao theo phương pháp spoligotype và single nucleotide polymorphism (SNP). Đây là kết quả không thể có khi làm kháng sinh đồ kiểu hình. Kết quả được trình bày trong hình 1.



Hình 1. Tỷ lệ các dòng vi khuẩn lao.

Kết quả hình 1 cho thấy, Lineage 2 (bao gồm cả dạng thuần và cả dạng hỗn hợp với 2.2.1) chiếm ưu thế khoảng 84,8% (35 mẫu thuần + 30 mẫu hỗn hợp 2.2.1 + 2 mẫu hỗn hợp không xác định biến thể =67/79). Tỷ lệ lineage 2 (Beijing) chiếm tỷ lệ áp đảo phù hợp chặt chẽ với các nghiên cứu dịch tễ phân tử vi khuẩn lao tại Việt Nam. Nghiên cứu đa trung tâm đầu tiên ở cấp Quốc gia của V.A.T. Nguyen và cs (2016) [10] trên các bệnh viện tuyến Trung ương của cả ba miền đều ghi nhận Beijing là dòng phổ biến nhất với tỷ lệ 55,4%, sau đó là EAI (27,5%), đồng thời cho thấy xu hướng dòng Beijing dần thay thế dòng EAI. Đặc biệt, tại miền Bắc và miền Trung, sự áp đảo của chủng Beijing kéo theo xu hướng gia tăng tỷ lệ lao kháng thuốc trong tương lai [10]. Tại TP. Hồ Chí Minh, một nghiên cứu với quy mô lớn của K.E. Holt và cs (2018) [11] ghi nhận tỷ lệ lineage 2 lên đến 63,6%, phản ánh hiện tượng du nhập và lây truyền liên tục của dòng Beijing gây gánh nặng bệnh lao ngày một cao hơn [12]. Một khảo sát ở miền Bắc Việt Nam do V.A.T. Nguyen và cs (2012) [12] ghi nhận tỷ lệ 38,5% xuất hiện ở cả dòng Beijing và EAI, đã cho thấy xu hướng gia tăng và phát triển của dòng Beijing theo thời gian.

Trong nghiên cứu này (hình 2), tỷ lệ nhiễm hỗn hợp (mixed infection) đạt 41,8% cho thấy, dữ liệu này tương đối cao so với khoảng tham chiếu thường được báo cáo tại các vùng có gánh nặng bệnh lao cao dao động trong khoảng 10-20%. Một nghiên cứu sử dụng kỹ thuật giải trình tự toàn bộ bộ gen (WGS: Whole Genome Sequencing) ghi nhận khả năng phát hiện nhiễm hỗn hợp phụ thuộc vào tần suất của các chủng thiểu số. Khi tần suất của chủng thiểu số đủ cao, các allele hỗn hợp sẽ dễ dàng được nhận diện. Ngược lại, nếu chủng thiểu số ít phổ biến, các allele hỗn hợp sẽ khó để phát hiện với các biến thể hiếm khác [13]. Bên cạnh đó, không loại trừ trường hợp xuất hiện hiện tượng tiến hóa vi mô cùng vật chủ hơn là nhiễm hai chủng độc lập thực sự. Trong số 30/33 trường hợp nhiễm hỗn hợp, sự hiện diện của dòng lineage 2 và lineage 2.2.1. Lineage 2.2.1 là một sublineage của chính lineage 2, chứ không phải hai dòng khác biệt nhau về mặt di truyền. Các nghiên cứu cũng đã chỉ ra rằng, phương pháp phân loại dựa trên SNP có nguy cơ nhầm lẫn giữa trường hợp nhiễm hỗn hợp thật sự (hai chủng lây nhiễm độc lập) và sự đa dạng tiến hóa của dòng có chung nguồn gốc, tổ tiên trong quá trình nhiễm trùng kéo dài. Hơn nữa, bộ kit Deeplex Myc-TB được thiết kế để giải trình tự các vùng gen mục tiêu, không phải toàn bộ bộ gen nên khả năng nhận biết và phân biệt hai trường hợp này chưa thực sự tốt [13]. Tuy nhiên, nếu xác nhận được trường hợp là nhiễm hỗn hợp thực sự, có ý nghĩa rất lớn trong lâm sàng, do đây là nguyên nhân dẫn đến phần lớn các thất bại trong phác đồ điều trị. Đồng thời, có thể gây ra kết quả kháng sinh đồ kiểu hình không nhất quán, làm phức tạp phác đồ và quá trình điều trị [9, 13].



Hình 2. Tỷ lệ mẫu nhiễm hỗn hợp.

Nghiên cứu còn một số hạn chế như: Các mẫu nghiên cứu đều thực hiện trên chủng nuôi cấy, không thực hiện trên mẫu đờm. Đối với một số thuốc có hệ số Kappa thấp, hầu hết các chủng đều cùng kháng hoặc nhạy cảm, không có nhóm đối chứng dẫn đến hệ số Kappa bị giảm. Nghiên cứu này chưa so sánh với các kỹ thuật sinh học phân tử khác như Xpert hay LPA.

4. Kết luận

Kỹ thuật giải trình tự gen thế hệ mới sử dụng bộ kit Deeplex Myc-TB cho thấy độ tương đồng cao so với kỹ thuật kháng sinh đồ kiểu hình lỏng MGIT, đặc biệt đối với thuốc INH và SM (k=0,87 và 0,85). Trong khi đó, mức độ tương đồng thấp hơn lần lượt ở các thuốc PZA, RIF, EMB, KAN, AMI.

Khảo sát đặc điểm dịch tễ phân tử cho thấy, dòng lineage 2 (Beijing) chiếm ưu thế khoảng 84,8% phản ánh sự phù hợp với xu hướng lưu hành của chủng này ghi nhận tại Việt Nam. Tỷ lệ nhiễm hỗn hợp tương đối cao (41,8%) nhưng phần lớn là cặp lineage 2 và lineage 2.2.1 có quan hệ gần, có thể phản ánh đa dạng hóa sự tiến hóa vi mô hơn là nhiễm hai chủng độc lập.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] World Health Organization (2025a), *Global Tuberculosis Report 2025*, https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/e97dd6f4b56743968680717bac6869a9/content, accessed 10 June 2026.

[2] World Health Organization (2025b), *Vietnam TB profile 2025*, https://worldhealthorg.shinyapps.io/tb_profiles/?_inputs_&tab=%22charts%22&lan=%22EN%22&iso3=%22VNM%22&entity_type=%22country%22, accessed 10 June 2026.

[3] Deeplex (nd), "Deeplex Myc-TB the all-in-one solution for extensive detection of Mycobacterium tuberculosis drug resistance", https://www.deeplex.com/deeplex-myc-tb-tuberculosis-drug-resistance-diagnostic-kit/, accessed 10 June 2026.

[4] I. Bonnet, V. Enouf, F. Morel, et al. (2021), "A comprehensive evaluation of GeneLEAD VIII DNA platform combined to Deeplex Myc-TB® assay to detect in 8 days drug resistance to 13 antituberculous drugs and transmission of *Mycobacterium tuberculosis* complex directly from clinical samples", *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, **11**, DOI: 10.3389/fcimb.2021.707244.

[5] A. Jouet, C. Gaudin, N. Bedalato (2021), "Deep amplicon sequencing for culture-free prediction of susceptibility or resistance to 13 anti-tuberculous drugs", *European Respiratory Journal*, **57(3)**, DOI: 10.1183/13993003.02338-2020.

[6] S. Feuerriegel, T. A. Kohl, C. Utpatel (2021), "Rapid genomic first- and second-line drug resistance prediction from clinical *Mycobacterium tuberculosis* specimens using Deeplex-MycTB", *European Respiratory Journal*, **57(1)**, DOI: 10.1183/13993003.01796-2020.

[7] S. Mok, E. Roycroft, PR. Flanagan, et al. (2021), "Overcoming the challenges of pyrazinamide susceptibility testing in clinical *Mycobacterium tuberculosis* isolates", *Antimicrob. Agents Chemother.*, **65(8)**, DOI: 10.1128/aac.02617-20.

[8] Assessing agreement using Cohen's kappa (2015), https://www-users.york.ac.uk/~mb55/intro/kappa4.htm#top, accessed 10 June 2026.

[9] S.S. Shin, C. Modongo, Y. Baik, et al. (2018), "Mixed *Mycobacterium tuberculosis*-strain infections are associated with poor treatment outcomes among patients with newly diagnosed tuberculosis, independent of pretreatment heteroresistance", *The Journal of Infectious Diseases*, **218(12)**, pp.1974-1982, DOI: 10.1093/infdis/jiy480.

[10] V.A.T. Nguyen, AL. Bañuls, T.H.T. Tran, et al. (2016), "*Mycobacterium tuberculosis* lineages and anti-tuberculosis drug resistance in reference hospitals across Viet Nam", *BMC Microbiology*, **16(1)**, DOI: 10.1186/s12866-016-0784-6.

[11] K.E. Holt, P. McAdam, P.V.K. Thai, et al. (2018), "Frequent transmission of the *Mycobacterium tuberculosis* Beijing lineage and positive selection for the EsxW Beijing variant in Vietnam", *Nature Genetics*, **50(6)**, pp.849-856, DOI: 10.1038/s41588-018-0117-9.

[12] V.A.T. Nguyen, M. Choisy, D.H. Nguyen, et al. (2012), "High prevalence of Beijing and EAI4-VNM genotypes among *M. tuberculosis* isolates in Northern Vietnam: Sampling effect, rural and urban disparities", *PLOS ONE*, **7(9)**, DOI: 10.1371/journal.pone.0045553.

[13] M. Gan, Q. Liu, C. Yang, et al. (2016), "Deep whole-genome sequencing to detect mixed infection of *Mycobacterium tuberculosis*", *PLOS ONE*, **11(7)**, DOI: 10.1371/journal.pone.0159029.

Thách thức trong điều trị lọc máu chu kỳ: Nghiên cứu định tính từ góc nhìn người bệnh và nhân viên y tế tại Bệnh viện Đa khoa Gia Lai

Dương Hải Yến[1], Lê Minh Thi[2*], Hoàng Lan Vân[3]

[1]Bệnh viện Đa khoa Gia Lai, 132 Tôn Thất Tùng, phường Pleiku, tỉnh Gia Lai, Việt Nam
[2]Trường Đại học Y tế Công cộng, 1A Đức Thắng, phường Đông Ngạc, Hà Nội, Việt Nam
[3]Đại học Phenikaa, đường Nguyễn Trác, phường Dương Nội, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 29/10/2025; ngày chuyển phản biện 30/10/2025; ngày nhận phản biện 12/11/2025; ngày chấp nhận đăng 25/11/2025

Tóm tắt:

Lọc máu chu kỳ (maintenance hemodialysis) là phương pháp điều trị thay thế thận được thực hiện đều đặn 2-3 buổi mỗi tuần nhằm duy trì cân bằng nội môi và sự sống cho người bệnh suy thận mạn giai đoạn cuối [1]. Bài báo mô tả khó khăn và thách thức trong điều trị lọc máu chu kỳ từ góc nhìn người bệnh và nhân viên y tế (NVYT) tại Bệnh viện Đa khoa Gia Lai từ tháng 1 đến tháng 8 năm 2025. Nghiên cứu định tính theo hiện tượng học. Phỏng vấn sâu bán cấu trúc với 10 người bệnh và 6 NVYT. Các cuộc phỏng vấn được ghi âm và gỡ băng; dữ liệu mã hóa độc lập bởi hai nghiên cứu viên và phân tích theo Braun & Clarke. Bão hòa thông tin được xem là đạt khi không phát sinh mã mới trong hai đến ba cuộc phỏng vấn liên tiếp. Xác định năm chủ đề: (1) gánh nặng kinh tế và cảm giác là gánh nặng cho gia đình; (2) gia đình là nguồn hỗ trợ vật chất và tinh thần chính; (3) hỗ trợ cộng đồng còn rời rạc; (4) ảnh hưởng tới sức khỏe tâm thần; (5) hạn chế hệ thống và nỗ lực NVYT. Bối cảnh địa phương (địa hình miền núi, trình độ học vấn còn thấp) làm tăng rào cản đi lại để tiếp cận dịch vụ, ảnh hưởng tiêu cực tới tuân thủ điều trị. Lọc máu chu kỳ tại Gia Lai là thách thức đa chiều. Cần các can thiệp tích hợp: tăng năng lực hệ thống, mở rộng hỗ trợ tâm lý và cơ chế hỗ trợ tài chính nhằm cải thiện tuân thủ và chất lượng cuộc sống (QoL).

Từ khóa: **chất lượng cuộc sống, định tính, Gia Lai, lọc máu chu kỳ, suy thận mạn.**

Chỉ số phân loại: **3.2, 3.3, 3.5**

Challenges in maintenance haemodialysis care: A qualitative study from the perspectives of patients and healthcare providers at Gia Lai General Hospital

Hai Yen Duong[1], Minh Thi Le[2*], Lan Van Hoang[3]

[1]Gia Lai General Hospital, 132 Ton That Tung Street, Pleiku Ward, Gia Lai Province, Vietnam
[2]Hanoi University of Public Health, 1A Duc Thang Street, Dong Ngac Ward, Hanoi, Vietnam
[3]Phenikaa University, Nguyen Trac Street, Duong Noi Ward, Hanoi, Vietnam

Received 29 October 2025; revised 12 November 2025; accepted 25 November 2025

Abstract:

Maintenance haemodialysis is a renal replacement therapy performed regularly two to three times per week to maintain homeostasis and sustain life in patients with end-stage chronic kidney disease [1]. This study describes the difficulties and challenges of maintenance haemodialysis from the perspectives of patients and healthcare providers at Gia Lai General Hospital between January and August 2025. A qualitative phenomenological approach was employed. Semi-structured in-depth interviews were conducted with 10 patients receiving maintenance haemodialysis and 6 healthcare providers. The interviews were audio-recorded and transcribed verbatim; the data were independently coded by two researchers and analysed using Braun and Clarke's thematic analysis. Data saturation was considered achieved when no new codes emerged across two to three consecutive interviews. Five themes were identified: (1) economic burden and the perception of being a burden on the family; (2) family as the primary source of material and emotional support; (3) limited and fragmented community support; (4) impacts on mental health; and (5) systemic constraints and healthcare staff efforts. Local contextual factors, including mountainous terrain and low educational levels, intensified barriers to transportation to accessing services, negatively affecting treatment adherence. Maintenance haemodialysis in Gia Lai presents multidimensional challenges. Integrated interventions are needed, including strengthening system capacity, expanding psychological support, and enhancing financial assistance mechanisms to improve treatment adherence and patients' quality of life.

Keywords: **chronic kidney disease, Gia Lai, maintenance haemodialysis, qualitative study, quality of life.**

Classification numbers: **3.2, 3.3, 3.5**

[*]Tác giả liên hệ: Email: lmt@huph.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Bệnh thận mạn giai đoạn cuối (ESRD) là một gánh nặng sức khỏe cộng đồng ngày càng gia tăng trên toàn thế giới. Ước tính hàng triệu người cần điều trị thay thế chức năng thận, trong đó, lọc máu chu kỳ là hình thức phổ biến nhất và tiêu tốn nhiều nguồn lực y tế [2]. Tình trạng này kéo theo chi phí điều trị lớn, nhu cầu nhân lực và thiết bị chuyên dụng, cũng như tỷ lệ nhập viện và tử vong cao nếu không được quản lý tốt [3].

Tại Việt Nam, số người mắc bệnh thận mạn giai đoạn cuối và nhu cầu lọc máu chu kỳ tăng đều qua các năm, đặt áp lực lớn lên hệ thống y tế tuyến tỉnh và hộ gia đình do chi phí trực tiếp và chi phí gián tiếp [3, 4]. Nghiên cứu định lượng trong nước cho thấy QoL của người lọc máu chu kỳ thường ở mức trung bình - thấp, đặc biệt điểm thể chất và tinh thần thấp hơn các lĩnh vực khác, phản ánh cả gánh nặng thể chất lẫn tâm lý - xã hội. Ngoài ra, việc tiếp cận dịch vụ, chi phí vật tư tiêu hao và cơ chế hỗ trợ tài chính chưa đầy đủ làm tăng nguy cơ bỏ buổi, giảm liều lọc và xấu đi kết quả lâm sàng [5, 6].

Mặc dù có nhiều nghiên cứu định lượng mô tả mức độ QoL và các yếu tố liên quan, các bằng chứng định tính về trải nghiệm sống, những cảm nhận, chiến lược đối phó của người bệnh và góc nhìn thực hành của NVYT - đặc biệt ở những khu vực miền núi, dân tộc thiểu số đông - vẫn còn hạn chế. Tiếp cận hiện tượng học cho phép khám phá sâu sắc bản chất trải nghiệm của người bệnh, từ đó giải thích được "vì sao" các chỉ số định lượng như điểm QoL lại ở mức thấp và làm rõ các rào cản văn hóa, giao tiếp và tổ chức dịch vụ mà các khảo sát định lượng khó bộc lộ. Do đó, nghiên cứu này được tiến hành tại Bệnh viện Đa khoa Gia Lai - một bệnh viện tuyến tỉnh ở khu vực Tây Nguyên, nơi địa hình miền núi trải dài, nhiều xã cách xa trung tâm 30-140 km, giao thông khó khăn, và tỷ lệ người dân tộc thiểu số (Jrai, Bana) chiếm tỷ lệ lớn. Các yếu tố này tạo ra rào cản về di chuyển, ngôn ngữ và khả năng tiếp cận dịch vụ y tế - những đặc điểm ảnh hưởng trực tiếp đến việc tuân thủ điều trị lọc máu chu kỳ. Trên cơ sở đó, nghiên cứu hướng tới: (1) mô tả các khó khăn và thách thức trong quá trình điều trị lọc máu chu kỳ theo kinh nghiệm của người bệnh; (2) nắm bắt góc nhìn và nỗ lực của NVYT trong việc hỗ trợ người bệnh; (3) đề xuất các hướng can thiệp khả thi phù hợp bối cảnh địa phương để cải thiện tuân thủ điều trị và QoL. Kết quả nghiên cứu hướng tới cung cấp bằng chứng thực tiễn cho hoạch định chính sách và cải thiện chăm sóc tại tuyến tỉnh.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Thiết kế nghiên cứu

Nghiên cứu định tính với tiếp cận hiện tượng học được sử dụng nhằm khám phá trải nghiệm những khó khăn và thách thức mà người bệnh suy thận mạn giai đoạn cuối gặp phải trong quá trình điều trị lọc máu chu kỳ.

2.2. Địa điểm và thời gian

Nghiên cứu được tiến hành tại Khoa Hồi sức tích cực - chống độc, Bệnh viện Đa khoa Gia Lai. Dữ liệu được thu thập từ tháng 1 đến tháng 8 năm 2025.

2.3. Đối tượng nghiên cứu

Người bệnh (NB): Người bệnh ≥18 tuổi, chẩn đoán suy thận mạn giai đoạn cuối, đang điều trị lọc máu chu kỳ ≥3 tháng tại khoa; có khả năng hiểu và trả lời phỏng vấn; đồng ý tham gia bằng văn bản. Loại trừ: người bệnh trong tình trạng cấp cứu, mất năng lực nhận thức, hoặc từ chối tham gia.

Nhân viên y tế: Cán bộ tham gia trực tiếp chăm sóc người bệnh lọc máu chu kỳ, gồm bác sỹ điều trị, điều dưỡng trực/điều dưỡng trưởng; cán bộ làm công tác quản lý bao gồm: lãnh đạo khoa, điều dưỡng trưởng khoa và nhân viên công tác xã hội.

2.4. Chọn mẫu và cỡ mẫu

Mẫu được chọn theo phương pháp chọn mẫu có chủ đích nhằm đảm bảo đa dạng về tuổi, giới, dân tộc và hoàn cảnh kinh tế. Thực tế, nghiên cứu đã thực hiện tổng cộng 16 cuộc phỏng vấn (10 NB và 6 NVYT), quá trình thu thập tiếp tục đến khi đạt bão hòa thông tin - được định nghĩa là khi hai đến ba cuộc phỏng vấn liên tiếp không bổ sung chủ đề mới.

2.5. Thu thập dữ liệu

Dữ liệu thu thập bằng phỏng vấn sâu bán cấu trúc theo hướng dẫn phỏng vấn soạn sẵn, bao gồm các chủ đề: chi phí và gánh nặng kinh tế, hỗ trợ gia đình - xã hội, tác động tinh thần, trải nghiệm dịch vụ y tế và đề xuất cải thiện. Mỗi cuộc phỏng vấn kéo dài khoảng 30-45 phút, được thực hiện bằng tiếng Việt và tiếng địa phương; đối

với người tham gia là đồng bào dân tộc thiểu số, có hỗ trợ phiên dịch là NVYT. Toàn bộ cuộc phỏng vấn được ghi âm và nghiên cứu viên ghi chú hiện trường. Bản ghi âm được gỡ băng nguyên văn ngay sau phỏng vấn.

2.6. Phân tích dữ liệu

Bản ghi được mã hóa bằng phương pháp thematic analysis theo sáu bước của Braun & Clarke: (1) làm quen với dữ liệu; (2) tạo mã sơ bộ; (3) tìm kiếm chủ đề; (4) rà soát chủ đề; (5) đặt tên và định nghĩa chủ đề; (6) viết báo cáo. Hai nghiên cứu viên độc lập tiến hành mã hóa, mọi khác biệt được thảo luận cho tới khi đạt đồng thuận. Dữ liệu được nhập quản lý bằng file Word.

2.7. Đạo đức nghiên cứu

Nghiên cứu được phê duyệt bởi Hội đồng Đạo đức của Trường Đại học Y tế Công cộng (Quyết định số 96/2025/YTCC-HD3, ngày 8/4/2025) và được Ban Giám đốc Bệnh viện Đa khoa Gia Lai chấp thuận. Tất cả người tham gia đã cung cấp sự đồng ý bằng văn bản trước khi tham gia.

3. Kết quả

Phân tích theo phương pháp chủ đề đã xác định được năm nhóm khó khăn và thách thức chính trong quá trình điều trị, bao gồm:

3.1. Gánh nặng kinh tế và cảm giác trở thành gánh nặng cho gia đình

Gánh nặng tài chính là trở ngại nổi bật mà người bệnh phải đối mặt trong suốt quá trình điều trị. Chi phí đi lại, dây lọc máu, thuốc và sinh hoạt hằng ngày khiến nhiều gia đình rơi vào tình trạng rất khó khăn. Không ít người bệnh phải vay mượn từ người thân, bạn bè hoặc hàng xóm, thậm chí bán tài sản như nương rẫy để tiếp tục điều trị. Một số trường hợp khi không thu xếp được tài chính, người bệnh buộc phải dừng các buổi lọc máu, điều này có thể đe dọa trực tiếp đến tình trạng sức khỏe. Nhiều người bệnh cũng chia sẻ những cảm xúc và tâm trạng luôn thấy day dứt, cho rằng bản thân trở thành gánh nặng cho gia đình khi vừa không tạo ra thu nhập, vừa tiêu tốn nhiều tiền bạc. Cảm giác phụ thuộc và mặc cảm này xuất hiện lặp đi lặp lại, nhất là ở người bệnh còn trẻ, đang nuôi con nhỏ hoặc trong gia đình chỉ có một nguồn thu. *"Gia đình lo tất cả về kinh tế, có đi vay mượn ở ngoài để chữa bệnh... Vừa chữa bệnh, hai con nhỏ còn đi học và chăm sóc ông nội hơn 90 tuổi nên rất ảnh hưởng đến kinh tế" (NB-N01, nữ).*

"Trừ bảo hiểm y tế ra mỗi tháng mình phải đóng 700 nghìn để mua dây, khi không có thì đi mượn anh em, có tuần không có tiền mình không đi chạy nữa" (NB-N03, nữ). "Một mình chồng làm hết mọi việc, nuôi con đi học, nuôi vợ bệnh... nhiều lúc nghĩ mình mà sống thì chồng con càng khổ" (NB-N04, nữ).

Kết quả cho thấy, gánh nặng kinh tế không chỉ là vấn đề tài chính thuần túy, mà còn kéo theo áp lực tâm lý lớn, làm người bệnh cảm thấy mặc cảm, bất lực và gia tăng lo âu về tương lai của gia đình.

3.2. Gia đình và sự đồng hành trong quá trình điều trị

Hầu hết người bệnh đều khẳng định rằng, gia đình chính là chỗ dựa vững chắc nhất giúp họ duy trì việc điều trị bệnh. Vai trò của gia đình thể hiện trên nhiều phương diện khác nhau bao gồm: hỗ trợ kinh tế, chăm sóc trực tiếp, và động viên tinh thần. Người thân không chỉ gánh vác chi phí đi lại, ăn ở, chi phí y tế mà còn dành thời gian đưa đón người bệnh trong những lần đến bệnh viện để lọc máu, giúp họ an tâm hơn khi điều trị. Cảm giác được quan tâm, che chở từ người thân giúp người bệnh có thêm động lực vượt qua những đau đớn thể chất và lo âu tinh thần. Đối với những người bệnh còn trẻ, chưa lập gia đình riêng, cha mẹ thường là chỗ dựa toàn diện về cả chi phí và quá trình chăm sóc. Một người bệnh nam cho biết*: "Ba mẹ là người lo tất cả về chi phí đi lại, tiền ăn, tiền xe mỗi tuần. Em chưa có vợ nên mọi thứ đều nói với ba mẹ nhiều nhất" (NB-N02, nam)*. Ở nhóm nữ giới, đặc biệt khi ở xa bệnh viện, vai trò người mẹ/người chị trong việc đưa đón được nhấn mạnh: *"Mẹ và gia đình hỗ trợ em rất nhiều... mỗi lần đi chạy thận mẹ đều đưa em đi"* (NB-N05, nữ). Sự nâng đỡ này giúp người bệnh giảm lo âu, duy trì lịch lọc máu đều đặn và gắn bó điều trị tốt hơn; đồng thời, sự phụ thuộc kéo dài làm phát sinh gánh nặng chăm sóc và căng thẳng kinh tế - tâm lý cho người thân, nhất là khi gia đình có một nguồn thu duy nhất hoặc phải chăm thêm người cao tuổi. Điều này cho thấy gia đình vừa là điều kiện quyết định để duy trì điều trị, vừa là nhóm cần được hỗ trợ (tư vấn ngắn cho người chăm sóc, hướng dẫn theo dõi tại nhà, kết nối nguồn trợ giúp xã hội) để hạn chế kiệt sức và bảo toàn tính bền vững của chăm sóc.

3.3. Hạn chế trong hỗ trợ xã hội và cộng đồng

Ngoài gia đình, đa số người bệnh ít nhận được hỗ trợ chính thức từ địa phương/đoàn thể. Trợ giúp chủ yếu là từ thiện, ngắn hạn và không ổn định: *"Ở buôn thì ai cũng nghèo nên không ai cho mình gì cả, ở xã cũng thế, mình làm đơn xin tiền hộ nghèo nhưng bao nhiêu năm nay rồi vẫn không được" (BN-N05, nữ)*. Một số ít người bệnh có nhắc đến sự giúp đỡ từ các đoàn từ thiện, nhưng nguồn hỗ trợ này mang tính ngắn hạn, không ổn định và không đủ để giảm bớt gánh nặng lâu dài. Sự hạn chế về nguồn lực của cộng đồng, đặc biệt tại vùng miền núi còn nhiều khó khăn, càng làm cho người bệnh cảm thấy đơn độc trong hành trình điều trị. *"Có đoàn từ thiện hay cho những người có hoàn cảnh khó khăn như mình 1 tháng 1 triệu đồng để đóng tiền dây, còn tết thì cho gạo và bánh" (NB-N01, nữ)*. Những chia sẻ này cho thấy mặc dù cộng đồng địa phương có sự hiện diện nhất định của hoạt động từ thiện, nhưng đó chỉ là nguồn lực ngắn hạn, chưa thể thay thế cho các chính sách hỗ trợ bền vững. Việc thiếu một hệ thống hỗ trợ xã hội chính thức khiến gánh nặng bệnh tật và kinh tế vẫn dồn chủ yếu lên vai gia đình người bệnh.

3.4. Ảnh hưởng tâm lý và sức khỏe tinh thần

Các vấn đề tâm lý nổi lên như một thách thức quan trọng đối với người bệnh suy thận mạn đang điều trị lọc máu chu kỳ. Nhiều người bệnh thể hiện cảm giác lo âu, chán nản kéo dài, thậm chí xuất hiện suy nghĩ bi quan về tương lai và sự sống của bản thân. Bên cạnh đó, một số người bệnh sau thời gian điều trị đã dần thích nghi, tìm cách duy trì thái độ lạc quan để giảm bớt căng thẳng. *"Đêm nằm nghĩ mà thấy buồn chán lắm, mình là gánh nặng cho chồng, con và cả gia đình nhưng chả biết làm sao cả, nhiều lúc nghĩ dại muốn chết đi cho xong" (NB-N01, nữ). "Mấy năm đầu tôi suy sụp lắm nhưng bây giờ cũng thành quen, có lo lắng cũng không giải quyết được gì nên tôi luôn lạc quan mỗi ngày" (NB-N06, nữ).*

Những chia sẻ của người bệnh cho thấy tình trạng bệnh kéo dài cùng gánh nặng kinh tế không chỉ ảnh hưởng đến thể chất mà còn làm suy giảm đáng kể sức khỏe tinh thần. Đồng thời phản ánh sự đa dạng trong chiến lược ứng phó - từ bi quan đến thích nghi tích cực.

3.5. Khó khăn hệ thống và nỗ lực của nhân viên y tế

Nhân viên y tế cho biết vai trò công việc của họ vượt xa ngoài những thao tác kỹ thuật lọc máu, bao gồm cả tư vấn - nâng đỡ tinh thần và giáo dục sức khỏe cho người bệnh. Tuy nhiên, nhiều rào cản hệ thống khiến nỗ lực này chưa đạt như kỳ vọng. Trước hết, những khó khăn như thiếu thiết bị sẽ làm gia tăng nguy cơ "giảm tần suất lọc" và thu hẹp "thời gian chất lượng" hỗ trợ tâm lý và giáo dục sức khỏe cho người bệnh*: "Bệnh viện hiện đang lọc máu cho gần 200 bệnh nhân nhưng chỉ có 19 máy... nhiều bệnh nhân đúng ra phải chạy 3 lần/tuần nhưng vì thiếu máy mà chỉ chạy được 2 lần/tuần"* (NVYT-03-II). Tình trạng quá tải tái diễn khi *"Số lượng bệnh nhân đông, máy thì thiếu... những lúc máy hư thì bệnh nhân sẽ bị dồn lại, dẫn đến nhiều ngày sẽ bị quá tải"* (NVYT-01-I). Cùng với đó, việc thiếu nhân lực điều dưỡng chuyên khoa dẫn tới tăng ca liên tục và giảm khả năng theo sát người bệnh: *"Điều dưỡng phải tăng ca nên không thể tư vấn kỹ càng và sâu sát bệnh nhân được"* (NVYT-03-II). Ở phương diện người bệnh, bác sỹ ghi nhận gánh nặng tâm lý (hoang mang, bi quan) ảnh hưởng trực tiếp đến tuân thủ điều trị: *"Có nhiều người bắt đầu hoang mang, tỏ ra rất lo lắng khi vừa nghe đến bệnh suy thận là nghĩ chỉ có một con đường là chết thôi"* (NVYT-03-II). Bối cảnh địa phương còn làm nổi bật rào cản ngôn ngữ - văn hóa với nhóm bệnh nhân dân tộc thiểu số, những khuyến cáo về dinh dưỡng và dùng thuốc rất khó để người bệnh có thể hiểu, ghi nhớ và thực hành tại nhà. *"Bệnh nhân người đồng bào là chủ yếu, trong quá trình lọc máu bác sỹ dặn đừng uống nước nhiều, nhưng họ không nghe vẫn cứ uống rất nhiều" (NVYT-01).*

Sự kết hợp từ các yếu tố trên cho thấy nỗ lực của đội ngũ nhân viên trực tiếp điều trị, chăm sóc đang bị giới hạn bởi những khó khăn có thể gây trở ngại giao tiếp. Những phân tích này cho thấy, dù phải làm việc trong điều kiện nguồn lực còn hạn chế, NVYT vẫn luôn phải nỗ lực cân bằng giữa nhiệm vụ chuyên môn và nhu cầu hỗ trợ tinh thần, nhưng hiệu quả chưa thể đáp ứng đầy đủ kỳ vọng của cả người bệnh lẫn bản thân họ.

4. Bàn luận

Nghiên cứu này vẽ nên bức tranh đa tầng của điều trị lọc máu chu kỳ tại Gia Lai: trọng tâm là gánh nặng kinh tế và hệ quả tâm lý của người bệnh, khoảng trống trong hỗ trợ xã hội, nút thắt hệ thống (thiếu máy, thiếu nhân lực,

rào cản ngôn ngữ - văn hóa) kèm theo nỗ lực lớn nhưng có giới hạn của NVYT, trong khi gia đình vẫn là nguồn giúp đỡ chính. Trước hết, khó khăn nổi bật đó chính là chi phí đi lại, chi phí vật tư và sinh hoạt hàng ngày, không chỉ khiến người bệnh vay mượn hoặc tạm dừng điều trị mà còn sinh ra mặc cảm "là gánh nặng" làm giảm động lực tuân thủ [7, 8].

Về mặt tâm lý, dao động giữa bi quan và thích nghi cho thấy cần can thiệp tâm lý liên tục chứ không phải chỉ hỗ trợ lẻ tẻ [9]. N.T.T. Mai và cs (2021) [10] cũng ghi nhận miền tinh thần của QoL đạt điểm thấp nhất [9, 10]. Những phát hiện này khẳng định rằng chăm sóc tâm lý cần được tích hợp như một phần không thể thiếu trong quản lý bệnh thận mạn. Một điểm nổi bật khác từ dữ liệu định tính là sự hỗ trợ từ cộng đồng mang tính tự phát, ngắn hạn nên không thể bù đắp cho thiếu hụt chính sách an sinh, dẫn đến phụ thuộc quá mức vào gia đình và nguy cơ kiệt sức cho người chăm sóc. Tại Việt Nam, nghiên cứu của N.V. Thong (2024) [11] cũng chỉ ra rằng, vai trò cộng đồng trong chăm sóc bệnh nhân thận mạn giai đoạn cuối còn rất mờ nhạt. Và vấn đề quan trọng về sự an toàn, nút thắt thiết bị - nhân lực (máy lọc hạn chế, phải xếp ca đêm hoặc giảm buổi lọc máu) trực tiếp làm tăng nguy cơ thiếu liều lọc và các biến cố lâm sàng, đồng thời thu hẹp "thời gian chất lượng" để tư vấn tâm lý và giáo dục sức khỏe. Đây không phải hiện tượng cá biệt, mà phản ánh thực trạng chung ở nhiều bệnh viện tuyến tỉnh, khi nhu cầu tăng nhanh nhưng đầu tư cơ sở vật chất chưa tương xứng theo Bộ Y tế (2023) [2]. Kết quả này cộng hưởng với nhận định của T. Liyanage và cs (2015) [8] cho thấy thiếu máy chạy thận vẫn là vấn đề toàn cầu, đặc biệt ở các nước thu nhập thấp. Điều này đặt ra yêu cầu cấp thiết trong việc đầu tư mở rộng hạ tầng và đào tạo nhân lực chuyên ngành thận - tiết niệu, một thực trạng đã được cảnh báo trong tổng quan quốc tế về tiếp cận điều trị bệnh thận mạn giai đoạn cuối của T. Liyanage và cs (2015) [8]. Quan điểm của bác sỹ và điều dưỡng cho thấy công tác chăm sóc người bệnh thận mạn giai đoạn cuối không chỉ giới hạn ở kỹ thuật mà còn bao gồm hỗ trợ tinh thần và giáo dục sức khỏe. Tuy nhiên, họ gặp nhiều trở ngại như áp lực công việc, thiếu nhân lực, khác biệt ngôn ngữ và văn hóa với bệnh nhân dân tộc thiểu số. R.K. Hall và cs (2020) [12] cũng nhấn mạnh tình trạng tương tự khi NVYT tại Mỹ phải cân bằng giữa nhiệm vụ kỹ thuật và nhu cầu hỗ trợ tâm lý.

Mặt khác, điểm mạnh của bối cảnh là sự đồng hành tích cực của gia đình và tinh thần trách nhiệm của NVYT tại bệnh viện; hai nguồn lực này tạo nền tảng để triển khai những can thiệp thực tiễn. Từ những phân tích trên, hàm ý thực tế rõ ràng: tại tuyến tỉnh cần ưu tiên tăng năng lực hệ thống như cung cấp thêm máy lọc máu, gia tăng điều dưỡng chuyên khoa; thiết kế các biện pháp giảm bỏ tần suất lọc máu có thể thực hiện ngay như hỗ trợ chi phí di chuyển, nhắc lịch chủ động; chuẩn hoá các bảng kiểm để tư vấn ngắn sau lọc máu về tâm lý (sàng lọc lo âu/trầm cảm), và phát triển truyền thông sức khỏe thích ứng văn hoá (tài liệu song ngữ, hỗ trợ viên bản địa) - những can thiệp này vừa nhắm vào "điểm nghẽn" hệ thống vừa hỗ trợ gia đình, từ đó có khả năng cải thiện tuân thủ điều trị và QoL cho người bệnh.

Nghiên cứu còn một số hạn chế: Cỡ mẫu định tính tuy đạt bão hòa nhưng vẫn nhỏ và được chọn có chủ đích, nên không nhằm đại diện cho toàn bộ người bệnh lọc máu. Dữ liệu phỏng vấn có thể chịu ảnh hưởng của sai lệch hồi tưởng và mức độ cởi mở của người tham gia; với nhóm dân tộc thiểu số, rào cản ngôn ngữ có thể làm giảm sắc thái diễn đạt khi phiên dịch. Nghiên cứu được thực hiện tại một bệnh viện tuyến tỉnh nên chưa phản ánh đầy đủ sự khác biệt giữa các cơ sở lọc máu khác. Tuy vậy, bối cảnh miền núi với đặc thù văn hóa đa dạng lại giúp làm rõ những rào cản mà các nghiên cứu ở đô thị khó ghi nhận, và việc mã hóa độc lập bởi hai nghiên cứu viên cùng đạt bão hòa thông tin góp phần tăng độ tin cậy cho kết quả.

5. Kết luận và khuyến nghị

Nghiên cứu định tính này cho thấy điều trị lọc máu chu kỳ tại Gia Lai là một thách thức đa chiều, chịu ảnh hưởng bởi gánh nặng kinh tế, hạn chế hỗ trợ xã hội và điểm nghẽn hệ thống. Cần các can thiệp tích hợp ở mức hệ thống và cộng đồng - bao gồm tăng năng lực dịch vụ, mở rộng hỗ trợ tâm lý và cơ chế hỗ trợ tài chính/vận chuyển - để cải thiện tuân thủ điều trị và QoL bệnh nhân. Việc cải thiện các khía cạnh này sẽ góp phần nâng cao chất lượng chăm sóc và cuộc sống cho bệnh nhân suy thận mạn, đặc biệt tại những khu vực miền núi còn nhiều khó khăn như Gia Lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Kidney Disease Improving Global (2024), *Clinical Practice Guideline for The Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease*, Kidney International Supplements (Elsevier), 198pp.

[2] Ministry of Health (2023), *Decision No. 4397/QD-BYT on Promulgating Safety and Technical Performance Criteria for Hemodialysis Machines* (in Vietnamese).

[3] P.V. Hien, N.H.T. Truc, N.M.T. Tuan (2022), "Evaluation of the effectiveness of hemodialysis by the Kt/V index among patients undergoing hemodialysis at the Hemodialysis Department of Cho Ray Hospital", *Vietnam Medical Journal*, **519(2)**, DOI: 10.51298/vmj.v519i2.3679 (in Vietnamese).

[4] V.D. Thuan, L.T.H. Hiep, T.T.H. Thanh (2025), "Current status of patients treating chronic kidney disease and some related factors at Vung Tau Hospital in 2024", *Vietnam Medical Journal*, **546(2)**, pp.296-301, DOI: 10.51298/vmj.v546i2.12655 (in Vietnamese).

[5] International Society of Nephrology (2023), *ISN-Global Kidney Health Atlas,* https://www.theisn.org/wp-content/uploads/media/ISN%20Atlas_2023%20Digital.pdf, accessed 10 March 2025.

[6] World Health Organization (2025), "Chronic kidney disease (CKD)", https://www.who.int/health-topics/kidney-disease, accessed 10 March 2025.

[7] N.T. Ngoc, N.T.N. Phuong, T.T.X. Giao (2018), "Quality of life among patients receiving maintenance hemodialysis", *Ho Chi Minh City Journal of Medicine*, **22(5)**, pp.125-131 (in Vietnamese).

[8] T. Liyanage, T. Ninomiya, V. Jha, et al. (2015), "Worldwide access to treatment for end-stage kidney disease: A systematic review", *Lancet*, **385(9981)**, pp.1975-1982, DOI: 10.1016/S0140-6736(14)61601-9.

[9] C. Chiaranai (2018), "The lived experience of patients receiving hemodialysis in Thailand: A phenomenological study", *Journal of Nursing Science*, **26(5)**, pp.325-332.

[10] N.T.T. Mai, N.T.T. Nha, N.T. Cong, et al. (2021), "Assessment of quality of life in patients undergoing hemodialysis in Hanoi", *Journal of Human Resources for Social Sciences*, **7**, pp.87-97 (in Vietnamese).

[11] N.V. Thong (2024), "Quality of life of patients receiving maintenance hemodialysis for end-stage renal disease in Vinh city, Nghe An province", *Thai Binh Journal of Medicine and Pharmacy*, pp.44-48, DOI: 10.62685/tbjmp.2024.3.08 (in Vietnamese).

[12] R.K. Hall, M.P. Cary, T.R. Washington, et al. (2020), "Quality of life in older adults receiving hemodialysis: A qualitative study", *Qual. Life Res.*, **29(3)**, pp.655-663, DOI: 10.1007/s11136-019-02349-9.

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 8 - August 2026

Nghiên cứu thành phần hóa thực vật của hoa Chiều tím *Ruellia brittoniana* L..
Nguyễn Phúc Đảm, Ngô Việt Thắng, Nguyễn Văn Kiệt, Phùng Thị Hằng, Hồ Hoàng Việt, Thái Thị Tuyết Nhung, Ngô Quốc Luân

1 **Phytochemical study of the flowers of *Ruellia brittoniana* L..**
Phuc Dam Nguyen, Viet Thang Ngo, Van Kiet Nguyen, Thi Hang Phung, Hoang Viet Ho, Thi Tuyet Nhung Thai, Quoc Luan Ngo

Tổng hợp vật liệu nano ZnO pha tạp Pr và ứng dụng trong phân hủy xanh methylene.
Đỗ Quang Thẩm, Nguyễn Thị Xuyên, Phạm Quang Dương, Nguyễn Trung Huy, Nguyễn Tuấn Anh, Đặng Xuân Hiếu, Vũ Thị Lê

8 **Synthesis of Pr-doped ZnO nanomaterials and their photocatalytic application for methylene blue degradation.**
Quang Tham Do, Thi Xuyen Nguyen, Quang Duong Pham, Trung Huy Nguyen, Tuan Anh Nguyen, Xuan Hieu Dang, Thi Le Vu

Phân lập và tinh chế cordycepin từ quả thể *Cordyceps militaris* nuôi trồng tại Việt Nam.
Nguyễn Thanh Ngân, Mạc Đình Hùng, Trần Văn Tuấn, Vũ Xuân Tạo

14 **Isolation and purification of the bioactive compound cordycepin from fruiting bodies of *Cordyceps militaris* cultivated in Vietnam.**
Thanh Ngan Nguyen, Dinh Hung Mac, Van Tuan Tran, Xuan Tao Vu

Đặc điểm kháng kháng sinh và gen độc lực của 7 chủng *Pseudomonas aeruginosa* trong nước đóng chai, đóng bình tại Hà Nội.
Phạm Ngọc Hà, Vũ Khánh Vân, Phạm Văn Quân, Ninh Thị Hạnh, Nguyễn Hùng Thanh, Lý Công Hiếu, Đỗ Văn Huy, Lê Thị Phương Thảo

22 **Antimicrobial resistance and virulence gene profiles of seven *Pseudomonas aeruginosa* in bottled and large-volume packaged drinking water in Hanoi.**
Ngoc Ha Pham, Khanh Van Vu, Van Quan Pham, Thi Hanh Ninh, Hung Thanh Nguyen, Cong Hieu Ly, Van Huy Do, Thi Phuong Thao Le

Tình trạng dinh dưỡng ở trẻ dưới 5 tuổi khám tại Viện Dinh dưỡng năm 2025.
Trần Thị Liên, Phạm Thị Dung, Phạm Thị Kiều Chinh, Trần Thị Lan, Nguyễn Trọng Hưng

31 **Nutritional status of children under five years old visiting the National Institute of Nutrition in 2025.**
Thi Lien Tran, Thi Dung Pham, Thi Kieu Chinh Pham, Thi Lan Tran, Trong Hung Nguyen

Phân lập và tuyển chọn vi khuẩn tía không lưu huỳnh từ ao nuôi thủy sản tại Ninh Bình và đánh giá khả năng loại bỏ sulfide trong điều kiện phòng thí nghiệm.
Hoàng Thị Ngọc Anh, Trần Thị Bảo Yến, Nguyễn Võ Trà My, Nguyễn Thị Hồng Tâm, Nguyễn Thúy Hằng

36 **Isolation and characterisation of purple non-sulfur bacteria from aquaculture ponds in Ninh Binh and evaluation of their sulfide-removal capacity under laboratory conditions.**
Thi Ngoc Anh Hoang, Thi Bao Yen Tran, Vo Tra My Nguyen, Thi Hong Tam Nguyen, Thuy Hang Nguyen

Ảnh hưởng của thời gian khuấy gia nhiệt đến hoạt tính quang xúc tác của g-C_3N_4 pha tạp Mg.
Đoàn Thị Thúy Phượng, Lê Thị Mai Oanh, Đỗ Khắc Thịnh

44 **Influence of heated time on the photocatalytic activity of Mg-doped g-C_3N_4.**
Thi Thuy Phuong Doan, Thi Mai Oanh Le, Khac Thinh Do

Cơ sở khoa học lựa chọn khung vệ tinh viễn thám tầm thấp cho Việt Nam.
Ngô Duy Tân, Bùi Trọng Tuyên, Bùi Quang Huy, Nguyễn Đức Hiếu, Lê Quang Toan, Phạm Anh Tuấn, Phùng Đức Thưởng, Trần Kim Chi, Vũ Thị Dung, Phạm Ngọc Minh

51 **Scientific basis for selecting a Low Earth Orbit remote sensing satellite platform for Vietnam.**
Duy Tan Ngo, Trong Tuyen Bui, Quang Huy Bui, Duc Hieu Nguyen, Quang Toan Le, Anh Tuan Pham, Duc Thuong Phung, Kim Chi Tran, Thi Dung Vu, Ngoc Minh Pham

Tăng cường khả năng hòa tan bùn và thay đổi cấu trúc bông bùn bằng phương pháp thủy phân nhiệt ở nhiệt độ thấp.
Lê Ngọc Thuấn, Vũ Thị Mai, Nguyễn Xuân Lan, Nguyễn Thị Thu Hà

60 **Enhancing sludge solubilisation and altering the structure of sludge flocs using a low-temperature thermal hydrolysis process.**
Ngoc Thuan Le, Thi Mai Vu, Xuan Lan Nguyen, Thi Thu Ha Nguyen

Nghiên cứu một số giải pháp kỹ thuật bảo quản hạt dẻ Trùng Khánh, Cao Bằng.
Mã Thị Bích Thảo, Trần Hà, Nguyễn Phương, Trịnh Phan Mạnh, Bùi Bích Thùy, Phùng Phương Anh, Hoàng Văn Tuấn

69 **Study on several technical solutions for the preservation of Trung Khanh chestnuts in Cao Bang.**
Thi Bich Thao Ma, Ha Tran, Phuong Nguyen, Phan Manh Trinh, Bich Thuy Bui, Phuong Anh Phung, Van Tuan Hoang

Ảnh hưởng của bột quả xoài (*Mangifera indica* L.) đến tính chất vật lý, hoạt tính chống oxy hóa và giá trị cảm quan của bánh mì.
Trần Tiểu Yến, Giáp Phạm Ngọc Trâm, Huỳnh Thị Hồng Nhung

77 **Effect of mango fruit powder (*Mangifera indica* L.) supplementation level on physical properties, antioxidant activity, and sensory characteristics of bread.**
Tieu Yen Tran, Pham Ngoc Tram Giap, Thi Hong Nhung Huynh

Đánh giá giải trình tự gen thế hệ mới trong xác định lao kháng thuốc và khảo sát dòng vi khuẩn lao tại Bệnh viện Phổi Trung ương.
Đào Gia Bách, Đinh Văn Lượng

86 **Evaluation of next-generation sequencing for detecting drug-resistant tuberculosis and investigating *Mycobacterium tuberculosis* lineages at the National Lung Hospital.**
Gia Bach Dao, Van Luong Dinh

Thách thức trong điều trị lọc máu chu kỳ: Nghiên cứu định tính từ góc nhìn người bệnh và nhân viên y tế tại Bệnh viện Đa khoa Gia Lai.
Dương Hải Yến, Lê Minh Thi, Hoàng Lan Vân

91 **Challenges in maintenance hemodialysis care: A qualitative study from the perspectives of patients and healthcare providers at Gia Lai General Hospital.**
Hai Yen Duong, Minh Thi Le, Lan Van Hoang