

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

TẬP 67, SỐ 12, THÁNG 12 NĂM 2025
VOLUME 67, NUMBER 12, DECEMBER 2025

TẠP CHÍ & KHOA HỌC CÔNG NGHỆ

Vietnam Journal of Science and Technology - MOST VIỆT NAM



HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

Chủ tịch

Châu Văn Minh - Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, Việt Nam

Thành viên

Nguyễn Việt Anh - Trường Đại học Xây dựng, Việt Nam

Bùi Chí Bửu - Viện Khoa học Kỹ thuật Nông nghiệp miền Nam, Việt Nam

Vũ Dũng - Hội Tâm lý học Việt Nam, Việt Nam

Trần Thọ Đạt - Đại học Kinh tế Quốc dân, Việt Nam

Nguyễn Đình Đức - Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam

Vũ Minh Giang - Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam

Trương Nam Hải - Viện Công nghệ Sinh học, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, Việt Nam

Trần Thanh Hải - Trường Đại học Mở - 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 Nghiêm - Đại học Y Dược TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Mai Trọng Nhuận - Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam

Trần Hữu Phúc - Hội đồng Giáo sư Nhà nước, Việt Nam

Nguyễn Thanh Phương - Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

Nguyễn Thanh Thủy - Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam

Phạm Hùng Việt - Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam

Tổng biên tập

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

Phó Tổng biên tập

Trần Anh Tú - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

Phạm Thị Minh Nguyệt - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

Ban biên tập

Phí Công Thường - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

Nguyễn Lan Phương - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

Lê Thị Bắc - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

Lê Thu Hiền - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

Hà Thị Minh Lộc - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

Phùng Thị Tuyết Mai - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

Tăng Xuân Bình - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

Trương Thị Thảo Dương - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

EDITORIAL BOARD

Chairman

Chau Van Minh - Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

Members

Nguyen Viet Anh - National University of Civil Engineering, Vietnam

Bui Chi Bui - Institute of Agricultural Science for Southern Vietnam, Vietnam

Vu Dung - Vietnam Association of Social Psychology, Vietnam

Tran Tho Dat - National Economics University, Vietnam

Nguyen Dinh Duc - University of Engineering and Technology, VNU, Hanoi, Vietnam

Vu Minh Giang - VNU, Hanoi, Vietnam

Truong Nam Hai - Institute of Biotechnology, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

Tran Thanh Hai - Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

Pham Huy Khang - University of Transport and Communications, Vietnam

Pham Gia Khanh - Vietnam Society of Organ Transplantation, Vietnam

Ho Dac Loc - HUTECH University

Nguyen Thi My Loc - University of Education, VNU, Hanoi, Vietnam

Banh Tien Long - Hanoi University of Science and Technology, Vietnam

Le Quan Nghiem - University of Medicine and Pharmacy at Ho Chi Minh City, Vietnam

Mai Trong Nham - VNU, Hanoi, Vietnam

Tran Huu Phuc - The State Council for Professorship, Vietnam

Nguyen Thanh Phuong - Can Tho University, Vietnam

Nguyen Thanh Thuy - University of Engineering and Technology, VNU, Hanoi, Vietnam

Pham Hung Viet - University of Science, VNU, Hanoi, Vietnam

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

Tran Anh Tu - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Pham Thi Minh Nguyet - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Managing Editors

Phi Cong Thuong - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Nguyen Lan Phuong - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Le Thi Bac - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Le Thu Hien - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Ha Thi Minh Loc - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Phung Thi Tuyet Mai - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Tang Xuan Binh - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Truong Thi Thao Duong - Ministry of Science and Technology, Vietnam

TÒA SOẠN

115 Trần Duy Hưng, Phường Yên Hòa, Hà Nội, Việt Nam

Tel: (84.24) 39436793; Fax: (84.24) 39436794

Email: khcnvn@mst.gov.vn

Tạp chí điện tử: b.vjst.vn

GIẤY PHÉP XUẤT BẢN

Số 459/GP-BTTTT ngày 20/7/2021

Số 50/GP-BTTTT ngày 01/02/2023

Giá: 18000^d

EDITORIAL OFFICE

115 Tran Duy Hung Street, Yen Hoa Ward, Hanoi, Vietnam

Tel: (84.24) 39436793; Fax: (84.24) 39436794

Email: khcnvn@mst.gov.vn

E-journal: b.vjst.vn

PUBLICATION LICENCE

No. 459/GP-BTTTT 20th July 2021

No. 50/GP-BTTTT 1st February 2023

Nghiên cứu áp dụng mô hình trữ nước mương - liếp phục vụ tưới vườn bưởi thích ứng điều kiện hạn mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long

Trần Thái Hùng*, Trần Minh Tuấn, Ninh Văn Bình, Nguyễn Văn Tường,
Huỳnh Ngọc Tuyên, Lê Văn Thịnh, Nguyễn Hoàng Mỹ Linh, Lê Thị Quỳnh Anh

Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 658 Võ Văn Kiệt, phường Chợ Quán, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 2/11/2024; ngày chuyển phản biện 5/11/2024; ngày nhận phản biện 30/11/2024; ngày chấp nhận đăng 6/12/2024

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu áp dụng mô hình thử nghiệm trữ nước trong mương - liếp cho vườn trồng bưởi da xanh tại tỉnh Tiền Giang, với các thông tin: bề rộng đáy mương 0,5 m, chiều sâu nước trữ 1,2 m, lòng kênh trải tấm HDPE. Lượng nước hiệu dụng của hệ thống mương trữ 1.667,63-1.784,84 m³, tăng thêm 97,94-108,89% so với cách trữ nước truyền thống, đáp ứng đủ nhu cầu tưới tăng thêm 2-3 tháng để phòng chống hạn mặn cho vườn cây. Quá trình theo dõi sản xuất trong điều kiện hạn mặn cực đoan mùa khô 2023-2024 cho thấy, cây trồng phát triển tốt, tỷ lệ ra hoa, đậu quả và năng suất cây trồng tăng lên. Kết quả tính toán lợi nhuận mô hình mang lại với: Tỷ số hiệu ích trên chi phí $B/C=1,54>1,0$ và hệ số nội hoàn $IRR=16,59\%>15,0\%$, đảm bảo lợi ích về kinh tế, rất thiết thực và phù hợp với sản xuất, thích ứng với điều kiện hạn mặn, làm cơ sở áp dụng và nhân rộng phục vụ sản xuất cây ăn trái hiệu quả ở Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL).

Từ khóa: cây ăn quả, Đồng bằng sông Cửu Long, hiệu quả trữ nước, tích trữ nước, xâm nhập mặn.

Chỉ số phân loại: 1.5, 2.1, 4.1

Research on applying water storage ditches and planting beds for pomelo irrigation under drought and salinity conditions in the Mekong delta

Thai Hung Tran*, Minh Tuan Tran, Van Binh Ninh, Van Tuong Nguyen,
Ngoc Tuyen Huynh, Van Thinh Le, Hoang My Linh Nguyen, Thi Quynh Anh Le

Southern Institute of Water Resources Research, 658 Vo Van Kiet Street, Cho Quan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 2 November 2024; revised 30 November 2024; accepted 6 December 2024

Abstract:

The article presents the research result of applying a pilot model of water storage in ditches for green-skin pomelo gardens in Tien Giang province, with the following information: ditch's bottom width is 0.5 m, water storage depth is 1.2 m, ditch's bed covered with HDPE sheet. The effective water volume of the ditch system is from 1,667.63-1,784.84 m³, increasing from 97.94-108.89% compared to the traditional water storage method, satisfying the irrigation needs for 2-3 months to prevent drought and salinity for the garden. Based on monitoring production under extreme drought and salinity conditions in the dry season of 2023-2024, the results show that crops grew well, the rate of flowering and fruiting and crop yield increased. The results of calculating the model's profits are: Benefit-cost ratio $B/C=1.54>1.0$ and Internal rate of return $IRR=16.59\%>15.0\%$, ensuring economic benefits, it is very practical and suitable for production, adapting to drought and salinity conditions, serving as a basis for application and replication to serve effective fruit tree production in the Mekong delta.

Keywords: fruit trees, Mekong delta, salinity intrusion, water storage, water storage efficiency.

Classification numbers: 1.5, 2.1, 4.1

*Tác giả liên hệ: Email: tthung.sivrr@gmail.com

1. Mở đầu

Đồng bằng sông Cửu Long là vùng trọng điểm cây ăn quả với diện tích khoảng 408.467 ha (năm 2023) [1], chiếm gần 32% diện tích cây ăn quả của cả nước, hằng năm cung cấp cho thị trường trong nước và quốc tế trên 4 triệu tấn trái cây, gồm: xoài, bưởi, sầu riêng, vú sữa, thanh long, chôm chôm... Tuy nhiên, mùa khô những năm gần đây, đặc biệt là năm 2015-2016, 2019-2020, xâm nhập mặn xuất hiện sớm, kéo dài, liên tục duy trì ở mức cao, đã làm thiệt hại khoảng 17.126 ha (trong đó Long An 2.397 ha, Tiền Giang 4.459 ha, Bến Tre 9.250 ha, Vĩnh Long 740 ha, Trà Vinh 267 ha, Sóc Trăng 4 ha...) [2]. Vào thời điểm thiếu nước cực đoan đó, một số giải pháp tích trữ nước bằng mương - liếp, ao hồ, túi nhựa, thùng, bể... đã được người dân thực hiện một cách tự phát, phần nào phát huy tác dụng duy trì, cứu được một phần vườn cây, một số hộ dân không dùng giải pháp trữ nước đã phải mua nước được chuyển bằng ghe thuyền từ các khu vực tỉnh Đồng Tháp hay An Giang thuộc đầu nguồn sông Cửu Long (không bị nhiễm mặn) về tưới vườn cây với giá từ 150.000 đến 180.000 đ/m³, nhưng vẫn không tránh khỏi thiệt hại về kinh tế và sinh trưởng, phát triển cây trồng.

Hiện nay, những khu vực hay bị hạn hán, xâm nhập mặn... rất cần có những giải pháp thu trữ nước dự phòng để đảm bảo đủ nước phục vụ sản xuất [3]. Thu trữ tại chỗ từ sông suối kết hợp chống xói mòn, hoặc từ nước mưa (đối với khu vực không có sông suối) để phục vụ sinh hoạt và sản xuất nông nghiệp, ví dụ trên đất đồi, đất dốc khu vực trung du, miền núi các tỉnh Hòa Bình, Điện Biên, Gia Lai, Kon Tum, Đắk Lắk, Đắk Nông... đã được thực hiện khá phù hợp với điều kiện tự nhiên của từng vùng [4, 5]. Một số giải pháp trữ nước quy mô nhóm hộ gia đình phục vụ sản xuất tại các vùng sa mạc hóa thiếu nước ở các tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận, thuộc khu vực Nam Trung Bộ cũng đã được người dân áp dụng để vượt qua mùa khô hạn, phục vụ tốt cho sản xuất [6, 7].

Thực trạng sản xuất trồng trọt cây ăn quả ở ĐBSCL cho thấy, người dân thường tự phát thiết lập các hệ thống mương liếp trong vườn hoặc ao hồ, kênh rạch phân tán để tạo nguồn tưới cho cây, không có cơ sở tính toán về quy mô kích thước nên lượng nước trữ không đáp ứng đủ nhu cầu tưới cần thiết để vượt qua giai đoạn hạn mặn cực đoan, đồng thời chưa xác định được thời điểm phù hợp để lấy nước tích trữ vào công trình, ngoài ra còn thiếu công trình điều tiết kiểm soát nguồn nước (tích nước khi triều lên, đóng trữ lại khi triều rút, ngăn mặn nếu có...) cũng làm cho khả năng lấy nước tại đây suy giảm, khó đáp ứng nhu cầu sản xuất bền vững. Tiền Giang có diện tích cây ăn trái 84.192 ha (năm 2023) lớn nhất ĐBSCL, với nhiều loại trái cây nổi tiếng như bưởi da xanh, sầu riêng, xoài cát, vú sữa, thanh long... Hằng năm, vào mùa khô lượng nước tích trữ thường không đủ tưới, hạn chế khả năng ra hoa, đậu trái và tạo quả. Trong trường hợp xảy ra hạn mặn cực đoan, hầu hết các hộ nông dân đã ngắt bỏ quả non để duy trì sự sống cho vườn cây. Vì vậy, trên cơ sở các kết quả nghiên cứu, chúng tôi đề xuất các giải pháp công trình trữ nước phân tán: (1) trữ nước bằng việc nâng cấp ao, hồ nhỏ có sẵn hoặc xây dựng mới; (2) trữ nước trên các đoạn kênh, mương cắt; (3) trữ nước bằng hệ thống mương - liếp ngay trong

các vườn cây; (4) trữ nước bằng hệ thống công cụ chứa nhân tạo; (5) giải pháp phi công trình tuyên truyền, hướng dẫn giúp cán bộ quản lý và người dân địa phương trồng cây ăn quả nâng cao nhận thức phòng tránh hạn mặn, ứng dụng các giải pháp trữ nước phù hợp với điều kiện thực tế, sử dụng nước tiết kiệm để sản xuất hiệu quả. Bài viết này trình bày kết quả nghiên cứu áp dụng mô hình trữ nước trong mương - liếp phục vụ tưới cho cây ăn quả thích ứng với điều kiện hạn mặn, cụ thể là mô hình mương trữ nước cho vườn trồng bưởi tại tỉnh Tiền Giang, làm cơ sở áp dụng nhân rộng mô hình phục vụ sản xuất cây ăn quả vùng ĐBSCL [8].

2. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

2.1. Cách tiếp cận

Nghiên cứu tổng hợp từ tài nguyên nước ĐBSCL, đến chi tiết sản xuất và nhu cầu dùng nước của cây ăn quả, diễn biến xâm nhập mặn tác động tới sản xuất; kế thừa có chọn lọc kinh nghiệm, kết quả nghiên cứu về tích trữ nước phục vụ tưới cho cây trồng; tiến bộ khoa học về vật liệu chống thấm mất nước, các phần mềm chuyên ngành tính toán nguồn nước, xâm nhập mặn, thiết kế mô hình thực nghiệm.

2.2. Phương pháp điều tra, thu thập, tổng hợp tài liệu

Sử dụng số liệu, tài liệu thứ cấp từ kết quả điều tra tại các cơ quan quản lý địa phương và cơ quan nghiên cứu liên quan như: điều kiện tự nhiên, kinh tế - xã hội, thực trạng xâm nhập mặn, nguồn nước, các hình thức trữ nước phục vụ sản xuất cây ăn quả ĐBSCL; các tiêu chuẩn, quy chuẩn thiết kế, xây dựng công trình thủy lợi.

2.3. Phương pháp phân tích và tính toán

Ứng dụng phần mềm chuyên ngành như sau:

+ MIKE11 với các modul Mike NAM và Mike 11-HD dự báo xâm nhập mặn với kịch bản nền 2020 [9]. Sơ đồ tính được thiết lập cho cả ĐBSCL; biên lưu lượng sử dụng quá trình lưu lượng tại Tonle Sap, Kratie; biên mực nước tại các nhánh ở cả biển Đông và biển Tây; biên nhập lưu từ mưa được tính tại các ô ruộng bằng Mike NAM;

+ CROPWAT8.0 để tính toán bốc thoát hơi nước mặt thoáng ET_o và lượng mưa hiệu quả P_{eff} từ dữ liệu thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn tỉnh Tiền Giang (nhiệt độ, độ ẩm không khí, nắng, gió, mưa...) [10]. Tính toán nhu cầu nước của cây trồng:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \text{ (mm/ngày)} \quad (1)$$

Tính tổng lượng nước cần tưới cho khu vực trồng cây:

$$W_t = 10^{-3} \cdot (ET_c - P_{eff}) \cdot F \text{ (m}^3\text{/ngày)} \quad (2)$$

trong đó: K_c: Hệ số cây trồng; ET_o: Bốc thoát hơi nước mặt thoáng (mm/ngày); ET_c: Nhu cầu nước của cây trồng (mm/ngày); P_{eff}: Lượng mưa hiệu quả trong chu kỳ tưới (mm/ngày); F: Diện tích khu vực cần tưới (m²); 10⁻³: Hệ số chuyển đổi đơn vị.

+ AutoCAD 2023 tính toán thiết kế dựa vào lượng nước cần tích và GeoSlope 2020 tính ổn định mương trữ nước.

2.4. Phương pháp thử nghiệm hiện trường

Thiết kế và xây dựng mô hình thử nghiệm trữ nước trong mương - liếp cho vườn bưởi da xanh tại Tiền Giang, để kiểm nghiệm lại kết quả nghiên cứu về: (i) Nhu cầu nước cho cây trồng; (ii) Lượng nước cần trữ trong mùa khô; (iii) Dung tích trữ nước phục vụ tưới thích ứng với điều kiện hạn mặn.

Lựa chọn vị trí xây dựng mô hình thử nghiệm: Lựa chọn vị trí xây dựng mô hình thực tế hiện trường thông qua sự giới thiệu của các cấp ngành tỉnh Tiền Giang, kết hợp với công tác điều tra, tham vấn cộng đồng dân cư. Nhóm tác giả đã chọn vườn trồng cây bưởi da xanh của gia đình ông Huỳnh Tấn Thảo thuộc ấp Bình Thành, xã Tân Mỹ Chánh, TP. Mỹ Tho, tỉnh Tiền Giang; tọa độ địa lý: 10°22'27,50" vĩ độ Bắc, 106°23'37,30" kinh độ Đông. Vườn bưởi sản xuất theo tiêu chuẩn GAP gắn với du lịch sinh thái, mang tính đại diện cao để áp dụng và nhân rộng cho toàn vùng, thích ứng với điều kiện hạn mặn xảy ra hiện nay ở vùng ĐBSCL.

Diện tích vườn bưởi 1,0 ha, cây độ tuổi 10 năm đang trong giai đoạn kinh doanh, khoảng cách giữa các cây 4,0 m. Hiện trạng vườn có 16 mương trữ nước và 18 liếp trồng cây. Các mương bị bồi lắng bởi bùn và cành lá cây; bờ và mái mương dễ lồi lõm tự nhiên, nên mặt cắt ngang bị thu hẹp, làm giảm lượng nước trữ. Chiều dài mỗi mương 100 m, chiều rộng bề mặt trung bình 1,5-2,0 m, chiều sâu nước tối đa có thể trữ khoảng 1,0 m. Lượng nước trữ tối đa chỉ khoảng 1.200-1.300 m³/tháng (chưa kể thấm và bốc hơi nước).

Đề xuất áp dụng giải pháp trữ nước cho vườn trồng bưởi: Hình thức mương - liếp đã có sẵn khi người dân bắt đầu thực hiện trồng cây, đây là hệ thống chứa trữ nước khá phổ biến tại hầu hết các vườn trồng cây ăn quả ĐBSCL; nếu tính toán cụ thể để tích đầy hệ thống trữ nước này, có thể đảm bảo đủ nước tưới cho vườn cây từ 1 đến 3 tháng mùa khô hạn cực đoan. Vì vậy, nghiên cứu này đã lựa chọn hình thức chứa trữ trong mương - liếp hiện có để đưa ra giải pháp khoa học phù hợp (hình 1).

Tính tổng lượng nước hiệu dụng cần tích trữ trong mương (W_{hd}): Tổng lượng nước hiệu dụng tích trữ trong mương tính theo công thức sau:

$$W_{hd} = W_{tr} - W_{bh} - W_{th} \quad (m^3) \quad (3)$$

+ Xác định lượng nước trữ trong mương theo công thức sau:

$$W_{tr} = n \times F \times L \quad (m^3) \quad (4)$$

trong đó: n: Tổng số mương trong vườn; L: Chiều dài mương trữ (m); F: Diện tích mặt cắt ngang trung bình của mương trữ.

$$F = (b + m \times H) \times H \quad (m^2) \quad (5)$$

trong đó: b: Bề rộng đáy mương (m); m: Hệ số mái mương; H: Chiều sâu khối nước trong mương (m).

+ Xác định lượng nước tổn thất do bốc hơi của các mương như sau:

$$W_{bh} = n \times S_m \times Z_{bh} \times t \quad (m^3) \quad (6)$$

trong đó: n: Tổng số mương; S_m: Diện tích mặt thoáng mương trữ (S_m = B x L); B: Bề rộng trung bình mặt nước trong mương (m); L: Chiều dài mương trữ (100 m); Z_{bh}: Lượng nước bốc hơi mặt thoáng (mm/ngày); t: Số ngày trong tháng (ngày).

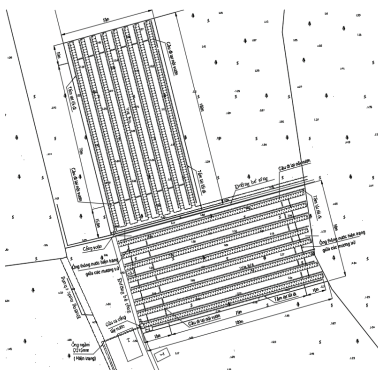
+ Lượng nước tổn thất do thấm W_{th}: với loại đất vườn cây là sét pha cát (tỷ lệ hạt sét và bụi trên 80%), tới mùa khô hạn, các loại đất này rất dễ nứt nẻ gây thấm mất nước, bên cạnh đó các bờ mương thường bị chuột đào hang tạo lỗ cũng gây mất nước. Ước tính tổn thất do thấm tương đương khoảng 5-7% dung tích chứa trữ trong mương.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Cơ sở khoa học nghiên cứu áp dụng mô hình thử nghiệm trữ nước cho vườn trồng bưởi

Khả năng chịu mặn của cây trồng: Hầu hết các loại cây ăn quả đều mẫn cảm với nước tưới bị nhiễm mặn, đối với cây bưởi mức 1,0-2,0 g/l. Nếu sử dụng tưới nước có nồng độ muối >1,0 g/l thường xuyên trong mùa khô, thì hàm lượng muối tích tụ trong đất sẽ tăng lên >2,0 g/l (do không có nước ngọt thau rửa), làm cho cây trồng bị suy kiệt hoặc chết. Vì vậy, để đảm bảo duy trì sự sống cho cây trồng vượt qua giai đoạn hạn mặn cực đoan, nên tưới nước có độ mặn <0,5 g/l (nhỏ hơn khả năng chịu mặn của cây trồng) [11].

Đặc điểm tài nguyên nước và diễn biến xâm nhập mặn mùa khô những năm gần đây ở ĐBSCL: Nguồn nước trên ĐBSCL thay đổi theo hai mùa rõ rệt, dòng chảy mùa khô phụ thuộc nguồn thượng lưu về, dòng chảy mùa mưa ngoài phụ thuộc chủ yếu vào dòng chảy thượng lưu, còn phụ thuộc vào quá trình mưa - dòng chảy trên đồng bằng. Do mưa trên lưu vực sông Mê Kông xuất hiện muộn, tổng thời gian mưa ngắn, lượng mưa thấp dẫn đến tổng lượng dòng chảy về ĐBSCL ở mức thấp. Toàn ĐBSCL chịu ảnh hưởng của thủy triều, ngoại trừ một số ô bao kín biệt lập (U Minh Thượng, U Minh Hạ). Ảnh hưởng triều trong mùa kiệt mạnh hơn mùa lũ. Triều biển Đông hoạt động rất mạnh do chế độ bán nhật triều biên độ lớn, nên dòng chảy của biển Đông có tác động lớn đến vùng cửa sông và lân cận, đặc biệt là đẩy dòng chảy về phía sông Tiền và sông Hậu. Hệ thống kênh rạch chằng chịt đã dẫn nước mặn xâm nhập sâu vào trong nội đồng [2].



Hình 1. Mô hình và hiện trạng mương - liếp trong vườn trồng bưởi.

Xâm nhập mặn mùa khô năm 2022-2023 xuất hiện sớm hơn trung bình nhiều năm (TBNN) khoảng một tháng, muộn hơn khoảng nửa tháng so với mùa khô năm 2015-2016 và muộn hơn một tháng so với mùa khô năm 2019-2020, sớm hơn nửa tháng so với mùa khô năm 2021-2022. Chiều sâu xâm nhập mặn trên sông Cửa Tiểu (gần vị trí xây dựng mô hình) năm 2023 ở mức cao hơn TBNN và năm 2022, tuy nhiên vẫn thấp hơn năm 2016 và năm 2020 [2] (bảng 1).

Bảng 1. Chiều sâu xâm nhập mặn lớn nhất năm 2023 so với trung bình nhiều năm, năm 2016, năm 2020 và năm 2022 trên sông Cửa Tiểu.

Thời gian	Ranh mặn cách cửa biển (km)	
	4 (g/l)	1 (g/l)
1/2023	39	46
2/2023	44	53
3/2023	41	48
4/2023	39	48
5/2023	43	52
Max năm 2023	44	53
So với max TBNN	43/+1	54/+1
So với max năm 2016	48/-4	76/-23
So với max năm 2020	91/-47	102/-49
So với max năm 2022	41/+3	52/+1

“+”: cao hơn, “-”: thấp hơn.

Dự báo mặn thời gian tới: Để đảm bảo nguồn nước tưới an toàn cho cây bưởi, tiến hành mô phỏng xâm nhập mặn với P90% ứng với độ mặn 0,5 g/l. Kết quả mô phỏng diễn biến xâm nhập mặn trên sông Cửa Tiểu cho thấy: Ranh mặn 0,5 g/l xuất hiện vào tháng 12 là 50 km, tháng 1 là 61 km, tháng 2 là 69 km, tháng 3 là 81 km, tháng 4 là 60 km, tháng 5 là 56 km.

Độ mặn lớn nhất tại khu vực dự kiến xây dựng mô hình thử nghiệm trữ nước cho cây bưởi trong từng tháng lần lượt là: tháng 12 là 0,7 g/l; tháng 1 là 0,87 g/l, trong đó số ngày có độ mặn >0,5 g/l duy trì liên tục khoảng 2 ngày; tháng 2 là 2,8 g/l, trong đó số ngày có độ mặn >0,5 g/l duy trì liên tục khoảng

6 ngày; tháng 3 là 4,68g/l với số ngày có độ mặn >0,5 g/l duy trì liên tục khoảng 14 ngày; tháng 4 là 2,66 g/l với số ngày có độ mặn >0,5 g/l duy trì liên tục khoảng 5 ngày; tháng 5 là 1,79 g/l với số ngày có độ mặn >0,5 g/l duy trì liên tục khoảng 4 ngày (hình 2). Độ mặn 0,51 g/l duy trì liên tục trên 2 ngày cây sẽ không đủ nước tưới, điều đó ảnh hưởng xấu đến sinh trưởng và phát triển của cây bưởi. Vì vậy, cần có giải pháp trữ nước để phục vụ tưới cho cây trong điều kiện mặn xâm nhập cao và kéo dài.

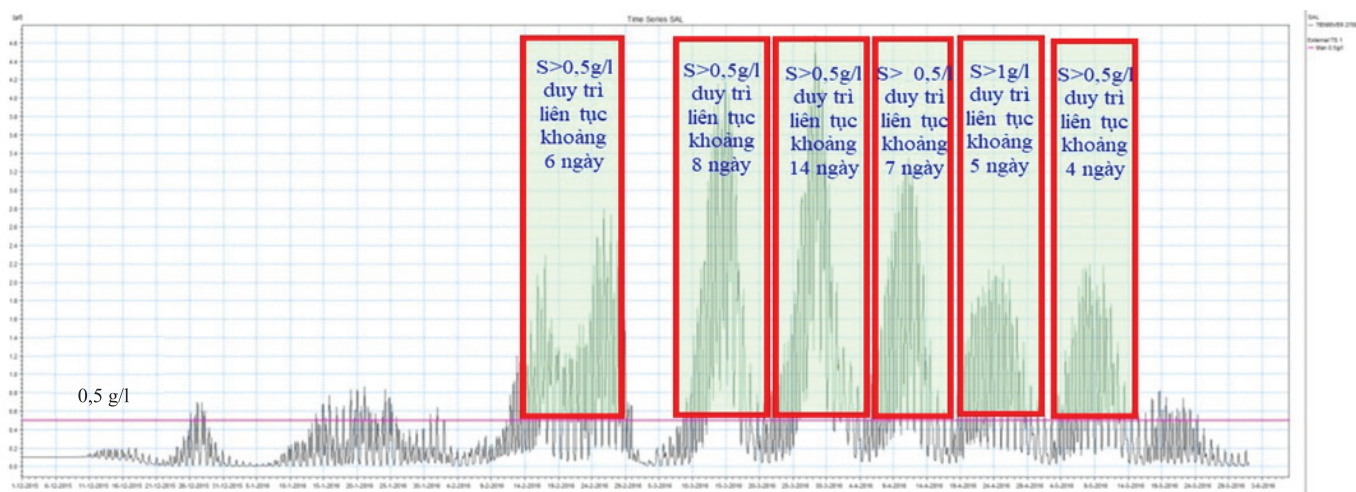
3.2. Áp dụng mô hình thử nghiệm trữ nước cho vườn trồng bưởi

Tính toán thiết kế mô hình thử nghiệm (theo phân tích lựa chọn ở trên):

Phân tích khả năng lấy nước cho mô hình thử nghiệm trữ nước: Nguồn nước cấp cho mô hình được lấy từ sông Cửa Tiểu (sông Tiền) thông qua kênh Gò Cát, nên khả năng lấy nước cho khu vực sản xuất phụ thuộc vào diễn biến nguồn nước sông Cửa Tiểu. Tính toán diễn biến xâm nhập mặn và khả năng lấy nước để trữ ứng với tần suất 90% theo từng tháng mùa khô. Tại khu vực mô hình thử nghiệm có thể tận dụng những thời điểm nước sông có độ mặn <0,5 g/l thì tranh thủ gạn ngọt ở giai đoạn mặn thường lên cao và kéo dài. Thời gian có thể lấy nước ngọt các tháng mùa khô: tháng 12 và tháng 1 có 8 ngày/tháng, tháng 2-4 có 5 ngày/tháng, trong tháng 3 có thời gian duy trì mặn >0,5 g/l cao nhất, khả năng gạn ngọt để lấy nước chứa trữ là ít nhất.

Kết quả tính lượng nước cần tưới cho cây trồng: Thời gian mùa khô từ tháng 12 đến tháng 4 năm sau cần tưới, nhu cầu nước tăng từ tháng 1 (306,46 m³/tháng) đến tháng 3 (530,09 m³/tháng), tháng 4 giảm xuống (còn 223,58 m³/tháng) (bảng 2). Tháng 5 đến tháng 11 lượng mưa lớn hơn lượng bốc thoát hơi nước của cây trồng nên không cần tưới.

Lựa chọn giải pháp chống thấm cho mương trữ: Để khắc phục tình trạng thấm mất nước trong mương, đồng thời che phủ chống thoát hơi nước mặt đất từ mép mương tới gốc cây trên



Hình 2. Thời gian duy trì độ mặn >0,5 g/l liên tục trong các tháng mùa khô tại khu vực mô hình trữ nước cho cây bưởi.

Bảng 2. Lượng nước tưới cho cây bưởi trong mô hình trữ nước tại Tiền Giang (trước sáp nhập).

Tháng	Tuần	Số ngày (ngày)	Lượng nước tưới trong thời đoạn tính toán (m ³)	Tổng lượng nước cần tưới trong tháng W _t (m ³)
12	1	10	39,82	142,21
	2	10	44,88	
	3	11	57,51	
1	1	10	96,95	306,46
	2	10	96,95	
	3	11	112,55	
2	1	10	163,33	455,22
	2	10	163,33	
	3	8	128,56	
3	1	10	170,27	530,09
	2	10	170,27	
	3	11	189,54	
4	1	10	74,53	223,58
	2	10	74,53	
	3	10	74,53	
Tổng		151	1.657,55	1.657,55

liếp, chúng tôi đề xuất giải pháp chống thấm để nâng cao hiệu quả tích trữ nước. Tất cả các giải pháp chống thấm cho mương trữ đều có những ưu, nhược điểm khác nhau tùy theo từng loại vật liệu. Tại mô hình trữ nước vườn bưởi ở Tiền Giang, lựa chọn giải pháp lát bằng tấm HDPE, do phù hợp với nền địa chất mềm, yếu; thi công nhanh, chi phí thấp hơn so với giải pháp khác. Loại vật liệu này được sử dụng khá rộng rãi ở tỉnh Tiền Giang nói riêng và ĐBSCL nói chung.

Thiết kế các hạng mục của mô hình: Các hạng mục của mô hình được tính toán và thiết kế gồm: (1) mương trữ (gồm bờ, mái, đáy mương trữ, dầm neo tấm HDPE trên mặt liếp, thanh neo giữ tấm HDPE vào mái mương; (2) cống lấy nước vào và tiêu nước ra khỏi mương, cao trình ngưỡng công trình lấy nước vào trữ tại mô hình cây bưởi 0,2÷0,6 m là đảm bảo khả năng lấy nước tự chảy để trữ trong mương sử dụng trong các tháng mùa khô; (3) cầu đi lại

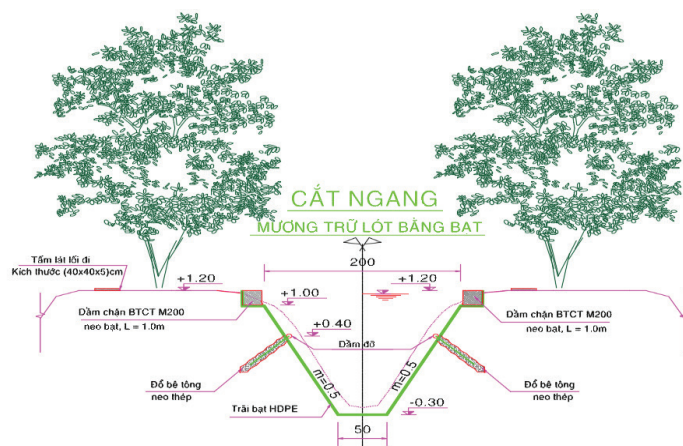
nội vườn để vận chuyển phân bón (khi chăm sóc) và trái cây (khi thu hoạch); (4) tẩm lát đi lại nội vườn để chuyển phân bón và trái cây, đồng thời giúp du khách tham quan vườn đi lại thuận tiện. Tính toán kiểm tra ổn định an toàn mái và bờ mương sau khi thi công đưa vào sử dụng. Kết quả tính toán đều cho thấy, mương luôn ổn định và đảm bảo an toàn (hình 3).

Thi công xây dựng mô hình trữ nước: Do mương trữ nằm giữa các liếp trồng cây, để tránh ảnh hưởng của việc thi công tới an toàn và sự phát triển của cây bưởi trong mô hình, chúng tôi đã áp dụng biện pháp thi công thủ công và luôn chú ý đảm bảo an toàn lao động, tránh ô nhiễm môi trường.

Công tác thi công được tiến hành với các bước sau: (1) Cắt tỉa những cành già và cây cỏ ảnh hưởng tới quá trình thi công; (2) Bơm cạn kiệt nước để tạo vết và vận chuyển bùn, xác lá cây trong các mương lên bờ; (3) Đổ bê tông khối đỡ thanh neo giữ tấm HDPE vào mái mương; (4) Trải tấm HDPE dọc mương; (5) Gắn ống thép dọc mái vào neo đỡ HDPE; (6) Đổ bê tông dầm neo bạt trên bờ liếp và buộc neo giữ; (7) Lắp đặt ván khuôn, cốt thép, đổ bê tông tẩm đan đi lại giữa các liếp và tẩm lát đi lại nội vườn; (8) Kiểm tra và dọn dẹp vệ sinh sạch sẽ. Sau khi hoàn thành, nhóm nghiên cứu và chủ hộ gia đình tiến hành tháo nước vào mương để tích trữ lại phục vụ sản xuất, đồng thời theo dõi và đánh giá hiệu quả kinh tế - xã hội của mô hình.

Vận hành mô hình trữ nước: Vào cuối tháng 12, tranh thủ tích nước trong mương trữ đến cao trình +1,2 m. Trong các tháng mùa khô (từ tháng 12 tới tháng 5 năm sau), thực hiện tưới tiết kiệm nước cho cây theo điều kiện hạn mặn (tưới 2 lần sáng - chiều/ngày, chu kỳ tưới từ 3 đến 5 ngày/lần, lượng nước tưới khoảng 13,3-19,2 m³/ha tháng 12, khoảng 32,3-37,5 m³/ha tháng 1, khoảng 42,9-54,4 m³/ha tháng 2, khoảng 56,8-63,2 m³/ha tháng 3, khoảng 24,8-37,3 m³/ha tháng 4), đồng thời theo dõi thời điểm xuất hiện nước ngọt phía ngoài sông để mở cửa cống lấy nước bổ sung, duy trì nước trong mương ở cao trình ≥1,2 m.

Thanh neo giữ tấm HDPE vào mái mương là điểm khác biệt so với các kênh trải HDPE thông thường. Vào mùa khô, khi mương làm nhiệm vụ trữ nước, tấm HDPE sẽ được mở phẳng từ trên bờ



Hình 3. Mặt cắt ngang mương thiết kế thi công và trữ nước sau khi xây dựng.



Bảng 3. Hiệu quả trữ nước trước và sau khi xây dựng mô hình.

Tháng	Số ngày trong tháng (ngày)	Trước khi xây dựng mô hình					Sau khi xây dựng mô hình					Lượng nước tăng thêm (%)
		Diện tích mặt ruộng (m ²)	Tổng lượng nước trữ (m ³)	Lượng nước tổn thất do bốc hơi (m ³)	Lượng nước tổn thất do thấm (m ³)	Tổng lượng nước hiệu dụng (m ³)	Diện tích mặt ruộng (m ²)	Tổng lượng nước trữ (m ³)	Lượng nước tổn thất do bốc hơi (m ³)	Lượng nước tổn thất do thấm (m ³)	Tổng lượng nước hiệu dụng (m ³)	
12	31	2.400	1.280	288,67	89,60	901,73	2.720	2.112	327,16	0	1.784,84	97,94
1	31	2.400	1.280	288,67	89,60	901,73	2.720	2.112	327,16	0	1.784,84	97,94
2	28	2.400	1.280	317,86	89,60	872,54	2.720	2.112	360,24	0	1.751,76	100,77
3	31	2.400	1.280	392,09	89,60	798,31	2.720	2.112	444,37	0	1.667,63	108,89
4	30	2.400	1.280	360,00	89,60	830,40	2.720	2.112	408,00	0	1.704,00	105,20
Tổng			6.400	1.647,29	448,00	4.304,71		10.560	1.866,93	0	8.693,07	

xuống tới đáy để trữ nước và chống thấm. Vào mùa mưa, thả một phần tấm HDPE từ trên bờ xuống tới thanh neo vào trong lòng ruộng, để nước trong liếp chảy xuống ruộng chống thổi rễ cây, từ đó mở công tiêu thoát nước ra sông.

Đánh giá hiệu của mô hình trữ nước sau khi hoàn thành đưa vào sử dụng: Sau khi mô hình được xây dựng, chiều sâu nước trữ trong ruộng tăng từ 1,0 m lên 1,2 m, làm gia tăng đáng kể dung tích trữ nước, việc nạo vét bùn và lá cây rụng khá thuận tiện, mùa khô hạn 2023-2024 đã tích đủ nước phục vụ tưới cho cây khi nước mặn ngoài sông Cửa Tiểu thường xuyên duy trì ở mức cao 1-2 tháng. Tấm HDPE đã hạn chế tối đa thấm mất nước, chống bốc thoát hơi nước trong đất từ liếp ra ngoài không khí, tầng đất ở khu vực rễ cắm luôn được đảm bảo đủ độ ẩm. Chủ vườn xác nhận sự thay đổi rõ ràng và tích cực về sự phát triển của cây trồng, cây bưởi phát triển xanh tốt hơn trước, nảy chồi và lá chuyển từ màu vàng sang xanh mượt, lượng hoa và trái đậu đã tăng lên 40-50%, quả tròn đều và trọng lượng tăng (màng vỏ khi chín). Đồng thời, HDPE cũng có tác dụng tránh phèn tiềm tàng ở đáy ruộng thấm thấu vào nước trữ trong ruộng. Hiệu quả của mô hình so sánh trước và sau khi xây dựng đưa vào sử dụng thể hiện ở bảng 3.

Trước khi xây dựng mô hình (người dân tích nước theo truyền thống), tổng lượng nước bốc hơi trong 5 tháng mùa khô của các ruộng là 1.647,29 m³, thấm 448 m³. Trong đó, tháng 3 có tổn thất nước lớn nhất là 481,69 m³, tháng 12 và tháng 1 có tổng lượng nước hiệu dụng lớn nhất là 901,73 m³, tháng 3 có lượng nước hiệu dụng thấp nhất là 798,31 m³.

Sau khi xây dựng mô hình, mặc dù lượng nước tổn thất bốc hơi tăng lên (do diện tích mặt thoáng tăng so với trước khi xây dựng mô hình), nhưng lượng nước thấm lại được hạn chế ở mức thấp nhất. Lượng nước hiệu dụng tháng 12 và 1 là lớn nhất 1.784,84 m³, tháng 3 có lượng nước hiệu dụng thấp nhất là 1.667,63 m³. Lượng nước được trữ tăng thêm so với thời điểm trước khi xây dựng mô hình từ 97,94 đến 108,89%. Như vậy, sau khi được đầu tư xây dựng mô hình, khả năng trữ nước của các ruộng trong vườn đã tăng lên đáng kể, đáp ứng đủ nhu cầu tưới 4-5 tháng, tức là tăng thêm được 2-3 tháng để phòng chống hạn mặn cho vườn cây.

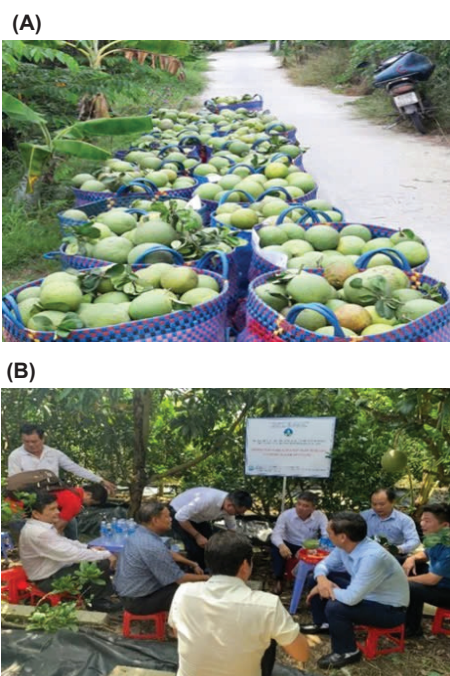
Tổng hợp chi phí (sản xuất và nguồn nước tưới) và giá trị thu được sau khi bán sản phẩm thu hoạch của chủ vườn để xác định lợi nhuận và hiệu quả kinh tế - xã hội của mô hình. Các chi phí sản xuất bao gồm phân bón, thuốc bảo vệ thực vật, vôi khử nấm, sâu bệnh và công chăm sóc vườn cây. Chi phí nguồn nước tưới gồm: (1) Chi phí nhân công quản lý vận hành cống/trạm bơm lấy nước từ hệ thống thủy lợi lớn, nạo vét kênh rạch hàng năm trong quá trình lấy nước; (2) Chi phí lấy nước động lực gồm dầu/điện để bơm gạn ngọt trong mùa hạn mặn; (3) Chi phí mua nước do không đủ nước tưới khi mô hình chưa được xây dựng (tham khảo giá thị trường mùa hạn mặn năm 2019-2020). Các chi phí này đều được chủ vườn theo dõi và cung cấp để nhóm nghiên cứu tính toán và đánh giá hiệu quả sau khi xây dựng mô hình.

Bảng 4. Lợi nhuận trước và sau khi xây dựng mô hình.

Thời điểm	Sản lượng (Tấn)	Giá thành (10 ³ đ/tấn)	Giá trị (10 ³ đ)	Chi phí (10 ³ đ)		Lợi nhuận (10 ³ đ)
				Sản xuất	Nguồn nước	
Trước khi xây dựng mô hình	14,6	35.000	511.000	133.505	69.169	308.326
Sau khi xây dựng mô hình	22,7	35.000	794.500	116.375	29.316	648.809
Chênh lệch	8,1	0	283.500	-17.130	-39.853	340.483

Ở năm đầu tiên sau khi xây dựng, mô hình đã cho lợi nhuận tăng gần 340,483 triệu đồng so với trước khi xây dựng (bảng 4). Kết quả tính toán lợi nhuận dự án mang lại sau 25 năm (theo TCVN 8213:2009) với các chỉ tiêu: Tỷ số hiệu ích trên chi phí B/C=1,54>1,0 và hệ số nội hoàn IRR=16,59%>15,0%, cho thấy mô hình trữ nước xây dựng ở Tiền Giang đảm bảo lợi ích về kinh tế.

Đối với công tác xã hội, mô hình tạo điều kiện cho phát triển mô hình du lịch sinh thái khi đã có đoàn khách Việt Nam và nước ngoài tới thăm quan (hình 4). Mô hình cũng là nơi trao đổi kinh nghiệm thực tế và học thuật giữa Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, các trường đại học, viện nghiên cứu, cơ quan quản lý ngành nông nghiệp cùng người dân trực tiếp sản xuất của khu vực. Kết quả nghiên cứu đã được Đài truyền hình Việt Nam (VTV Cần Thơ) [12],



Hình 4. Thực tế hiện trường mô hình trữ nước tại tỉnh Tiền Giang. (A) Sản phẩm trái cây của mô hình; (B) Đoàn của Bộ Nông nghiệp và Môi trường thăm quan và kiểm tra mô hình.

Báo Nông nghiệp Việt Nam [13] và Đài Truyền hình tỉnh Tiền Giang [14] đưa tin về hội thảo khoa học và thực tế mô hình, tuyên truyền vận động người dân sử dụng nước tiết kiệm, đồng thời nhân rộng giải pháp trữ nước phân tán phục vụ tưới cây ăn quả thích ứng với điều kiện hạn mặn trên toàn ĐBSCL.

4. Kết luận

Đồng bằng sông Cửu Long có diện tích cây ăn quả rất lớn, mùa khô thường không chủ động được nước tưới khi mặn xâm nhập sâu vào nội đồng. Vì vậy, cần có các giải pháp tích trữ nước để chủ động phục vụ tưới trong những thời điểm hạn mặn tăng cao và duy trì lâu. Nghiên cứu giải pháp trữ nước bằng mương liếp ngay trong các vườn cây đã được khảo sát, tính toán thiết kế và hoàn thành việc thi công mô hình thử nghiệm tại tỉnh Tiền Giang - nơi có diện tích cây ăn quả bị thiệt hại khá lớn bởi hạn mặn. Sau khi xây dựng mô hình, lượng nước hiệu dụng từ 1.667,63 đến 1.784,84 (m³), tăng thêm 97,94-108,89% so với cách trữ nước truyền thống, tăng thời gian trữ từ 2 đến 3 tháng để phòng chống hạn mặn cho vườn cây. Kết quả tính toán lợi nhuận dự án mang lại sau 25 năm (theo TCVN 8213:2009) với các chỉ tiêu: tỷ số hiệu ích trên chi phí B/C=1,54>1,0 và hệ số nội hoàn IRR=16,59%>15,0%, cho thấy mô hình trữ nước xây dựng ở Tiền Giang đảm bảo lợi ích về kinh tế. Mô hình đã tạo nguồn hiệu quả phục vụ sản xuất giúp người dân thích nghi với điều kiện hạn mặn mùa khô 2023-2024. Mô hình được đánh giá rất thiết thực và phù hợp, đảm bảo sử dụng hiệu quả nguồn nước được tích trữ, giúp người dân chủ động hơn trong quá trình sản xuất. Kết quả nghiên cứu làm cơ sở để các cơ quan quản lý chuyên ngành và người dân tại các vùng sản xuất cây ăn quả áp dụng và nhân rộng ở ĐBSCL.

LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo sử dụng kết quả của Đề tài khoa học và công nghệ cấp Bộ: “Nghiên cứu giải pháp, công nghệ tích trữ nước phân tán phục vụ vùng cây ăn quả vùng Đồng bằng sông Cửu Long”. Xin trân trọng cảm ơn gia đình ông Huỳnh Tấn Thảo, ấp Bình Thành, xã Tân Mỹ Chánh và UBND xã Tân Mỹ Chánh, TP. Mỹ Tho, tỉnh Tiền Giang (trước sáp nhập) đã cho phép và hỗ trợ đề tài xây dựng mô hình thử nghiệm tích trữ nước cho vườn cây bưởi đa xanh để áp dụng nhân rộng toàn vùng ĐBSCL.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] General Statistics Office (2023), *Statistical Yearbook of 13 Provinces in The Mekong Delta* (in Vietnamese).
- [2] Southern Institute of Water Resources Research (2023), *Investigation and Forecasting of Salinity in The Mekong Delta to Serve The Direction and Management of Agricultural Production*, MARD Scientific Report, pp.46-70 (in Vietnamese).
- [3] G.W. Frasier (1994), “Water harvesting/runoff farming systems for agricultural production”, *Water Harvesting For Improved Agricultural Production*, Expert Consultation, Cairo, Egypt, pp.57-73.
- [4] P.T. Vinh (2018), “Classification of surface water veins and proposal of model for collection and exploitation of surface water veins in water-scarce areas of the Central Highlands”, *Journal of Water Resources Science and Technology*, Vietnam Academy for Water Resources, **49**, pp.1-11 (in Vietnamese).
- [5] N.H. Vuong (2022), “Research on the application of river bottom water collection technology to improve the efficiency of domestic and production water supply works in Dien Bien province”, *Journal of Water Resources Science and Technology*, Vietnam Academy for Water Resources, **70**, pp.1-11 (in Vietnamese).
- [6] L.T. Tuan (2007), *Research on Technological Solutions of Local Water Storage for Sustainable Farming on Sloping Land and Soil Protection Against Erosion*, MARD Scientific Report (in Vietnamese).
- [7] L. Sam (2008), *Research on Economic and Technical Solutions for Water Storage in Drought-Stricken Desertification Areas of The South Central Provinces*, MARD Scientific Report, pp.5-25 (in Vietnamese).
- [8] T.T. Hung (2024), *Research on Solutions and Technologies of Distributed Water Storage for Fruit Tree Regions in The Mekong Delta*, MARD Scientific Report (in Vietnamese).
- [9] MIKE Powered by DHI (2023), “Comprehensive river modelling & management MIKE+ rivers”, <https://www.dhigroup.com/technologies/mikepoweredbydhi/mikeplus-rivers>, accessed 9 September 2024.
- [10] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2024), “CropWat”, <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>, accessed 9 September 2024.
- [11] Department of Water Resources (2023), *Document of Temporary Technical Guidance on Water Storage and Effective Irrigation for Fruit Trees in The Mekong Delta - Applied in The Dry Season Saline Intrusion Conditions of The Year 2023-2024* (in Vietnamese).
- [12] D. Phong (2024), “Distributed water storage for fruit growing areas in the Mekong Delta”, <https://vtvgo.vn/ts/13148314>, accessed 16 August 2024 (in Vietnamese).
- [13] M. Dam (2024), “Distributed water storage helps fruit orchards in the Mekong Delta overcome drought and salinity”, <https://nongnghiep.vn/radio/tru-nuoc-phan-tan-giup-vuon-cay-an-qua-dbscl-vuot-han-man-d399148.html>, accessed 9 September 2024 (in Vietnamese).
- [14] Tien Giang Television (2024), “Topic 23.3 - Farmers in My Tho city store fresh water to prevent drought and salinity”, <http://www.thtg.vn/video/chuyen-de-23-3/>, accessed 23 March 2024 (in Vietnamese).

Nghiên cứu xử lý nhu cầu oxy hóa học và chất hoạt động bề mặt trong nước thải giặt ủi công cộng bằng quá trình keo tụ - tạo bông

Đinh Thị Thu Hà*, Nguyễn Thị Thu Hiền, Trần Quốc Bảo

Khoa Môi trường, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh, 236B Lê Văn Sỹ, phường Tân Sơn Hoà, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 1/10/2024; ngày chuyển phản biện 2/10/2024; ngày nhận phản biện 25/10/2024; ngày chấp nhận đăng 29/10/2024

Tóm tắt:

Nước thải từ các cơ sở dịch vụ giặt ủi công cộng có nồng độ nhu cầu oxy hoá học (COD) và tổng chất hoạt động bề mặt cao hơn đáng kể so với nước thải sinh hoạt. Với sự gia tăng của các cơ sở này, lượng nước thải phát sinh ngày càng lớn và cần được phân loại - xử lý đạt tiêu chuẩn trước khi xả vào hệ thống thoát nước chung. Thí nghiệm Jarrest trong nghiên cứu này cho thấy, poly nhôm clorua (PAC) ở điều kiện tối ưu (pH 7; liều lượng 60 mg/l) hiệu quả hơn $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ trong xử lý nước thải giặt ủi. Cụ thể, sau xử lý, các thông số tổng chất rắn lơ lửng (TSS), độ đục và độ màu đều đạt yêu cầu cột A của QCVN 40:2011/BTNMT. Mặc dù nồng độ COD sau xử lý còn cao (341 mg/l), PAC đã giảm đáng kể các chất hữu cơ khó phân hủy và cải thiện tỷ lệ nhu cầu oxy sinh học 5 ngày/nhu cầu COD (BOD_5/COD) lên 0,52, thuận lợi cho quá trình xử lý sinh học tiếp theo. Đặc biệt, mối tương quan chặt chẽ giữa việc loại bỏ COD và tổng chất hoạt động bề mặt cho thấy cơ chế keo tụ - tạo bông cùng quá trình hấp phụ các hạt mixen giúp giảm nồng độ chất hoạt động bề mặt, gần đạt chuẩn cột B của QCVN 40:2011/BTNMT.

Từ khóa: chất hoạt động bề mặt, keo tụ - tạo bông, nhu cầu oxy hóa học, nước thải dịch vụ giặt ủi công cộng, poly nhôm clorua.

Chỉ số phân loại: 1.5, 2.4, 2.7

Research on the removal of chemical oxygen demand and surfactants from commercial laundry wastewater by the coagulation-flocculation process

Thi Thu Ha Dinh*, Thi Thu Hien Nguyen, Quoc Bao Tran

Faculty of Environment, Ho Chi Minh City University of Natural Resources and Environment, 236B Le Van Sy Street, Tan Son Hoa Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 1 October 2024; revised 25 October 2024; accepted 29 October 2024

Abstract:

Wastewater from public commercial laundry facilities has significantly higher concentrations of chemical oxygen demand (COD) and total surfactant concentration compared to domestic wastewater. As the number of these facilities increases, the volume of wastewater generated also rises, necessitating classification and treatment to meet standards before being discharged into the common drainage system. The Jarrest experiment in this study demonstrates that poly aluminium chloride (PAC), under optimal conditions (pH 7; dosage of 60 mg/l), is more effective than $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ for treating commercial laundry wastewater. Specifically, after treatment, the parameters total suspended solids (TSS), turbidity, and color all comply with the requirements of column A of QCVN 40:2011/BTNMT. Although the COD concentration post-treatment remains elevated (341 mg/l), PAC has significantly reduced non-biodegradable organic substances and improved the five-day biochemical oxygen demand/chemical oxygen demand (BOD_5/COD) ratio to 0.52, facilitating subsequent biological treatment processes. Notably, the close correlation between COD removal and total surfactants indicates that the coagulation-flocculation mechanism, along with the micelle adsorption mechanism, aids in reducing the concentration of surfactants, nearly achieving the standard of column B of QCVN 40:2011.

Keywords: chemical oxygen demand, coagulation-flocculation, commercial laundry wastewater, poly aluminium chloride, surfactants.

Classification numbers: 1.5, 2.4, 2.7

*Tác giả liên hệ: Email: ha.dtt@hcmunre.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Hiện nay, dịch vụ giặt ủi công cộng quy mô vừa và nhỏ trên địa bàn các đô thị lớn ở Việt Nam đang phát triển mạnh mẽ và đa dạng, đáp ứng nhu cầu của cả cộng đồng địa phương và người lao động nhập cư [1]. Nước thải từ quá trình giặt ủi chứa nhiều chất ô nhiễm phức tạp, bao gồm chất hữu cơ khó phân hủy, các chất hoạt động bề mặt từ xà phòng và chất tẩy rửa, cũng như kim loại nặng và các hợp chất vô cơ từ quần áo bẩn [2]. Đáng chú ý, lượng lớn nước tiêu thụ trong quá trình giặt ủi cũng góp phần vào tình trạng khai thác quá mức tài nguyên nước. Mặc dù một số ít cơ sở giặt ủi đã cố gắng áp dụng các biện pháp tái chế nước, đa số vẫn chưa đầu tư đúng mức vào hệ thống xử lý nước thải, dẫn đến nhiều hạn chế trong việc đảm bảo xử lý triệt để các chất ô nhiễm [3]. Với sự phát triển đô thị và gia tăng dân số, dự đoán rằng trong tương lai số lượng các cơ sở dịch vụ giặt ủi công cộng sẽ tăng lên đáng kể, kéo theo lượng nước thải phát sinh ngày càng lớn. Do tính chất phức tạp và lượng thải ngày càng tăng cao, việc phân loại nước thải từ các cơ sở dịch vụ giặt ủi như một loại nước thải công nghiệp và yêu cầu xử lý đạt chuẩn trước khi xả thải ra môi trường là điều cần thiết.

Công nghệ hóa lý, đặc biệt là phương pháp keo tụ - tạo bông, đóng vai trò then chốt trong xử lý nước thải công nghiệp. Phương pháp này hiệu quả trong việc loại bỏ đa dạng chất ô nhiễm như ion kim loại, hạt rắn không tan kích thước nhỏ và các chất keo khó lắng tự nhiên. Sử dụng các chất như PAC, phèn nhôm và phèn sắt, quá trình keo tụ - tạo bông này đặc biệt hiệu quả với nước thải có nồng độ ô nhiễm cao và pH biến động lớn từ các ngành như dệt nhuộm, in, giấy... [4-6]. Keo tụ - tạo bông thường được áp dụng ở giai đoạn đầu của quy trình xử lý, đóng vai trò tiền xử lý quan trọng. Bằng cách loại bỏ hiệu quả các chất rắn lơ lửng và keo, phương pháp tạo điều kiện thuận lợi cho các bước tiếp theo như lọc màng hoặc xử lý sinh học, góp phần nâng cao hiệu suất tổng thể của hệ thống. Tính linh hoạt và khả năng xử lý nhanh chóng của phương pháp này đáp ứng được yêu cầu vận hành liên tục của các nhà máy công nghiệp, đồng thời giúp tuân thủ nghiêm ngặt các quy định môi trường.

Riêng đối với nước thải ngành công nghiệp giặt ủi, việc áp dụng công nghệ hóa lý, đặc biệt là phương pháp keo tụ - tạo bông, là cần thiết để cải thiện chất lượng nước trước khi xả ra môi trường. Xu hướng hiện đại hóa công nghệ xử lý nước thải giặt ủi công nghiệp, đặc biệt là ứng dụng các phương pháp hóa lý tiên tiến, đang được nhiều quốc gia quan tâm nghiên cứu và áp dụng, nhằm hướng tới mục tiêu phát triển bền vững và bảo vệ môi trường [7, 8]. Một nghiên cứu tại khu công nghiệp giặt ủi ở Crete, Hy Lạp, với công suất 130 m³/ngày, đã chứng minh rõ rệt hiệu quả của công nghệ keo tụ - tạo bông khi sử dụng các chất như nhôm sulfat, sắt clorua và sắt sulfat. Kết quả cho thấy hiệu suất xử lý tổng photpho (T-P) đạt 89,7% khi sử dụng 75 mg/l Al₂(SO₄)₃ kết hợp với polyme điện ly (polyelectrolyte), và các thông số ô nhiễm khác đều đạt giới hạn cho phép [9]. Tương tự, nghiên cứu của E.P. Melián và cs (2023) [10] tại một khách sạn ở Gran Canaria, Tây Ban Nha, áp dụng quy trình keo tụ - tạo bông bằng sắt (III) sulfat kết hợp phương pháp Fenton và xử lý sinh học, đã hoàn toàn loại

bỏ độ đục và giảm thiểu phần lớn COD. Tuy nhiên, tại Việt Nam, các cơ sở dịch vụ giặt ủi công cộng chủ yếu hoạt động với quy mô vừa và nhỏ, phân bố chủ yếu trong các khu đô thị. Hiện nay, hầu như chưa có hệ thống khu công nghiệp giặt ủi riêng biệt nào được hình thành, dẫn đến việc nước thải từ các cơ sở này thường được xử lý chung với nước thải sinh hoạt hoặc xả trực tiếp ra môi trường mà không qua các quy trình xử lý chuyên biệt. Trong bối cảnh đó, nghiên cứu và ứng dụng phương pháp keo tụ - tạo bông để xử lý nước thải dịch vụ giặt ủi công cộng có thể được xem là một bước đi tiên phong tại Việt Nam.

Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm Jarrest được thực hiện với hai loại phèn: PAC và FeSO₄·7H₂O, nhằm xác định các điều kiện tối ưu về pH, loại và liều lượng chất keo tụ. Dưới các điều kiện tối ưu, hiệu quả xử lý các thông số ô nhiễm như TSS, độ đục, độ màu, COD và tổng chất hoạt động bề mặt sẽ được đánh giá và so sánh với các tiêu chuẩn trong QCVN 40:2011/BTNMT [11]. Thay vì áp dụng quy chuẩn nước thải sinh hoạt như trước đây, nghiên cứu này áp dụng quy chuẩn QCVN 40:2011/BTNMT về nước thải công nghiệp, giúp đánh giá hiệu quả xử lý một cách chính xác hơn và hỗ trợ định hướng quản lý nước thải dịch vụ giặt ủi công cộng theo hướng chuyên nghiệp và bền vững. Đặc biệt, nghiên cứu cũng khảo sát mối quan hệ giữa khả năng loại bỏ COD và tổng các chất hoạt động bề mặt, hai trong những thành phần ô nhiễm đặc trưng trong nước thải dịch vụ giặt ủi công cộng. Kết quả nghiên cứu không chỉ cung cấp dữ liệu khoa học nền tảng để tối ưu hóa quy trình xử lý, mà còn mở rộng khả năng ứng dụng thực tế, góp phần cải thiện chất lượng nước thải và bảo vệ môi trường.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

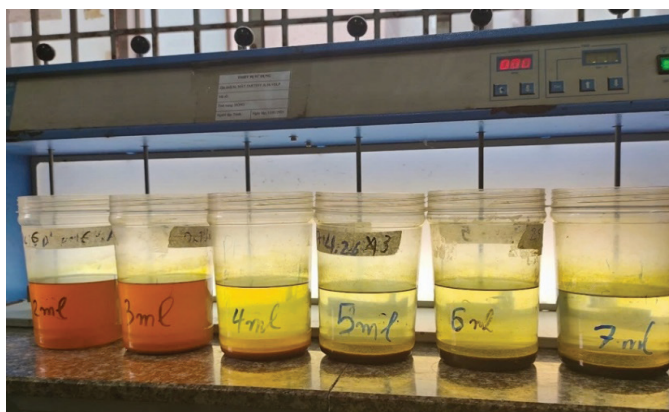
Nước giặt - xả thô được thu thập từ một cơ sở dịch vụ giặt ủi công cộng với quy mô vừa và nhỏ (từ 300 đến 500 kg đồ giặt/ngày) trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh từ tháng 3 đến tháng 5 năm 2024. Các cơ sở này nằm trong khu dân cư, phục vụ khách hàng thường xuyên là sinh viên, công nhân, hộ gia đình và các khách sạn, nhà nghỉ quy mô nhỏ. Ở mỗi cơ sở thường sử dụng từ 2 đến 3 máy giặt công nghiệp cỡ vừa, dung tích từ 30 đến 50 kg. Quy trình giặt bao gồm một lần giặt chính, hai lần xả và sau đó là vắt, sấy, với tổng thời gian cho một mẻ giặt là khoảng 80-100 phút. Lượng điện tiêu thụ khoảng 1,5 kWh/kg đồ giặt, lượng nước sử dụng là khoảng 12 lít/kg đồ giặt. Các chất tẩy rửa (nước giặt, nước xả vải, v.v) thường chứa các chất hoạt động bề mặt giúp tẩy rửa, làm sạch và hòa tan các chất bẩn. Trong mẫu nước thải thô, các chất bề mặt anion như sulfonat alkylbenzen tuyến tính (LAS) và natri dodecyl sulfat (SDS) là những thành phần phổ biến. Cả LAS và SDS, với công thức hóa học lần lượt là C₁₂H₂₆CH₂OSO₃Na và C₁₂H₂₆CH₂OSO₃Na, đều có tính chất làm giảm sức căng bề mặt của chất lỏng, góp phần vào khả năng tẩy rửa hiệu quả [2]. Tuy nhiên, chính sự hiện diện của các chất hoạt động bề mặt anion cùng với một số chất tạo phức (EDTA, NTA...) và các chất dầu - tạo hương liệu khác từ các chất tẩy rửa này có thể làm tăng nồng độ ô nhiễm trong nước thải giặt ủi [12].

Khác với một số nghiên cứu trước đây, nước thải từ các chu kỳ giặt (W1), xả lần đầu (R1), và xả lần thứ hai (R2) sẽ được thu thập riêng biệt để so sánh các mức độ ô nhiễm của mỗi chu kỳ và các phương pháp xử lý tương ứng [13]. Trong nghiên cứu này, mẫu nước thải thô được thu thập từ hồ thu gom tổng hợp, nơi tích tụ toàn bộ nước thải từ các chu kỳ, thay vì thu thập riêng lẻ từ từng chu kỳ. Việc gom chung nước thải của tất cả chu kỳ một mẻ giặt không chỉ giúp tối ưu hóa quá trình xử lý các chất hữu cơ khó phân hủy sinh học và hạt lơ lửng bằng các công nghệ hóa lý, mà còn mang lại hiệu quả trong tối ưu hóa chi phí và không gian. Đồng thời, quy trình này còn đơn giản hóa quy trình vận hành và phản ánh chính xác điều kiện thực tế tại các cơ sở giặt ủi. Đặc điểm cảm quan của mẫu nước thải thu được bao gồm màu đục, mùi hôi nhẹ, và sự hiện diện của bọt xà phòng, phản ánh đặc tính của nước thải giặt chưa qua xử lý.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Hóa chất: Trong nghiên cứu này, hai loại chất keo tụ chính được sử dụng là phèn PAC và phèn sắt (II) sulfat $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. PAC có công thức $[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$, xuất xứ từ Trung Quốc, độ tinh khiết $\geq 30\%$. Phèn sắt (II) sulfat có công thức $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, xuất xứ từ Trung Quốc, độ tinh khiết 99%. Ngoài ra, dung dịch H_2SO_4 10% và NaOH 10% được sử dụng để điều chỉnh pH cho các mẫu nước thải trong quá trình thí nghiệm.

Thiết bị: Các thí nghiệm trong nghiên cứu được thực hiện bằng cách sử dụng hệ thống khuấy Jarrest gồm 6 cốc thủy tinh (hình 1). Mỗi cốc chứa một mẫu nước thải riêng biệt (500 ml), được xử lý với điều kiện pH hoặc liều lượng phèn khác nhau, tùy theo từng giai đoạn thí nghiệm. Ở hình 1 là thí nghiệm 2 sử dụng phèn ngâm $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, với các liều lượng phèn lần lượt là 20, 40, 60, 80, 100 và 120 mg/l trong các cốc, nhằm xác định giá trị tối ưu cho hiệu suất xử lý. Hệ thống này được đặt tại phòng thí nghiệm môi trường thuộc Khoa Môi trường, Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh. Các thông số vận hành của thí nghiệm Jarrest trong nghiên cứu được thiết lập dựa trên sổ tay hướng dẫn quốc tế “Jar Tests for Water Treatment Optimization - How to Perform Jar Tests”, đảm bảo tuân thủ quy trình chuẩn và phù hợp với thực tiễn trong lĩnh vực xử lý nước thải [14].



Hình 1. Mô hình thí nghiệm Jarrest. Thí nghiệm 2 với $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

Phương pháp thí nghiệm: Nghiên cứu nhằm xác định hiệu suất xử lý nước thải cơ sở dịch vụ giặt ủi của PAC và $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ thông qua thí nghiệm Jarrest, bao gồm hai bước chính: xác định pH tối ưu (thí nghiệm 1) và xác định lượng phèn tối ưu (thí nghiệm 2).

Thí nghiệm 1: Mỗi một cốc thủy tinh có 500 ml mẫu nước thải thô và sử dụng lượng phèn cố định (20 mg/l). pH của các mẫu được điều chỉnh trong khoảng từ 5,5 đến 8,0 bằng cách sử dụng dung dịch NaOH 10% hoặc H_2SO_4 10%. Các mẫu sau đó được khuấy trộn nhanh ở tốc độ 100 vòng/phút trong 1 phút, tiếp theo đó giảm tốc độ khuấy xuống 15-20 vòng/phút trong 30 phút. Sau 30 phút lắng tĩnh, nước trong được lấy mẫu để phân tích các thông số như độ màu, độ đục và TSS.

Thí nghiệm 2: Quá trình khuấy trộn tại mỗi cốc thủy tinh diễn ra tương tự nhưng với các liều lượng phèn khác nhau, từ 20 mg/l đến 70 mg/l đối với PAC, từ 20 mg/l đến 120 mg/l đối với $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$. Các mẫu được điều chỉnh đến giá trị pH tối ưu đã xác định từ thí nghiệm 1. Các thông số được phân tích bao gồm TSS, độ đục, độ màu, COD, BOD₅, chất hoạt động bề mặt và pH.

Phân tích lấy mẫu, đo mẫu và phương pháp xử lý số liệu: Mẫu nước thải thô được lấy vào sáng sớm từ cơ sở giặt ủi và vận chuyển ngay về phòng thí nghiệm để phân tích. Quy trình lấy mẫu và bảo quản thực hiện theo các tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5999:1995 và TCVN 6663-3:2016 [15, 16]. Mẫu nước thải trước và sau xử lý được phân tích các thông số ô nhiễm chính, bao gồm pH, COD, BOD₅, TSS, độ màu, độ đục và chất hoạt động bề mặt. Mỗi thông số ô nhiễm được phân tích ba lần, sau đó lấy giá trị trung bình để đảm bảo độ tin cậy của kết quả. Đối với mẫu nước thải thô và mẫu sau xử lý bằng chất keo tụ và liều lượng tối ưu, BOD₅ được xác định để tính toán tỷ số BOD₅/COD. Việc so sánh tỷ số này trước và sau xử lý giúp đánh giá sự cải thiện khả năng phân hủy sinh học của nước thải. Nước thải sau xử lý được so sánh với các giá trị giới hạn quy định trong QCVN 40:2011/BTNMT, nhằm đánh giá khả năng đáp ứng yêu cầu pháp lý của nước thải sau khi xử lý bằng phương pháp keo tụ - tạo bông.

Hiệu suất xử lý (H%) đối với mỗi thông số ô nhiễm được tính theo công thức sau:

$$H\% = (C_1 - C_2) / C_1 \times 100\%$$

trong đó: C_1 : nồng độ đầu vào; C_2 : nồng độ đầu ra của thông số được phân tích.

Các thông số ô nhiễm: pH, COD, BOD₅, TSS, độ màu, độ đục, tổng chất hoạt động bề mặt được phân tích theo các phương pháp chuẩn của Việt Nam và quốc tế (bảng 1).

COD: Được xác định bằng máy nung, ống nghiệm và buret chuẩn với hóa chất kali cromat ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) 0,1 N, H_2SO_4 (đậm đặc) và muối Mohr. Quy trình bao gồm xử lý mẫu, thêm hóa chất, nung ở 150°C trong 2 giờ để oxy hóa chất hữu cơ. Sau khi làm nguội, tiến hành chuẩn độ lượng kali cromat dư bằng muối Mohr. Giá trị COD được tính toán dựa trên lượng oxy tiêu thụ trong quá trình phân hủy chất hữu cơ.

Bảng 1. Phương pháp phân tích các thông số ô nhiễm.

Thông số	Đơn vị	Phương pháp phân tích
pH	-	TCVN 6492:2011 [17]
Nhu cầu oxy hoá học	mg/l	SMEWW 5220C:2023 [18]
Nhu cầu oxy sinh học 5 ngày	mg/l	TCVN 6001-1:2021 [19]
Tổng chất rắn lơ lửng	mg/l	TCVN 6625:2000 [20]
Độ đục	NTU	TCVN 12402-1:2020 [21]
Độ màu	Pt-Co	SMEWW 2120C:2023 [18]
Tổng các chất hoạt động bề mặt	mg/l	SMEWW 5540C:2023 [18]

pH: Được đo bằng máy pH điện tử (Hanna HI 2210, Mỹ) với dung dịch chuẩn pH 4,0, 7,0 và 10,0. Mẫu nước được đưa vào máy đo sau khi hiệu chuẩn, điện cực được làm sạch trước và sau mỗi lần đo để đảm bảo độ chính xác.

BOD₅: Được xác định theo phương pháp pha loãng và cấy, bổ sung allylthiourea (ATU) để ngăn chặn nitrat hóa. Mẫu nước được pha loãng với dung dịch (phosphate magie sulfat, canxi clorua, sắt clorua) nhằm cung cấp dinh dưỡng cho vi sinh vật. Sau đó, mẫu được cấy vi sinh vật và ủ trong tủ (VELP - Model FOC 215E) ở 20°C±1°C trong 5 ngày. Nồng độ oxy hòa tan (DO) được đo ban đầu và sau khi ủ, giá trị BOD được tính bằng sự giảm DO trong quá trình này.

TSS: Được xác định bằng cách lọc mẫu qua màng lọc có kích thước lỗ 0,45 µm. Màng lọc được rửa bằng nước cất, sấy khô ở 105°C đến khi đạt khối lượng ổn định, sau đó cân chính xác để tính lượng chất rắn lơ lửng trong mẫu.

Độ màu: Được thực hiện bằng máy quang phổ (Hach DR 6000, Mỹ) tại bước sóng 456 nm. Trước khi phân tích, máy quang phổ được hiệu chuẩn với dung dịch chuẩn màu Pt-Co.

Độ đục: Được xác định bằng máy sử dụng dung dịch chuẩn Formazin (FAU), hoặc hạt tiêu chuẩn có độ đục đã biết. Máy đo có dải quang phổ từ 830 nm đến 890 nm, góc mở từ 10° đến 20°, giúp đo sự tán xạ ánh sáng của mẫu và xác định độ đục so với dung dịch chuẩn.

Chất hoạt động bề mặt: Được xác định theo phương pháp MBAS. Mẫu nước được lọc qua màng lọc 0,45 µm, phản ứng với thuốc thử xanh metylen và dung dịch chuẩn natri dodecyl sulfat (SDS). Phức xanh metylen - chất hoạt động bề mặt được chiết bằng chloroform (CHCl₃) và đo độ hấp thụ quang tại bước sóng 652 nm bằng máy quang phổ (Hach DR 6000, Mỹ).

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Đặc điểm nước thải thô

Nghiên cứu phân tích nước thải từ các cơ sở giặt ủi công suất 100-500 kg/ngày tại TP. Hồ Chí Minh, với mẫu được lấy từ hồ thu gom từ các chu kỳ giặt-xả trong 1 mẻ. Các thông số ô nhiễm chính được đối chiếu với QCVN 40:2011/BTNMT về nước thải công nghiệp, phân biệt hai mức giới hạn: cột A (nguồn nước cấp cho mục đích sinh hoạt) và cột B (nguồn nước cấp không dùng cho mục đích sinh hoạt). Các thông số ô nhiễm chính được trình bày trong bảng 2.

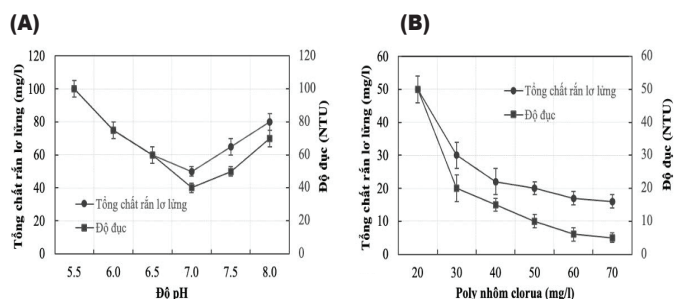
Bảng 2. Thành phần mẫu nước thải thu thập từ hồ thu gom. Tập trung tất cả chu kỳ giặt xả của 1 mẻ từ dịch vụ giặt ủi công cộng.

Thông số	Đơn vị	Trung bình (n=3)	QCVN 40:2011/BTNMT	
			A	B
pH	-	7,68±0,3	6-9	6-9
Nhu cầu oxy hoá học	mg/l	1150±25	75	150
Nhu cầu oxy sinh học 5 ngày	mg/l	300±5	30	50
Tổng chất rắn lơ lửng	mg/l	250±4	50	100
Độ đục	NTU	300±5	-	-
Độ màu	Pt-Co	450±8	50	150
Tổng các chất hoạt động bề mặt	mg/l	52±1,2	-	-

Kết quả cho thấy, nước thải có tính kiềm nhẹ (pH 7,68) do tương tác giữa chất tẩy rửa và nước máy trong quá trình giặt - xả. So với nước thải sinh hoạt thông thường, các thông số độ màu, độ đục và BOD₅ đều cao hơn đáng kể, trong đó nồng độ COD vượt 15,3 lần so với cột A và 7,7 lần so với cột B. Riêng thông số tổng chất hoạt động bề mặt do không được quy định trong QCVN 40:2011/BTNMT nên được đối chiếu với QCVN 13-MT:2015/BTNMT, kết quả cho thấy vượt tới 104 lần so với cột A và 26 lần so với cột B [22]. Nguyên nhân các chỉ số này cao là do sự tích tụ các chất hữu cơ khó phân hủy sinh học từ quần áo bẩn (như dầu mỡ, đất cát, mồ hôi) cùng với lượng lớn hóa chất tẩy rửa và dư lượng nước xả vải. Tỷ lệ BOD₅/COD thấp (khoảng 0,26) càng khẳng định khả năng phân hủy sinh học kém của nước thải này, phản ánh sự hiện diện của các chất ô nhiễm khó xử lý sinh học. Kết quả này gợi ý rằng, phương pháp xử lý hóa lý có thể phù hợp hơn so với xử lý sinh học ở giai đoạn này, nhằm xử lý hiệu quả cả COD và tổng các chất hoạt động bề mặt có trong mẫu nước thải thô.

3.2. Đánh giá hiệu quả của các chất keo tụ

Poly nhôm clorua: Hình 2 khảo sát ảnh hưởng của pH và nồng độ chất keo tụ đối với hiệu quả loại bỏ TSS và độ đục khi sử dụng phèn PAC.



Hình 2. Khảo sát ảnh hưởng của độ pH và liều lượng chất keo tụ poly nhôm clorua đối với xử lý tổng chất rắn lơ lửng, độ đục. (A) Theo độ pH; (B) Theo liều lượng poly nhôm clorua.

Trong hình 2A, ảnh hưởng của pH được khảo sát bằng cách sử dụng 20 mg/l PAC với sáu mức pH khác nhau từ 5,5 đến 8,0. Chọn phạm vi pH từ 5,5 đến 8 giúp bao quát hơn so với khoảng thông thường của PAC, phù hợp với pH dao động của nước thải thực tế, từ đó đánh giá toàn diện hiệu suất keo tụ và tránh bỏ sót các giá trị hiệu quả. Bước nhảy 0,5 đơn vị pH vừa đảm bảo đủ chi tiết để quan sát sự thay đổi hiệu suất, vừa đảm bảo tính so sánh với FeSO₄.7H₂O.

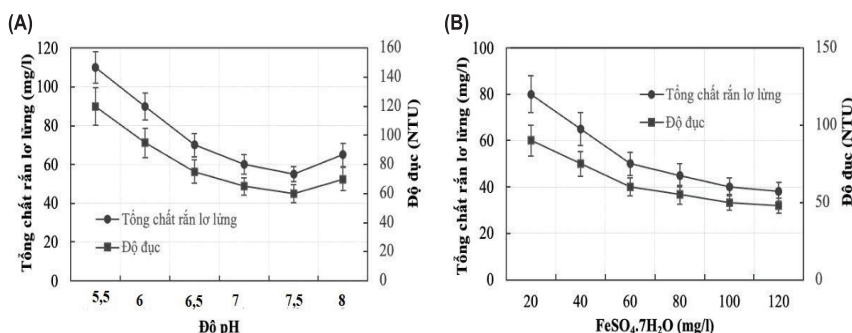
Kết quả cho thấy, khi pH tăng từ 5,5 lên 7,0, nồng độ TSS giảm từ khoảng 100 mg/l xuống còn 40 mg/l, đồng thời độ đục cũng giảm từ 100 NTU xuống còn khoảng 50 NTU. Tuy nhiên, khi pH tiếp tục tăng vượt quá 7,0, cả TSS và độ đục có dấu hiệu tăng nhẹ, chỉ ra sự suy giảm trong hiệu quả keo tụ. Kết quả thí nghiệm cho thấy, pH 7,0 là giá trị tối ưu cho quá trình keo tụ bằng PAC, phù hợp với nhiều nghiên cứu trước đó về hiệu quả xử lý nước thải bằng chất keo tụ PAC ở vùng pH trung tính [23, 24].

Khi pH được giữ ổn định ở mức tối ưu 7,0, ảnh hưởng của nồng độ PAC tiếp tục được khảo sát và trình bày trong hình 2B. Kết quả chỉ ra rằng, hiệu quả xử lý tăng lên đáng kể khi nồng độ PAC tăng từ 20 lên 60 mg/l, sau đó, sự cải thiện không còn rõ rệt. Nồng độ PAC 60 mg/l được xác định là mức tối ưu, cho thấy khả năng cân bằng giữa việc sử dụng hóa chất và hiệu quả xử lý. Tương tự các nghiên cứu trước đây, lựa chọn nồng độ 60 mg/l PAC giúp tối ưu hóa chi phí và duy trì tính ổn định của quá trình, nhờ khả năng tạo bông keo tụ đủ lớn để loại bỏ hiệu quả các tạp chất mà không gây lãng phí hóa chất hoặc tăng chi phí vận hành không cần thiết.

FeSO₄.7H₂O: Tương tự như PAC, hình 3A mô tả ảnh hưởng của pH đến hiệu quả xử lý TSS và độ đục khi sử dụng 20 mg/l FeSO₄.7H₂O ở sáu mức pH khác nhau, từ 5,5 đến 8,0. Kết quả cho thấy, pH tối ưu cho FeSO₄.7H₂O là 7,5, tại đó nồng độ TSS và độ đục sau xử lý đạt giá trị thấp nhất. Trong điều kiện pH tối ưu này, ảnh hưởng của nồng độ FeSO₄.7H₂O tiếp tục được khảo sát với khoảng tăng 20 mg/l, như thể hiện trong hình 3B.

Ban đầu, các nồng độ FeSO₄.7H₂O được khảo sát tương tự như với PAC, với các mức tăng cách nhau 10 mg/l, tuy nhiên sau mức 60 mg/l, sự giảm của TSS và độ đục vẫn tiếp tục đáng kể. Do đó, khoảng cách nồng độ được tăng lên mỗi 20 mg/l. Kết quả cho thấy, hiệu quả xử lý tăng đáng kể khi nồng độ FeSO₄.7H₂O tăng từ 20 đến 80 mg/l, nhưng sau đó hiệu quả này tăng chậm lại. Dựa theo tiêu chuẩn TCXDVN 33:2006, với nước thải có độ màu 450 Pt-Co và hàm lượng TSS 250 mg/l, liều lượng 80 mg/l được xác định là phù hợp [25]. Liều lượng này không chỉ đảm bảo hiệu quả xử lý cao mà còn tối ưu về kinh tế, nhờ giảm chi phí hóa chất và xử lý bùn thải, đồng thời đáp ứng các yêu cầu về môi trường. Vì vậy, nồng độ FeSO₄.7H₂O tối ưu được xác định là 80 mg/l.

Lựa chọn chất keo tụ tối ưu: Kết quả trong bảng 3 cho thấy, cả PAC và FeSO₄.7H₂O đều có khả năng xử lý nước thải, trong đó PAC thể hiện hiệu quả vượt trội ở hầu hết các thông số.



Hình 3. Khảo sát ảnh hưởng của độ pH và liều lượng chất keo tụ FeSO₄.7H₂O đối với xử lý tổng chất rắn lơ lửng, độ đục (A) Theo độ pH; (B) Theo liều lượng FeSO₄.7H₂O.

Bảng 3. Các thông số ô nhiễm của nước thải sau xử lý với liều lượng tối ưu của poly nhôm clorua và FeSO₄.7H₂O tại độ pH tối ưu của mỗi chất keo tụ.

Thông số	Đơn vị	Trước xử lý	poly nhôm clorua (60 mg/l)		FeSO ₄ .7H ₂ O (80 mg/l)	
			Sau xử lý	Hiệu suất (%)	Sau xử lý	Hiệu suất (%)
pH	-	7,68±0,3	6,8	-	4,5	-
Nhu cầu oxy hoá học	mg/l	1150±25	341,21±10	70,33	450,45±30	60,83
Tỷ lệ nhu cầu oxy sinh học 5 ngày/nhu cầu oxy hóa học	-	0,26±0,01	0,55±0,01	-	-	-
Tổng chất rắn lơ lửng	mg/l	250±4	17±2	93,2	45±5	82
Độ đục	NTU	300±5	6±2	98	55±6	81,67
Độ màu	Pt-Co	450±8	20±5	95,56	100±10	77,78
Tổng các chất hoạt động bề mặt	mg/l	52±1,2	10,8±1,5	79,23	16,3±2	68,64

Theo bảng 3, với liều lượng 60 mg/l ở pH 7,0, PAC đạt hiệu suất loại bỏ: COD (70,33%), TSS (93,2%), độ đục (98%), độ màu (95,56%) và tổng chất hoạt động bề mặt (79,23%). Thêm vào đó, PAC hoạt động tốt ở pH gần trung tính và yêu cầu liều lượng thấp hơn, giúp giảm chi phí hóa chất và nhu cầu điều chỉnh pH trong quá trình xử lý. Vì vậy, PAC được xác định là chất keo tụ tối ưu trong nghiên cứu này.

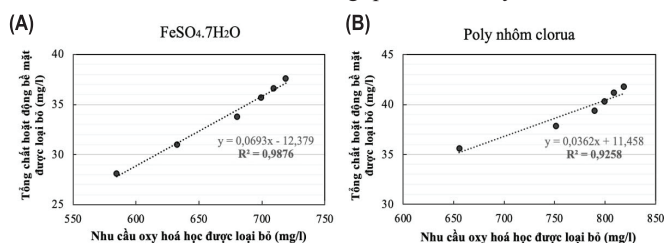
Hiệu suất vượt trội của PAC có thể được giải thích bởi các đặc điểm cấu trúc và hoạt động của nó [26]. PAC, với cấu trúc polyme phức tạp và nhiều nhóm hydroxide, tạo ra khả năng hấp phụ và keo tụ mạnh mẽ hơn so với FeSO₄.7H₂O vốn có cấu trúc đơn giản hơn chủ yếu dựa vào ion Fe²⁺. Cấu trúc polyme của PAC không chỉ cho phép hình thành bông cặn nhanh hơn mà còn tạo ra bông cặn bền vững và ít dễ vỡ hơn so với FeSO₄, vốn cần thời gian dài hơn để hình thành hydroxide và tạo bông cặn. PAC cũng hiệu quả hơn trong việc loại bỏ các chất ô nhiễm như chất hữu cơ hòa tan, chất màu và các hạt keo [27]. Ngược lại, FeSO₄.7H₂O có thể hiệu quả hơn trong việc loại bỏ phosphat nhưng lại kém hơn đối với các chất ô nhiễm khác. PAC ít làm thay đổi pH của nước sau xử lý, trong khi FeSO₄.7H₂O có xu hướng làm giảm pH, đòi hỏi phải điều chỉnh pH sau xử lý [23, 28]. Nước sau xử lý bằng PAC thường trong hơn do bông cặn lắng nhanh và ít tái hòa tan, trong khi FeSO₄.7H₂O có thể để lại màu vàng nhạt do sắt dư.

Khi so sánh với các tiêu chuẩn của QCVN 40:2011/BTNMT về nước thải công nghiệp, nước thải sau xử lý bằng PAC đáp ứng tốt các yêu cầu của cột A đối với TSS, độ màu và độ đục. Nồng độ tổng các chất hoạt động bề mặt sau xử lý đạt 10,8 mg/l gần tiêu chuẩn cột B (10 mg/l), cho thấy hiệu quả đáng kể của quá trình xử lý đối với thông số này. Tuy nhiên, nồng độ COD vẫn ở mức cao (341,21 mg/l), vượt xa giới hạn của cột B. Mặc dù vậy, tỷ lệ

BOD₅/COD đã tăng từ 0,26 trước xử lý lên 0,55 sau xử lý, chỉ ra khả năng phân hủy sinh học của nước thải đã được cải thiện đáng kể [4, 29]. Điều này gợi ý rằng, việc bổ sung phương pháp xử lý sinh học ở giai đoạn tiếp theo có thể giúp giảm nồng độ COD còn lại, đảm bảo nước thải đạt tiêu chuẩn xả thải theo quy định.

3.3. Mối tương quan hiệu suất loại bỏ nhu cầu oxy hóa học và tổng các chất hoạt động bề mặt

Trong nghiên cứu này, mối tương quan giữa khả năng loại bỏ COD và tổng lượng chất hoạt động bề mặt có trong nước thải thô đã được khảo sát, với kết quả được trình bày trong hình 4. Phân tích kết quả góp phần làm sáng tỏ cơ chế hoạt động của hai chất keo tụ FeSO₄.7H₂O và PAC, trong quá trình xử lý nước thải.



Hình 4. Mối tương quan giữa hiệu quả loại bỏ nhu cầu oxy hoá học và chất hoạt động bề mặt khi sử dụng FeSO₄.7H₂O (A) và poly nhôm clorua (B).

Hình 4A minh họa mối tương quan chặt chẽ giữa việc loại bỏ COD và tổng các chất hoạt động bề mặt khi sử dụng FeSO₄.7H₂O, với hệ số xác định $R^2=0,9876$. Kết quả này cho thấy sự tương đồng trong cơ chế loại bỏ cả hai chất ô nhiễm này. Việc sụt giảm pH (pH từ 7,5 xuống 4,5) trong quá trình keo tụ có ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả quá trình hấp phụ các hạt mixen mang điện tích âm (AMF), đặc biệt khi xử lý các chất hoạt động bề mặt anion [30, 31]. Như vậy, FeSO₄.7H₂O hoạt động chủ yếu qua hai cơ chế cơ bản: keo tụ - kết tủa và hấp phụ, trong đó cơ chế hấp phụ có thể bao gồm quá trình hấp phụ AMF [28, 31]. Thật vậy, cation Fe²⁺ tương tác với nước thải tạo ra các bông cặn và kết tủa, đồng thời gắn kết các hợp chất hữu cơ và hạt mixen chứa chất hoạt động bề mặt, giúp loại bỏ chúng khỏi dung dịch. Nghiên cứu của M.A. Aboulhassan và cs (2006) [32] cũng ghi nhận mối quan hệ tương tự khi sử dụng phenol để loại bỏ các chất hoạt động bề mặt trong nước thải công nghiệp. Tuy nhiên, để làm rõ hơn vai trò của quá trình hấp phụ AMF trong việc loại bỏ chất hoạt động bề mặt từ nước thải dịch vụ giặt ủi công cộng khi sử dụng phenol, cần thực hiện thêm các nghiên cứu bổ sung.

Đối với PAC (hình 4B), mối tương quan giữa việc loại bỏ COD và tổng các chất hoạt động bề mặt không mạnh mẽ bằng so với FeSO₄.7H₂O. COD là chỉ số tổng hợp phản ánh sự hiện diện của nhiều hợp chất hữu cơ khác nhau trong nước thải, trong khi tổng chất hoạt động bề mặt chỉ đại diện cho một nhóm hợp chất cụ thể. Sự đa dạng của các hợp chất hữu cơ trong nước thải có thể dẫn đến sự không đồng nhất trong hiệu quả xử lý của PAC [33]. Tuy nhiên, với giá trị $R^2=0,93$, PAC vẫn cho thấy mối quan hệ chặt chẽ giữa việc loại bỏ đồng thời COD và tổng chất hoạt động bề mặt. Tương tự FeSO₄.7H₂O, PAC cũng tham gia quá trình hấp phụ các hạt mixen thông qua sự liên kết giữa các cation và hạt này. Quá trình

này không chỉ làm giảm lực đẩy tĩnh điện giữa các hạt mà còn thúc đẩy sự kết tụ của các hợp chất hữu cơ và chất hoạt động bề mặt, tạo thành cụm bông dễ dàng tách ra khỏi dung dịch nước thải [34, 35].

4. Kết luận

Phương pháp keo tụ - tạo bông đã chứng minh hiệu quả trong xử lý nước thải dịch vụ giặt ủi công cộng, loại nước thải có nồng độ COD và chất hoạt động bề mặt cao. Thí nghiệm Jarrest cho thấy PAC, ở pH 7 và liều lượng 60 mg/l, có hiệu suất vượt trội hơn FeSO₄.7H₂O. Hiệu suất xử lý các thông số như độ màu, độ đục, TSS và COD lần lượt đạt 95,56, 96,67, 92,0 và 79,23%. Mặc dù COD sau xử lý vẫn cao, PAC đã giảm đáng kể các hợp chất hữu cơ khó phân hủy và cải thiện tỷ lệ BOD₅/COD, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình xử lý sinh học tiếp theo. Mối tương quan $R^2=0,93$ giữa việc loại bỏ COD và chất hoạt động bề mặt cho thấy, quá trình hấp phụ hạt mixen đóng vai trò quan trọng trong việc giảm các chất hữu cơ khó phân hủy. Nghiên cứu cũng đã phân loại nước thải dịch vụ giặt ủi công cộng vào nhóm nước thải công nghiệp và xử lý theo QCVN 40:2011/BTNMT. Điều này giúp tăng cường hiệu quả quản lý và kiểm soát chất lượng nước thải từ các cơ sở giặt ủi chuyên nghiệp và bền vững hơn. Tuy nhiên, khi chuyển từ quy mô phòng thí nghiệm sang hệ thống xử lý thực tế, cần chú trọng điều chỉnh thời gian lưu nước (HRT), kiểm soát pH và liều lượng hóa chất, cũng như quản lý bùn thải phát sinh. Với sự tối ưu hóa các yếu tố vận hành, phương pháp keo tụ - tạo bông sử dụng PAC là giải pháp khả thi và kinh tế cho các cơ sở dịch vụ giặt ủi công cộng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Tuc (2023), "Laundry service market in Vietnam: Scale over 205 million USD, growing 6% annually, far exceeding the Asian average", *Markettimes*, <https://markettimes.vn/thi-truong-giat-la-ho-tai-viet-nam-quy-mo-hon-205-trieu-usd-tang-6-nam-vuot-xa-muc-trung-binh-chau-a-39349.html>, accessed 15 June 2024 (in Vietnamese).
- [2] J.K. Braga, M.B.A. Varesche (2014), "Commercial laundry water characterisation", *American Journal of Analytical Chemistry*, **5**(1), pp.8-11, DOI: 10.4236/ajac.2014.51002.
- [3] B. Le (2019), "Two laundry facilities discovered discharging waste into the environment", *Journal of Ho Chi Minh City Police*, https://congan.com.vn/an-ninh-kinh-te/phot-hien-xu-ly-nhieu-cong-ty-xa-thai-gay-o-nhiem_68301.html, accessed 1 August 2024 (in Vietnamese).
- [4] L.H. Viet, T.P. Binh, M.T. Hau, et al. (2017), "Study on operation parameters of combined process on coagulation-flocculation and Fenton to treat printing factory wastewater", *CTU Journal of Science*, **1**, pp.162-172, DOI: 10.22144/ctu.jsi.2017.043 (in Vietnamese).
- [5] N.Q. Quyen, V.D. Thao, D.T.T. Linh (2018), "Research on wastewater treatment from the paper production by flocculation in combination with advanced oxidation", *LQDTU Journal of Science & Technique*, **13**(4), pp.3-10, DOI: 10.56651/lqdtu.jsi.v13.n4 (in Vietnamese).
- [6] A. Karam, E.S. Bakhoun, K. Zaher (2021), "Coagulation/flocculation process for textile mill effluent treatment: Experimental and numerical perspectives", *International Journal of Sustainable Engineering*, **14**(5), pp.983-995, DOI: 10.1080/193970382020.1842547.
- [7] S.K. Bhagat, T. Tiyyashal, D.N. Bekele (2018), "Economical approaches for the treatment and reutilization of laundry wastewater - A review", *Journal of Industrial Pollution Control*, **34**(2), pp.2164-2178.

- [8] J. Luo, X. Jin, Y. Wang, et al. (2022), “Advanced treatment of laundry wastewater by electro-hybrid ozonation-coagulation process: Surfactant and microplastic removal and mechanism”, *Water*, **14**(24), pp.1-5, DOI: 10.3390/w14244138.
- [9] M.P. Kavvalakis, E.G. Dialynas, G.E. Dialynas (2016), “Advanced treatment of laundry wastewater with coagulation and flocculation”, https://www.dialynas.com/newsite/wp-content/uploads/2016/09/SWWS2016_DIALYNAS_paperdraft.pdf, accessed 15 October 2024.
- [10] E.P. Melián, D.E. Santiago, E.León, et al. (2023), “Treatment of laundry wastewater by different processes: Optimization and life cycle assessment”, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **11**(2), pp.1-3, DOI: 10.1016/j.jece.2023.109302.
- [11] Ministry of Natural Resources and Environment (2011), *National Technical Regulation QCVN 40:2011/BTNMT Dated December 28, 2011 on Industrial Wastewater* (in Vietnamese).
- [12] G.T. Seo, T.S. Lee, B.H. Moon, et al. (2001), “Ultrafiltration combined with ozone for domestic laundry wastewater reclamation and reuse”, *Water Science and Technology: Water Supply*, **1**(5-6), pp.387-389, DOI: 10.2166/ws.2001.0138.
- [13] T. Ramcharan, A. Bissessur (2017), “Electrocoagulative and biological treatment of laundry wastewater”, *Biological Wastewater Treatment and Resource Recovery*, pp.182-189, DOI: 10.5772/67525.
- [14] M. Pivokonský, K. Novotná, L. Čermáková, et al. (2022), *Jar Tests for Water Treatment Optimisation: How to Perform Jar Tests - A Handbook*, IWA Publishing, pp.15-36, DOI: 10.2166/9781789062694_0015.
- [15] Ministry of Science and Technology (1995), *National Technical Standard TCVN 5999:1995 Dated October 10, 1995 on Water Quality - Sampling - Guidance on Sampling of Waste Water* (in Vietnamese).
- [16] Ministry of Science and Technology (2016), *National Technical Standard TCVN 6663-3:2016 Dated December 30, 2016 on Water Quality - Sampling - Part 3: Guidance on The Preservation and Handling of Water Samples* (in Vietnamese).
- [17] Ministry of Science and Technology (2011), *National Technical Standard TCVN 6492:2011 Dated November 11, 2011 on Water Quality- Determination of pH* (in Vietnamese).
- [18] W.C. Lipps, E.B. Braun-Howland, T.E. Baxter (2023), *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (24th Ed.)*, Washington DC: APHA Press: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 733pp.
- [19] Ministry of Science and Technology (2021), *National Technical Standard TCVN 6001-1: 2021 Dated December 30, 2021 on Water Quality - Determination of Biochemical Oxygen Demand After n Days (BOD_n) - Part 1: Dilution and Seeding Method with Allylthiourea Addition* (in Vietnamese).
- [20] Ministry of Science and Technology (2000), *National Technical Standard TCVN 6625:2000 Dated December 31, 1999 on Water Quality-Determination Suspended Solids by Filtration Through Glass-Fibre* (in Vietnamese).
- [21] Ministry of Science and Technology (2020), *National Technical Standard TCVN 12402-1: 2020 Dated December 31, 2020 on Water Quality-Determination of Turbidity - Part 1: Quantitative Method* (in Vietnamese).
- [22] Ministry of Natural Resources and Environment (2015), *National Technical Regulation QCVN 13-MT:2015/BTNMT Dated March 31, 2015 on The Effluent of Textile Industry* (in Vietnamese).
- [23] T.Z. Mahmudabadi, A.A. Ebrahimi, H. Eslami, et al. (2018), “Optimization and economic evaluation of modified coagulation-flocculation process for enhanced treatment of ceramic-tile industry wastewater”, *AMB Express*, **8**, DOI: 10.1186/s13568-018-0702-4.
- [24] J. Duan, J. Gregory (2003), “Coagulation by hydrolysing metal salts”, *Advances in Colloid and Interface Science*, **100-102**, pp.490-502, DOI: 10.1016/S0001-8686(02)00067-2.
- [25] Ministry of Construction (2006), *Technical Construction Standard TCXDVN 33:2006 Dated on March 17, 2006 on Water Supply - Distribution System and Facilities Design Standard* (in Vietnamese).
- [26] B.Y. Gao, Y.B. Chu, Q.Y. Yue, et al. (2005), “Characterization and coagulation of a polyaluminum chloride (PAC) coagulant with high Al13 content”, *Journal of Environmental Management*, **76**(2), pp.143-147, DOI: 10.1016/j.jenvman.2004.12.006.
- [27] S.O. Nti, R. Buamah, J. Atebiya (2021), “Polyaluminium chloride dosing effects on coagulation performance: Case study, Barekese, Ghana”, *Water Practice and Technology*, **16**(4), pp.1215-1223, DOI: 10.2166/wpt.2021.069.
- [28] X. Liu, N. Graham, T. Liu, et al. (2021), “A comparison of the coagulation performance of PAFC and FeSO₄ for the treatment of leach liquor from Stevia processing”, *Separation and Purification Technology*, **255**, pp.5-8, DOI: 10.1016/j.seppur.2020.117680.
- [29] F.A. Momani, E. Touraud, J.R.D. Dumas, et al. (2002), “Biodegradability enhancement of textile dyes and textile wastewater by VUV photolysis”, *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **153**(1-3), pp.191-197, DOI: 10.1016/S1010-6030(02)00298-8.
- [30] F.I.T. Alesson, S.T. Hall, N.P. Hankins, et al. (2002), “Flocculation of SDS micelles with Fe³⁺”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **204**(1-3), pp.87-91, DOI: 10.1016/S0927-7757(01)01112-8.
- [31] M.S. Hossain, F. Omar, A.J. Asis, et al. (2019), “Effective treatment of palm oil mill effluent using FeSO₄.7H₂O waste from titanium oxide industry: Coagulation adsorption isotherm and kinetics studies”, *Journal of Cleaner Production*, **219**, pp.90-97, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.02.069.
- [32] M.A. Aboulhassan, S. Souabi, A. Yaacoubi, et al. (2006), “Removal of surfactant from industrial wastewaters by coagulation flocculation process”, *International Journal of Environmental Science & Technology*, **3**(4), pp.330-332, DOI: 10.1007/BF03325941.
- [33] Y. Liu, L. Zhu (2017), “Enhanced treatment of dispersed dye-production wastewater by self-assembled organobentonite in a one-step process with poly-aluminium chloride”, *Scientific Reports*, **7**(1), pp.8-9, DOI: 10.1038/s41598-017-07333-2.
- [34] P. Paton, F.I.T. Alesson (1998), “Colloidal flocculation of micellar solutions of anionic surfactants”, *Journal of Surfactants and Detergents*, **1**(3), pp.399-402, DOI: 10.1007/s11743-998-0042-2.
- [35] M. Porras, F.I. Talens (2000), “Removal of 2,4-D from aqueous solutions by micellar flocculation with α -Olefinsulfonates”, *Separation Science and Technology*, **35**(12), pp.1973-1978, DOI: 10.1081/SS-100100631.

Sử dụng chỉ số khí hậu du lịch để đánh giá tài nguyên khí hậu cho phát triển du lịch biển - đảo Nam Trung Bộ, Việt Nam

Nguyễn Khanh Vân^{1*}, Hoàng Thị Kiều Oanh²

¹Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, 300A Nguyễn Tất Thành, phường Xóm Chiếu, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường Đại học Sài Gòn, 273 An Dương Vương, phường Chợ Quán, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 6/11/2024; ngày chuyển phản biện 2/12/2024; ngày nhận phản biện 23/12/2024; ngày chấp nhận đăng 14/3/2025

Tóm tắt:

Chỉ số khí hậu du lịch (TCI) được Z. Mieczkowski (1985) xây dựng nhằm đánh giá điều kiện sinh khí hậu qua các thông số khí hậu như chỉ số tiện nghi nhiệt ban ngày, chỉ số tiện nghi nhiệt hàng ngày, lượng mưa, số giờ nắng và tốc độ gió. Dựa vào các giá trị tính của TCI, bài báo đã đánh giá mức độ thích nghi của tài nguyên khí hậu du lịch tại 6 trạm khí tượng ở 6 khu vực thuộc vùng biển - đảo Nam Trung Bộ, Việt Nam. Kết quả cho thấy, chỉ số TCI có mức đánh giá từ thuận lợi đến rất tốt, đặc biệt một số nơi tháng 1 hoặc 2 còn có thêm TCI ở mức tuyệt vời. Khoảng thời gian thuận lợi nhất cho phát triển du lịch biển ở toàn vùng là các tháng đầu năm, từ tháng 1 đến tháng 4, đặc biệt ở Đà Nẵng và Phú Quý, thời gian này còn đến sớm hơn (từ tháng 12 năm trước). Trên toàn vùng biển - đảo Nam Trung Bộ, biển - đảo Phan Thiết và biển - đảo Nha Trang, quanh năm khí hậu thuận lợi cho du lịch (không có tháng nào TCI ở mức Không thuận lợi). Một số thời điểm kém thuận lợi hơn, chủ yếu có liên quan đến mưa lớn ở một số nơi: biển - đảo Đà Nẵng trong tháng 8; biển - đảo Lý Sơn, Quy Nhơn trong tháng 9; biển - đảo Phú Quý trong hai tháng 6 và 9.

Từ khóa: biển - đảo Nam Trung Bộ, các tham số khí hậu, chỉ số khí hậu du lịch, sự thoải mái về khí hậu, Việt Nam.

Chỉ số phân loại: 1.5, 2.7

Using the tourism climate index to assess climatic resources for tourism development in the South-Central Coastal and Island Region of Vietnam

Khanh Van Nguyen^{1*}, Thi Kieu Oanh Hoang²

¹Nguyen Tat Thanh University, 300A Nguyen Tat Thanh Street, Xom Chieu Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Saigon University, 273 An Duong Vuong Street, Cho Quan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 6 November 2024; revised 23 December 2024; accepted 14 March 2025

Abstract:

Built by Z. Mieczkowski (1985), the bioclimatic index TCI (Tourism Climate Index) assesses climatic resources through climate parameters such as daytime comfort index, daily comfort index, rainfall, the number of sunny hours, and wind speed. Based on values of TCI, this article aims to evaluate the adaptability of tourists to the climate at 6 meteorological stations (in the coastal area and the islands of the Southern central coast). The results show that TCI values range from good to very good, especially in some places in January or February, which have TCI at excellent level. The most favourable time for developing sea tourism in the whole region is the first quarter of the year from January to April, while Da Nang and Phu Quy's favourable time begins sooner, from December of the previous year. In the entire South-Central Coastal and Island Region, Phan Thiet and Nha Trang have a very favourable climate for tourism throughout the year. Due to mainly heavy rain, some places of the South-Central Coastal and Island Region have less favourable times such as Da Nang in August; Ly Son - Quy Nhon in September; and Phu Quy island in June and September.

Keywords: climate comfort, climate parameters, South-Central Coastal and Island Region, tourism climate index, Vietnam.

Classification numbers: 1.5, 2.7

*Tác giả liên hệ: Email: ngkhanhvan@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Biển - đảo Nam Trung Bộ là vùng có tài nguyên du lịch rất phong phú và đậm đà bản sắc riêng. Bên cạnh tài nguyên địa chất, địa mạo đa dạng làm nên những phong cảnh đẹp, biển ở đây xanh trong, cát trắng, các hệ sinh thái sinh vật biển vô cùng phong phú, khí hậu Nam Trung Bộ cũng rất thuận lợi cho phát triển nhiều loại hình du lịch. Tài nguyên khí hậu đối với sức khỏe con người trong các hoạt động du lịch có thể được đánh giá thông qua các yếu tố khí hậu riêng (độc lập) như nhiệt độ, lượng mưa, độ ẩm, gió, số giờ nắng... bởi bản thân mỗi yếu tố này với các giá trị nhất định luôn có những mức độ tác động khác nhau đến tâm lý, sức khỏe, cũng như các trải nghiệm của du khách trong hoạt động du lịch. Mặt khác, khí hậu tác động đến con người trong hoạt động sống, du lịch... một cách tổng hợp, do đó khi đánh giá ảnh hưởng của khí hậu đối với con người (sinh khí hậu ứng dụng), người ta không ngừng nghiên cứu, tìm kiếm, lựa chọn những chỉ số khí hậu tổng hợp - liên kết của một vài yếu tố khí hậu có ảnh hưởng quyết định đối với mức độ thoải mái của con người trong các hoạt động du lịch. Tiêu biểu có các chỉ số: chỉ số bất tiện nghi (DI), chỉ tiêu nhiệt ẩm (THI) liên kết ảnh hưởng của nhiệt độ, độ ẩm không khí; các chỉ số khác như nhiệt độ hiệu dụng (ET), chỉ số điều kiện Korenkov (ΣH), chỉ tiêu Wild Chill (KO) hay chỉ số khí hậu du lịch (tourism climate index - TCI), chỉ số khí hậu mùa du lịch (HCI) còn liên kết thêm các yếu tố gió, nắng, mưa... nhằm đưa việc đánh giá gần hơn với thực tế thời tiết, khí hậu nơi diễn ra các hoạt động du lịch [1]. Ở một khía cạnh khác, phần lớn các hoạt động du lịch thường diễn ra vào ban ngày, khi thời tiết khác với chính nó vào ban đêm cũng như khí hậu trung bình mùa, hoặc trung bình năm. Khắc phục khiếm khuyết đó, ngoài việc xem xét đồng thời ảnh hưởng của các yếu tố trên (nhiệt độ, độ ẩm, gió, mưa), chỉ số TCI của Z. Mieczkowski (1985) [2] đã đề xuất tính tách riêng ảnh hưởng của thời tiết, khí hậu ban ngày với trọng số lớn gấp 4 lần ảnh hưởng của khí hậu trung bình ngày (cả ngày lẫn đêm) với giả định rằng, điểm của tất cả các tham số trên không vượt quá 100. Chỉ số TCI đánh giá độ thoải mái của du khách trong hoạt động du lịch một cách toàn diện hơn nên đã được sử dụng rộng rãi và trở thành một công cụ phổ biến đánh giá mức độ thuận lợi của khí hậu cho phát triển du lịch tại nhiều khu vực và quốc gia trên thế giới.

Trước đó, đã có một số nghiên cứu vận dụng chỉ số TCI để đánh giá khí hậu du lịch. Ví dụ như ở Ba Lan, I. Derkowska và cs (2022) [3] đã dùng chỉ số TCI để xác định thời gian thuận lợi cho hoạt động du lịch ở Toruń là mùa xuân và mùa thu. Ở Herzegovina, phân tích về các giá trị của chỉ số TCI tại một địa điểm như Herzegovina-Neretva Canton (Bosnia - Herzegovina), H. Jahić và cs (2014) [4] cho rằng, đặc điểm khí hậu thuận lợi là một trong những yếu tố quan trọng nhất tạo nên sự thu hút khách du lịch của điểm đến. Khí hậu có giá trị du lịch trực tiếp khi được sử dụng cho liệu pháp ánh sáng mặt trời, cho các môn thể thao mùa đông trên tuyết; khí hậu ven biển, spa nghỉ dưỡng và vùng núi có tác dụng kích thích và an thần đối với cơ thể con người và chúng được công nhận là các liệu pháp khí hậu cơ bản giúp sức khỏe con người nhanh bình phục.

Gần đây, Z. Islam (2020) [5] với nghiên cứu của mình đã đưa ra các chỉnh sửa cho chỉ số TCI để phù hợp với điều kiện khí hậu của Etiopia, phân loại khí hậu của 112 trạm với những điều kiện cụ thể. Nhóm các giá trị TCI ở đây được xếp thành 44 hạng và kết quả cho thấy tiềm năng phát triển du lịch ở mức lý tưởng của 190 thị trấn ở đất nước này.

Bên cạnh đó, cùng với xu thế biến đổi khí hậu (BĐKH) ngày càng rõ nét, nhiều nơi đã tiến hành sử dụng TCI đánh giá mức độ thích nghi của con người với những biến đổi ngày càng tiêu cực của khí hậu, đó là những dự báo mức độ tác động của BĐKH đối với du lịch mùa hè ở châu Âu, với giả định nhiệt độ toàn cầu nóng lên khoảng 2°C thông qua phân tích chỉ số TCI của M.G. Grillakis và cs (2016) [6]. Liên quan đến BĐKH, L.S.P. Nielsen và cs (2010) [7] đã sử dụng TCI dự báo biến đổi tài nguyên khí hậu du lịch ở châu Âu (tại 8 khu vực) theo kịch bản A2 khi nhiệt độ giả định sẽ tăng 3°C vào năm 2100 (so với năm 1990); TCI hàng ngày được tính trong quá khứ (giai đoạn 1961-1990) và cho tương lai (giai đoạn 2071-2100). Kết quả cho thấy, hiện tại tài nguyên khí hậu tốt nhất ở Nam Âu và kém hơn khi vĩ độ và độ cao tăng lên; tương lai dài vĩ độ của khí hậu thuận lợi được dự đoán sẽ dịch chuyển về phía bắc, cải thiện tài nguyên khí hậu ở Bắc và Trung Âu trong hầu hết các mùa. Sự phù hợp của khí hậu Nam Âu đối với du lịch tham quan giảm đáng kể trong tháng nghỉ hè, nhưng được bù đắp một phần bằng những cải thiện đáng kể trong thời gian giữa tháng 10 và tháng 4.

Không chỉ giới hạn phạm vi trên đất liền, các chỉ số khí hậu còn được ứng dụng để đánh giá các yếu tố khí tượng trên các vùng biển - đảo, nơi khí hậu chịu ảnh hưởng trực tiếp của yếu tố đại dương. Tiêu biểu có nghiên cứu của R. Morgan và cs (2000) [8], các tác giả đã kết hợp kết quả khảo sát cảm nhận của khách du lịch với chỉ số TCI để đánh giá mức độ thoải mái của du khách với các yếu tố khí hậu và nhiệt độ nước biển ở xứ Wales, Manta và Thổ Nhĩ Kỳ. Một nghiên cứu khác tại quần đảo Canary (thuộc Đại Tây Dương), nơi khí hậu được xem là động lực thúc đẩy du lịch, S.A. Pérez và cs (2021) [9] đã tính chỉ số TCI (giai đoạn 1950-2018) và thấy rằng, TCI hầu hết các tháng đều lớn hơn 50 - tương ứng với một tiện nghi nhiệt rất tốt cho cả không gian quần đảo; mùa xuân có TCI tốt nhất với giá trị cao nhất là khoảng 80, đặc biệt vào tháng 4 đạt xuất sắc - excellent theo phân loại TCI; nghiên cứu này cũng cho thấy, không có mối tương quan rõ giữa lượng khách đến và chỉ số TCI, phải chăng nguyên nhân chính là sự thiếu thông tin cho khách du lịch về khí hậu du lịch và mùa du lịch tốt nhất tại đây?

Tại Nam Phi, phân loại TCI vùng phía đông Cao nguyên Lesotho (Cộng hòa Nam Phi - Nam Bán Cầu) [10] cho thấy, ở đây điều kiện khí hậu "Tốt" với tổng điểm TCI là 64 có trong giai đoạn 2012-2017. Biến trình năm của TCI ở miền đông Lesotho cho thấy một sự bất cập còn tồn tại là: điều kiện khí hậu tốt nhất, tương đương với đỉnh của TCI trong biến trình năm là vào những tháng hè (tháng 12 đến tháng 2); trong khi cao điểm của mùa du lịch lại có 2 đỉnh - vào mùa hè và mùa đông. Điều đó xảy ra bởi vào những ngày nghỉ đông của học sinh ở Nam Phi (các tháng 6, 7 và 8) hoạt động du lịch (trượt tuyết) mang lại nhiều lợi nhuận nhất cho ngành du lịch. Trong khi đó, tại khu vực phía nam Nam Phi, những phân tích TCI với điểm số là 80-89 cho thấy, điều kiện khí hậu tại khu vực này phù hợp để phát triển du lịch hơn Lesotho.

Ở Tây Nam Á, M. Masoudi (2021) [11] đã tính TCI cho 24 trạm thuộc tỉnh Fars, Iran (giai đoạn 2006-2026); sau đó sử dụng phép nội suy trọng số khoảng cách nghịch đảo (IDW - Inverse Distance Weighting) để tạo ra mô hình không gian tối ưu của phân bố TCI. Kết quả cho thấy, trong bốn tháng 5, 4, 10, 11, có tới 70-83% địa điểm ở Fars có khí hậu thoải mái và có điều kiện lý tưởng để phát triển du lịch; bốn tháng 7, 12, 1 và 3, có khoảng 45-54% địa điểm cung cấp những điều kiện tốt và rất tốt cho hoạt động du lịch. Sự phân bố không gian của TCI cũng cho thấy, các thành phố phía bắc tỉnh Fars nhìn chung có điều kiện thuận lợi nhất trong mùa nóng, trong khi các thành phố phía nam lại thích hợp hơn cho du lịch trong mùa lạnh.

Đối với Bắc Á, đánh giá tài nguyên khí hậu cho mùa du lịch ở Trung Quốc tập trung vào vai trò của khí hậu đối với tính thời vụ của du lịch trong nghiên cứu, Y. Fang và cs (2015) [12] đã xây dựng bản đồ phân bố điểm TCI theo mùa, kết quả khí hậu của hầu hết các khu vực ở Trung Quốc thoải mái cho khách du lịch trong mùa xuân và mùa thu, trong khi điều kiện khí hậu khác nhau rất nhiều vào mùa hè và mùa đông, với các mức “Xuất sắc”, “Tốt”, “Chấp nhận được” và “Không thuận lợi” tồn tại gần như theo sự tăng dần của vĩ độ. Số tháng tốt trên khắp Trung Quốc thay đổi từ 0 (khu vực cao nguyên Tây Tạng) đến 10 (tỉnh Vân Nam) và hầu hết các địa phương đều có 5 đến 8 tháng tốt lạnh. Hơn nữa, tất cả các địa điểm ở Trung Quốc có thể được phân loại là có đỉnh mùa đông, đỉnh mùa hè và có hai đỉnh. Kết quả này đã cung cấp những thông tin hữu ích cho các điểm du lịch, các công ty lữ hành, cơ quan quản lý du lịch Trung Quốc cũng như khách du lịch trong và ngoài nước.

Ở khu vực Đông Nam Á cũng có một số tác giả sử dụng TCI đánh giá tài nguyên khí hậu du lịch; tiêu biểu có A. Haryadi và cs (2019) [13] đã sử dụng chỉ số TCI để nghiên cứu sự thoải mái của du khách với điều kiện khí hậu vùng ven biển Samosir - Bắc Sumatra, nơi có nhiều điều kiện thuận lợi để phát triển du lịch với TCI đạt mức cao 67-85 điểm. Gần đây vào năm 2021, N.M. Hidayat (2022) [14] đã nghiên cứu điều kiện sinh khí hậu vùng biển đảo Đông Nusa Tenggara (Indonesia - Nam bán cầu) - nơi có bãi biển tuyệt đẹp, tác giả áp dụng chỉ số TCI để xác định thời gian du lịch thích hợp cho du khách là mùa khô, từ tháng 6 đến tháng 8, và thời gian tồi tệ nhất cho du lịch là mùa mưa, từ tháng 11 đến tháng 2 năm sau.

Tại Việt Nam, đã có một số nghiên cứu đánh giá tài nguyên khí hậu cho phát triển du lịch dựa trên các chỉ số khí hậu tổng hợp cũng như chỉ số khí hậu du lịch TCI. T.V. Lien (2009) [15] khi đánh giá tài nguyên khí hậu tỉnh Điện Biên phục vụ phát triển kinh tế - xã hội trong đó có phát triển du lịch đã sử dụng các chỉ số như: Khí hậu du lịch TCI của Mieczkowski, Nhiệt độ hiệu dụng ET (Effective Temperature) của Hentochell (1986), Cân cân nhiệt HBI (Heat Balance Index), Cảm giác nhiệt PVMI (Predicted Mean Voted Index) để nghiên cứu phân chia các đai sinh khí hậu, xây dựng bản đồ phân bố TCI để đánh giá tiềm năng khí hậu du lịch và xa hơn là đề xuất mùa thuận lợi cho phát triển du lịch tại tỉnh Điện Biên.

Đánh giá tài nguyên khí hậu cho phát triển du lịch biển - đảo, N.K. Van và cs (2018) [16] đã sử dụng các yếu tố khí hậu chính: nhiệt độ, nắng, mưa, gió, độ ẩm... đánh giá riêng; cũng như các chỉ số khí hậu tổng hợp: chỉ số bất tiện nghi DI, nhiệt độ hiệu dụng τ , chỉ số TCI để đánh giá tổng hợp khí hậu du lịch (theo tháng và năm) ở hai quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa của Việt Nam. Kết quả ở Hoàng Sa cho thấy, khí hậu du lịch ở mức từ Tuyệt vời đến Tốt (TCI đạt 62-85) là 5 tháng - các tháng từ 12 tới 4 năm sau; Tương đối tốt (TCI: 50-54) là 2 tháng chuyển mùa 5 và 11; ở mức Chấp nhận được (TCI: 42) là tháng 10; Không tốt (TCI: 31-37) là 4 tháng từ 6 đến 9. Còn ở Trường Sa, khí hậu du lịch ở mức Tốt (TCI: 75) chỉ có trong tháng 3; Tương đối tốt (TCI: 52-55) là 2 tháng kế bên - tháng 2 và 4, ở mức Chấp nhận được (TCI: 40-47) là các tháng 1, 8-11; và ở mức Không tốt (TCI: 34-39) là các tháng 5-7 và 12.

Đối với vùng biển có khí hậu nhiệt đới gió mùa, với một mùa đông lạnh như biển - đảo vùng đông bắc Việt Nam, cũng sử dụng chỉ số khí hậu du lịch TCI. Nghiên cứu của N.K. Van và cs (2019) [17] cho thấy, mùa vụ thuận lợi nhất cho du lịch ở khu vực biển ven bờ (Cô Tô) là các tháng 2-4 và 10-12 (với TCI: 62-78 ở mức Tốt đến Rất tốt), trong khi đó ở khu vực ngoài khơi (Bach Long Vĩ) thuận lợi nhất là các tháng từ 2-5 và 11-12 (TCI đạt 63-79). Ngoại trừ các tháng 7-8 khí hậu du lịch Không thuận lợi (do TCI chỉ đạt 35-38) ở khu vực biển ven bờ, những tháng còn lại của năm trên cả hai khu vực khí hậu du lịch đều ở mức từ Chấp nhận được đến Tương đối tốt (TCI đạt 40-47).

Nghiên cứu về ảnh hưởng của BĐKH đến hoạt động du lịch ngoài trời ở Đồng bằng sông Cửu Long thông qua các chỉ số TCI và HCI (Holiday Climate Index) [18, 19] cũng cho thấy, nếu như thời kỳ 2001-2020 điều kiện khí hậu du lịch ở đây có TCI đạt mức độ Thuận lợi trung bình đến Tương đối tốt; hoặc có HCI phổ biến ở mức Thuận lợi đến Tốt, thì đến giữa thế kỷ XXI (năm 2050) theo cả hai kịch bản RCP 4.5 và RCP 8.5, các chỉ số trên đều thay đổi theo chiều hướng kém thuận lợi hơn. Cụ thể, TCI đã giảm xuống rất nhiều, xuất hiện những tháng với mức độ thuận lợi ở mức Không tốt, chỉ còn những tháng mùa khô, từ tháng 12 đến tháng 4 là vẫn còn phù hợp cho du lịch. Tương tự theo HCI, số tháng có điều kiện khí hậu ở mức bắt đầu ảnh hưởng xấu đến sức khỏe con người khi tham gia hoạt động du lịch ngoài trời đã xuất hiện, phổ biến dao động từ tháng 4 đến tháng 11.

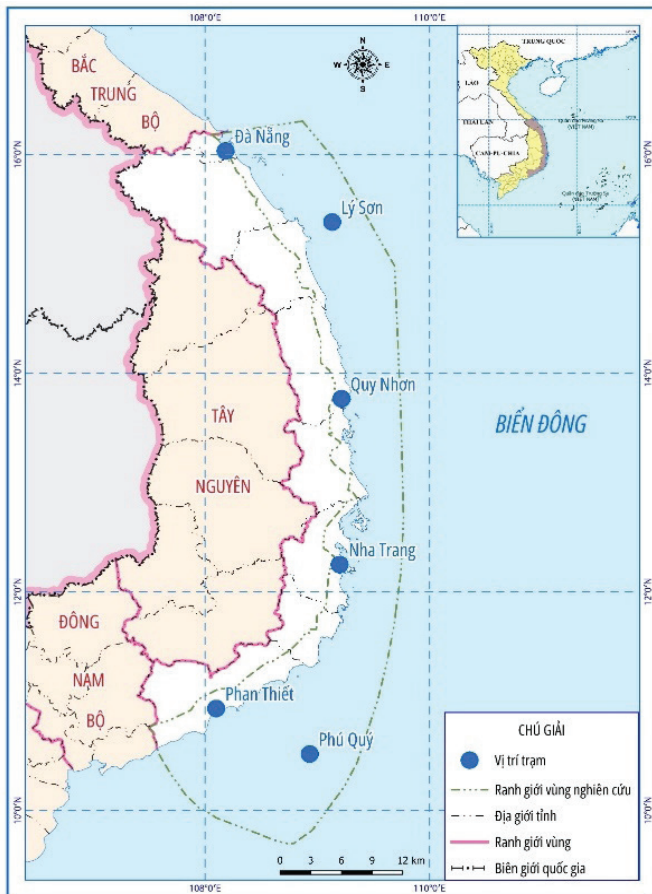
Như vậy có thể thấy, sử dụng chỉ số TCI không những cho phép đánh giá được mức độ thuận lợi của khí hậu đối với hoạt động du lịch, đặc biệt là du lịch ngoài trời, mà xét biến trình năm của chỉ số này còn cho phép xác định rõ thời kỳ có khí hậu du lịch thuận lợi (mùa vụ du lịch) ở các vùng lãnh thổ khác nhau; xa hơn nữa khi tính toán chỉ số TCI cho tương lai dựa vào các mô hình dự báo khí hậu với các kịch bản BĐKH khác nhau, còn cho phép dự báo sự thay đổi của TCI dưới tác động của BĐKH như đã thực hiện trong [18, 19]. Trong nghiên cứu này, chỉ số khí hậu du lịch TCI sẽ được tính toán cho toàn bộ vùng biển - đảo ven bờ Nam Trung Bộ, nhằm xác định rõ những khoảng thời gian thuận lợi cho du lịch ở từng khu vực của vùng, đồng thời chỉ rõ những yếu tố khí hậu hạn

chế độ với điều kiện khí hậu du lịch trong năm; kết quả này sẽ là cơ sở khoa học tin cậy để đề xuất tổ chức khu vực du lịch vùng biển - đảo Nam Trung Bộ.

2. Khu vực nghiên cứu, dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vùng biển - đảo Nam Trung Bộ

Vùng biển - đảo Nam Trung Bộ có chiều dài trải rộng trên đất liền ven bờ, từ ranh giới phía bắc của TP Đà Nẵng đến ranh giới phía nam của tỉnh Bình Thuận (trước sáp nhập), trên biển chiều rộng vùng (bao gồm cả đảo Phú Quý - tọa độ địa lý $108^{\circ}56'E$, $10^{\circ}31'N$) vươn ra Biển Đông, tới biên giới quốc gia trên biển của Việt Nam (ranh giới ngoài của lãnh hải tính từ đường cơ sở ra biển 12 hải lý) được xác định theo các văn bản Nhà nước có liên quan (theo điều 5 Biên giới quốc gia trên biển, Nghị định số 140/2004/NĐ-CP [20]). Bởi trên biển địa hình luôn bằng phẳng, khí hậu thời tiết tại các trạm khí tượng có tính đại diện cho khu vực xung quanh cao, xa hơn so với đất liền, nên ranh giới vùng nghiên cứu - biển - đảo Nam Trung Bộ trong hình 1 mang nhiều tính ước lệ.



Hình 1. Vị trí các trạm khí tượng vùng biển - đảo ven bờ Nam Trung Bộ.

Vùng biển - đảo Nam Trung Bộ có khí hậu biển nhiệt đới gió mùa. Các nghiên cứu về khí hậu, tài nguyên khí hậu Việt Nam, khí hậu dải ven biển Trung Bộ Việt Nam (trong đó có vùng Nam Trung Bộ [21, 22] cập nhật số liệu khí hậu đến năm 2020 [23] cho thấy, bức xạ tổng cộng của vùng đạt khoảng 150-160 kcal/cm², với

tổng số giờ nắng trong năm thuộc loại cao nhất các vùng biển - đảo Việt Nam, đạt khoảng 2100-2700 giờ/năm, thời kỳ nhiều nắng (từ >200 giờ/tháng) ở phía bắc vùng là các tháng từ 3 đến 8; phía nam nhiều nắng hơn và nắng nhiều sớm hơn - từ tháng 1, tháng 2 đến hết tháng 8. Là vùng biển - đảo ven bờ, chế độ gió ở đây phù hợp với hoàn lưu gió mùa trong khu vực: mùa đông - hướng đông bắc và bắc là chính; mùa hè các gió nam, tây nam và đông nam giữ vai trò chủ đạo; vận tốc gió trung bình năm đạt khoảng 1,5-3 m/s ở ven bờ và có thể đạt tới 4,5-5,5 m/s ở ngoài khơi trên các đảo. Nhiệt độ trung bình năm trên toàn vùng biển - đảo Nam Trung Bộ là khoảng 25,5-27°C; thời kỳ nóng trong năm (với nhiệt độ trung bình tháng trên 27°C) là các tháng từ 5-9 ở phía bắc và sớm hơn ở phía nam từ tháng 4-9; trên các đảo thời kỳ nóng còn dài thêm 1 tháng - tới tháng 10. Chế độ mưa vùng biển - đảo Nam Trung Bộ khá phức tạp: phía bắc (biển đảo Đà Nẵng - Ninh Thuận) mưa thu đông, phía cực nam vùng (biển đảo Bình Thuận) - mưa mùa hè; bên cạnh đó một số nơi trong vùng còn xuất hiện mưa Tiểu Mãn - mưa sớm trong tháng 5 [24, 25]. Tổng lượng mưa năm ở vùng biển - đảo Nam Trung Bộ dao động trong phạm vi lớn: từ ven biển Phú Yên trở ra bắc tổng lượng mưa năm khá lớn, đạt khoảng 1900-2100 mm/năm với khoảng 130-150 ngày mưa/năm; từ Khánh Hòa trở vào nam tổng lượng mưa năm thấp hơn đáng kể, chỉ đạt khoảng 1100-1300 mm/năm với số ngày mưa ít hơn rõ rệt, chỉ đạt khoảng 100-120 ngày mưa/năm. Phía bắc vùng mùa mưa ngắn, chỉ khoảng 4-5 tháng bắt đầu vào tháng 8, tháng 9 và kết thúc vào tháng 12; một số nơi như Tam Kỳ, Lý Sơn, Quảng Ngãi mùa mưa còn kết thúc muộn hơn - tới tận tháng 1 năm sau; Khu vực phía nam vùng (biển - đảo Bình Thuận) - mưa mùa hè từ tháng 5 đến hết tháng 10, trên biển mùa mưa còn dài hơn, tới tháng 12 mới chấm dứt (Phú Quý). Độ ẩm tương đối trung bình năm ở vùng biển - đảo Nam Trung Bộ khá cao, đạt khoảng 80-84%. Vùng biển - đảo Nam Trung Bộ chịu ảnh hưởng mạnh của bão, hội tụ nhiệt đới lúc cuối hè (các tháng 8-10) nên thường có mưa lớn; mùa hè khu vực ven biển và các đảo gần bờ chịu ảnh hưởng sâu sắc của gió phơn khô nóng (còn được gọi với tên địa phương là gió Lào) [21].

Nhìn chung, so với một số vùng biển - đảo phía Bắc của Việt Nam, biển - đảo Nam Trung Bộ có khí hậu du lịch thuận lợi hơn rất nhiều; bởi nơi đây quanh năm ấm áp, hơi nóng nhưng rất nhiều nắng, thích hợp với nhiều loại hình du lịch biển (tham quan biển - đảo, du lịch sinh thái biển - đảo, tắm biển, nghỉ dưỡng biển, thể thao du lịch, lướt ván...) thường diễn ra vào các giờ ban ngày ngoài thiên nhiên. Mùa du lịch có thể diễn ra quanh năm, không bị hạn chế bởi sự xâm nhập sâu của không khí lạnh, mưa lạnh, ẩm ướt trong mùa đông, do gió mùa cực đới như biển - đảo ở phía bắc; hạn chế chính về thời tiết, khí hậu đối với du lịch ở đây là những khoảng thời gian có hoạt động của bão, hội tụ nhiệt đới..., hoạt động của gió phơn khô nóng ở khu vực ven bờ thường diễn ra thành từng đợt ngắn, từ một vài ngày đến cả tuần.

2.2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

Số liệu khí hậu được sử dụng trong tính TCI bao gồm: trung bình tháng nhiều năm của nhiệt độ tối cao trung bình, độ ẩm tương đối thấp nhất trung bình, nhiệt độ và độ ẩm tương đối trung bình, lượng mưa, số giờ nắng và vận tốc gió trung bình - được thống kê

từ 6 trạm khí tượng (bảng 1, hình 1) tại vùng biển - đảo Nam Trung Bộ với độ dài chuỗi số liệu phổ biến là khoảng 40 năm (từ 1980 đến 2020) [22, 23]. Với nguồn số liệu và độ dài chuỗi quan trắc như trên, các đặc trưng khí hậu được thống kê để tính toán TCI có thể được xem là các số liệu chuẩn khí hậu Việt Nam. Cũng bởi trên biển địa hình bằng phẳng, các đặc trưng khí hậu tại các trạm khí tượng luôn có tính đại diện cao, nên 6 trạm khí tượng trên sẽ đại diện cho các khu vực biển - đảo ven bờ quanh chúng.

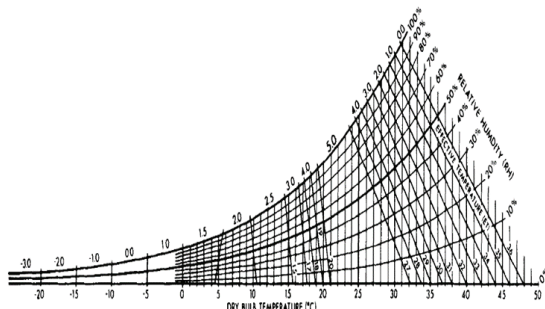
Bảng 1. Vị trí địa lý và đặc điểm địa hình các trạm khí tượng vùng biển - đảo Nam Trung Bộ.

Stt	Tên trạm	Kinh độ	Vĩ độ	Độ cao trạm (m)	Chuỗi số liệu	Đặc điểm địa hình của các trạm (đất liền/trên đảo)
1	Đà Nẵng	108°11'	16°02'	5	1980-2020	Trên đất liền ven bờ
2	Lý Sơn	109°08'	15°23'	10	1984-2020	Trên đảo ven bờ
3	Quy Nhơn	109°13'	13°46'	3	1980-2020	Trên đất liền ven bờ
4	Nha Trang	109°12'	12°15'	4	1980-2020	Trên đất liền ven bờ
5	Phan Thiết	108°06'	10°56'	9	1980-2020	Trên đất liền ven bờ
6	Phú Quý	108°56'	10°31'	5	1980-2020	Trên đảo ven bờ

Chỉ số khí hậu du lịch (TCI) của Z. Mieczkowski (1985) [2] là phương pháp được lựa chọn để tính toán điều kiện khí hậu khiến du khách thoải mái khi tham gia hoạt động du lịch (đặc biệt là du lịch ngoài trời). Phương pháp này được xây dựng trên cơ sở thống kê số liệu khí hậu thu thập từ 453 trạm khí tượng (theo 12 tháng của năm) ở khắp nơi trên thế giới, giai đoạn 1951-1980. Chỉ số này kết hợp từ 7 tham số, trong đó có 2 tham số kết hợp là CID (Daytime Comfort Index) và CIA (Daily Comfort Index), 3 tham số độc lập: R (Rainfall - lượng mưa), S (Sunny day -Số giờ nắng), W (Wind - Tốc độ gió) theo công thức:

$$TCI = (8 \cdot CID) + (2 \cdot CIA) + (4 \cdot R) + (4 \cdot S) + (2 \cdot W) \quad (1)$$

trong đó: CID: Chỉ số tiện nghi nhiệt ban ngày được xác định theo biểu đồ thực nghiệm (hình 2) dựa vào hai đặc trưng khí hậu là nhiệt độ tối cao trung bình, và độ ẩm tương đối thấp nhất trung bình. CIA: Chỉ số tiện nghi nhiệt hàng ngày được xác định cũng theo biểu đồ (hình 2), dựa trên hai đặc trưng khí hậu khác là nhiệt độ không khí trung bình và độ ẩm trung bình. Các tham số R: Lượng mưa trung bình trong tháng (mm), S: Số giờ nắng trung bình ngày trong tháng (giờ) và W: Vận tốc gió trung bình (m/s) đều được xác định theo bảng 2.



Hình 2. Tương quan chỉ số tiện nghi nhiệt ban ngày (CID) và chỉ số tiện nghi nhiệt hàng ngày (CIA) theo nhiệt độ và độ ẩm [2].

Trên biểu đồ mối tương quan giữa hai tham số kết hợp CID và CIA (hình 2), xây dựng theo số liệu thực nghiệm Z. Mieczkowski [2], trục tung biểu thị giá trị của độ ẩm, trục hoành biểu thị giá trị nhiệt độ không khí. Giao điểm giữa các cặp biến số này là các tham số kết hợp.

Bảng 2. Xác định giá trị xếp loại của lượng mưa, số giờ nắng và tốc độ gió cho tính TCI [2].

Lượng mưa trung bình tháng (mm)	Số giờ nắng hàng ngày (giờ)	Giá trị xếp loại	Tốc độ gió (m/s)	Giá trị xếp loại
0-14,9	>10 h	5	<0,80	5,0
15-29,9	9h-9h59	4,5	0,80-1,60	4,5
30-44,9	8h-8h59	4	1,60-2,51	4,0
45-59,9	7h-7h59	3,5	2,51-3,40	3,5
60-74,9	6h-6h59	3	3,40-5,50	3,0
75-89,9	5h-5h59	2,5	5,50-6,75	2,5
90-104,9	4h-4h59	2	6,75-7,80	2,0
105-114,9	3h-3h59	1,5	7,80-10,70	1,0
120-134,9	2h-2h59	1		
135-149,9	1h-1h59	0,5	>10,70	0,0
>150	<1 h	0		

Tổng hợp từ 2 tham số CIA và CID, 3 yếu tố độc lập là lượng mưa trung bình, số giờ nắng, vận tốc gió, áp dụng tính toán chỉ số TCI theo công thức tính TCI (1), kết quả đánh giá mức độ thuận lợi của khí hậu cho du lịch được phân cấp như bảng 3.

Bảng 3. Phân cấp mức độ thuận lợi của khí hậu cho du lịch dựa theo TCI [2].

Chỉ số khí hậu du lịch	Phân cấp	Phân hạng theo cảm nhận của con người	Mức độ thuận lợi cho du lịch
100-90	9	Lý tưởng (ideal)	Tuyệt vời
89-80	8	Tuyệt vời (excellent)	
79-70	7	Rất tốt (very good)	
69-60	6	Tốt (good)	Rất tốt - Tốt
59-50	5	Tương đối tốt (acceptable)	
49-40	4	Thuận lợi (marginal)	
39-30	3	Không tốt (unfavorable)	Thuận lợi khá - Thuận lợi
29-20	2	Rất không tốt (very unfavorable)	
19-10	1	Cực kỳ không tốt (extremely unfavorable)	
<10	0	Không phù hợp (impossible)	

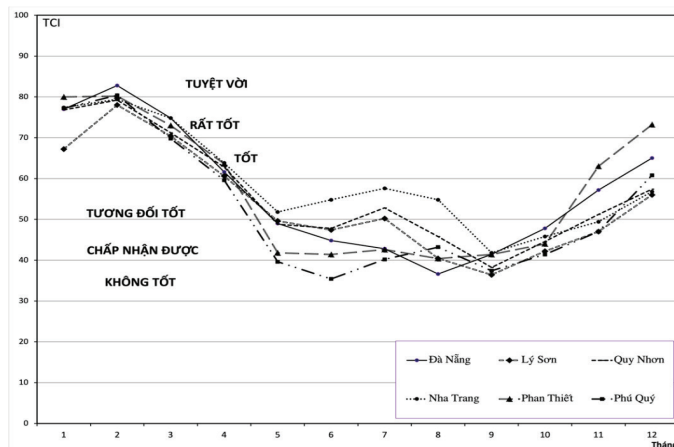
Phương pháp tính chỉ số TCI (công thức 1), biểu đồ tương quan CID với CID (hình 2), các giá trị xếp hạng lượng mưa, số giờ nắng, tốc độ gió (bảng 2) và phân cấp mức độ thuận lợi khí hậu du lịch (bảng 3) đều được xây dựng trên cơ sở thống kê số liệu nhiều năm (1951-1980) của 453 trạm khí tượng ở khắp mọi nơi trên thế giới, do đó áp dụng được trên các châu lục khác nhau (châu Âu [3, 4, 6, 7], châu Phi [5, 9, 10], châu Á [8, 11]), trên các khu vực khác nhau của Châu Á như Đông Á - Trung Quốc [12], Đông Nam châu Á - Indonesia (ở cả bắc và nam bán cầu [13, 14]) và cả ở Việt Nam [15-19].

3. Kết quả và bàn luận

Xét các giá trị TCI trung bình năm tại 6 trạm khí tượng vùng biển - đảo Nam Trung Bộ (bảng 4 và hình 3) cho thấy, các giá trị TCI trung bình năm tại 6 khu vực biển - đảo Nam Trung Bộ đều nằm trong mức đánh giá từ Thuận lợi khá đến Thuận lợi (TCI: 46-57). Cụ thể, Nha Trang, Phan Thiết, Phú Quý có mức đánh giá TCI Thuận lợi khá, Đà Nẵng, Quy Nhơn, Lý Sơn ở mức Thuận lợi. Nhìn chung, xét TCI trung bình năm vùng biển - đảo Nam Trung Bộ có điều kiện sinh khí hậu phù hợp cho phát triển du lịch.

Bảng 4. Chỉ số TCI vùng biển - đảo Nam Trung Bộ (giai đoạn 1980-2020).

Tháng/năm	Đà Nẵng	Lý Sơn	Quy Nhơn	Nha Trang	Phan Thiết	Phú Quý
1	77	67	77	77	80	77
2	83	78	79	79	80	80
3	75	70	71	75	73	70
4	62	61	63	64	64	60
5	49	50	49	52	42	40
6	45	47	48	55	41	35
7	43	50	53	58	43	40
8	37	40	46	55	40	43
9	41	36	38	42	41	37
10	48	42	45	46	44	41
11	57	47	51	49	63	47
12	65	56	57	57	73	61
Năm	49	47	46	55	57	50
Ký hiệu	Tuyệt vời	Rất tốt - Tốt		Thuận lợi khá - Thuận lợi		Không thuận lợi



Hình 3. Chỉ số TCI ở vùng biển - đảo Nam Trung Bộ theo các tháng trong năm.

Tuy nhiên, tại các khu vực biển - đảo Nam Trung Bộ giá trị TCI tính theo tháng lại dao động ở các mức độ khác nhau và kết quả như sau:

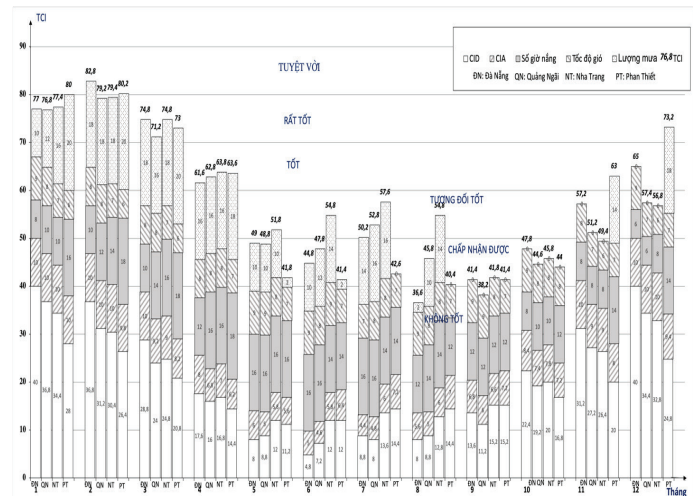
Thời kỳ có khí hậu du lịch từ Tuyệt vời đến Rất tốt và Tốt (TCI: 60-83) trên tất cả các khu vực của vùng Nam Trung Bộ là các tháng đầu năm, từ tháng 1 đến tháng 4; riêng Phan Thiết thêm 2 tháng cuối năm trước - tháng 11 và 12; còn Đà Nẵng và Phú Quý - thêm tháng 12.

Thời kỳ có khí hậu du lịch ở mức từ Thuận lợi khá đến Thuận lợi (TCI: 40-57) ở từng khu vực biển - đảo có những phân hóa sau: Nha Trang là 8 tháng còn lại của năm (các tháng 5-12); Phan Thiết - 6

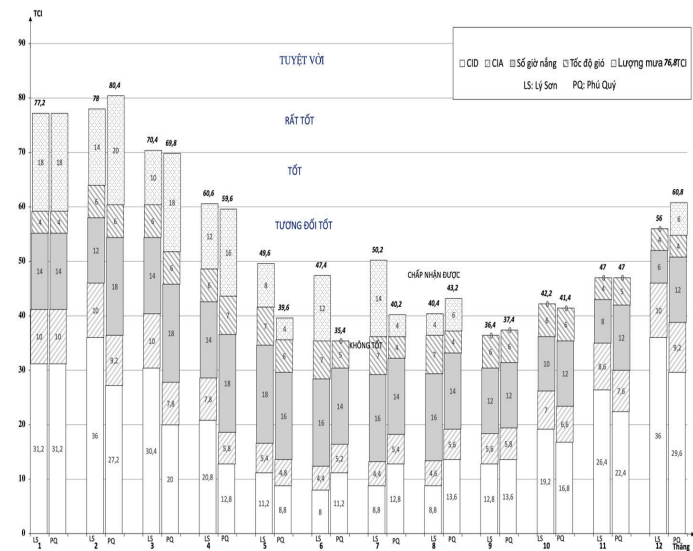
tháng còn lại của năm (các tháng từ 5-10); cùng có 7 tháng TCI ở mức Thuận lợi khá đến Thuận lợi là Lý Sơn (các tháng từ 5 đến 8) và Quy Nhơn (các tháng 5-8 và 10-12); Những nơi có 5 tháng TCI ở từ Thuận lợi khá đến Thuận lợi là Đà Nẵng (các tháng 5, 7, 9-12) và Phú Quý (các tháng 5, 7-8 và 10-11).

Thời kỳ có khí hậu Không thuận lợi cho du lịch (TCI: 35-38) không dài - chỉ khoảng 1-2 tháng ở một số khu vực, cụ thể ở Đà Nẵng là trong tháng 8, Lý Sơn, Quy Nhơn là trong tháng 9; còn Phú Quý là trong 2 tháng 6 và 9.

Để hiểu rõ hơn về kết quả đánh giá TCI trung bình năm và TCI trung bình tháng đi sâu hơn vào phân tích vai trò của các tham số thành phần tại các hình 4, 5 và đối chiếu với phương trình (1) ta thấy:



Hình 4. Biểu trình năm TCI và các thành phần ở vùng biển - đảo Nam Trung Bộ (giai đoạn 1980-2020).



Hình 5. Biểu trình năm TCI và các thành phần của nó tại các trạm khí tượng trên đảo (giai đoạn 1980-2020).

Đối với hai chỉ số kết hợp CID và CIA - thể hiện mối quan hệ giữa yếu tố nhiệt độ và độ ẩm; có ảnh hưởng tới cảm giác, tâm lý và tình trạng sức khỏe của du khách khi tham gia du lịch. Ở vùng biển - đảo Nam Trung Bộ, giá trị của điều kiện khí hậu ban ngày (CID) tại các trạm ven biển (hình 4) cũng như các trạm trên biển

(hình 5) luôn lớn hơn (có nghĩa là đóng góp của nó vào TCI tổng sẽ “nặng ký” hơn) so với giá trị của điều kiện khí hậu cả ngày (CIA). Nói cách khác, điều đó cho thấy, phương trình (1) đã coi trọng điều kiện khí hậu thời tiết của những giờ ban ngày - giờ diễn ra các hoạt động du lịch ngoài trời, quan trọng hơn rất nhiều (gấp 4 lần) so với khí hậu thời tiết của cả ngày.

Đối với các biến độc lập: giá trị của biến độc lập số giờ nắng (S) và tốc độ gió (W) khác biệt không nhiều giữa các tháng trong năm, cũng như tại các khu vực biển - đảo khác nhau - bởi lẽ ở vùng biển - đảo Nam Trung Bộ mọi lúc, mọi nơi điều kiện khí hậu thời tiết luôn thoáng gió và nhiều nắng. Số giờ nắng (S) của vùng biển - đảo Nam Trung Bộ đạt mức điểm đánh giá tương đối cao, với số giờ nắng trung bình từ 6 đến 9 giờ, tạo điều kiện cho hoạt động du lịch diễn ra cả ngày. Về tốc độ gió (W), mặc dù các khu vực đất liền vận tốc gió nhỏ hơn so với ngoài đảo, nhưng vẫn nằm trong ngưỡng thuận lợi cho các hoạt động du lịch, tạo cảm giác mát mẻ, dễ chịu cho du khách, tốc độ gió $>1,5$ m/s sẽ tạo cảm giác như nhiệt độ thấp hơn $2,8-3,9^{\circ}\text{C}$ [26].

Sự khác nhau căn bản, rõ nét nhất là giá trị của biến độc lập lượng mưa (R): Trong mùa mưa, khi lượng mưa vượt 100 mm/tháng trở lên, giá trị xếp loại của biến độc lập - R này chỉ là từ 2 đến 0; và khi tính theo công thức (1) 4R lúc này sẽ có điểm số từ 8 đến 0. Đó chính là lý do phần lớn các nơi trong mùa mưa giá trị điểm số của biến này ở nhiều địa điểm chỉ là 0. Cụ thể, đối với các trạm trên đất liền ven biển (hình 4), giá trị đóng góp của biến lượng mưa ở Phan Thiết trong các tháng từ 7 đến 10 là 0; tương tự ở Đà Nẵng, Quảng Ngãi, Nha Trang trong các tháng từ 8 đến 12 giá trị của biến 4R cũng luôn bằng 0. Đối với các trạm trên các đảo ven bờ (hình 5) giá trị đóng góp của biến lượng mưa cũng bằng 0 ở Lý Sơn trong các tháng từ 9 đến 12; ở Phú Quý trong tháng 6 và từ tháng 9 đến tháng 11. Trong những trường hợp như vậy, giá trị của TCI tổng sẽ chỉ còn phụ thuộc vào 4 biến còn lại CID, CIA, S và W.

Nhìn một cách khái quát, trong tổng số 72 tháng có tính TCI trung bình trên toàn vùng biển - đảo Nam Trung Bộ (12 tháng của 6 khu vực) chỉ có 5 tháng có TCI tháng ở mức Không thuận lợi. Có thể thấy, vùng biển - đảo Nam Trung Bộ là một trong những vùng có tài nguyên khí hậu du lịch rất thuận lợi, gần như thuộc loại tốt đứng đầu so với các vùng biển - đảo khác ở Việt Nam.

Mùa du lịch ở vùng biển - đảo Nam Trung Bộ: Thời gian giá trị TCI tháng từ mức Thuận lợi trở lên đến Tuyệt vời cho phát triển du lịch ở vùng biển - đảo Nam Trung Bộ rất dài và khá liên tục.

Từ phía bắc xuống phía nam vùng Nam Trung Bộ mùa du lịch thuận lợi có đặc điểm như sau:

Khu vực biển - đảo Đà Nẵng: Thời gian thuận lợi, tốt cho du lịch gần như là cả năm, ngoại trừ tháng 8 - Không thuận lợi.

Khu vực biển - đảo Lý Sơn: Thời gian thuận lợi, tốt cho du lịch cũng gần như là cả năm, ngoại trừ tháng 9 - Không thuận lợi.

Khu vực biển - đảo Quy Nhơn: Thời gian thuận lợi, tốt cho du lịch cũng gần như là cả năm, ngoại trừ tháng 9 - Không thuận lợi.

Các khu vực biển - đảo Nha Trang và biển - đảo Phan Thiết: quanh năm khí hậu du lịch thuận lợi, tốt cho hoạt động du lịch.

Khu vực biển - đảo Phú Quý thời gian thuận lợi, tốt cho hoạt động du lịch là các tháng từ 1 đến 5; các tháng 7 và 8 và các tháng từ 10 đến 12; khí hậu du lịch có 2 tháng không thuận lợi là tháng 6 và tháng 9.

Thời gian TCI ở mức đánh giá thuận lợi cho du lịch phần lớn là từ tháng 10 năm trước đến hết tháng 4 năm sau, tạo mùa du lịch dài cho du khách trải nghiệm và trùng với nhiều thời điểm nghỉ đông của du khách nước ngoài Liên bang Nga, Tây Âu..., tết Nguyên đán của các nước châu Á. Thời gian TCI đánh giá ở mức Tuyệt vời thường là các tháng mùa khô, không có mưa, CID và CIA thuận lợi, độ ẩm và nhiệt độ không khí phù hợp với sức khỏe con người, số giờ nắng nhiều.

Xét về mùa du lịch, trên toàn vùng biển - đảo Nam Trung Bộ, mùa du lịch có điều kiện khí hậu du lịch thuận lợi nhất là các tháng từ 1 đến 4; riêng Đà Nẵng, Phú Quý thêm tháng 12, Phan Thiết thêm cả tháng 11 và 12. So với những nơi khác, khu vực biển - đảo ven bờ Nha Trang, Phan Thiết là những nơi quanh năm thời tiết khí hậu thuận lợi cho du lịch, chỉ số TCI ở những nơi này quanh năm luôn ở mức từ Thuận lợi khá - Thuận lợi tới Tuyệt vời, trong đó Phan Thiết khí hậu du lịch còn tốt hơn Nha Trang, bởi cả hai nơi đều có 4 tháng khí hậu du lịch Rất tốt - Tốt; riêng Phan Thiết còn có thêm 2 tháng TCI ở mức Tuyệt vời (bảng 4).

Đánh giá chung, trên toàn vùng biển - đảo Nam Trung Bộ, khí hậu du lịch thuận lợi là chính, rất ít khi không thuận lợi; Không thuận lợi là trong tháng 8 ở Đà Nẵng, tháng 9 ở Lý Sơn và Quy Nhơn, và trong hai tháng 6 và 9 ở Phú Quý. Nguyên nhân của những tháng có thời tiết khí hậu ở mức Không thuận lợi này chủ yếu có liên quan đến những cao điểm của mùa mưa, khi lượng mưa quá lớn bởi hoạt động của bão, hội tụ nhiệt đới hoặc của tổ hợp thời tiết gây mưa của các hình thể thời tiết này, khiến điểm số của biến số lượng mưa luôn thấp.

4. Kết luận

Về phương pháp luận: chỉ số TCI - chỉ số ước tính ảnh hưởng tổng hợp, đồng thời của nhiệt độ, lượng mưa, độ ẩm, số giờ nắng, tốc độ gió đối với cảm nhận của con người khi tham gia các hoạt động du lịch ngoài trời. Bản thân công thức tính TCI (1) các luận giải về tỷ trọng tham gia vào TCI tổng số của các tham số (kết hợp và độc lập) cũng cho thấy, đây là một công cụ định lượng tốt ở khía cạnh xét ảnh hưởng một cách khá rõ của từng yếu tố khí hậu đối với du lịch ngoài trời, cũng như việc sử dụng nó như một “thước đo” mức độ thuận lợi của khí hậu du lịch, từ khu vực này sang khu vực khác. Biến trình của TCI qua các tháng trong năm cũng cho phép xác định rõ tính mùa vụ của khí hậu du lịch ở từng khu vực của vùng nghiên cứu.

Kết quả sử dụng chỉ số tổng hợp TCI trung bình năm, trung bình tháng để đánh giá điều kiện khí hậu du lịch cho thấy: Đối với vùng biển - đảo Nam Trung Bộ trong các tham số thành phần của TCI, tham số kết hợp CID - tiện nghi nhiệt ban ngày, nói cách khác chính là điều kiện khí hậu ban ngày luôn có giá trị lớn hơn đáng kể so với CIA - tiện nghi nhiệt ngày - điều kiện khí hậu cả ngày. Các tham số độc lập số giờ nắng (S) và tốc độ gió (W) luôn nằm ở mức đánh giá tốt - đóng góp tương xứng với giá trị của nó trong phương

trình tính TCI (1); Sự khác nhau rõ rệt trong việc đóng góp phần mình vào TCI chính là biến động lượng mưa (R), đối chiếu với đặc điểm mùa mưa, trị số lượng mưa ở vùng biển - đảo Nam Trung Bộ có thể không đóng góp gì (bằng 0) hoặc rất thấp cho TCI, trong một số tháng cao đỉnh của mùa mưa tại đây (khí lượng mưa lớn vượt 150 mm/tháng) giá trị xếp loại của biển này bằng 0 - không đóng góp gì cho TCI tổng số. Xét biến trình năm của chỉ số TCI ở vùng biển - đảo Nam Trung Bộ còn cho phép xác định mùa du lịch ở đây thuận lợi nhất là khi nào; lúc nào không thuận lợi và nguyên nhân của sự không thuận lợi đó.

Kết quả tính toán cụ thể TCI cho thấy, vùng biển - đảo ven bờ Nam Trung Bộ có điều kiện khí hậu thời tiết rất thuận lợi cho phát triển du lịch với ưu thế là các loại hình du lịch biển, diễn ra ngoài trời vào các giờ ban ngày. Phần lớn các tháng trong năm tại các nơi trong vùng có TCI đạt mức đánh giá từ Thuận lợi - Thuận lợi khá đến Tốt - Rất tốt; đặc biệt hơn ở một số khu vực trong các tháng 1 hoặc 2 còn có TCI ở mức Tuyệt vời (Đà Nẵng và Phú Quý trong tháng 2; Phan Thiết trong cả 2 tháng 1 và 2). Khoảng thời gian thuận lợi nhất cho phát triển du lịch biển đồng loạt trên toàn vùng là các tháng đầu năm, từ tháng 1 đến tháng 4; Đà Nẵng và Phú Quý thời gian thuận lợi này còn bắt đầu từ tháng 12 của năm trước; đặc biệt Phan Thiết còn sớm hơn nữa - từ tháng 11, 12 của năm trước. Trên toàn vùng Nam Trung Bộ, biển - đảo Phan Thiết và Nha Trang quanh năm khí hậu du lịch đều rất thuận lợi - không có tháng nào TCI ở mức Không thuận lợi. Một vài thời điểm kém thuận lợi hơn - chủ yếu có liên quan đến mưa lớn ở một số nơi, đó là biển - đảo Đà Nẵng trong tháng 8; biển - đảo Lý Sơn, Quy Nhơn trong tháng 9; và biển - đảo Phú Quý trong hai tháng 6 và 9.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này là một phần kết quả đề tài “Nghiên cứu cảnh quan biển, đảo nhiệt đới ẩm, gió mùa ở Việt Nam phục vụ phát triển kinh tế biển xanh bền vững” (mã số: ĐTDL.CN-91/21) thuộc Chương trình phát triển khoa học cơ bản trong lĩnh vực hoá học, khoa học sự sống, khoa học trái đất và khoa học biển giai đoạn 2017-2025. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N.K. Van (2006), *Basic Bioclimatology Textbook*, University of Education Publishing House, 265pp (in Vietnamese).
- [2] Z. Mieczkowski (1985), “The tourism climate index: A method for evaluating world climates for tourism”, *The Canadian Geographer*, **29**, pp.220-233, DOI: 10.1111/j.1541-0064.1985.tb00365.x.
- [3] I. Derkowska, A. Arażny (2022), “Bioclimatic features of Toruń according to the tourism climate index”, *Bulletin of Geography, Physical Geography Series*, **22**, pp.59-71, DOI: 10.12775/bgeo-2022-0005.
- [4] H. Jahić, A. Mezetović (2014), “Statistical identification and qualitative evaluation of climate tourism potential by using TCI on the example of Herzegovina-Neretva Canton”, *Acta Geographica Bosniae et Herzegovinae*, **2**, pp.77-89.
- [5] Z. Islam (2020), “Modifications in Mieczkowski’s tourism climate index and its implementation in Ethiopia”, *Bulletin of Environmental and Scientific Research*, **9(4)**, pp.1-8.
- [6] M.G. Grillakis, A.G. Koutroulis, K.D. Seiridakis, et al. (2016), “Implications of 2°C global warming in European summer tourism”, *Climate Services*, **1**, pp.30-38, DOI: 10.1016/j.cliser.2016.01.002.

- [7] L.S.P. Nielsen, B. Amelung, R. Knutti (2010), “Future climate resources for tourism in Europe based on the daily tourism climatic index”, *Climatic Change*, **103**, pp.363-381, DOI: 10.1007/s10584-009-9772-2.
- [8] R. Morgan, E. Gatell, et al. (2000), “An improved user-based beach climate index”, *Journal of Coastal Conservation*, **6**, pp.41-50, DOI: 10.1007/BF02730466.
- [9] S.A. Pérez, J.L. Solano, L.R. Mayor, et al. (2021), “Evaluation of the tourism climate index in the Canary islands”, *Sustainability*, **13(13)**, DOI: 10.3390/su13137042.
- [10] K. Noome, J.M. Fitchett (2019), “An assessment of the climatic suitability of Afriski mountain resort for outdoor tourism using the tourism climate index (TCI)”, *Journal of Mountain Science*, **16(11)**, pp.2453-2469, DOI: 10.1007/s11629-019-5725-z.
- [11] M. Masoudi (2021), “Estimation of the spatial climate comfort distribution using tourism climate index (TCI) and inverse distance weighting (IDW) (Case study: Fars Province, Iran)”, *Arabian Journal of Geosciences*, **14(363)**, DOI: 10.1007/s12517-021-06605-6.
- [12] Y. Fang, J. Yin (2015), “National assessment of climate resources for tourism seasonality in China using the tourism climate index”, *Atmosphere*, **6(2)**, pp.183-194, DOI: 10.3390/atmos6020183.
- [13] A. Haryadi, E. Kusratmoko, A. Karsidi (2019), “Climate comfort analysis for tourism in Samosir district”, *E3S Web of Conferences*, **94**, pp.1-5, DOI: 10.1051/e3sconf/20199405001
- [14] N.M. Hidayat (2022), “Analysis and determination of tourism climate index (TCI) in East Nusa Tenggara”, *Journal Meteorologi Dan Geofisika*, **23(3)**, pp.57-63, DOI: 10.31172/jmg.v23i3.821.
- [15] T.V. Lien (2009), *Bioclimatic Characteristics of Dien Bien Province*, Project: “Building the database and assessment of climate resources to serve the socio-economic development of Dien Bien province” (in Vietnamese).
- [16] N.K. Van, H. Bac, N.M. Ha, et al. (2018), “Truong Sa and Hoang Sa bioclimatic resources for tourism development”, *Proceedings of The 10th National Geoscience Conference*, **1**, pp.729-730 (in Vietnamese).
- [17] N.K. Van, N.T. Nhung, N.M. Ha, et al. (2019), “Using the tourism climate index (TCI) to evaluate climate resources of Northeast Sea, Vietnam”, *Proceedings of The 11th National Geographic Science Conference*, **1**, pp.473-478 (in Vietnamese).
- [18] N.T. Thanh, N.D. Mau, T.T.T. Minh, et al. (2023), “Quantifying the climatic suitability for outdoor tourism activities in the Vietnamese Mekong delta using the Tourism Climate Index (TCI)”, *Journal of Hydro-Meteorology*, **751**, pp.42-52, DOI: 10.36335/VN/JHM.2023(751).42-52 (in Vietnamese).
- [19] N.V. Luan, N.D. Mau, N.T. Thanh, et al. (2024), “Assessing the climate conditions affecting the health of people participating in outdoor tourism activities in the Mekong Delta through the HCI (Holiday Climate Index)”, *Journal of Climate Change Science*, **30**, pp.25-33 (in Vietnamese).
- [20] Vietnam Government (2004), *Decree No. 140/2004/ND-CP Dated June 25, 2004 Detailing a Number of Articles of National Border Law* (in Vietnamese).
- [21] N.D. Ngu, N.T. Hieu (2013), *Climate and Climate Resources of Vietnam*, Science and Technics Publishing House, 296pp (in Vietnamese).
- [22] N.K. Van (2016), *Heavy Rain and Heavy Rain with Terrain in The Central Coastal Strip of Vietnam*, Natural Science and Technology Publishing House, 477pp (in Vietnamese).
- [23] Institute of Geography, Vietnam Academy of Science and Technology (2024), *Climate Database* (in Vietnamese).
- [24] N.K. Van (2002), “Diversity and complexity of the rainy season mechanism in the coastal strip of Vietnam”, *Journal of Earth Sciences*, **24(3)**, pp.209-215 (in Vietnamese).
- [25] N.K. Van, D.L. Thuy, T.A. Duc (2013), “The reason and operating rules of heavy rain in the Hai Van pass - Ca Pass area, South Central region (period 1986-2010)”, *Journal of Earth Sciences*, **35(2)**, pp.163-174 (in Vietnamese).
- [26] P.D. Nguyen (2011), *Bioclimatic Architecture*, Construction Publishing House, 80pp (in Vietnamese).

Tác động của bụi mịn do giao thông đến tỷ lệ tử vong tại TP. Hồ Chí Minh

Trần Ngọc Đăng¹, Nguyễn Ngọc Nhật Thanh¹, Vũ Anh Tuấn^{2*}

¹Khoa Y tế Công cộng, Đại học Y Dược TP. Hồ Chí Minh, 217 Hồng Bàng, phường Chợ Lớn, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trung tâm Nghiên cứu Giao thông Vận tải Việt Đức, Trường Đại học Việt Đức, phường Thới Hoà, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 18/3/2024; ngày gửi phản biện 20/3/2024; ngày nhận phản biện 1/4/2024; ngày chấp nhận đăng 6/4/2024

Tóm tắt:

Nghiên cứu sử dụng dữ liệu tử vong A6/YTCS Bộ Y tế (năm 2018) kết hợp quan trắc 29 điểm đo bằng thiết bị giá rẻ AirBeam, nhằm xây dựng bản đồ phân bố nồng độ bụi mịn bằng phương pháp nội suy theo khoảng cách nghịch đảo (IDW), từ đó đánh giá tác động của bụi mịn do giao thông lên số ca tử vong chung tại TP. Hồ Chí Minh trong năm 2018, bằng Chương trình phân tích và lập bản đồ lợi ích môi trường (mô hình BenMAP). Ở tất cả các quận/huyện, nồng độ PM_{2.5} và PM₁₀ trung bình cả năm cao hơn tiêu chuẩn chất lượng không khí của Tổ chức Y tế Thế giới (WHO) (PM_{2.5}<5 µg/m³, PM₁₀<15 µg/m³). Hằng năm, nồng độ PM_{2.5} và PM₁₀ có thể gây ra lần lượt đến 7,37% và 3,41% số ca tử vong chung (2.151/29.173 và 995/29.173). Nghiên cứu nêu ra những tác hại của bụi mịn và sự cần thiết phải tăng cường các biện pháp giảm thiểu tình trạng ô nhiễm bụi mịn do giao thông.

Từ khóa: bụi mịn, đánh giá tác động sức khỏe, ô nhiễm không khí, tử vong.

Chỉ số phân loại: 1.5, 3.3

Impact of traffic-related fine particulate matter on mortality in Ho Chi Minh city

Ngoc Dang Tran¹, Ngoc Nhat Thanh Nguyen¹, Anh Tuan Vu^{2*}

¹Faculty of Public Health, University of Medicine and Pharmacy at Ho Chi Minh City, 217 Hong Bang Street, Cho Lon Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Vietnamese-German Transport Research Centre, Vietnamese-German University, Thoi Hoa Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 18 March 2024; revised 1 April 2024; accepted 6 April 2024

Abstract:

This research used mortality data from the A6/YTCS Ministry of Health (dated 2018) and monitored 29 measurement points in Ho Chi Minh city using the low-cost AirBeam device to build the particulate matter concentration distribution map by inverse distance weighting (IDW) interpolation algorithm, then evaluated the impact of the traffic-related particulate matter on overall deaths in Ho Chi Minh city in 2018 using the Environmental Benefits Mapping and Analysis Program (BenMAP). In all districts, the annual average concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ are higher than WHO air quality standards (PM_{2.5}<5 µg/m³, PM₁₀<15 µg/m³). Annually, PM_{2.5} and PM₁₀ may cause 7.37% and 3.41% of deaths from all causes (2,151/29,173 and 995/29,173), respectively. This research highlighted the harmful effects of particulate matter and the need to strengthen measures to reduce the traffic-related air pollution levels.

Keywords: air pollution, health impact assessment, mortality, particulate matter.

Classification numbers: 1.5, 3.3

*Tác giả liên hệ: Email: drtuan.va@vgtrc.vgu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm không khí (ONKK) luôn giữ ở mức cao và ngày càng trở nên nguy hiểm đối với sức khỏe con người. Theo WHO, gần như toàn bộ dân số toàn cầu (99%) hít thở không khí chứa hàm lượng chất ô nhiễm cao vượt quá giới hạn khuyến cáo, nhất là các quốc gia có thu nhập thấp và trung bình, phần lớn là khu vực châu Á và châu Phi với hơn 90% số ca tử vong do ONKK. Hơn 7 triệu ca tử vong sớm hàng năm do tác động kết hợp của ONKK ngoài trời và trong nhà [1].

Hầu hết các tác nhân gây ONKK xâm nhập vào cơ thể qua đường hô hấp. Tùy thuộc vào kích thước và liều lượng mà chúng gây ra nhiều mức độ tác hại khác nhau. Tại Việt Nam, bụi mịn (particulate matter - PM) như PM_{2.5} và PM₁₀ là mối lo ngại lớn nhất trong số các chất gây ONKK. PM₁₀ được biết là gây ra stress oxy hóa [2], trong khi PM_{2.5} xâm nhập sâu vào sức khỏe con người, gây tổn hại đặc biệt cho hệ hô hấp và tuần hoàn, dẫn đến tổn thương cục bộ và hệ thống [3, 4]. Việc tiếp xúc với những tác nhân ô nhiễm trong thời gian dài cũng có khả năng gây ra nhiều loại ung thư [5] thông qua việc tác động đến vật chất di truyền [6]. Một số nghiên cứu có hệ thống đã chứng minh ảnh hưởng của PM và các chất gây ONKK đến tỷ lệ tử vong là do tất cả nguyên nhân nêu trên và nhiều nguyên nhân khác [7, 8].

Theo xếp hạng của Air Visual giai đoạn 2018-2023, Việt Nam đứng thứ 22 trong nhóm các nước ONKK nhất, với nồng độ vượt qua mức tiêu chuẩn với nồng độ PM_{2.5} trung bình là 29,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [9]. Theo báo cáo của Sở Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh, nồng độ trung bình giờ của bụi PM₁₀ trong năm từ năm 2020 đến năm 2021 tại 10 vị trí quan trắc tại TP. Hồ Chí Minh dao động khá lớn, trong khoảng 11,0-100,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [10]. Lưu lượng xe cộ tăng cao do đô thị hóa và phát triển kinh tế dẫn đến tình trạng ONKK ngày càng nghiêm trọng. Nguồn phát sinh ONKK tại TP. Hồ Chí Minh chủ yếu đến từ hoạt động giao thông vận tải, nhất là giao thông đường bộ [11]. TP. Hồ Chí Minh là nơi có số lượng phương tiện giao thông cao nhất cả nước với khoảng 8,7 triệu phương tiện cơ giới cá nhân, trong đó gần 90% là xe máy, trong khi hệ thống giao thông công cộng còn rất hạn chế và cơ sở hạ tầng đường bộ chưa theo kịp tốc độ phát triển phương tiện cơ giới cá nhân [12]. Là trung tâm kinh tế của vùng Đông Nam Bộ và cả nước, TP. Hồ Chí Minh thu hút ngày càng nhiều người dân đến sinh sống và làm việc. Điều này làm gia tăng mối lo ngại về ảnh hưởng sức khỏe của chất lượng không khí kém đến người dân và áp lực lên hệ thống y tế khi các bệnh về hô hấp ngày càng tăng.

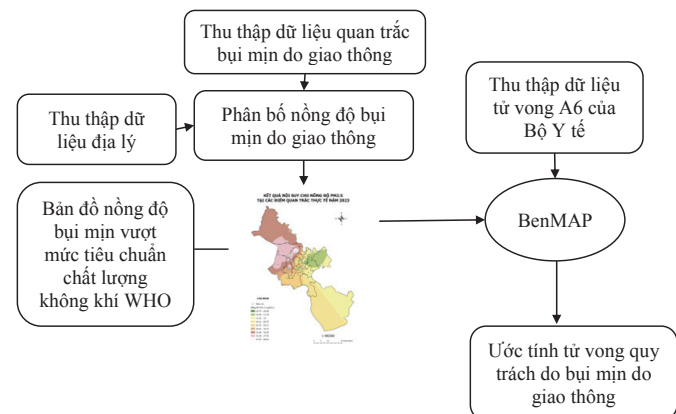
Hiện nay, có khá ít nghiên cứu đánh giá tác động tử vong của bụi mịn do giao thông lên sức khỏe tại TP. Hồ Chí Minh. V.H.N. Khue và cs (2020) [13] đã nghiên cứu xây dựng bản đồ PM_{2.5} bằng phương pháp kiểm kê phát thải kết hợp với mô hình ONKK - vận chuyển hóa chất, sau đó ước tính gánh nặng sức khỏe (bệnh tim phổi, tim thiếu máu cục bộ và ung thư phổi) của các chất ô nhiễm. Điểm mạnh của nghiên cứu là sử dụng phương pháp kiểm kê phát thải kết hợp mô hình dự báo để tính toán nồng độ PM_{2.5}. Phương pháp này giúp đánh giá toàn diện ONKK do giao thông. Tuy nhiên, việc thiếu ước tính về số ca tử vong tránh được do mọi nguyên nhân có thể là một hạn chế. Chất lượng cơ sở dữ liệu về

tử vong từ hệ thống báo cáo tử vong A6 của Việt Nam tương đối khiêm tốn, với một tỷ lệ đáng kể các trường hợp tử vong được phân loại vào nhóm không rõ nguyên nhân, dẫn đến tỷ lệ tử vong do các nguyên nhân cụ thể có thể bị đánh giá thấp. Một nghiên cứu khác tại TP. Hồ Chí Minh sử dụng số liệu tử vong chung trong hệ thống báo cáo tử vong A6 của Việt Nam, nhằm ước tính số ca tử vong tránh được do ONKK [14]. Tuy nhiên, nghiên cứu này sử dụng dữ liệu quan trắc từ hai trạm đo quan trắc tự động cố định để ước tính cho toàn khu vực, điều này làm hạn chế về không gian địa lý. Nghiên cứu của T.N. Dang và cs (2021) [15] ước tính tử vong chung do bụi mịn bằng cách sử dụng thiết bị giá rẻ quan trắc toàn TP. Hồ Chí Minh và số liệu tử vong chung từ hệ thống báo cáo tử vong A6. Nghiên cứu này cải thiện được độ phân bố không gian từ nghiên cứu trước, tuy nhiên, các điểm quan trắc được lựa chọn với nhiều mục đích, không tập trung vào các điểm có lưu lượng giao thông cao. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá tác động của bụi mịn từ giao thông lên tỷ lệ tử vong chung tại TP. Hồ Chí Minh. Điểm khác biệt của nghiên cứu này với các nghiên cứu trước là sử dụng thiết bị quan trắc giá rẻ, có độ tin cậy cao, nhằm quan trắc bụi mịn từ các điểm giao thông có lưu lượng cao, giúp thu thập dữ liệu có độ phân bố không gian lớn hơn với mức chi phí thấp. Bên cạnh dữ liệu tử vong trong những năm gần đây rất khó tiếp cận do được bảo mật, Việt Nam bắt đầu bùng phát dịch bệnh COVID-19 vào năm 2020. Với lý do đó, nghiên cứu sử dụng cơ sở dữ liệu của năm 2018 để tránh những yếu tố gây nhiễu có thể xảy ra. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp thêm bằng chứng cho các nhà chức trách về tác động của ONKK lên tình trạng sức khỏe của người dân, thể hiện qua số ca tử vong, làm cơ sở xây dựng các chính sách can thiệp nhằm giảm thiểu mức độ ONKK và bảo vệ sức khỏe người dân.

2. Phương pháp nghiên cứu và xử lý số liệu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu đánh giá tác động sức khỏe dựa trên dữ liệu hồi cứu tử vong, dữ liệu địa lý, dân số và quan trắc thực địa môi trường sử dụng thiết bị cảm biến chi phí thấp (low-cost sensor) thực hiện trên phạm vi 24 quận, huyện (trước khi sáp nhập) thuộc TP. Hồ Chí Minh.



Hình 1. Sơ đồ phương pháp nghiên cứu đánh giá tác động của bụi mịn giao thông lên tử vong.

Sơ đồ phương pháp nghiên cứu đánh giá tác động của bụi mịn giao thông lên tử vong được thực hiện theo hình 1. Đầu tiên, dữ liệu bụi mịn được thu thập tại các điểm quan trắc nơi có lưu lượng giao thông cao trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh. Sau đó, nhóm nghiên cứu sử dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) do Cơ quan Bảo vệ môi trường Hoa Kỳ (USEPA) phát triển để xây dựng mô hình bụi mịn. Đồng thời, số liệu tử vong cũng được thu thập theo mẫu A6 tại TP. Hồ Chí Minh từ Bộ Y tế. Cuối cùng, Chương trình phân tích và lập bản đồ lợi ích môi trường (Environmental Benefits Mapping and Analysis Program - BenMAP) được áp dụng nhằm ước tính tử vong do bụi mịn từ giao thông gây ra tại TP. Hồ Chí Minh.

2.2. Dữ liệu và phương pháp thu thập dữ liệu

Trong nghiên cứu này, dữ liệu được thu thập bao gồm: dữ liệu tử vong, dữ liệu quan trắc môi trường, dữ liệu dân số và dữ liệu địa lý.

- Dữ liệu tử vong: Tất cả các ca tử vong có nơi ở tại TP. Hồ Chí Minh năm 2018 được thu thập từ dữ liệu A6/YTCS của Bộ Y tế khi có ít nhất một trong số các dữ kiện sau: tuổi, giới, ngày tử vong, nguyên nhân tử vong, địa chỉ (xã/phường).

- Dữ liệu quan trắc: Có 29 điểm quan trắc được chọn nằm ngoài trời, ở các trục đường chính có lưu lượng giao thông cao (các vị trí có mật độ phương tiện lớn, bao gồm các giao lộ chính, tuyến đường trục) và cách lề đường 5 m. Mỗi điểm quan trắc sẽ được đo vào hai đợt mùa mưa và khô, mỗi đợt hai lần vào một ngày trong tuần và một ngày cuối tuần. Mỗi một lần đo trong ba khoảng thời gian: 1) cao điểm sáng (7:30-10:00); 2) thấp điểm trưa (11:00-13:00); 3) cao điểm chiều (16:30-19:00). Thời gian khảo sát là trong năm 2023.

- Dữ liệu dân số của mỗi quận/huyện trên toàn TP. Hồ Chí Minh năm 2018 thu thập từ Cục Thống kê TP. Hồ Chí Minh.

- Dữ liệu bản đồ hành chính được thu thập từ Trung tâm Ứng dụng hệ thống thông tin địa lý TP. Hồ Chí Minh.

2.3. Xử lý số liệu

- Xây dựng bản đồ phân bố nồng độ PM2.5 và PM10: Thuật toán nội suy nghịch đảo có trọng số (inverse distance weighting - IDW) được thực hiện trên phần mềm ArcGIS, sử dụng số liệu quan trắc thực tế, tọa độ điểm đo, và lớp bản đồ địa giới quận/huyện. Bản đồ xây dựng từ thuật toán có thể xác định nồng độ các loại bụi mịn dự đoán tại bất cứ tọa độ nào tại TP. Hồ Chí Minh [16]. Thuật toán nội suy IDW từ 29 địa điểm đo PM2.5 để ước tính nồng độ cho toàn địa bàn TP. Hồ Chí Minh theo công thức như sau:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^N z_i \cdot d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-n}}$$

trong đó: Z_0 là giá trị điểm cần ước tính; z_i là giá trị z mẫu tại điểm i ; d_i là khoảng cách từ điểm mẫu đến điểm ước tính; N là hệ số xác định trọng số dựa trên khoảng cách; n là tổng số điểm dự đoán.

- Chương trình BenMAP do Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ phát triển được sử dụng để đánh giá tác động của ô nhiễm PM2.5 đến tỷ lệ tử vong do mọi nguyên nhân, với dữ liệu đầu vào là lớp bản đồ nồng độ PM2.5, ranh giới quận, tỷ lệ tử vong, tổng dân số. Ước tính ảnh hưởng sức khỏe từ mô hình BenMAP dựa trên công thức: Số ca tử vong do tác động của bụi mịn = Mức độ thay đổi của chất lượng không khí * Ước tính sự ảnh hưởng đến sức khỏe * Tỷ suất tử vong nền * Dân số phơi nhiễm. Trong đó: mức độ thay đổi của chất lượng không khí được tính bằng sự chênh lệch giữa nồng độ bụi mịn trung bình đã được ước tính bằng IDW so với hướng dẫn về phơi nhiễm dài hạn của WHO 2021 với PM2.5 $\leq 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ và PM10 $\leq 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [17].

Ước tính sự ảnh hưởng đến sức khỏe: Các nghiên cứu dịch tễ học về ONKK trước đây là nguồn tốt nhất để cung cấp thông tin này. Tỷ lệ tử vong tăng lần lượt 0,62% và 0,37% khi nồng độ PM2.5 và PM10 tăng $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ($B=0,0062$ cho 24 quận/huyện đối với PM2.5, và $B=0,0037$ cho 24 quận/huyện đối với PM10) [16, 18].

2.4. Đạo đức nghiên cứu

Đề tài số 66/2019/HĐ-ĐHYD ngày 10/01/2020 đã được Hội đồng đạo đức Đại học Y Dược TP. Hồ Chí Minh chấp thuận theo Chứng nhận số 01/HĐĐĐ, ngày 06/01/2020.

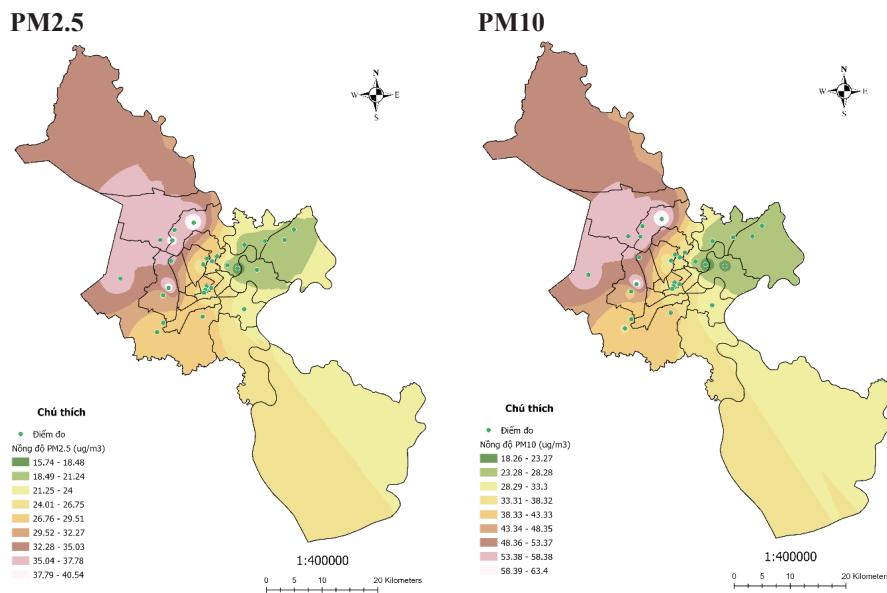
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Kết quả nội suy IDW nồng độ bụi mịn tại TP. Hồ Chí Minh

Sau khi sử dụng thuật toán nội suy IDW thể hiện trên hình 2, nồng độ PM2.5 và PM10 do giao thông tại các quận/huyện TP. Hồ Chí Minh ước tính dao động lần lượt từ 15,74 đến 40,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ và 18,26 đến 62,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nồng độ bụi PM2.5 và PM10 trung bình năm 2023 tại TP. Hồ Chí Minh lần lượt là 16,17 và 22,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, vượt qua mức tiêu chuẩn hằng năm của WHO 2021 ($\text{PM}_{2.5} < 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ và $\text{PM}_{10} < 15 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Điều này cho thấy, ô nhiễm bụi mịn là mối đe dọa đối với sức khỏe của người dân tại TP. Hồ Chí Minh. Nồng độ PM2.5 và PM10 cao thể hiện phần lớn ở khu vực phía Tây Bắc TP. Hồ Chí Minh. Các bằng chứng trước đây cũng nêu lên tình trạng ô nhiễm bụi mịn cao ở khu vực này [14, 19]. Xây dựng bản đồ phân bố bụi mịn từ giao thông là bước nền tảng để có thể đánh giá tác động sức khỏe của bụi mịn; nhờ đó, các nhà hoạch định có những cảnh báo và biện pháp phòng ngừa và giảm thiểu tác động sức khỏe ở các khu vực có nồng độ bụi mịn cao.

3.2. Tử vong do tất cả các nguyên nhân quy trách do ảnh hưởng của bụi mịn từ giao thông

Trong năm 2018, có tất cả 29.173 ca tử vong tại TP. Hồ Chí Minh. Tỷ lệ tử vong ở nam nhiều hơn nữ (55,86 so với 44,14%). Nhóm tuổi trên 60 có tỷ lệ tử vong cao nhất (71,34%). Về khu vực phân bố, huyện Củ Chi là khu vực có tỷ lệ tử vong cao nhất với 7,27% (2.121 ca), thấp nhất là huyện Cần Giờ với 1,09% (317 ca) (bảng 1).



Hình 2. Bản đồ kết quả nội suy nồng độ PM2.5 và PM10 trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh bằng thuật toán nội suy nghịch đảo có trọng số.

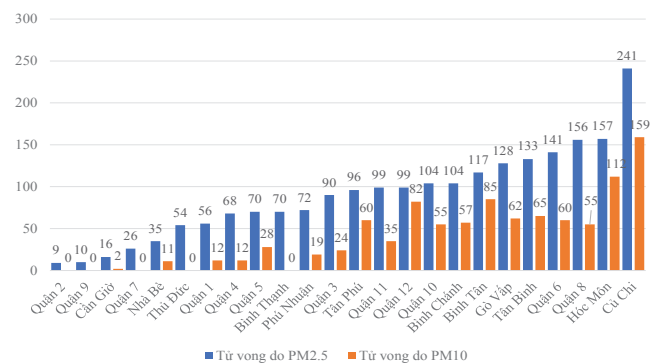
Bảng 1. Kết quả tử vong do tất cả các nguyên nhân quy trách do ảnh hưởng của bụi mịn sau khi áp dụng mô hình BenMAP.

Quận/huyện*	Tử vong chung		Tử vong chung quy trách do PM2.5		Tử vong chung quy trách do PM10	
	n	%	n	%	n	%
Quận 2	511	1,75	9	0,031	0	0
Quận 9	898	3,08	10	0,034	0	0
Cần Giờ	317	1,09	16	0,055	2	0,007
Quận 7	709	2,43	26	0,089	0	0
Nhà Bè	561	1,92	35	0,120	11	0,038
Thủ Đức	1.218	4,18	54	0,185	0	0
Quận 1	1.225	4,2	56	0,192	12	0,041
Quận 4	1.255	4,3	68	0,233	12	0,041
Quận 5	985	3,38	70	0,240	28	0,096
Bình Thạnh	1.897	6,5	70	0,240	0	0
Phú Nhuận	1.011	3,47	72	0,247	19	0,065
Quận 3	1.275	4,37	90	0,309	24	0,082
Tân Phú	913	3,13	96	0,329	60	0,206
Quận 11	1.251	4,29	99	0,339	35	0,120
Quận 12	1.358	4,65	99	0,339	82	0,281
Quận 10	1.306	4,48	104	0,356	55	0,189
Bình Chánh	1.137	3,9	104	0,356	57	0,195
Bình Tân	1.113	3,82	117	0,401	85	0,291
Gò Vấp	1.494	5,12	128	0,439	62	0,213
Tân Bình	1.604	5,48	133	0,456	65	0,223
Quận 6	1.600	5,5	141	0,483	60	0,206
Quận 8	1.965	6,74	156	0,535	55	0,189
Hóc Môn	1.449	4,97	157	0,538	112	0,384
Củ Chi	2.121	7,27	241	0,826	159	0,545
Tổng cộng	29.173	100	2.151	7,373	995	3,411

*Trước sáp nhập.

Ô nhiễm không khí có ảnh hưởng xấu đến sức khỏe, bao gồm cả tỷ lệ mắc bệnh và tử vong. Với kết quả nghiên cứu theo mô hình BenMAP tại bảng 1, tử vong do tất cả các nguyên nhân khi bị PM2.5 và PM10 tác động lần lượt là 2.151 và 995 ca, tương ứng với dân số phơi nhiễm ghi nhận ở năm 2018. Số ca tử vong do ảnh hưởng của PM2.5 thấp nhất là 9 ca (quận 2), cao nhất lên đến 241 ca (huyện Củ Chi). Trong khi đó, số ca tử vong do ảnh hưởng của PM10 thấp nhất là 0 ca (quận 2, quận 7, quận 9, Bình Thạnh, Thủ Đức), cao nhất lên đến 159 ca (huyện Củ Chi) (hình 3).

Kết quả này khá tương đồng với các nghiên cứu trước đây, ước tính tử vong chung do PM2.5 cao nhất ở khu vực phía tây như huyện Củ Chi, Hóc Môn và thấp ở khu vực quận 2 [14, 15, 20].



Hình 3. Số ca tử vong do tất cả các nguyên nhân quy trách do bụi mịn sau khi áp dụng mô hình BenMAP tại các quận, huyện trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh.

Tương ứng với nồng độ bụi mịn tại các huyện Củ Chi, Hóc Môn cao nhất trong các quận/huyện, số ca tử vong do bụi mịn tại đây cũng cao nhất, đây có thể là bằng chứng phần nào đó lý giải về tác động của bụi mịn đến sức khỏe. Theo nghiên cứu tại TP. Hồ Chí Minh năm 2023, khi đánh giá PM2.5 theo quy chuẩn WHO 2021, với nồng độ PM2.5 trung bình năm là 28,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gây ra 3.785 ca tử vong chung [14]. Theo nghiên cứu khác tại TP. Hồ Chí Minh năm 2023, tổng số tổn thất do tử vong sớm ước tính là 174 trường hợp (KTC 95%: 16; 340), dựa trên nồng độ PM2.5 trung bình hàng ngày vượt quá ngưỡng NAAQS (trung bình 24 giờ; 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) [21]. Theo nghiên cứu của M. Salehi và cs (2023) [22], PM2.5 là nguyên nhân gây ra 9,84% (729 trong số 7.411) trường hợp tử vong ở người trưởng thành ở Arak, Iran vào năm 2017 cho mọi nguyên nhân, với nồng độ bụi trung bình là 27,77 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ theo quy chuẩn WHO 2005. Tại Yangon, Myanmar năm 2019, S.L. Nandar và cs (2022) [23] ước tính được PM2.5 ảnh hưởng đến 3.936 ca tử vong do mọi nguyên nhân [23]. Nồng độ PM2.5 trung bình giai đoạn 2012-2018 là 27,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ở Bangkok, góp phần gây ra 4.240 ca tử vong chung không do tai nạn [24]. Đặc điểm chung ở các

nghiên cứu này đều thực hiện ở quốc gia có lượng giao thông cao và đều ước tính tác động từ vong do bụi mịn theo mô hình BenMAP. Tuy nhiên, ước tính tác động từ vong được tính toán giữa các quốc gia ở các nghiên cứu có thể khó so sánh vì các tham số đầu vào của mô hình khác nhau. Sự khác biệt có thể là nồng độ bụi mịn (kịch bản cơ sở và kịch bản kiểm soát), hệ số tác động sức khỏe và tỷ lệ tử vong của các điểm cuối về sức khỏe.

Nghiên cứu này ghi nhận một số hạn chế có thể ảnh hưởng đến các phát hiện. Đầu tiên, nghiên cứu sử dụng ước tính sự ảnh hưởng đến sức khỏe từ quốc gia khác, có thể không đủ đại diện cho TP. Hồ Chí Minh. Thiết bị AirBeam cho phép thu thập dữ liệu có phân bố không gian lớn hơn với mức chi phí thấp. Trong tương lai, các nghiên cứu ước lượng gánh nặng tử vong do bụi mịn cần tiếp tục mở rộng đồng thời kết hợp các thiết bị giá rẻ và cố định để đạt được độ phân bố không gian cao hơn cũng như độ chính xác cao, từ đó có thể đánh giá cấp độ cá nhân hoặc cấp hành chính thấp hơn như xã/phường.

4. Kết luận và khuyến nghị

Nghiên cứu này sử dụng dữ liệu kết hợp từ dữ liệu tử vong A6 và dữ liệu quan trắc thực tế nhằm tính toán tác động của ô nhiễm bụi mịn đến gánh nặng tử vong chung tại TP. Hồ Chí Minh. Kết quả nghiên cứu cho thấy, nồng độ bụi mịn do giao thông tại TP. Hồ Chí Minh vượt trên mức tiêu chuẩn của WHO. Đồng thời, bụi mịn ảnh hưởng xấu đến sức khỏe người dân, tác động tiêu cực đến số ca tử vong tại TP. Hồ Chí Minh. Kết quả nghiên cứu đã đóng góp thêm bằng chứng cho sự tác động của bụi mịn ảnh hưởng lên tử vong ở TP. Hồ Chí Minh.

Dựa trên kết quả nghiên cứu, một số kiến nghị có thể đề xuất như sau:

Đầu tiên, cần có các nghiên cứu trong tương lai cập nhật số liệu bụi mịn do giao thông theo không gian và thời gian mới nhất, để có thể đánh giá xu hướng và động thái của bụi PM_{2.5} và PM₁₀. Đồng thời, kết hợp với các trạm quan trắc cố định và các thiết bị quan trắc di động theo cả không gian và thời gian để có thêm dữ liệu xây dựng bản đồ ô nhiễm một cách toàn diện hơn. Bên cạnh đó, cần có các nghiên cứu tiếp theo đánh giá chi tiết hơn những gánh nặng bệnh tật khác liên quan đến ONKK do giao thông, bao gồm: nhập viện do các bệnh về tim - phổi, bệnh phổi, ung thư phổi.

Cuối cùng, cần có các biện pháp nhằm giảm nồng độ PM_{2.5} và PM₁₀, nhất là những khu vực có nồng độ cao như huyện Củ Chi và Hóc Môn. Đồng thời, nâng cao kiến thức của người dân về tác hại của ONKK cũng như các biện pháp giảm thiểu tác động của bụi mịn, sử dụng các ứng dụng theo dõi chất lượng không khí để có thể đưa ra các hành động kịp thời.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được thực hiện trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu “Quy hoạch giao thông vận tải và đô thị bền vững hướng tới sức khỏe cộng đồng (SHOTUP)”, mã số NĐT/DE/21/29, được tài trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ. Đề tài đã hỗ trợ xây dựng ý tưởng, cung cấp kinh phí thu thập số liệu và huy động chuyên gia thực hiện nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] World Health Organization (2022), *Air Pollution*, https://www.who.int/health-topics/air-pollution#tab=tab_1, accessed 7 February 2023.
- [2] S.D. Adar, P.A. Filigrana, N. Clements, et al. (2014), “Ambient coarse particulate matter and human health: A systematic review and meta-analysis”, *Curr. Environ. Health. Rep.*, **1**(3), pp.258-274, DOI: 10.1007/s40572-014-0022-z.
- [3] S. Feinberg, R. Williams, G.S.W. Hagler, et al. (2018), “Long-term evaluation of air sensor technology under ambient conditions in Denver, Colorado”, *Atmos. Meas. Tech.*, **11**(8), pp.4605-4615, DOI: 10.5194/amt-11-4605-2018.
- [4] V.V. Hieu, L.X. Quynh, P.N. Ho, et al. (2013), “Health risk assessment of mobility-related air pollution in Hanoi, Vietnam”, *Journal of Environmental Protection*, **4**(10), pp.1165-1172, DOI: 10.4236/jep.2013.410133.
- [5] G. Adel, R. Bamdad, B. Mahdi (2016), “Effects of air pollution on human health and practical measures for prevention in Iran”, *Journal of Research in Medical Sciences*, **21**, DOI: 10.4103/1735-1995.189646.
- [6] L. Dana, H. Wei, C. Guosheng (2014), “The International Agency for Research on Cancer (IARC) evaluation of the carcinogenicity of outdoor air pollution: Focus on China”, *Chinese Journal of Cancer*, **33**(4), pp.189-196, DOI: 10.5732/cjc.014.10028.
- [7] R.W. Atkinson, A. Cohen, S. Mehta, et al. (2012), “Systematic review and meta-analysis of epidemiological time-series studies on outdoor air pollution and health in Asia”, *Air Quality, Atmosphere & Health*, **5**, pp.383-391, DOI: 10.1007/s11869-010-0123-2.
- [8] R.W. Atkinson, I.C. Mills, H.A. Walton, et al. (2015), “Fine particle components and health - a systematic review and meta-analysis of epidemiological time series studies of daily mortality and hospital admissions”, *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, **25**(2), pp.208-214, DOI: 10.1038/jes.2014.63.
- [9] IQAir (2023), *The Most Polluted Countries and Regions in The World*, <https://www.iqair.com/vi/world-most-polluted-countries>, accessed 20 March 2023 (in Vietnamese).
- [10] Department of Natural Resources and Environment (2021), *Report of Ho Chi Minh City's Air Environment in 2021* (in Vietnamese).
- [11] V.H.N. Khue, H.M. Dung, N.T. Tam, et al. (2019), “Inventory and mapping the air emissions from transportation activities in Ho Chi Minh City”, *VNUHCM Journal of Natural Sciences*, **3**(2), pp.100-114, DOI: 10.32508/stdjns.v3i2.687 (in Vietnamese).
- [12] Southern Center of Environmental Monitoring (2023), “Vehicle emissions are becoming A “burden” for the environment”, <https://scem.gov.vn/vi/tin-tuc-trung-tam/van-de-moi-truong/khi-thai-phuong-tien-giao-thong-dang-tro-thanh-ganh-nang-cho-moi-truong-985.html>, accessed 10 April 2024 (in Vietnamese).
- [13] V.H.N. Khue, H.Q. Phuc, N.D. Hiep, et al. (2020), “Poor air quality and its association with mortality in Ho Chi Minh City: Case study”, *Atmosphere*, **11**(7), DOI: 10.3390/atmos11070750.
- [14] H.T. Huu, V.D. Chinh, P.T.T. Bich, et al. (2023), “Assessment of health and economic benefits of reducing fine particulate matter (PM_{2.5}) concentration in Ho Chi Minh City, Vietnam”, *Hygiene and Environmental Health Advances*, **6**, DOI: 10.1016/j.heha.2023.100045.
- [15] T.N. Dang, N.T. Vien, N.D.T. An, et al. (2021a), “The long-term impact of PM_{2.5} on mortality in Ho Chi Minh City”, *Vietnam Journal of Public Health*, pp.33-42 (in Vietnamese).
- [16] H.J. Bae, J. Park (2009), “Health benefits of improving air quality in the rapidly aging Korean society”, *Sci. Total Environ.*, **407**(23), pp.5971-5977, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.08.022.
- [17] WHO (2021), *WHO Global Air Quality Guidelines*, <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/who-global-air-quality-guidelines>, accessed 20 March 2023.
- [18] H. Orru, E. Teinemaa, T. Lai, et al. (2009), “Health impact assessment of particulate pollution in Tallinn using fine spatial resolution and modeling techniques”, *Environ. Health*, **8**, DOI: 10.1186/1476-069X-8-7.
- [19] T.N. Dang, N.N.N. Thanh, N.T. Vien, et al. (2021b), “Mortality and economic burden of PM_{2.5} on cardiovascular disease in Ho Chi Minh City in 2018”, *Vietnam Journal of Preventive Medicine*, **31**(6), pp.9-18, DOI: 10.51403/0868-2836/2021/36 (in Vietnamese).
- [20] T.N. Dang, P.T.T. Thuy (2019), “Mortality and economic burden of air pollution in Ho Chi Minh City”, *Ho Chi Minh City Journal of Medicine*, **23**(5), pp.361-367 (in Vietnamese).
- [21] L.T. Bui, P.H. Nguyen (2023), “Evaluation of the annual economic costs associated with PM_{2.5}-based health damage-a case study in Ho Chi Minh City, Vietnam”, *Air Quality, Atmosphere & Health*, **16**(3), pp.415-435, DOI: 10.1007/s11869-022-01282-0.
- [22] M. Salehi, A.A. Hashiani, B. Karimi, et al. (2023), “Estimation of health-related and economic impacts of PM_{2.5} in Arak, Iran, using BenMAP-CE”, *PLOS ONE*, **18**(12), DOI: 10.1371/journal.pone.0295676.
- [23] S.L. Nandar, S. Bonnet, S. Garivait, et al. (2020), “Assessment of health benefits using BenMAP-CE in Myanmar”, *Journal of Sustainable Energy & Environment*, **11**, pp.123-129.
- [24] N.R. Fold, M.R. Allison, B.C. Wood, et al. (2020), “An assessment of annual mortality attributable to ambient PM_{2.5} in Bangkok, Thailand”, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, **17**(19), DOI: 10.3390/ijerph17197298.

Đa dạng loài và mối quan hệ tiến hoá các loài cá nước ngọt tại Tây Nguyên dựa trên chỉ thị phân tử

Vũ Đặng Hạ Quyên, Trương Thị Oanh, Trần Quang Sáng, Văn Hồng Cẩm, Đặng Thúy Bình*

Viện Công nghệ Sinh học và Môi trường, Trường Đại học Nha Trang, 2 Nguyễn Đình Chiểu, phường Bắc Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa, Việt Nam

Ngày nhận bài 28/8/2024; ngày chuyển phản biện 30/8/2024; ngày nhận phản biện 15/9/2024; ngày chấp nhận đăng 20/9/2024

Tóm tắt:

Tây Nguyên gồm 5 tỉnh (trước sáp nhập), có sông Sê San và Srêpôk thuộc hệ thống sông 3S (Sê San - Sê Kông - Srêpôk) xuyên quốc gia, trong đó sông Srêpôk có 240 loài cá, sông Sê San có 133 loài. Nghiên cứu khảo sát sự đa dạng và mối quan hệ phát sinh loài của cá nước ngọt ở Tây Nguyên. Mẫu cá được thu tại sông Srêpôk và Sê San thuộc tỉnh Đắk Lắk, Đắk Nông, Gia Lai và Kon Tum (trước sáp nhập). Dựa trên đặc điểm hình thái, 68 loài được ghi nhận: bộ cá chép Cypriniformes (37 loài, 28 giống, 7 họ), bộ cá da trơn Siluriformes (17 loài, 10 giống, 6 họ), bộ cá rô đồng Anabantiformes (8 loài, 5 giống, 4 họ), bộ cá thát lát Osteoglossiformes và cá bống Gobiiformes (đều 2 loài, 2 giống, 1 họ); bộ cá hoàng đế Cichliformes và series Ovalentaria (đều 1 loài). Cây phát sinh loài được xây dựng dựa trên 4 tập dữ liệu gen Cytochrome b (*cytb*) của mtDNA bằng thuật toán neighbor-joining và Maximum Likelihood, với *Batrachomoeus trispinosus* (bộ cá cóc Batrachoidiformes) được sử dụng làm nhóm ngoại. Cây phát sinh của toàn bộ loài chia thành hai nhánh, nhánh 1 gồm 4 bộ (Cypriniformes, Siluriformes, Osteoglossiformes, Gobiiformes); nhánh 2 gồm Anabantiformes, Cichliformes và series Ovalentaria. Tình trạng đơn ngành và đa ngành ở các cấp độ phân loại (bộ, họ và giống) được thảo luận và so sánh. Phát hiện này cung cấp dữ liệu di truyền về sự đa dạng của cá sông Mê Kông, làm cơ sở khoa học cho bảo tồn và quản lý nguồn lợi thủy sản.

Từ khóa: bảo tồn, cá nước ngọt, chỉ thị phân tử, *cytb* mtDNA, đa dạng sinh học, nguồn lợi thủy sản, phát sinh loài, Tây Nguyên.

Chỉ số phân loại: 1.6, 4.6

Species diversity and evolutionary relationships of freshwater fish in the Central Highlands, Vietnam, based on molecular markers

Dang Ha Quyen Vu, Thi Oanh Truong, Quang Sang Tran, Hong Cam Van, Thuy Binh Dang*

Institute for Biotechnology and Environment, Nha Trang University, 2 Nguyen Dinh Chieu Street, Bac Nha Trang Ward, Khanh Hoa Province, Vietnam

Received 28 August 2024; revised 15 September 2024; accepted 20 September 2024

Abstract:

The Central Highlands, encompassing five provinces before the administrative reorganisation, is traversed by the Se San and Srepok rivers, known as two main branches of the transboundary 3S river system (Se San - Se Kong - Srepok). There are 240 and 133 fish species recorded in the Srepok and Sesan rivers, respectively. This study aims to investigate the diversity and phylogenetic relationships of freshwater fish in the Central Highlands. The samples were collected at Se San and Srepok rivers in Dak Lak, Dak Nong, Gia Lai and Kon Tum provinces. Based on morphological characteristics, 68 species have been identified, including: Order Cypriniformes (7 families, 28 genera, 37 species); Order Siluriformes (6 families, 10 genera, 17 species); Order Osteoglossiformes (1 family, 2 genera, 2 species); Order Anabantiformes (4 families, 5 genera, 8 species); Order Gobiiformes (1 family, 2 genera, 2 species); Order Cichliformes (both of 1 species) and Ovalentaria series (1 species). The phylogenetic tree was constructed based on four different Cytochrome b (*cytb*) gene mitochondrial DNA datasets using the Neighbor-Joining and Maximum Likelihood approaches, with *Batrachomoeus trispinosus* used as the outgroup. The phylogram was divided into two main lineages, lineages 1 included Cypriniformes, Siluriformes, Osteoglossiformes, and Gobiiformes; while lineages 2 included Anabantiformes, Cichliformes, and series Ovalentaria (all previously belong to the order Perciformes). The monophyletic and polyphyletic status at different taxonomic levels (order, family, and genus) were discussed and compared. These findings provide genetic data on fish diversity in the Mekong river, serving as a scientific basis for conservation and management of freshwater fishery resources.

Keywords: aquatic resources, biodiversity, Central Highlands, conservation, *cytb* mtDNA, freshwater fish, molecular markers, phylogenetic tree.

Classification numbers: 1.6, 4.6

*Tác giả liên hệ: Email: nhubinh2510@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Lưu vực sông Mê Kông chảy qua địa phận 6 nước châu Á (Trung Quốc, Myanmar, Thái Lan, Lào, Campuchia và Việt Nam), đặc trưng bởi sự đa dạng sinh học các loài cá, đứng thứ hai sau sông Amazon, với hơn 1000 loài được ghi nhận [1]. Sông Mê Kông ở Việt Nam phân bố ở Đồng bằng sông Cửu Long - ĐBSCL (sông Tiền và sông Hậu), Bắc Trung Bộ (sông Sê Kông) và Tây Nguyên (sông Sê San và Srêpôk). Lưu vực sông Sê San và Srêpôk bắt nguồn từ dãy núi cao phức tạp, được hợp thành từ nhiều nhánh sông nơi có các thác ghềnh và suối nhỏ, trải dài 5 tỉnh gồm Kon Tum, Gia Lai, Đắk Lắk, Đắk Nông và Lâm Đồng (trước sáp nhập) với tổng diện tích khoảng 29500 km² [2]. Hiện nay, nhiều đập thủy điện đã, đang và sẽ được xây dựng tại khu vực phía trên thượng nguồn, phục vụ nhu cầu cuộc sống của con người, điều này tác động không nhỏ đến môi trường và đa dạng sinh học khu vực Tây Nguyên nói riêng và lưu vực sông Mê Kông nói chung [2].

Đa dạng loài cá ghi nhận tại sông Sê San là 133 loài và Srêpôk là 204 loài [2]. Một số nghiên cứu công bố đa dạng thành phần loài cá nước ngọt ở lưu vực các nhánh sông, suối ở Tây Nguyên dựa trên đặc điểm hình thái. T.T.H. Nguyen (2000) [3] ghi nhận 160 loài thuộc 84 giống, 28 họ và 10 bộ. H.A. Le và cs (2013) [4] xác định được 179 loài thuộc 93 giống, 32 họ và 11 bộ, trong đó, bộ cá chép Cypriniformes chiếm ưu thế với 98 loài. Ngoài ra, đa dạng thành phần loài cá ở một số hồ chứa thuộc lưu vực sông Mê Kông ở Tây Nguyên cũng được ghi nhận, như hồ Yaly (17 loài), Easoup (40 loài), Eakao (14 loài), Eakar (7 loài), Buôn Triếp (23 loài), Yang Reh (10 loài) [5].

Bên cạnh phương pháp định loại hình thái, định loại phân tử dựa trên di truyền mã vạch (DNA barcoding) đang được ứng dụng rộng rãi. Di truyền mã vạch là kỹ thuật sử dụng một hoặc một vài trình tự DNA ngắn nằm trong hệ gen của sinh vật để khuếch đại đoạn gen mục tiêu, rồi dựa trên dữ liệu di truyền thu được để kiểm chứng định loại và khảo sát mối quan hệ phát sinh loài một cách nhanh chóng và chính xác [6]. Trong những thập niên gần đây, DNA mã vạch được ứng dụng rộng rãi như một công cụ hỗ trợ trong các nghiên cứu về phân loại cá nước ngọt ở Việt Nam như bộ cá chép Cypriniformes [7, 8], cá nước ngọt ở ĐBSCL [9], cá da trơn Siluriformes [10], cá bản địa ở các phụ lưu sông Mê Kông [11], góp phần bổ sung dữ liệu phân tử cho khu hệ cá Việt Nam.

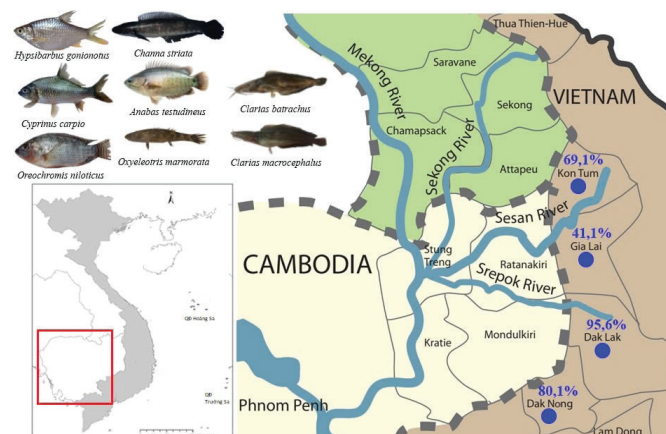
Nghiên cứu hiện tại khảo sát đa dạng thành phần loài cá nước ngọt phổ biến tại sông Sê San và Srêpôk dựa trên đặc điểm hình thái và di truyền, xây dựng cây phát sinh chủng loại và khảo sát mối quan hệ tiến hóa, góp phần bổ sung và hoàn thiện cơ sở dữ liệu di truyền ứng dụng trong bảo tồn và quản lý nguồn lợi thủy sản.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Địa điểm, thời gian và phương pháp thu mẫu

Mẫu cá được thu từ người dân địa phương ở các chợ và bến cá dọc 2 nhánh sông chính: sông Sê San - tỉnh Gia Lai và Kon Tum và sông Srêpôk (sông Krong Ana và sông Krong No) - tỉnh Đắk Lắk, Đắk Nông và Gia Lai (hình 1). Các mẫu cá được thu thập trong 3-5 ngày từ năm 2016-2019, với 1 lần/năm và riêng 2016, nghiên

cứ thực hiện 2 chuyến thu mẫu. Số lượng cá thể trên một loài thu thập tại mỗi địa điểm dao động từ 2 đến 8. Mẫu cá được mã hóa và cơ cá được cắt và giữ trong ống eppendorf chứa ethanol 95%, bảo quản lạnh ở -20°C để tiến hành các phân tích di truyền tiếp theo.



Hình 1. Sơ đồ các địa điểm thu mẫu và thông tin về sự phân bố loài cá (%) tại các khu vực địa lý ở Tây Nguyên. Hình ảnh các loài cá phổ biến tại các địa điểm nghiên cứu được hiển thị.

2.2. Khảo sát thành phần loài dựa vào đặc điểm hình thái và di truyền

Mẫu cá được chụp ảnh và định loại dựa trên các đặc điểm hình thái như màu sắc cơ thể và vây, số lượng tia cứng và tia mềm ở vây lưng, vây hậu môn, vây bụng, vây ngực và vây đuôi và các đặc điểm đặc trưng theo các khóa phân loại [12, 13]. Mẫu cá được bảo quản trong cồn 96% và lưu giữ ở Phòng Thí nghiệm Sinh học phân tử, Trung tâm Thí nghiệm Thực hành, Trường Đại học Nha Trang.

Tổng số DNA được tách chiết từ 20 mg mẫu cơ của từng cá thể sử dụng bộ kit GeneJET Genomic DNA Purification (Thermo Scientific, Mỹ) theo hướng dẫn của nhà sản xuất. Phản ứng PCR khuếch đại đoạn gen Cytochrome b của DNA ty thể (*Cytb* mtDNA) sử dụng cặp mồi CytbF 5'-GGCTGATTTCGGAATATGCAYGCANAYGG-3' và CytbR 5'-GGGAGGATCGTAGAATTGCRTANGCRAA-3' [14] được tiến hành theo quy trình của Q.D.H. Vu và cs (2018) [10] với nhiệt độ lai là 52°C. Sản phẩm PCR được tiến hành phân ứng giải trình tự theo nguyên tắc Dye-labelled dideoxy terminator (Big Dye Terminator v.3.1, Applied Biosystems), với các đoạn mồi tương tự như phản ứng PCR theo chương trình luân nhiệt như sau: 96°C trong 30 giây, 50°C trong 30 giây, cuối cùng là 60°C trong 4 phút. Sản phẩm sau đó được phân tích bằng thiết bị ABI Prism 3.700 DNA Analyser (Applied Biosystems).

Trình tự đoạn gen *Cytb* mtDNA các mẫu đã định loại hình thái được kết nối bằng tính năng ContigExpress của phần mềm Vector NTI 11.5 (Invitrogen, Mỹ). Sau đó, các trình tự được so sánh với cơ sở dữ liệu của Ngân hàng Gen (GenBank) bằng tính năng BLAST Nucleotide (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>) để kiểm chứng. Kết hợp giữa đặc điểm hình thái và di truyền, các loài cá được định danh theo hệ thống phân loại cập nhật của R. Betancur và cs (2017) [15]. Thành phần loài được xác định và

khảo sát theo các khu vực thu mẫu. Các trình tự được đóng hàng bằng phần mềm BioEdit 7.2.5 sử dụng tính năng Clustal X, kiểm tra và chỉnh sửa bằng mắt thường. Các trình tự được đăng ký trên GenBank với mã số từ MN541305 đến MN541372 [16].

2.3. Khảo sát mối quan hệ tiến hoá các loài cá nước ngọt

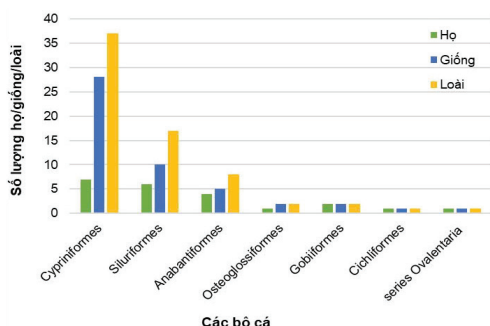
Mối quan hệ phát sinh loài của các loài cá nước ngọt được phân tích dựa trên 4 tập dữ liệu. Đầu tiên, cây phát sinh loài được xây dựng từ 68 trình tự trong nghiên cứu hiện tại và 44 trình tự từ GenBank để khảo sát mối quan hệ tiến hóa. Loài *Batrachomoeus trispinosus* (Batrachoidiformes: Batrachoididae) mã số AP006738 được sử dụng làm nhóm ngoại. Sau đó, mối quan hệ phát sinh phả hệ của các bộ/tập hợp bộ lần lượt được xem xét, bao gồm: 59 trình tự thuộc bộ cá chép Cypriniformes (37 của nghiên cứu này và 22 từ GenBank); 25 trình tự thuộc bộ cá da trơn Siluriformes (17 của nghiên cứu này và 8 từ GenBank); 19 trình tự thuộc các bộ Anabantiformes, Cichliformes và series Ovalentaria (10 của nghiên cứu này và 9 từ GenBank). Các cây phát sinh loài được xây dựng sử dụng thuật toán Neighbor Joining (NJ) và Maximum Likelihood (ML) với độ lặp lại 1000 lần trên phần mềm MEGA X [17]. Trước khi tiến hành thuật toán ML, mô hình tiến hóa phù hợp của các tập dữ liệu được xác định sử dụng tính năng Find best model trong phần mềm MEGA X. Mô hình có giá trị Akaike Information Criterion - AIC thấp nhất được lựa chọn [18].

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Thành phần loài cá nước ngọt ở Tây Nguyên

Từ năm 2016 đến 2019, qua các đợt thu mẫu tại các tỉnh Tây Nguyên, nghiên cứu ghi nhận 68 loài cá nước ngọt phổ biến dựa vào đặc điểm hình thái (7 bộ/series, 21 họ và 49 giống). Sử dụng chỉ thị *Cytb* của DNA ty thể, các loài cá được kiểm chứng định loại bằng tính năng BLAST. Theo đó, mức độ tương đồng với trình tự cùng loài trên GenBank dao động 98,9-100% (độ bao phủ 99-100%).

Xét về thành phần loài, bộ cá chép Cypriniformes được ghi nhận là đa dạng nhất với 37 loài, 28 giống, 7 họ; tiếp theo là bộ cá da trơn Siluriformes (17 loài, 10 giống, 6 họ), bộ cá rô đồng Anabantiformes (8 loài, 5 giống, 4 họ); bộ cá bống Gobiiformes (2 loài, 2 giống, 2 họ); bộ cá thát lát Osteoglossiformes (2 loài 2 giống, 1 họ); bộ cá hoàng đế Cichliformes (1 loài, 1 giống, 1 họ); và series Ovalentaria (1 loài, 1 giống, 1 họ) (hình 2).



Hình 2. Số lượng họ, giống, loài của các bộ cá nước ngọt ghi nhận được ở Tây Nguyên.

Sự phân bố của các loài theo khu vực thu mẫu cũng thể hiện sự khác nhau rõ rệt, với 65/68 loài (chiếm 95,6%) tập trung ở các tỉnh Đắk Lắk, thấp nhất là 28/68 loài (41,1%) thu được ở Gia Lai; trong khi đó, tỉnh Đắk Nông và Kon Tum lần lượt có số loài thu được là 55 (80,1%) và 47 (69,1%). Một số loài cá như *Cyprinus carpio*, *Oreochromis niloticus*, *Hypsibarbus gonionotus*, *Clarias macrocephalus*, *Clarias batrachus*, *Anabas testudineus*, *Oxyeleotris marmorata*, *Channa striata*... xuất hiện ở tất cả các tỉnh thu mẫu (hình 1). Đây là những loài được sản xuất nhân tạo thành công và trở thành đối tượng nuôi phổ biến. Điều này cũng phù hợp với nhận xét của T.T.H. Nguyen (2000) [3], đây là những loài có giá trị kinh tế ở khu vực sông suối Tây Nguyên. Một số loài như cá bống đá *Acantopsis dialuzona*, cá bống trơn *Schistura fasciolata* và cá chanh dục *Channa gachua* chỉ thu được ở Kon Tum; cá rô đá *Pristolepis fasciata* ở Đắk Lắk mà không ghi nhận ở các tỉnh khác.

Trong tổng số 68 loài trong nghiên cứu hiện tại, cá mương *Toxabramis* sp. thu mẫu tại Đắk Lắk chỉ định loại được đến giống. Về mặt hình thái, *Toxabramis* sp. tương tự với loài *T. houdemeri*, tuy nhiên, loài *Toxabramis* sp. có một số đặc điểm khác như hình dáng cơ thể thon dài hơn, viền lưng phía trước vây lưng có màu xanh xám, viền cuống đuôi màu xanh đậm. So sánh với cơ sở dữ liệu GenBank, trình tự *Toxabramis* sp. thể hiện sự tương đồng 98,9% với trình tự của loài *T. houdemeri* ở Trung Quốc (mã số KT959236).

3.2. Mối quan hệ tiến hoá các loài cá nước ngọt dựa trên chỉ thị *Cytb* mtDNA

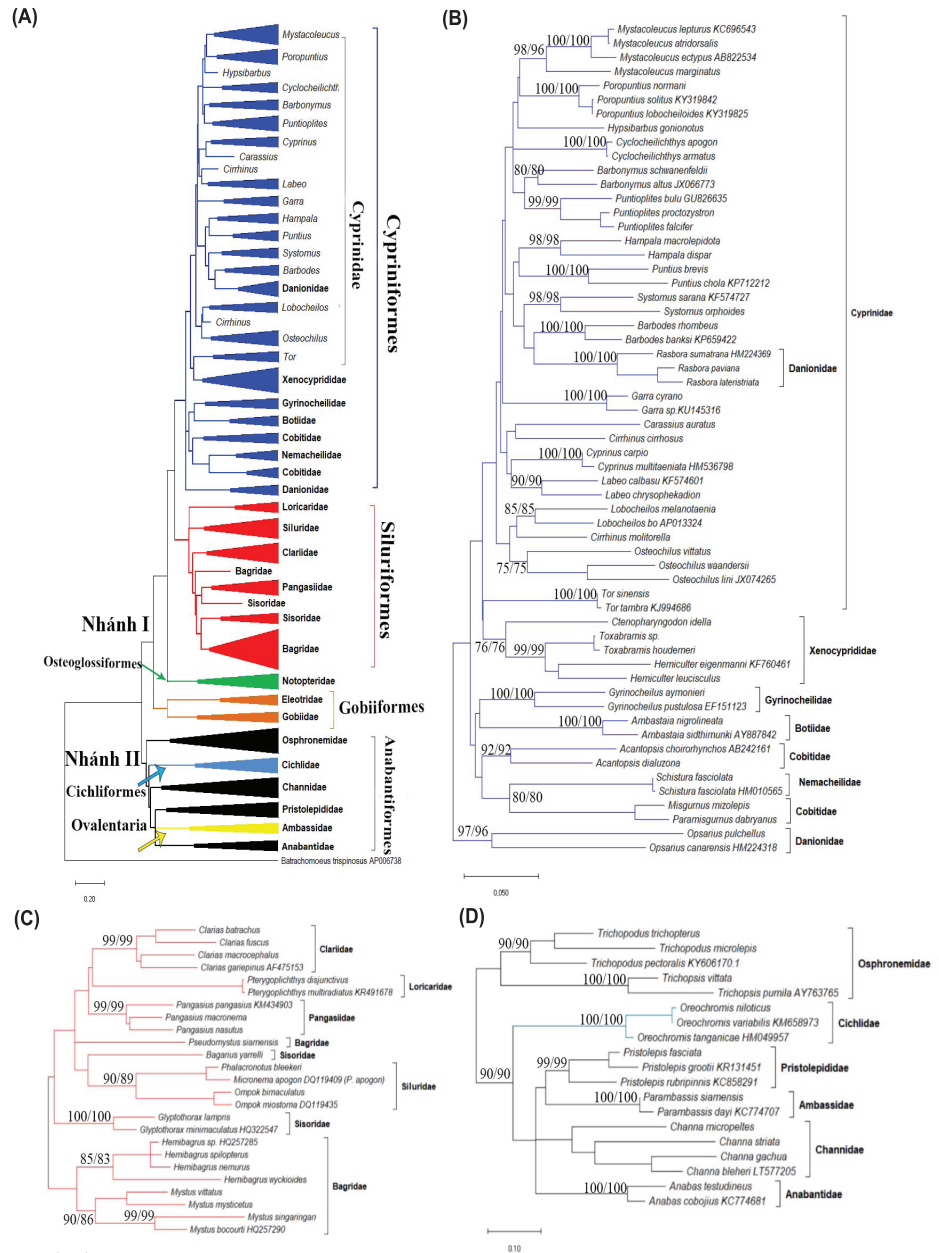
Trình tự *Cytb* mtDNA của 68 loài cá nước ngọt sau khi đóng hàng và hiệu chỉnh có chiều dài là 577 bp, trong đó 255 nucleotide không đổi (constant character), 25 nucleotide không mang thông tin (parsimony-uninformative character) và 297 nucleotide mang thông tin (parsimony-informative character). Mô hình tiến hóa tối ưu được lựa chọn cho các tập dữ liệu là GTR+G+I.

Cây phát sinh loài của 68 loài cá nước ngọt trong NCHT và 44 trình tự trên GenBank xây dựng bằng thuật toán ML (hình 3A) thể hiện sự tương đồng cao với thuật toán NJ (dữ liệu không trình bày), ngoại trừ vị trí của bộ cá bống Gobiiformes. Đối với thuật toán NJ, bộ cá bống Gobiiformes được sắp xếp cùng nhóm với các bộ cá rô đồng Anabantiformes, bộ cá hoàng đế Cichliformes và series Ovalentaria (tất cả trước đây đều thuộc bộ cá vược Perciformes), trong khi đó, bộ này phân tách thành nhánh riêng biệt trên cây phát sinh loài khi sử dụng thuật toán ML. Trong khi NJ suy luận cây phát sinh loài dựa trên ma trận khoảng cách, thuật toán ML sử dụng một mô hình tiến hóa cụ thể (GTR+G+I). Mô hình tiến hóa trong ML có thể đã phát hiện ra những đặc điểm tiến hóa đặc trưng của bộ cá bống Gobiiformes, dẫn đến việc phân loại nó vào một nhánh riêng biệt. Ở hình 3A, hai nhánh chính được thể hiện trên cây phát sinh loài. Nhánh I gồm 37 loài thuộc bộ cá chép Cypriniformes, 17 loài thuộc bộ cá da trơn Siluriformes, 2 loài thuộc bộ cá thát lát Osteoglossiformes (họ Notopteridae), 2 loài của bộ cá bống Gobiiforme (họ Eleotridae và Gobiidae); trong khi Nhánh II gồm 8 loài thuộc bộ cá rô đồng Anabantiformes, 1 loài thuộc bộ cá hoàng đế Cichliformes và 1 loài thuộc series Ovalentaria (cùng lớp cá vây tia Actinopterygii).

Khi xét các bộ/tập hợp bộ, bộ cá chép Cypriniformes thể hiện mức độ đa ngành cao nhất với 3 họ và 1 giống (hình 3B). Ở họ Danionidae, *Rasbora* spp. được xếp chung với các loài thuộc họ Cyprinidae. Tương tự, hai loài (*Paramisgurnus dabryanus* và *Misgurnus mizolepis*) ở họ Cobitidae xếp chung nhánh với các loài thuộc họ Nemacheilidae. Xét ở mức độ giống, *Cirrhinus cirrhosus* tạo thành nhánh chị em với loài *Carassius auratus*. Ở bộ cá da trơn Siluriformes, họ Bagridae và Sisoridae thể hiện sự đa ngành (hình 3C). Các loài thuộc Bagridae được xếp chung vào 1 nhóm, trong khi *Pseudomystus siamensis* nằm ở vị trí không xác định trên cây phát sinh loài. Ở họ Sisoridae, *Bagarius yarrelli* là loài chị em với các loài trong họ Siluridae. Bộ cá rô đồng Anabantiformes (gồm 4 họ Osphronemidae, Channidae, Anabantidae và Pristolepididae) cũng cho thấy sự đa ngành khi được sắp xếp cùng với họ Cichlidae (bộ cá hoàng đế Cichliformes) và họ Ambassidae (series Ovalentaria) (hình 3D).

Điều này có thể giải thích sự chưa thống nhất trong hệ thống định loại dựa vào hình thái cũng như mối quan hệ phát sinh loài dựa trên các chỉ thị phân tử giữa các phân họ trong họ cá chép Cyprinidae. Đây là họ cá nước ngọt đa dạng nhất, phân bố gần như trên toàn thế giới với ít nhất 367 giống và hơn 3006 loài. Theo hệ thống phân loại hiện nay, họ cá chép bao gồm 12 phân họ [13]. Các mối quan hệ phát sinh và hệ thống của các phân họ trong họ cá chép hiện vẫn còn nhiều tranh cãi [7, 8]. Sự đa ngành của các họ Cyprinidae, Cobitidae và Danionidae ghi nhận ở nghiên cứu hiện tại cũng phù hợp với các nghiên cứu khác khi sử dụng chỉ thị đơn [19], hay kết hợp các chỉ thị [7, 8, 20].

Bộ cá da trơn Siluriformes là một trong những bộ cá quan trọng nhất về mặt sinh thái và kinh tế ở lưu vực sông Mê Kông. Bagridae là một trong số các họ với đa dạng loài cao thuộc bộ Siluriformes, trong đó có 210 loài được ghi nhận. Một số nghiên cứu cũng ghi nhận sự đa ngành của họ Bagridae [10, 21]. Hơn nữa, phức hợp loài (cryptic species) của giống *Hemibagrus* đã được phát hiện sử dụng các chỉ thị phân tử của DNA ty thể [22], cũng như các chỉ thị SNPs [23].



Hình 3. Mối quan hệ tiến hoá các loài cá nước ngọt tại Tây Nguyên sử dụng thuật toán Maximum Likelihood dựa trên trình tự gen *Cytb* thuộc DNA ty thể. Giá trị độ tin cậy (>70%) của thuật toán ML/NJ được hiển thị trên các nhánh. (A) Cây phát sinh loài của các loài cá trong nghiên cứu hiện tại; (B) Bộ cá chép Cypriniformes; (C) Bộ cá da trơn Siluriformes; (D) Các bộ/tập hợp bộ Anabantiformes, Cichliformes và series Ovalentaria.

Bộ cá rô đồng Anabantiformes được phân tách từ bộ cá vược Perciformes - vốn bao gồm cả bộ cá hoàng đế Cichliformes và series Ovalentaria - bởi R. Betancur và cs (2017) [15]. D.H. Hoang và cs (2022) [11] sử dụng đa chỉ thị (3 gen ty thể và 2 gen nhân) phát hiện bộ cá rô đồng Anabantiformes xếp cùng nhánh với bộ cá mang liềm Synbranchiformes, trong khi đó series Ovalentaria nằm cùng nhánh với bộ cá kim Beloniformes. Nghiên cứu hiện tại cũng cho thấy sự không đơn ngành của bộ cá rô đồng khi sử dụng riêng lẻ một chỉ thị, do đó, các phân tích đa chỉ thị cũng như hệ gen cần được áp dụng để làm rõ các mối quan hệ phát sinh này.

Nghiên cứu ứng dụng giải trình tự đoạn gen *Cytb* thuộc DNA ty thể kết hợp với các đặc điểm hình thái để khảo sát thành phần loài và xây dựng cây phát sinh chủng loại của các loài cá nước ngọt phổ biến ở Tây Nguyên. Hầu hết các nghiên cứu trước đó chỉ dựa vào hình thái để định loại cá ở khu vực này. Tuy nhiên, để có cơ sở chính xác cho việc phân loại cần khảo sát thêm một số chỉ thị phân tử khác để so sánh sự tiến hoá cũng như mối quan hệ phát sinh chủng loại, đồng thời xây dựng cơ sở dữ liệu di truyền phục vụ bảo tồn đa dạng sinh học và nguồn lợi thủy sản.

4. Kết luận

Dựa vào đặc điểm hình thái và di truyền, nghiên cứu ghi nhận 68 loài cá nước ngọt phổ biến tại Tây Nguyên, Việt Nam, trong đó, 1 loài (*Toxabramis* sp.) chỉ xác định được đến giống. Cây phát sinh loài được chia thành 2 nhánh chính, cho thấy sự đơn ngành ở một số bộ cá. Trong bộ Cypriniformes, họ Cyprinidae, Cobitidae, Datnionidae và giống *Cirrhinus* thể hiện sự đa ngành. Trong bộ Siluriformes, sự đa ngành được ghi nhận ở họ Bagridae và Sisoridae. Bộ Anabantiformes thể hiện sự đa ngành khi được sắp xếp cùng nhánh với bộ Cichliformes và series Ovalentaria.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D.J. Allen, K.G. Smith, W.R.T. Darwall (2012), *The Status and Distribution of Freshwater Biodiversity in Indo-Burma*, Cambridge, UK and Gland, Switzerland: IUCN, 158pp.
- [2] E. Baran, S. Saray, S.J. Teoh, et al. (2011), *Fish and Fisheries in The Sesan River Basin: Catchment Baseline, Fisheries Section*, The WorldFish Center, 61pp.
- [3] T.T.H. Nguyen (2000), *Investigation of Fish Fauna of Rivers and Streams in The Central Highlands*, Doctoral Thesis in Biology, University of Science, Vietnam National University-Hanoi, 149pp (in Vietnamese).
- [4] H.A. Le, D.T. Nguyen, V.T. Do, et al. (2013), "Macroinvertebrate and fish diversity in the Western Highland with the threatened species", *The 5th National Scientific Conference on Ecology and Biological Resources*, pp.360-363 (in Vietnamese).
- [5] P.L. Tuong, X.L. Dinh (2012), "Current status of fisheries in Mekong river basin - Central Highlands", *International Collaborating Centre for Aquaculture and Fisheries Sustainability (ICAFIS)*, 18pp (in Vietnamese).
- [6] P.D.N. Hebert, A. Cywinska, S.L. Ball, et al. (2003), "Biological identifications through DNA barcodes", *Proceedings of The Royal Society B: Biological Sciences*, **270**, pp.96-99, DOI: 10.1098/rspb.2002.2218.
- [7] B.T. Thai, V.S. Ngo, P.D. Phan, et al. (2007), "Phylogenetic evaluation of subfamily classification of the Cyprinidae focusing on Vietnamese species", *Aquatic Living Resources*, **20**(2), pp.143-153, DOI: 10.1051/alr:2007025.
- [8] Q.D.H. Vu, O.T. Truong, T.L. Tran, et al. (2018a), "Molecular phylogeny of Cyprinidae and Cobitidae (Teleostei: Cypriniformes) - Implication for Mekong fish", *Proceedings of ISER 169th International Conference, Bangkok, Thailand*, pp.11-16.
- [9] Q.D.H. Vu, B.T. Dang, O.T. Truong, et al. (2014), "DNA barcoding of freshwater fishes in the Mekong Delta", *CTU Journal of Science*, **1**, pp.123-131 (in Vietnamese).
- [10] Q.D.H. Vu, O.T. Truong, T.L.P. Thai, et al. (2018b), "Molecular phylogeny of catfishes (Teleostei: Siluriformes) inferred from mitochondrial markers-implications for lower Mekong river basin", *European Journal of Advanced Research in Biological and Life Sciences*, **6**(3), pp.1-12.
- [11] D.H. Hoang, M.H. Pham, T.N. Tran (2022), "The phylogenetic relationship and distribution of indigenous freshwater fishes in the Mekong tributaries, Vietnam", *Science and Technology Development Journal - Natural Sciences*, **6**(2), pp.1956-1969, DOI: 10.32508/stdjns.v6i2.1121 (in Vietnamese).
- [12] D.D. Tran, K. Shibukawa, P.T. Nguyen, et al. (2013), *Fishes of The Mekong Delta, Vietnam*, Can Tho University Publishing House, Vietnam, 174pp (in Vietnamese).
- [13] W.J. Rainboth, C. Vidhayanon, M.D. Yen (2012), *Fishes of The Greater Mekong Ecosystem with Species List and Photographic Atlas*, University of Michigan Museum of Zoology, 315pp.
- [14] M. Kochzius, C. Seidel, A. Antoniou, et al. (2010), "Identifying fishes through DNA barcodes and microarrays", *PLOS ONE*, **5**(9), DOI: 10.1371/journal.pone.0012620.
- [15] R. Betancur, E.O. Wiley, G. Arratia, et al. (2017), "Phylogenetic classification of bony fishes", *BMC Evolutionary Biology*, **17**(162), DOI: 10.1186/s12862-017-0958-3.
- [16] T.A. Hall (1999), "BioEdit: A user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for Windows95/98/NT", *Nucleic Acids Symposium Series*, **41**, pp.95-98, DOI: 10.14601/Phytopathol_Mediterr-14998u1.29.
- [17] S. Kumar, G. Stecher, M. Li, et al. (2018), "MEGA X: Molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms", *Molecular Biology and Evolution*, **35**(6), DOI: 10.1093/molbev/msy096.
- [18] D. Posada, K.A. Crandall (1998), "MODELTEST: Testing the model of DNA substitution", *Bioinformatics*, **14**(9), pp.817-818, DOI: 10.1093/bioinformatics/14.9.817.
- [19] L. Yang, T. Sado, M.V. Hirt, et al. (2015), "Phylogeny and polyploidy: Resolving the classification of cyprinine fishes (Teleostei: Cypriniformes)", *Molecular Phylogenetics and Evolution*, **85**, pp.97-116, DOI: 10.1016/j.jmpev.2015.01.014.
- [20] K. Saitoh, T. Sado, M.H. Doosey, et al. (2011), "Evidence from mitochondrial genomics supports the lower Mesozoic of South Asia as the time and place of basal divergence of cypriniform fishes (Actinopterygii: Ostariophysi)", *Zoological Journal of The Linnean Society*, **161**(3), pp.633-662, DOI: 10.1111/j.1096-3642.2010.00651.x.
- [21] I. Kappas, S. Vitas, C.N. Pantartzzi, et al. (2016), "A time-calibrated mitogenome phylogeny of catfish (Teleostei: Siluriformes)", **11**(12), DOI: 10.1371/journal.pone.0166988.
- [22] J.J. Dodson, F. Lecomte (2015), "A DNA barcode-based evaluation of the Southeast Asian catfish genus *Hemibagrus* Bleeker, 1862 (Teleostei: Siluriformes; Bagridae)", *Advances in Evolutionary Biology*, **2015**, pp.1-15, DOI: 10.1155/2015/490158.
- [23] A.S. Ackiss, B.T. Dang, C.E. Bird, et al. (2019), "Cryptic lineages and a population dammed to incipient extinction? Insights into the genetic structure of a Mekong River catfish", *Journal of Heredity*, **110**(5), pp.535-547, DOI: 10.1093/jhered/esz016.

Cải thiện tính chất sắt điện và sắt từ của vật liệu multiferroic tổ hợp trong ứng dụng phân hủy thuốc nhuộm tổng hợp

Phạm Quang Hoàng¹, Ngô Mỹ Hoa¹, Phan Tiến Danh¹, Ngô Thu Hương¹, Phạm Xuân Thảo², Nguyễn Minh Hiếu¹, Nguyễn Thị Dung³, Đinh Chí Linh⁴, Nguyễn Thị Việt Chinh⁴, Đào Sơn Lâm^{4,5*}

¹Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 334 Nguyễn Trãi, phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, 298 Cầu Diễn, phường Tây Tựu, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Khoa học, Đại học Thái Nguyên, đường Bắc Sơn, phường Phan Đình Phùng, tỉnh Thái Nguyên, Việt Nam

⁴Viện Khoa học Vật liệu, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

⁵Học viện Khoa học và Công nghệ, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 14/5/2025; ngày chuyển phản biện 16/5/2025; ngày nhận phản biện 26/5/2025; ngày chấp nhận đăng 30/5/2025

Tóm tắt:

Vật liệu multiferroic tổ hợp $x\text{Ni}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4/(1-x)(0.5\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3-0.5(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3})\text{TiO}_3)$ (ký hiệu là NZFO/BZT-BCT) với kích thước hạt trung bình khoảng 100 nm đã được chế tạo bằng phương pháp nghiền cơ năng lượng cao kết hợp xử lý nhiệt. Kết quả nhiễu xạ tia X (XRD) cho thấy sự tồn tại đồng thời của 2 pha $\text{Ni}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (NZFO) và $(0.5\text{BaZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3) - 0.5(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{TiO}_3)$ (BZT-BCT) trong vật liệu multiferroic tổ hợp. Ở nhiệt độ phòng, vật liệu này còn thể hiện các tính chất từ tính đáng chú ý với độ từ dư (M_r) xấp xỉ 0,6 emu/g và độ từ hóa bão hòa (M_s) đạt khoảng 29,2 emu/g. Đặc biệt, vật liệu này còn cho thấy hoạt tính quang xúc tác vượt trội trong quá trình phân hủy Rhodamine B (RhB). Sau khi chiếu xạ bằng tia UV trong 180 phút, hiệu suất phân hủy RhB đạt tới 99%. Ngoài ra, thời gian phân hủy RhB cũng được đánh giá với tốc độ phân hủy k_p của NZFO/BZT-BCT là 0,019 phút⁻¹. Với những ưu điểm như quy trình chế tạo đơn giản, hiệu suất quang xúc tác cao và khả năng thu hồi dễ dàng bằng trường từ bên ngoài, vật liệu tổ hợp đa pha NZFO/BZT-BCT là ứng viên đầy triển vọng cho các ứng dụng xử lý môi trường bằng phương pháp quang xúc tác.

Từ khóa: độ phân cực dư, độ từ hóa bão hòa, multiferroic, nano tổ hợp, quang xúc tác.

Chỉ số phân loại: 2.4, 2.7

Improving the ferroelectric and ferromagnetic properties of multiferroic composite materials for the decomposition of synthetic dyes

Quang Hoang Pham¹, My Hoa Ngo¹, Tien Danh Phan¹, Thu Huong Ngo¹, Xuan Thao Pham², Minh Hieu Nguyen¹, Thi Dung Nguyen³, Chi Linh Dinh⁴, Thi Viet Chinh Nguyen⁴, Son Lam Dao^{4,5*}

¹University of Science, Vietnam National University-Hanoi, 334 Nguyen Trai Street, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam

²Hanoi University of Industry, 298 Cau Dien Street, Tay Tuu Ward, Hanoi, Vietnam

³University of Science, Thai Nguyen University, Bac Son Street, Phan Dinh Phung Ward, Thai Nguyen Province, Vietnam

⁴Institute of Materials Science, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam

⁵Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam

Received 14 May 2025; revised 26 May 2025; accepted 30 May 2025

Abstract:

A multiferroic composite of $x\text{Ni}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4/(1-x)(0.5\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3-0.5(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3})\text{TiO}_3)$ (denoted as NZFO/BZT-BCT) with an average particle size of 100 nm was prepared by high-energy mechanical milling combined with the thermal annealing methods. The X-ray diffraction pattern indicates the presence of both $\text{Ni}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (NZFO) and $(0.5\text{BaZr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8}\text{O}_3) - 0.5(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3}\text{TiO}_3)$ (BZT-BCT) phases in the multiferroic composite. At room temperature, the multiferroic composite exhibits a remanent magnetisation (M_r) of approximately 0.6 emu/g and a saturation magnetisation (M_s) of about 29.2 emu/g. It is worth noting that this nanocomposite displayed exceptional photocatalytic activity in degrading Rhodamine B (RhB). After irradiation with UV radiation for 180 minutes, the degradation efficiency of RhB reached 99%. The kinetic reaction of the RhB degradation was also assessed, revealing that the apparent first-order rate constant of NZFO/BZT-BCT is $k_p = 0.019 \text{ min}^{-1}$. With benefits such as easy fabrication and simple recovery using an external magnetic field, the NZFO/BZT-BCT multiferroic composite could be a potential candidate for photocatalytic environmental treatment.

Keywords: multiferroic, nanocomposites, photocatalysis, remanent polarisation, saturation magnetisation.

Classification numbers: 2.4, 2.7

*Tác giả liên hệ: Email: Daosonlamln@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Các loại thuốc nhuộm và sản phẩm công nghiệp được thải ra ngoài mỗi năm đã làm tăng mức độ ô nhiễm của môi trường, đặc biệt là môi trường nước. Trong số các loại thuốc nhuộm tổng hợp, Rhodamine B (RhB) được coi là thuốc nhuộm công nghiệp điển hình và được sử dụng rộng rãi trong ngành dệt in [1]. Nó có độc tính cao, đặc tính gây ung thư, gây hại cho sức khỏe con người như kích ứng cổ họng, ngực và da [1-2]. Vì vậy, nghiên cứu tìm giải pháp phân hủy thuốc nhuộm tổng hợp nói chung và thuốc nhuộm RhB nói riêng được coi là vấn đề cấp bách. Các nghiên cứu gần đây cho thấy, vật liệu multiferroic được coi là vật liệu tiềm năng để giải quyết vấn đề này [3]. Vật liệu multiferroic gồm có nhóm vật liệu đơn pha và nhóm vật liệu tổ hợp. Cơ chế tương tác điện - từ trong nhóm vật liệu multiferroic tổ hợp cao hơn nhiều lần so với nhóm vật liệu đơn pha nên được tập trung nghiên cứu và chế tạo nhiều hơn. Vật liệu tổ hợp thường được cấu tạo từ các vật liệu sắt điện có hệ số áp điện tốt như BaTiO_3 và các vật liệu sắt từ có độ từ giảo cao như các oxit ferit MFe_2O_4 (M là Co, Zn, Ni...).

Vật liệu sắt điện BaTiO_3 (BTO) có hệ số áp điện lớn, hằng số điện môi cao... Khi pha tạp thêm Ca và Zr vào phân mạng của BTO đã làm thay đổi đáng kể tính chất của vật liệu này. Những năm gần đây đã có nhiều nghiên cứu về vật liệu $0.5\text{Ba}(\text{Zr}_{0.2}\text{Ti}_{0.8})\text{O}_3-0.5(\text{Ba}_{0.7}\text{Ca}_{0.3})\text{TiO}_3$ (BZT-BCT) [4]. Vật liệu này có hệ số áp điện d_{33} đạt giá trị 620 pC/N. Đặc biệt, vật liệu tinh thể BZT-BCT có thể đạt được giá trị áp điện lên tới 1500 pC/N. Sự tồn tại của ranh giới pha hóa học (morphotropic phase boundary - MPB) trong BZT-BCT góp phần cải thiện các tính chất điện môi và áp điện của nó giúp tăng cường tương tác từ điện. Rào cản năng lượng bị làm phẳng cho sự quay phân cực gần vùng MPB giúp phản ứng áp điện lớn hơn dưới tác động của từ trường thông qua pha từ. Hệ số áp điện cao (d_{33}) của nó, tương đương hoặc thậm chí vượt trội so với các hệ thống không chứa chì khác và gần với PZT, là lý do chính [4]. Điều này chứng minh BZT-BCT có hệ số áp điện lớn hơn nhiều so với vật liệu BTO và các loại gốm áp điện khác. Chính vì thế, khi pha tạp Ca và Zr vào phân mạng BTO đã làm tăng hệ số áp điện và thay đổi tính chất của vật liệu BTO ban đầu. Vật liệu BZT-BCT ngoài hệ số áp điện và hằng số điện môi cao, vật liệu này còn tồn tại 2 pha là sắt điện và sắt từ. Nó cũng ổn định trong phạm vi nhiệt độ rộng và các bộ phận có thể điều chỉnh đặc tính của chúng [4]. Đặc biệt, vật liệu BZT-BCT là vật liệu sắt điện không chì nên rất phù hợp với mục đích ứng dụng ban đầu. Các hạt nano vật liệu sắt từ (MFe_2O_4) (M là Co, Zn, Ni...) đã thu hút được sự quan tâm đáng kể nhờ ứng dụng rộng rãi của chúng trong các lĩnh vực công nghệ khác nhau [5]. Những ứng dụng này bao gồm phương tiện ghi từ tính mật độ cao, công nghệ y sinh, cảm biến có độ nhạy cao, thiết bị vi sóng và hoạt động xúc tác quang [6]. $\text{Ni}_{0.6}\text{Zn}_{0.4}\text{Fe}_2\text{O}_4$ (NZFO) có cấu trúc spinel nghịch đảo với tính dị hướng thấp. Ngoài ra, vật liệu NZFO có các ưu điểm như độ từ thẩm cao, điện trở suất lớn cùng đặc tính áp điện cao. Với dải tần rộng (<2eV), NZFO thể hiện hiệu suất hấp thụ ánh sáng cao trong phạm vi từ 380 đến 760 nm, phù hợp làm vật liệu xúc tác quang trong vùng ánh sáng khả kiến. Hợp chất này là một chất bán dẫn có độ rộng vùng cấm hẹp với các vị trí vùng dẫn (CB) và

vùng hóa trị (VB) lần lượt ở khoảng -0,6 và 1,28 eV [7]. NZFO cũng chứng minh khả năng phân tách từ tính, độ ổn định hóa học và tính chất xúc tác quang [6-7]. Tuy nhiên, nó cho thấy phản ứng kém với quá trình quang xúc tác, do sự tái hợp nhanh chóng của các cặp lỗ quang điện tử. Nhờ những đặc điểm kể trên, chúng tôi nhận thấy NZFO là vật liệu ghép nối tiềm năng để tạo hệ vật liệu multiferroic tổ hợp. Chính vì vậy, kết hợp NZFO với BZT-BCT để tạo ra vật liệu tổ hợp NZFO/BZT-BCT có khả năng quang xúc tác mạnh được coi là một ý tưởng sáng tạo. Những phát hiện này có ý nghĩa đối với các ứng dụng về vật liệu multiferroic tổ hợp, như định hướng nghiên cứu trong việc xử lý nước bị ô nhiễm thuốc nhuộm và các hợp chất hữu cơ thông qua quá trình quang xúc tác. Đặc biệt, có thể tiến hành thu hồi, tái sử dụng vật liệu multiferroic này bằng từ trường ngoài, giúp tiết kiệm vật liệu và nâng cao hiệu quả phân hủy thuốc nhuộm tổng hợp, nhằm giảm thiểu ô nhiễm và hạn chế thải kim loại nặng ra môi trường.

2. Thực nghiệm

2.1. Hóa chất và dụng cụ

Dụng cụ và hóa chất được sử dụng trong quá trình chế tạo bao gồm: cối, chày mã nã, khuôn ép, thuyền nung mẫu, hộp chứa mẫu... Vật liệu multiferroic tổ hợp NZFO/BZT-BCT được điều chế từ các hóa chất bột NiO, ZnO, Fe_2O_3 , BaCO_3 , CaCO_3 , ZrO_2 và TiO đều có độ tinh khiết cao ($\geq 99,9\%$).

2.2. Phương pháp chế tạo

Vật liệu multiferroic tổ hợp NZFO/BZT-BCT được chế tạo bằng phương pháp nghiền cơ năng lượng cao trên máy Spex-8000D kết hợp xử lý nhiệt. Đầu tiên, khối lượng tiền chất được tính và cân theo công thức để tạo ra hai hợp chất NZFO và BZT-BCT riêng biệt thông qua phương pháp nghiền cơ năng lượng cao trong 1 giờ. Tiếp theo, hỗn hợp bột của mỗi hợp chất được nén thành dạng viên ở áp suất 7.000 kg/cm² và nung trong 5 giờ ở nhiệt độ trên 1000°C.

Để tạo mẫu NZFO/BZT-BCT, khối lượng của các thành phần NZFO và BZT-BCT đã được tính toán và cân theo $x\text{NZFO}/(1-x)\text{BZT-BCT}$ với $x=0, 0,1, 0,3, 0,5$. Bột NZFO và BZT-BCT được nghiền trộn kỹ theo tỷ lệ quy định cho vật liệu tổ hợp. Sau đó, hỗn hợp bột thu được được ép thành dạng viên ở áp suất 7.000 kg/cm² và ủ trong 5 giờ ở 700°C.

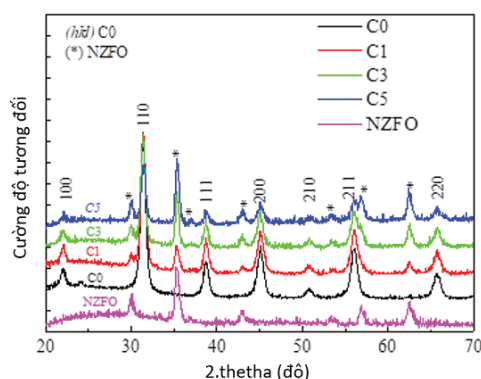
2.3. Phương pháp phân tích và đánh giá

Cấu trúc tinh thể và kích thước hạt của vật liệu tổng hợp được khảo sát thông qua giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) bằng thiết bị Equinox 5000 (Thermo Scientific, bức xạ Cu-K với $\lambda=1,54056 \text{ \AA}$) và hình ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) thông qua thiết bị Fe-SEM S4800 (Hitachi) tương ứng. Ngoài ra, thành phần của các nguyên tố hóa học và sự phân bố các chất trong các mẫu đã được phân tích bằng thiết bị quang phổ tán xạ Aztec Energy (EDS) từ Oxford Instruments (Anh). Các đặc tính điện và từ được nghiên cứu thông qua đường cong từ trễ được đo tương ứng trên Precision LC II Model 609 và từ kế mẫu rung. Tính chất quang học của vật liệu tổng hợp cũng đã được nghiên cứu thông qua phổ UV-Vis đo

được trên máy quang phổ UV-Vis-NIR Cary 5000. Sự phân hủy quang của dung dịch RhB đã đánh giá hoạt tính quang xúc tác của vật liệu tổng hợp. Nghiên cứu đã thử nghiệm 0,5 g chất tổ hợp xúc tác quang được phân tán trong 1000 ml dung dịch RhB (0,5 mg/l). Trước khi chiếu xạ, hỗn hợp dung dịch được khuấy trong bóng tối trong 60 phút để đảm bảo trạng thái cân bằng. Để kích thích phản ứng quang xúc tác, nghiên cứu sử dụng đèn cực tím có cường độ quang thông 22 mJ/cm², bước sóng 254 nm, model 30E, OAI, Mỹ. Tất cả các phép đo để đánh giá tính chất của vật liệu tổng hợp được thực hiện ở nhiệt độ phòng.

3. Kết quả và bàn luận

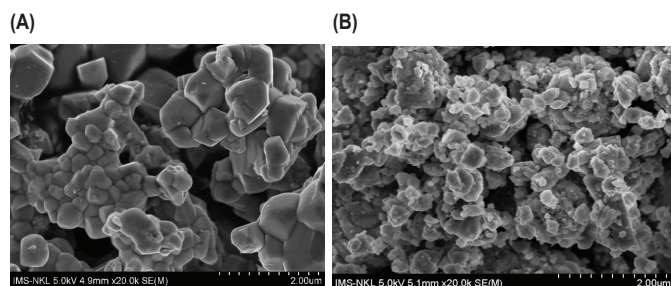
Hình 1 là giản đồ nhiễu xạ tia X của hệ vật liệu $x\text{Ni}_{0,6}\text{Zn}_{0,4}\text{Fe}_{2,0}\text{O}_4 / (1-x) (0,5\text{Ba}(\text{Zr}_{0,2}\text{Ti}_{0,8})\text{O}_3 - 0,5(\text{Ba}_{0,7}\text{Ca}_{0,3})\text{TiO}_3)$ với giá trị x khác nhau là 0; 0,1; 0,3; và 0,5 được ký hiệu tương ứng C0, C1, C3, C5.



Hình 1. Giản đồ quang phổ nhiễu xạ tia X của các mẫu NZFO/BZT-BCT được đo ở nhiệt độ phòng.

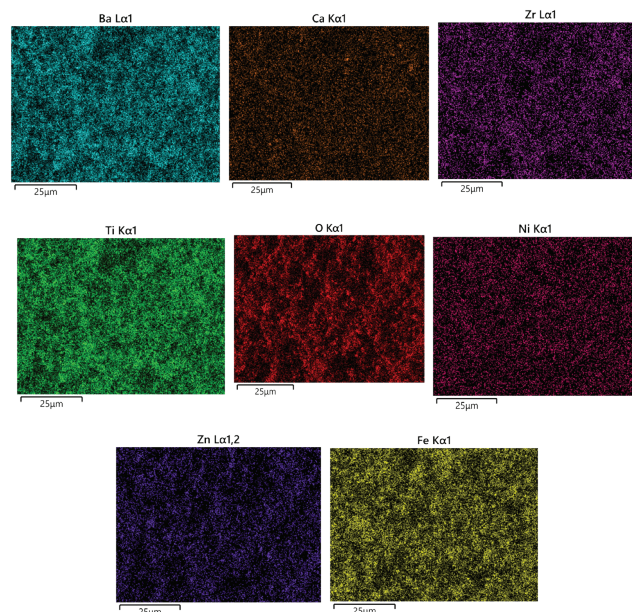
Kết quả trên chỉ ra rằng, mẫu BZT-BCT đơn pha được biểu thị bằng các chỉ số Miller (hkl). Khi hàm lượng NZFO tăng lên, các đỉnh của NZFO càng hiện rõ, được biểu thị bằng dấu sao (*) và các đỉnh liên quan đến pha BZT-BCT cho thấy xu hướng giảm. Chúng tôi kết luận rằng, có sự tồn tại của cả 2 pha BZT-BCT và NZFO trong vật liệu tổng hợp NZFO/BZT-BCT. Quá trình thiêu kết cuối cùng không dẫn đến bất kỳ phản ứng hóa học nào giữa các pha. Chứng tỏ quá trình chế tạo mẫu đã thành công và đạt yêu cầu ban đầu.

Hình thái và kích thước hạt của mẫu được phân tích bằng ảnh SEM với mẫu C0 ($x=0$) và C5 ($x=0,5$) được đo ở nhiệt độ phòng trong hình 2.



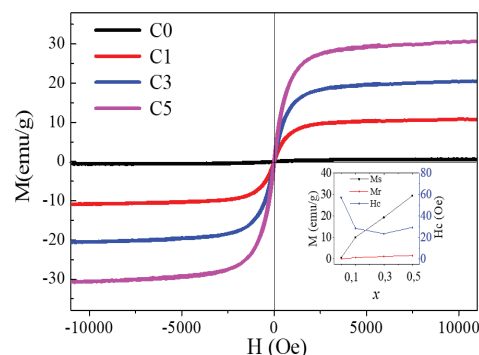
Hình 2. Ảnh kính hiển vi điện tử quét của mẫu. (A) C0; (B) C5 được đo ở nhiệt độ phòng.

Các hạt có dạng giả cầu, kích thước khoảng 100 nm và ranh giới hạt có vẻ mờ. Nhiều hạt nhỏ kết tụ lại với nhau tạo thành các cụm lớn hơn nhờ lực hút Van Der Waals. Ngoài ra, các nguyên tố hóa học như Ba, Ca, Zr Ti, O, Ni, Zn, Fe cũng được phân bố tương đối đồng đều như mong muốn trong các mẫu. Điều này được thể hiện trong ảnh xạ EDX của mẫu C5 trong hình 3.



Hình 3. Hình ảnh phổ tia X phân tán năng lượng của các mẫu NZFO/BZT-BCT.

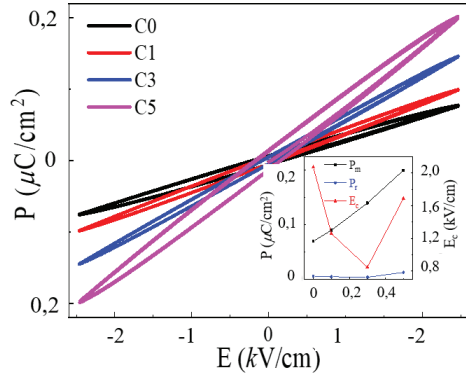
Đường cong từ trễ $M(H)$ của các mẫu được đo ở nhiệt độ phòng được thể hiện ở hình 4. Rõ ràng nhận thấy, tất cả các đường có sự góp mặt của NZFO đều thể hiện đặc tính sắt từ. Khi hàm lượng pha sắt từ tăng dần, độ bão hòa và độ từ dư của vật liệu có xu hướng tăng dần (hình nhỏ chèn trong hình 4). Điều này được cho là do sự đóng góp của mômen từ của pha sắt từ NZFO, dẫn đến càng tăng thành phần mạnh hơn của vật liệu [3, 8]. Việc bổ sung pha NZFO không chỉ giúp tăng cường các đặc tính sắt từ mà còn cải thiện các đặc tính sắt điện trong vật liệu tổng hợp.



Hình 4. Đường cong $M(H)$ của các mẫu NZFO/BZT-BCT được đo ở nhiệt độ phòng.

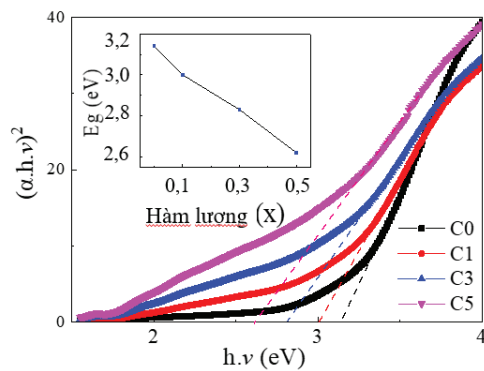
Độ sắt điện của hệ thống vật liệu NZFO/BZT-BCT được xác định bằng cách đo đường cong trễ sắt điện (hình 5). Tất cả các mẫu của hệ vật liệu multiferroic tổ hợp đều thể hiện tính chất sắt điện.

Giá trị P_m và P_r cũng tăng dần dưới tác dụng của điện trường ngoài 5 kV/cm. Cụ thể, giá trị P_m tăng gần 3 lần từ 0,07 lên 0,2 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$ và giá trị P_r tăng từ 0,006 lên 0,013 $\mu\text{C}/\text{cm}^2$, tương ứng với $x=0-0,5$ (được thể hiện rõ nét trong hình nhỏ chèn trong hình 5).



Hình 5. Đường cong $P(E)$ được đo ở nhiệt độ phòng với điện áp bên ngoài tối đa 5 kV/cm và tần số 50 Hz cho tất cả các mẫu.

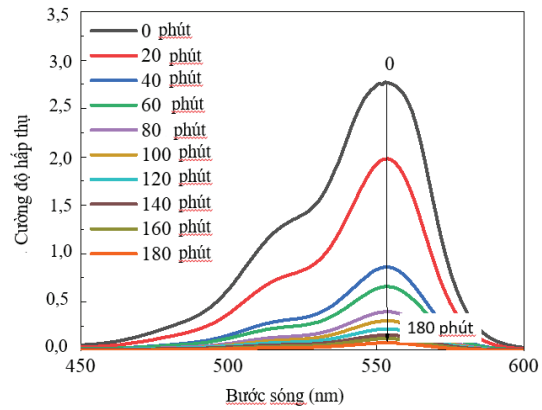
Dựa trên kết quả từ tất cả các mẫu, rõ ràng là mẫu có hàm lượng $x=0,5$ thể hiện tính chất sắt điện và sắt từ tốt nhất.



Hình 6. Năng lượng vùng cấm của các mẫu C0-C5.

Hơn nữa, sự hiện diện của NZFO trong thành phần vật liệu làm thay đổi đáng kể năng lượng vùng cấm của vật liệu. Các giá trị năng lượng vùng cấm (E_g) có thể được ước tính, như minh họa trong hình 6. Giá trị E_g giảm từ 3,12 xuống 2,65 eV khi x tăng từ 0 đến 0,5 (được thể hiện rõ nét trong hình nhỏ chèn trong hình 6).

Các electron trong phân lớp d của Ni^{2+} , Zn^{2+} và Fe^{3+} được phân bố trên các quỹ đạo t_{2g} và e_g [5]. Khi có ánh sáng cực tím, năng lượng cần thiết để truyền điện tử sẽ giảm và khả năng hấp thụ tối đa của vật liệu tổ hợp NZFO/BZT-BCT sẽ chuyển sang bước sóng dài hơn so với bước sóng của BZT-BCT. Những kết quả này hoàn toàn phù hợp với các nghiên cứu trước đây về họ vật liệu tổ hợp này [4, 7, 8]. Để nghiên cứu đặc tính xúc tác quang của vật liệu nano tổ hợp NZFO/BZT-BCT ở các nồng độ NZFO khác nhau, chúng tôi đã thực hiện một thí nghiệm, trong đó chúng tôi quan sát sự phân hủy của RhB trong nước cùng sự góp mặt của hỗn hợp nano tổ hợp dưới bức xạ UV. Hình 7 trình bày phổ hấp thụ của thuốc nhuộm RhB theo thời gian chiếu tia UV khác nhau, đối với tất cả mẫu C5 ở nhiệt độ phòng.

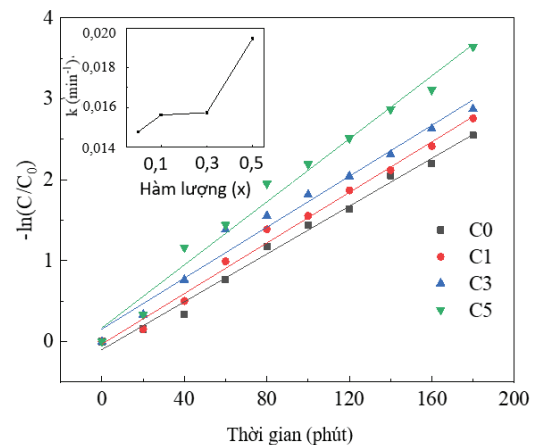


Hình 7. Phổ hấp thụ tia UV của thuốc nhuộm RhB sau chiếu xạ mẫu C5 ở nhiệt độ phòng.

Sau 180 phút chiếu tia UV, nồng độ thuốc nhuộm RhB tổng hợp đã giảm hơn 99%, dẫn đến sự đổi màu gần như hoàn toàn của dung dịch. Bằng cách nghiên cứu khả năng phân hủy xúc tác quang, chúng tôi sẽ đánh giá và so sánh hiệu suất xúc tác quang của các mẫu hỗn hợp NZFO/BZT-BCT một cách chi tiết. Quá trình quang xúc tác sẽ được đánh giá dựa trên tốc độ quang xúc tác bằng phương trình giả bậc nhất như sau [8]:

$$-\ln\left(\frac{C}{C_0}\right) = k_p \times t$$

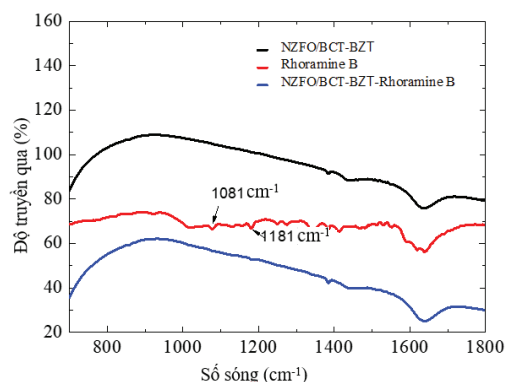
trong đó: k_p là hằng số tốc độ phân hủy, t là thời gian phân hủy. Bằng cách vẽ đồ thị $-\ln\left(\frac{C}{C_0}\right)$ theo thời gian phân hủy, k_p được định nghĩa là giá trị độ dốc của đường thẳng như trong hình 8.



Hình 8. Sự phụ thuộc của $-\ln(C/C_0)$ vào thời gian chiếu tia UV; hình nhỏ thể hiện sự phụ thuộc k_p vào nồng độ NZFO (x).

Giá trị độ dốc được trích xuất của $k_p=0,015 \text{ phút}^{-1}$ ($R^2=0,99$), $0,016 \text{ phút}^{-1}$ ($R^2=0,98$), $0,016 \text{ phút}^{-1}$ ($R^2=0,989$), $0,019 \text{ phút}^{-1}$ ($R^2=0,991$), tương ứng với các mẫu C0, C1, C3, C5. Điều này chỉ ra rằng, sự có mặt của NZFO đã làm tăng cường hoạt tính quang xúc tác của các vật liệu tổng hợp.

Hình 9 hiển thị phổ FTIR của NZFO/BZT-BCT và RhB. Định rung động đặc trưng của RhB được quan sát thấy ở 1081 và 1181 cm^{-1} .



Hình 9. Phổ hồng ngoại biến đổi Fourier của NZFO/BZT-BCT, Rhodamine B NZFO/BZT-BCT/Rhodamine B.

Phổ FTIR cho thấy khả năng quang xúc tác của vật liệu NZFO/BZT-BCT, 2 đường đặc trưng nhất trong phổ FTIR của RhB và các đường lân cận đều bị triệt tiêu. Kết quả suy thoái thu được đối với RhB hoàn toàn có thể so sánh với kết quả nghiên cứu gần đây. Vào năm 2021, Y.X. Song và cs (2021) [9] đã thành công trong việc phân hủy thuốc nhuộm tổng hợp RhB bằng cách sử dụng SrTiO_3 . Dung dịch RhB có tính xúc tác quang học và bị phân hủy ở nồng độ 5 mg/l. Dung dịch có nồng độ chất xúc tác quang là 0,25 g/l. Sử dụng ánh sáng nhìn thấy có bước sóng trong ánh sáng bằng đèn xenon, tốc độ phân hủy của RhB đạt được khoảng 98% sau khi chiếu xạ trong 200 phút, hằng số k_p rõ ràng là 0,0038 phút⁻¹. Nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng, việc thêm Nd vào thành phần mẫu dẫn đến giá trị của hằng số tốc độ phân hủy tăng mạnh vào khoảng 0,0072 phút⁻¹, trong 200 phút chỉ có hơn 87% dung dịch RhB có thể bị phân hủy [9]. Năm 2018, D.T.M. Hue và cs (2018) [3] đã nghiên cứu khả năng phân hủy thuốc nhuộm tổng hợp xanh metylen sử dụng hỗn hợp CoFe_2O_4 - BaTiO_3 . Họ phát hiện ra rằng, với nồng độ chất xúc tác là 0,4 g/l và các thí nghiệm được thực hiện dưới đèn UV, tốc độ phân hủy của xanh metylen đạt khoảng 72% sau 180 phút chiếu xạ, hằng số tốc độ phân hủy là khoảng 0,0071 phút⁻¹. Sự hiện diện của NZFO trong hỗn hợp NZFO/BZT-BCT đóng một vai trò quan trọng trong việc cải thiện hoạt động quang xúc tác. Sự phân hủy RhB của chất quang xúc tác dưới bức xạ UV có thể tóm tắt như sau: Khi tiếp xúc với tia cực tím, các electron bị kích thích với đủ năng lượng để chuyển từ vùng hóa trị sang vùng dẫn. Quá trình này tạo ra các cặp electron-lỗ trống. Các electron và lỗ trống sau đó di chuyển lên bề mặt, ngăn cản chúng tái hợp. Trên bề mặt chất bán dẫn, phản ứng giữa electron và lỗ trống với oxy và nước trong không khí tạo thành các gốc superoxide anion ($\cdot\text{O}_2^-$) và gốc hydroxyl ($\cdot\text{OH}$). Những loại phản ứng này có thể phân hủy các chất ô nhiễm hữu cơ trong môi trường thành các vật liệu an toàn, chẳng hạn như nước và carbon dioxide.

4. Kết luận

Vật liệu multiferroic composit $\text{Ni}_{0,6}\text{Zn}_{0,4}\text{Fe}_2\text{O}_4/0,5\text{Ba}(\text{Zr}_{0,2}\text{Ti}_{0,8})\text{O}_3$ - $0,5(\text{Ba}_{0,7}\text{Ca}_{0,3})\text{TiO}_3$ được tạo ra bằng phương pháp nghiền cơ năng lượng cao kết hợp xử lý nhiệt. Các phép đo XRD đã cho thấy sự tồn tại độc lập giữa các pha NZFO và BZT-BCT trong vật liệu tổng hợp NZFO/BZT-BCT. Độ phân cực điện và từ hóa của vật liệu tổ

hợp được nhận thấy là cải thiện khi tăng hàm lượng NZFO. Hơn nữa, hoạt tính xúc tác của vật liệu tổng hợp NZFO/BZT-BCT dưới ánh sáng cực tím cao hơn đáng kể so với BZT-BCT nguyên chất. Sự phân hủy thuốc nhuộm RhB của vật liệu tổng hợp NZFO/BZT-BCT đạt khoảng 99% sau khi tiếp xúc với bức xạ UV trong 180 phút. Những vật liệu tổ hợp này có thể được thu hồi dễ dàng bằng cách sử dụng từ trường bên ngoài, cung cấp phương pháp thu hồi đơn giản. Hơn nữa, việc giảm đáng kể năng lượng độ rộng vùng cấm và tăng cường hằng số tốc độ phân hủy (k_p) đã chứng minh vai trò của pha sắt từ NZFO trong vật liệu tổ hợp này. Những kết quả này cho thấy vật liệu tổ hợp NZFO/BZT-BCT có tiềm năng lớn trong việc phân hủy thuốc nhuộm hữu cơ tổng hợp và xử lý nước bị ô nhiễm dưới tia cực tím.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 103.02-2021.145. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A.V. Mohod, M. Momotko, N.S. Shah, et al. (2023), "Degradation of rhodamine dyes by advanced oxidation processes (AOPs) - Focus on cavitation and photocatalysis - A critical review", *Water Resour.*, **30**, DOI: 10.1016/j.wri.2023.100220.
- [2] T. Islam, M.R. Repon, T. Islam, et al. (2023), "Impact of textile dyes on health and ecosystem: A review of structure, causes, and potential solutions", *Environ. Sci. Pollut. Res.*, **30**, pp.9207-9242, DOI: 10.1007/s11356-022-24398-3.
- [3] D.T.M. Hue, T.V. Dung, N.K. Nga, et al. (2018), "Enhanced photocatalytic activity for degradation of organic dyes using magnetite $\text{CoFe}_2\text{O}_4/\text{BaTiO}_3$ composite", *J. Nanosci., Nanotechnol.*, **18**, DOI: 10.1166/jnn.2018.15542.
- [4] T. Yan, X. Ye, E. He, et al. (2024), "3D-printed $(\text{CoCrFeMnNi})_3\text{O}_4/\text{C-GR}$ dual core-shell composites: Multilevel control and mechanisms of microwave absorption performance", *Chem. Eng. J.*, **497**, DOI: 10.1016/j.cej.2024.154777.
- [5] R. Sharma, S. Singhal (2013), "Structural, magnetic and electrical properties of zinc doped nickel ferrite and their application in photo catalytic degradation of methylene blue", *Physica B Condensed Matter*, **414**, pp.83-90, DOI: 10.1016/j.physb.2013.01.015.
- [6] R. Mondal, B. Murty, V. Murthy (2015), "Dielectric magnetic and enhanced magnetoelectric response in high energy ball milling assisted BST-NZF particulate composite", *Mater. Chem. Phys.*, **167**, pp.338-346, DOI: 10.1016/j.matchemphys.2015.10.053.
- [7] N. Eskandari, G. Nabiyou, S. Masoumi, et al. (2019), "Preparation of a new magnetic and photo-catalyst $\text{CoFe}_2\text{O}_4\text{-SrTiO}_3$ perovskite nanocomposite for photo-degradation of toxic dyes under short time visible irradiation", *Composites Part B*, **176**, DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.107343.
- [8] X. Li, G. Wang, Y. Cheng (2013), "Preparation and characteristics of $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-BaTiO}_3$ heterostructural nanocomposite as photocatalyst", *Res. Chem. Intermed.*, **41**, pp.3031-3039, DOI: 10.1007/s11164-013-1412-9.
- [9] Y.X. Song, W.Q. Ma, J.J. Chen, et al. (2021), "Photocatalytic activity of perovskite SrTiO_3 catalysts doped with variable rare earth ions", *Rare Met.*, **40(5)**, pp.1077-1085, DOI: 10.1007/s12598-020-01674-0.

Tiền xử lý nước thải sơ chế cao su thiên nhiên tách protein và đánh giá khả năng xử lý sinh học kỵ khí nước thải sau tiền xử lý

Trần Minh Đức, Trần Phương Thảo, Đàm Thúy Hằng, Nguyễn Lan Hương*

Trường Hóa và Khoa học Sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội, số 1 Đại Cồ Việt, phường Bạch Mai, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 8/1/2025; ngày chuyển phản biện 9/1/2025; ngày nhận phản biện 26/1/2025; ngày chấp nhận đăng 30/1/2025

Tóm tắt:

Nước thải từ quá trình sơ chế cao su thiên nhiên tách protein (DPNR) có tính kiềm, hàm lượng ô nhiễm hữu cơ cao, đặc biệt có chứa các hợp chất khó phân hủy như sodium dodecyl sulfate (SDS), acetone, cao su dư dạng huyền phù. Các hợp chất trên khiến nước thải sơ chế DPNR khó có thể xử lý sinh học theo các công nghệ hiện tại. Do đó, nghiên cứu này đề xuất phương án tiền xử lý nước thải sơ chế DPNR bằng các chất keo tụ như CaCl_2 và Poly Aluminium Chloride (PAC) trước khi xử lý sinh học. Kết quả cho thấy, khi sử dụng CaCl_2 hoặc PAC ở nồng độ lần lượt là 4 và 10 g/l có khả năng loại bỏ chất rắn lơ lửng và SDS trong nước thải sơ chế DPNR. Trong đó, ở nồng độ CaCl_2 4 g/l có khả năng thu hồi cao su dư tốt nhất. Hiệu quả loại bỏ COD, SDS, chất rắn lơ lửng (TS), nitơ tổng (TN) và N-NH_4^+ lần lượt đạt 92,0; 98,8; 90,1; 58,8 và 64,1%. Nước thải sau quá trình tiền xử lý được pha loãng khoảng 15 lần, và được đánh giá khả năng xử lý sinh học bằng bùn kỵ khí có hiệu quả loại bỏ COD đạt 48,4% sau 7 ngày tại COD ban đầu là 994 ± 4 mg/l, với lượng CH_4 sinh ra 125,4 ml/l.

Từ khóa: natri dodecyl sulfat, nước thải sơ chế cao su thiên nhiên tách protein (DPNR), tiền xử lý, xử lý sinh học kỵ khí.

Chỉ số phân loại: 2.4, 2.7, 2.8

Pretreatment of deproteinised natural rubber wastewater and evaluation of its anaerobic treatment performance

Minh Duc Tran, Phuong Thao Tran, Thuy Hang Dam, Lan Huong Nguyen*

School of Chemistry and Life Sciences, Hanoi University of Science and Technology, 1 Dai Co Viet Street, Bach Mai Ward, Hanoi, Vietnam

Received 8 January 2025; revised 26 January 2025; accepted 30 January 2025

Abstract:

Deproteinised natural rubber (DPNR) wastewater has a high pH and contains high concentrations of organic compounds, particularly biodegradation-resistant compounds such as sodium dodecyl sulfate (SDS), acetone, and suspended residual rubber particles. These compounds hinder the biological treatment of DPNR wastewater using conventional methods. Therefore, this study proposes a pre-treatment method for DPNR wastewater using coagulants such as CaCl_2 and Poly Aluminium Chloride (PAC), prior to biological treatment. The results indicate that using CaCl_2 or PAC at concentrations of 4 and 10 g/l, respectively, effectively removes suspended solids and SDS from the DPNR wastewater. Among these, CaCl_2 at a concentration of 4 g/l achieved the best residual rubber recovery. The removal efficiencies for COD, SDS, total suspended solids (TS), total nitrogen (TN), and N-NH_4^+ were 92.0, 98.8, 90.1, 58.8, and 64.1%, respectively. After pre-treatment, the wastewater was diluted approximately 15 times and evaluated for its anaerobic biodegradation potential, showing a COD removal efficiency of 48.4% after 7 days at an initial COD of 994 ± 4 mg/l, with a methane production of 125.4 ml/l.

Keywords: anaerobic treatment, deproteinised natural rubber wastewater, pre-treatment, sodium dodecyl sulfate.

Classification numbers: 2.4, 2.7, 2.8

*Tác giả liên hệ: Email: huong.nguyenlan@hust.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Cao su thiên nhiên có các ưu điểm nổi trội về độ đàn hồi, độ bền cơ học cao, và thân thiện với môi trường nên dù có giá cao hơn cao su nhân tạo vẫn được sử dụng nhiều trong các ngành công nghiệp và đời sống [1]. Tuy nhiên, protein trong cao su thiên nhiên có thể gây dị ứng cho người sử dụng, đặc biệt là trong các sản phẩm y tế như găng tay, hay các dụng cụ phẫu thuật. Nhằm đảm bảo an toàn cho người sử dụng, các nghiên cứu sơ chế DPNR bằng phương pháp hoá học hoặc enzyme đã được thực hiện [2]. Việc tách protein cũng giúp cao su thiên nhiên mềm hơn, tạo màng tốt hơn, phù hợp để ứng dụng trong y dược [3, 4]. Một trong các phương pháp hiệu quả để loại protein khỏi cao su thiên nhiên là sử dụng ure, acetone và chất hoạt động bề mặt ion âm SDS kết hợp với quá trình ủ và ly tâm [5]. Tuy nhiên, các hợp chất trên cùng với protein và cao su còn sót lại trong nước thải từ quá trình sơ chế DPNR sẽ gây ô nhiễm môi trường nếu không được xử lý.

Hiện nay đã có rất nhiều nghiên cứu về xử lý nước thải sơ chế cao su bằng phương pháp sinh học, đặc biệt là xử lý kỵ khí, vừa hạn chế mùi hôi, vừa thu hồi được năng lượng dưới dạng khí metan [6], tuy nhiên với nước thải sơ chế DPNR thì còn khá hạn chế do thành phần nước thải khó phân huỷ. Do có chất hoạt động bề mặt như SDS, các hạt cao su được phân tán ổn định và không thể đánh đông hiệu quả. Hơn nữa, SDS cũng gây ức chế sinh trưởng của vi sinh vật [7, 8], do đó, việc loại bỏ SDS khỏi nước thải sơ chế DPNR là cần thiết để tiếp tục xử lý sinh học kỵ khí. Phương pháp keo tụ bằng các chất keo tụ cation là một trong các phương pháp hiệu quả để loại bỏ chất hoạt động bề mặt ion âm này. M. Hatamoto và cs (2012) [9] đã sử dụng CaCl_2 làm chất keo tụ để tiền xử lý nước thải sơ chế DPNR sau khi trung hoà pH về 7. Phần cao su dư và SDS được loại bỏ bằng cách bổ sung CaCl_2 với tỷ lệ $\text{Ca}^{2+}/\text{SDS}$ và $\text{Ca}^{2+}/\text{khối lượng cao su}$ tương ứng là 0,070 và 0,055. Sau đó, các chất hữu cơ trong nước thải sơ chế DPNR được chuyển hóa kỵ khí thành khí metan trong hệ thống xử lý kỵ khí với dòng chảy ngược qua lớp bùn hoạt tính (Upflow Anaerobic Sludge Blanket - UASB), với hiệu quả loại COD cao nhất đạt $92,2 \pm 1,7\%$ với tải trọng hữu cơ là $6,8 \pm 1,8 \text{ kgCOD/m}^3/\text{d}$ và thời gian lưu nước là 12 giờ. Ngoài ra, việc bổ sung Ca^{2+} , hoá chất chứa ion Al^{3+} , như PAC ($[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$) cũng được sử dụng phổ biến trong xử lý nước thải. PAC chứa ion Al^{3+} có thể trung hòa các hạt lơ lửng mang điện tích âm, giúp chúng tạo bông và kết tủa, dễ dàng loại bỏ khỏi dung dịch. Ưu điểm của các hợp chất chứa nhôm là khả năng kết keo tụ cao, ít độc, chi phí thấp, dễ dàng kiểm soát trong quá trình keo tụ [10, 11]. PAC đã được ứng dụng trong xử lý nước thải công nghiệp cao su để làm chất keo tụ, với các nồng độ từ 200 tới 1250 mg/l kết hợp với điều chỉnh tăng pH bằng NaOH tới 7,0 hoặc $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tới 6,5 trong nghiên cứu của I.P. Wimalaweera và cs (2024) [12], hiệu quả loại COD 10-55% và TSS 30-60%. Tuy nhiên, do quy trình sơ chế DPNR có bổ sung các hoá chất nhằm loại bỏ protein, nên nước thải sơ chế DPNR có pH kiềm và có chứa SDS cũng như hàm lượng ô nhiễm nitơ cao hơn so với nước thải công nghiệp cao su thông thường, vì vậy cần có thêm nghiên cứu về ứng dụng của PAC

với nước thải sơ chế DPNR. Bên cạnh đó, nhằm tăng hiệu quả loại protein, O. Chaikumpollert và cs (2012) [5] đã sử dụng thêm acetone làm dung môi để tăng khả năng kết tủa protein, ngoài SDS và ure. Nghiên cứu của N.P.H. Dao và cs (2023) [13] đã đánh giá khả năng phân huỷ acetone kỵ khí ở ngưỡng 0,05; 0,1; 0,15 và 0,25% trong nước thải cao su nhân tạo khi trộn cùng acetate và propionate, đồng thời nhận thấy acetone khó phân huỷ nhất trong ba nguồn hữu cơ, và chỉ có thể phân huỷ lượng nhỏ sau khi bổ sung thêm Fe_3O_4 . Nhưng nghiên cứu này chưa đánh giá được khả năng phân huỷ trong nước thải sơ chế DPNR thực tế khi có lẫn hoá chất khác như SDS và ure.

Hiện nay, ngoài nghiên cứu của M. Hatamoto và cs (2012) [9] về tiền xử lý và xử lý sinh học nước thải sơ chế DPNR chứa SDS và nghiên cứu của N.P.H. Dao và cs (2023) [13] về xử lý sinh học nước thải sơ chế cao su thiên nhiên chứa acetone, chưa có nghiên cứu nào về tiền xử lý và xử lý sinh học với nước thải sơ chế DPNR chứa cả SDS và acetone. Chính vì vậy, nghiên cứu này tập trung tìm ra phương án tiền xử lý hiệu quả cho nước thải sơ chế DPNR chứa các chất ô nhiễm khó phân huỷ là SDS và acetone từ đó đánh giá khả năng xử lý sinh học của nước thải sau tiền xử lý.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Mủ cao su thiên nhiên có hàm lượng chất khô 60% là sản phẩm thương mại của Công ty Cổ phần cao su Merufa, được sử dụng làm nguyên liệu thô để sơ chế, tạo cao su DPNR theo quy trình của T.T. Nghiem và cs (2022) [3] và nước thải từ quá trình này được thu hồi dùng trong nghiên cứu này. Thí nghiệm được tiến hành tại Phòng Thí nghiệm thuộc Trung tâm Khoa học và Công nghệ Cao su, Trường Hóa và Khoa học sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội. Nước thải sơ chế DPNR dùng trong nghiên cứu này được thu hồi sau các lần ly tâm và chứa trong bình 5 l, bảo quản ở từ 4°C . Các thông số đặc tính nước thải sơ chế DPNR được mô tả ở bảng 1.

Bảng 1. Đặc tính nước thải sơ chế cao su thiên nhiên hóa thạch.

Thông số	Nước thải sơ chế DPNR		QCVN 01 - MT:2015/BTNMT [16]	
	Nghiên cứu này	M. Hatamoto và cs (2012) [9]	Loại A	Loại B
pH (mg/l)	10,2±0,1	10,3±0,1	6-9	6-9
COD (mg/l)	190300±39300	131700±31700	75 (a) 100 (b)	200 (a) 250 (b)
TS (mg/l)	52700±1300	49900±8880	50	100
TN (mg/l)	6700±700	3620±840	40 (a) 50 (b)	60 (a) 80 (b)
N-NH ₄ ⁺ (mg/l)	1121±298	1710±410	10 (a) 15 (b)	40 (a) 60 (b)
SDS (mg/l)	3517±104	6570±3280	-	-

(-) không áp dụng, (a) dành cho cơ sở mới, (b) dành cho cơ sở đang hoạt động, cột A: quy định giá trị của các thông số ô nhiễm trong nước thải sơ chế cao su thiên nhiên khi xả ra nguồn nước được dùng cho mục đích cấp nước sinh hoạt; Cột B: quy định giá trị của các thông số ô nhiễm trong nước thải sơ chế cao su thiên nhiên khi xả ra nguồn nước không dùng cho mục đích cấp nước sinh hoạt.

Bùn kỵ khí cho đánh giá khả năng phân huỷ sinh học của nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý được lấy từ hệ thống UASB tại phòng thí nghiệm ở Trung tâm Khoa học và Công nghệ Cao su, Trường Hóa và Khoa học sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội. Nồng độ chất rắn lơ lửng (MLSS) và nồng độ chất rắn lơ lửng bay hơi (MLVSS) của bùn lần lượt là 27770 và 17460 mg/l. Hỗn hợp bùn sau đồng hóa mang đi ly tâm với tốc độ 6000 vòng/phút, 10 phút ở 4°C. Bùn được rửa bằng đệm phosphate ba lần, bỏ phần dịch trong có chất hữu cơ sẵn trong bùn, thu hồi bùn. Bùn sau rửa được pha loãng bằng đệm phosphaste đến MLSS 1000 mg/l.

2.2. Nghiên cứu điều kiện tiền xử lý nước thải sơ chế DPNR

Lựa chọn hoá chất tiền xử lý: Nước thải sơ chế DPNR được tiền xử lý bước đầu bằng hoá chất keo tụ CaCl_2 hoặc PAC ($[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$, 26-30% Al_2O_3), theo các hàm lượng lần lượt là 5; 10; 15 và 20 g/l. Lần lượt bổ sung chất keo tụ vào 50ml nước thải sơ chế DPNR, khuấy trong 5 phút và để yên trong 12 giờ. Bước đầu, chất keo tụ với hàm lượng cho hiệu quả loại bỏ chất rắn cao nhất được lựa chọn để thực hiện thí nghiệm tiếp theo. Sau đó, tiến hành thử nghiệm giảm hàm lượng chất keo tụ PAC ở 5; 7; 9; 10 mg/l và CaCl_2 ở 3; 4; 5 mg/l và rút ngắn thời gian ủ hoá chất xuống 3 giờ và 1 giờ để tìm được điều kiện tiền xử lý tối ưu nhất.

Sau tiền xử lý, các mẫu được lọc bằng giấy lọc, phần nước sau lọc với thể tích nhất định đem sấy khô trong cốc sấy đến khối lượng không đổi. Các mẫu được lặp lại ba lần. Các mẫu thí nghiệm được đánh giá hiệu quả loại bỏ chất rắn theo công thức (1).

$$\text{Hiệu quả loại bỏ chất rắn (\%)} = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

trong đó: m_0 : Hàm lượng chất rắn trong nước thải sơ chế DPNR (mg/l); m_1 : Hàm lượng chất rắn trong nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý và lọc (mg/l), nước thải thu được sau quá trình tiền xử lý với điều kiện đã tối ưu (chất keo tụ với hàm lượng ít nhất và thời gian ủ ngắn nhất) được đem đi phân tích các thông số pH, COD, BOD, SDS, TS, TN, và N-NH_4^+ .

2.3. Đánh giá khả năng xử lý sinh học kỵ khí nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý

Khả năng xử lý sinh học bằng bùn hoạt tính đối với nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý được xác định thông qua hiệu quả loại COD và lượng khí CH_4 sinh ra khi nuôi trong bình kỵ khí dựa theo phương pháp của H. Harada và cs (1994) [14]. Tổng thể tích của mỗi bình kỵ khí là 120 ml, chứa 25 ml nước thải sơ chế DPNR sau quá trình tiền xử lý được pha loãng 15 lần tới COD khoảng 1000 mg/l và 25 ml bùn giống (MLSS 1000 mg/l). Nước thải sơ chế DPNR được pha loãng nhằm giảm hàm lượng ô nhiễm, phù hợp khi khởi động hệ thống xử lý kỵ khí. Mẫu kiểm chứng chỉ chứa 50 ml nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý. Các bình này được đậy kín bằng nút nhôm và nút cao su, điều chỉnh pH đến 7,0 bằng NaOH 0,5 M hoặc HCl 0,5 M và loại oxy bằng sục khí nitơ trong 2 phút. Các mẫu được lặp ba lần, nuôi lắc 120 vòng/phút ở nhiệt độ 35°C. Thể tích khí sinh ra và thành phần khí được xác định 24 giờ/lần tới khi không thấy khí sinh thêm thì xác định COD còn lại trong bình.

2.4. Phương pháp phân tích

pH được xác định bằng máy đo pH meter (Sartorius, Nhật Bản). COD, TN và N-NH_4^+ được phân tích bằng cách sử dụng bộ kit (Hach, Mỹ) lần lượt theo phương pháp Dichromate, Persulfate Digestion và Nessler sử dụng máy phá mẫu DRB200 và máy so màu DR2800. Hàm lượng SDS được xác định bằng cách sử dụng kit PONAL KIT-ABS (Dojindo, Nhật Bản). TS được xác định bằng hàm lượng chất rắn còn trong cốc sấy sau khi sấy một lượng thể tích nước thải nhất định ở 105°C tới khối lượng không đổi [15]. MLSS được xác định bằng nồng độ bùn có trong một thể tích nhất định sau khi sấy ở 105°C tới khối lượng không đổi, MLVSS được xác định bằng nồng độ chất bay hơi có trong bùn trong một thể tích nhất sau khi nung ở 600°C tới khối lượng không đổi. Các bước xác định MLSS và MLVSS là được thực hiện theo quy trình [15]. Thể tích khí sinh ra được đo bằng xi lanh thủy tinh và thành phần khí được xác định bằng máy sắc kí khí GC-8A (Shimadzu, Nhật Bản).

3. Kết quả và bàn luận

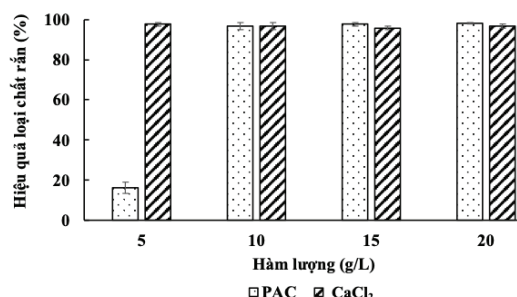
3.1. Đặc tính nước thải sơ chế DPNR

Đặc tính nước thải sơ chế DPNR được đánh giá và so sánh với nghiên cứu của H. Hatamoto và cs (2012) [9] cũng như quy chuẩn xả thải của nước thải sơ chế cao su thiên nhiên (QCVN 01-MT:2015/BTNMT) được thể hiện ở bảng 1. Số liệu trong bảng 1 cho thấy, nước thải sơ chế DPNR có mức độ ô nhiễm cao, pH trong nước thải đạt $10,2 \pm 0,1$. COD, TS và TN trong mẫu phân tích lần lượt đạt 190300 ± 39300 ; 52700 ± 1300 và 6700 ± 700 mg/l cao hơn so với nghiên cứu của M. Hatamoto và cs (2012) [9]. Lý do có thể giải thích là có thể do sự khác nhau về quy trình sơ chế DPNR cũng như loại cao su thiên nhiên sử dụng trong hai nghiên cứu. Trong nghiên cứu này, aceton được bổ sung vào DPNR để tăng khả năng loại protein trong quá trình xuất DPNR dẫn đến sự gia tăng COD và TN, có thể là aceton dư và protein tách từ cao su thiên nhiên. Trong khi đó, hàm lượng SDS là 3517 ± 104 mg/l thấp bằng nửa so với nghiên cứu của M. Hatamoto và cs (2012) [9]. Nhìn chung, cả hai mẫu nước thải đều có mức độ ô nhiễm lớn vì vậy nước thải sơ chế DPNR cần được xử lý trước khi đi vào nguồn tiếp nhận để có thể đạt các thông số quy định xả thải theo QCVN 01-MT:2015/BTNMT [16].

3.2. Nghiên cứu điều kiện tiền xử lý nước thải sơ chế DPNR

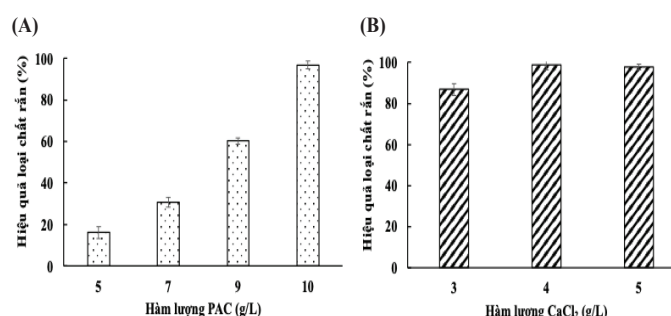
Nghiên cứu này sử dụng các chất keo tụ để loại bỏ phần chất rắn. Kết quả tiền xử lý nước thải sơ chế DPNR sử dụng PAC hoặc CaCl_2 ở các hàm lượng khác nhau được thể hiện trong hình 1. Ở hàm lượng hoá chất tiền xử lý là 5 g/l, hiệu quả loại bỏ chất rắn ở mẫu sử dụng CaCl_2 thu được là lớn nhất đạt 97,7% và hiệu quả không tăng lên dù tăng hàm lượng CaCl_2 . Trong khi đó khi bổ sung 5 g/l PAC, hiệu quả loại chất rắn chỉ đạt 16,1%. Khi tăng hàm lượng PAC lên 10 g/l, hiệu quả chất rắn được loại bỏ được tăng lên rõ rệt tới 96,8%. Nhìn chung, hàm lượng PAC 10 g/l và CaCl_2 5 g/l trở lên là hiệu quả trong tiền xử lý nước thải sơ chế DPNR. Tuy nhiên, mục tiêu của nghiên cứu là lựa chọn hoá chất có khả năng loại bỏ chất rắn cao trong khi hàm lượng hoá chất sử dụng

thấp. Vì vậy, ở thí nghiệm tiếp theo, tiến hành đánh giá khả năng tiền xử lý nước thải sơ chế DPNR của PAC ở hàm lượng thấp hơn 10 g/l hoặc CaCl_2 ở hàm lượng thấp hơn 5 g/l.



Hình 1. Hiệu quả loại chất rắn (%) của các mẫu nước thải sau khi tiền xử lý với PAC và CaCl_2 ở các hàm lượng 5; 10; 15 và 20 g/l sau 12 giờ.

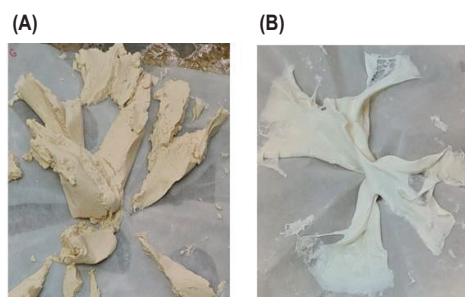
Hiệu quả loại bỏ chất rắn của các mẫu nước thải sau khi tiền xử lý với PAC ≤ 10 g/l và $\text{CaCl}_2 \leq 5$ g/l sau 12 giờ được chỉ ra trong hình 2.



Hình 2. Hiệu quả loại chất rắn (%) của các mẫu nước thải sau khi tiền xử lý với PAC ≤ 10 g/l (A) và $\text{CaCl}_2 \leq 5$ g/l (B) sau 12 giờ.

Khi tăng hàm lượng PAC từ 5 đến 7 g/l hiệu quả loại bỏ chất rắn được cải thiện tăng từ 16,1 đến 30,8% và tăng tới 60,2% ở hàm lượng PAC sử dụng là 9 g/l. Tuy nhiên, hiệu quả loại bỏ chất rắn của mẫu nước thải sơ chế DPNR tiền xử lý với PAC vẫn đạt cao nhất ở hàm lượng PAC sử dụng là 10 g/l. Trong khi đó, với mẫu nước thải sơ chế DPNR tiền xử lý với CaCl_2 ở hàm lượng 3; 4 và 5 g/l hiệu quả loại bỏ chất rắn đạt 86,8; 98,7 và 97,7%. Như vậy, với mẫu CaCl_2 ở hàm lượng 4 g/l tương đương hàm lượng Ca^{2+} là 1441 mg/l cho hiệu quả loại chất rắn trong nước thải sơ chế DPNR tốt nhất. Tỷ lệ $\text{Ca}^{2+}/\text{SDS}_{\text{loại đi}}$ trong nghiên cứu này là 0,42 (g/g), trong khi tỷ lệ này ở nghiên cứu của M. Hatamoto và cs (2012) [9] là 0,36 (g/g) (tính từ 2380 mg Ca^{2+} /l loại được 6570 mg SDS/l). Vì acetone là dung môi kỵ nước, nên sự tồn tại của acetone trong nước thải có thể dẫn đến những thay đổi về tính kỵ nước của các chất rắn lơ lửng trong nước thải sơ chế DPNR. Tính kỵ nước tăng có thể dẫn đến giảm tương tác với các chất keo tụ dạng ion như PAC và CaCl_2 . Ngoài ra, trong quá trình thí nghiệm, nhận thấy cao su thu hồi sau lọc của khi bổ sung CaCl_2 vẫn màu trắng và giữ được độ đàn hồi, trong khi bổ sung PAC cao su có màu vàng và cứng (hình 3). Trong sản xuất cao su, CaCl_2 ngoài đóng vai trò là chất keo tụ, còn là chất ổn định, chất làm đặc, chất điều chỉnh pH và chất hút ẩm [17]. Vì vậy lựa chọn CaCl_2 4g/l để tiền xử lý nước thải sơ chế

DPNR. Để tối ưu phương án tiền xử lý, thời gian ủ mẫu tiếp tục được rút ngắn từ 12 giờ xuống còn 3 giờ và 1 giờ. Kết quả cho thấy, thời gian ủ mẫu 1 giờ là đủ để phân lớp cao su trong dung dịch và có thể lọc loại bỏ chất rắn.



Hình 3. Chất rắn thu hồi sau tiền xử lý với PAC (A) và CaCl_2 (B).

Đặc tính nước thải sơ chế DPNR sau quá trình tiền xử lý với CaCl_2 4 g/l được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Đặc tính nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý.

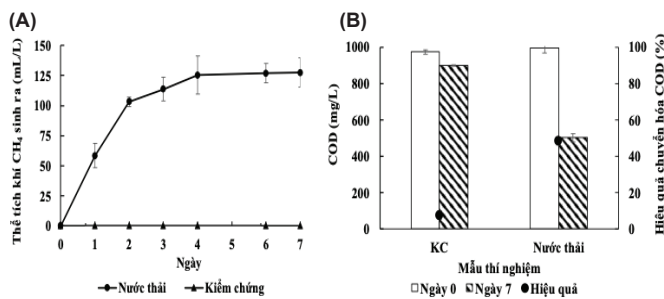
Thông số	Nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý trong nghiên cứu này		M. Hatamoto và cs (2012) [9]	
	Hàm lượng (mg/l, trừ pH)	Hiệu quả (%)	Hàm lượng (mg/l, trừ pH)	Hiệu quả (%)*
pH	8,8±0,1	-	6,5±0,1	-
COD	15210±4761	92,0±2,5	9690±380	92,6
SDS	56±6	98,8±0,1	0	100,0
TS	5200±1800	90,1±3,4	33200±5340	33,5
TN	2758±358	58,8±5,3	2600±250	28,2
N-NH ₄ ⁺	2528±9	64,1±0,3	1750±340	-2,3

Tính toán dựa trên hàm lượng của các thông số trước và sau tiền xử lý trong nghiên cứu của M. Hatamoto và cs (2012) [9].

Bảng 2 chỉ ra rằng, các thông số pH, COD, SDS, TS, TN và N-NH₄⁺ trong nước thải sau tiền xử lý đã giảm đi đáng kể so với nước thải ban đầu, tuy nhiên vẫn vượt quá QCVN 01-MT:2015/BTNMT. Hiệu quả loại bỏ TS, TN và N-NH₄⁺ lần lượt đạt 90,1; 58,8 và 64,1%, cao hơn nghiên cứu của M. Hatamoto và cs (2012) [9] với hiệu quả loại bỏ TS, TN và N-NH₄⁺ lần lượt là 33,5; 28,2 và -2,3%. Tuy nhiên, hiệu quả xử lý COD (92,0±2,5%) và SDS (98,8±0,1%) chưa cao bằng nghiên cứu trước của M. Hatamoto và cs (2012) [9], COD - 92,6%, SDS - 100%. Các thông số của nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý vẫn còn vượt quá QCVN 01-MT:2015/BTNMT [16], hàm lượng ô nhiễm hữu cơ và nitơ trong nước thải còn khá cao, cần được tiếp tục xử lý trước khi thải ra môi trường. Phương pháp xử lý sinh học bằng hệ vi sinh vật kỵ khí đã được sử dụng rộng rãi đối với nước thải cao su thiên nhiên [6, 18], nên nghiên cứu này sẽ tiếp tục đánh giá khả năng xử lý kỵ khí của nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý.

3.3. Đánh giá hiệu quả xử lý kỵ khí nước thải sơ chế DPNR

Nước thải sơ chế DPNR sau khi tiền xử lý với CaCl_2 ở hàm lượng 4 g/l trong 1 giờ được đánh giá khả năng xử lý kỵ khí. Kết quả được chỉ ra ở hình 4.



Hình 4. Thể tích khí CH₄ sinh ra (A) và hiệu quả chuyển hóa COD (B) sau 7 ngày xử lý kỵ khí nước thải sau tiền xử lý.

Thể tích khí CH₄ sinh ra khi ủ kỵ khí nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý tăng dần theo thời gian khảo sát. Sau 24 giờ đầu tiên, thể tích CH₄ đo được là 58,4 ml, rồi tiếp tục tăng dần cho đến ngày thứ 4 và không sinh thêm khí nhiều. Trong khi đó, với mẫu kiểm chứng không phát hiện CH₄ được sinh ra (hình 4A). COD trong mẫu kiểm chứng, từ ngày 0 đến ngày 7, giảm nhẹ chỉ 7,7%. Trong khi đó, với mẫu nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý COD giảm từ 994±4 mg/l còn 502,5±22,5 mg/l, đạt hiệu quả 48,4% sau 7 ngày khảo sát. Nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý có COD khó xử lý có thể bao gồm aceton, SDS dư và các hợp chất hữu cơ khác trong cao su thiên nhiên. Trong đó aceton rất khó phân hủy sinh học, N.P.H. Dao và cs (2023) [13] cũng quan sát thấy trong các chất hữu cơ có thể có trong DPNR, chỉ aceton là không thể chuyển hoá thành CH₄ sau 5 ngày nuôi kỵ khí tại 35°C. Do đó, lượng COD còn lại chưa thể chuyển hoá thành khí CH₄ sau 7 ngày nuôi trong nghiên cứu này có thể là aceton còn dư trong nước thải. N.P.H. Dao và cs (2023) [13] đề xuất bổ sung thêm chất dẫn điện như Fe₃O₄ giúp đẩy mạnh quá trình metan hoá.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp kết tủa hoá học để tiền xử lý nước thải sơ chế DPNR bằng CaCl₂ và PAC. Kết quả chỉ ra phương án tiền xử lý bằng cách bổ sung CaCl₂ là khả thi nhất ở hàm lượng 4 g/l CaCl₂, hiệu quả loại SDS và chất rắn lơ lửng là 98,8% và 90,1%. Bên cạnh đó, chất hữu cơ có trong nước thải sơ chế DPNR sau tiền xử lý đã được pha loãng 15 lần, được phân huỷ kỵ khí loại bỏ 48,4% COD chuyển thành khí metan sau 7 ngày khảo sát. COD còn dư nhưng không thể thu hồi dưới dạng khí CH₄ có thể là aceton khó phân huỷ. Các nghiên cứu về ảnh hưởng của aceton và SDS có trong nước thải sơ chế DPNR với hệ thống xử lý sinh học cần được tiếp tục đánh giá toàn diện trong các nghiên cứu tiếp theo, với hệ thống xử lý liên tục và tăng dần tải trọng xử lý, tới khi đạt được hàm lượng ô nhiễm cao như nước thải không pha loãng.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 106.04-2021.58. Bên cạnh đó, các tác giả cảm ơn sự hỗ trợ mẫu nước thải và các thiết bị phân tích của dự án INBERBON được tài trợ bởi JICA và JST, Nhật Bản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Kurian, N.M. Mathew (2011), "Natural rubber: Production, properties and applications", *Biopolymers*, pp.403-436, DOI: 10.1002/9781118164792.ch14.
- [2] Y. Tanaka, L. Tarachiwin (2009), "Recent advances in structural characterization of natural rubber", *Rubber Chemistry and Technology*, **82**(3), pp.283-314, DOI: 10.5254/1.3548250.
- [3] T.T. Nghiem, T.N. Phan, S. Kawahara (2022), "Removal of proteins and its effect on molecular structure and properties of natural rubber", *JST: Engineering and Technology for Sustainable Development*, **32**(2), pp.8-15, DOI: 10.51316/jst.157.etsd.2022.32.2.2.
- [4] W. Pichayakorn, P. Maneewattanapinyo, C. Monton, et al. (2023), "Porous deproteinized natural rubber film loaded with silver nanoparticles for topical drug delivery", *Pharmaceutics*, **15**(11), DOI: 10.3390/pharmaceutics15112603.
- [5] O. Chaikumpollert, Y. Yamamoto, K. Suchiva, et al. (2012), "Protein-free natural rubber", *Colloid. Polym. Sci.*, **290**(4), pp.331-338, DOI: 10.1007/s00396-011-2549-y.
- [6] W. Wijerathna, T.I.P. Wimalaweera, D.R. Samarajeewa, et al. (2023), "Imperative assessment on the current status of rubber wastewater treatment: Research development and future perspectives", *Chemosphere*, **338**, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.139512.
- [7] E.M. Furmanczyk, M.A. Kaminski, G. Spolnik, et al. (2017), "Isolation and characterization of *Pseudomonas* spp. Strains that efficiently decompose sodium dodecyl sulfate", *Front. Microbiol.*, **8**, DOI: 10.3389/fmicb.2017.01872.
- [8] Q. Zhu, Z. Fan, L. Zeng, et al. (2024), "Effect of sodium dodecyl sulfate (SDS) on microbial community structure and function in lake-terrestrial ecotones: A simulation experiment", *Environ. Technol. Innov.*, **34**, DOI: 10.1016/j.eti.2024.103594.
- [9] M. Hatamoto, H. Nagai, S. Sato, et al. (2012), "Rubber and methane recovery from deproteinized natural rubber wastewater by coagulation pre-treatment and anaerobic treatment", *Int. J. Environ. Res.*, **6**(3), pp.577-584.
- [10] M.R. Audria, T. Joko, S. Sulistiyani (2022), "The effectiveness of poly aluminium chloride (PAC) on chemical oxygen demand (cod) levels of laundry wastewater in Batam city, Indonesia", *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, **7**(2), DOI: 10.22161/ijeab.
- [11] M. Lapointe, I. Papineau, S. Peldszus, et al. (2021), "Identifying the best coagulant for simultaneous water treatment objectives: Interactions of mononuclear and polynuclear aluminum species with different natural organic matter fractions", *Journal of Water Process Engineering*, **40**, DOI: 10.1016/j.jwpe.2020.101829.
- [12] I.P. Wimalaweera, Y. Wei, T. Ritigala, et al. (2024), "Enhanced pretreatment of natural rubber industrial wastewater using magnetic seed coagulation with Ca(OH)₂", *Water (Switzerland)*, **16**(6), DOI: 10.3390/w16060847.
- [13] N.P.H. Dao, T.H. Nguyen, T. Watari, et al. (2023), "Investigate the anaerobic degradation of high-acetone latex wastewater with magnetite supplement", *Chemosphere*, **339**, DOI: 10.1016/j.chemosphere.2023.139626.
- [14] H. Harada, S. Uemura, K. Momonoi (1994), "Interaction between sulfate-reducing bacteria and methane-producing bacteria in UASB reactors fed with low strength wastes containing different levels of sulfate", *Water Res.*, **28**(2), pp.355-367, DOI: 10.1016/0043-1354(94)90273-9.
- [15] American Public Health Association (1998), *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*.
- [16] Ministry of Natural Resources and Environment (2015), *National Technical Regulation on Wastewater from Natural Rubber Processing (QCVN 01-MT: 2015/BTNMT)* (in Vietnamese).
- [17] P. Kantasa, A. Obormkul, N. Tangboriboon (2025), "Multifunctional role of calcium chloride in improving the chemical, mechanical, and physical properties of natural and synthetic rubber latex for gloves and transdermal patch films", *Ind. Crops. Prod.*, **223**, DOI: 10.1016/j.indcrop.2024.120183.
- [18] D. Tanikawa, T. Kataoka, Y. Hirakata, et al. (2020), "Pre-treatment and post-treatment systems for enhancing natural rubber industrial wastewater treatment", *Process Safety and Environmental Protection*, **138**, pp.256-262, DOI: 10.1016/j.psep.2020.03.030.

Tối ưu hóa điều kiện chiết xuất polyphenol toàn phần từ rau càng cua (*Peperomia pellucida*) bằng phương pháp đáp ứng bề mặt

Nguyễn Thị Bạch Tuyết*, Hoàng Thị Phương Liên

Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, 300A Nguyễn Tất Thành, phường Xóm Chiếu, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 10/7/2024; ngày chuyển phản biện 12/7/2024; ngày nhận phản biện 5/8/2024; ngày chấp nhận đăng 9/8/2024

Tóm tắt:

Rau càng cua (*Peperomia pellucida*) là một dược liệu tiềm năng với thành phần nổi bật là hợp chất polyphenol. Thành phần này có khả năng chống oxy hóa, điều trị các bệnh viêm, chống loét dạ dày, ung thư. Nghiên cứu được thực hiện nhằm tối ưu hóa điều kiện chiết xuất hợp chất polyphenol từ rau càng cua (RCC) và đánh giá hoạt tính chống oxy hóa *in vitro*, sử dụng phương pháp đáp ứng bề mặt với sự hỗ trợ của phần mềm Design Expert. Nghiên cứu tiến hành tối ưu hóa 4 yếu tố: nồng độ ethanol, tỷ lệ dược liệu/dung môi, thời gian siêu âm, số lần siêu âm. Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm, nghiên cứu đã xây dựng được phương trình hồi quy mô tả mối quan hệ giữa hàm lượng hợp chất polyphenol và các biến tối ưu, với hệ số hồi quy R^2 là 0,8414 và giá trị $p < 0,0001$. Đồng thời dự đoán hàm lượng hợp chất polyphenol tối đa đạt được là 9,765 mg GAE/g chất khô ở các giá trị yếu tố: nồng độ ethanol 36%, tỷ lệ dược liệu/dung môi là 1/12,93 g/ml, thời gian siêu âm là 26,53 phút, số lần chiết là 3 lần. Hoạt tính chống oxy hóa với giá trị IC_{50} trung bình là 382,91 μ g/ml.

Từ khóa: đáp ứng bề mặt, polyphenol, rau càng cua, tối ưu hóa.

Chỉ số phân loại: 2.4, 2.8, 3.4

Optimisation of the extraction conditions of polyphenol compounds from *Peperomia pellucida* and evaluation of *in vitro* antioxidant activity

Thi Bach Tuyet Nguyen*, Thi Phuong Lien Hoang

Nguyen Tat Thanh University, 300A Nguyen Tat Thanh Street, Xom Chieu Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 10 July 2024; revised 5 August 2024; accepted 9 August 2024

Abstract:

Peperomia pellucida is a potential medicinal herb, with polyphenol compounds being its prominent ingredient. This ingredient has been shown to possess antioxidant properties, and to exhibit inflammatory, anti-ulcers, and anti-cancer activities. To obtain the extract with the highest polyphenol content, this study was conducted to optimise extraction parameters affecting polyphenol compounds from *Peperomia pellucida* and evaluate its antioxidant activity. Based on the response surface methodology according to Design Expert 11.0 software, this research was conducted to optimise the four independent variables, such as ethanol concentration, material-solvent ratio, ultrasonic time, and number of ultrasonics. The response surface methodology model described the relationship between the reasonable polyphenol content and the priority level of variables, with a recovery coefficient R^2 of 0.8414 and $p < 0.0001$. The model predicted the maximum polyphenol content achieved was 9.765 mg GAE/g dry matter at the factor values: ethanol concentration of 36%, material-solvent ratio of 1/12.93 g/ml, time of 26.53 mins, and number of ultrasound extractions of 3. Antioxidant activity with an average IC_{50} value of 382.91 μ g/ml.

Keywords: optimisation, *Peperomia pellucida*, polyphenol, response surface methodology.

Classification numbers: 2.4, 2.8, 3.4

*Tác giả liên hệ: Email: nbtuyet@ntt.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, việc sử dụng thuốc và các sản phẩm từ dược liệu để bảo vệ sức khỏe ngày càng gia tăng. Bởi vì dược liệu thường khá an toàn và chứa nhiều thành phần có hoạt tính sinh học cao.

Rau càng cua (*Peperomia pellucida*) là một loại rau thuộc họ Hồ tiêu (Piperaceae), được sử dụng rộng rãi trong dân gian trong chống oxy hoá, kháng khuẩn, kháng nấm [1], kháng viêm [2], hạ đường huyết [3]... Một số nghiên cứu trên RCC cho thấy, chúng chứa steroid, terpenoid, alkaloid, saponin, phenol [4]. Trong đó, thành phần polyphenol được cho là đóng góp quan trọng vào các tác động dược lý của RCC. Một số hợp chất được phân lập bao gồm apiole, methyl 10-octadecenoate, phytol, dihydroxi-3-5-dimethoxy flavone-7-O-β-rhamnose [5, 6].

Với mong muốn thu cao thủ có hàm lượng polyphenol cao nhất, nghiên cứu cần phải tối ưu hoá các điều kiện chiết xuất. Thông thường, các nhà nghiên cứu sử dụng phương pháp cổ điển kết hợp với sóng siêu âm để tối ưu hợp chất polyphenol trong dược liệu. Tuy nhiên, phương pháp truyền thống không thể hiện được rõ ràng sự tương quan giữa các yếu tố với nhau và tổng số thí nghiệm tăng nhiều khi số lượng biến gia tăng. Để giải quyết vấn đề nêu trên, phương pháp đáp ứng bề mặt đã ra đời để đánh giá sự tương tác giữa các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả quá trình, đồng thời đưa ra sự dự đoán về giá trị tối ưu của các yếu tố [7]. Từ những vấn đề nêu trên, nghiên cứu thực hiện tối ưu hoá điều kiện chiết xuất hợp chất polyphenol từ RCC bằng phương pháp đáp ứng bề mặt.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

2.1.1. Nguyên vật liệu

Cây RCC (bao gồm cả thân, lá, rễ và hoa) được thu hái tại Ấp 3, xã Qui Đức, huyện Bình Chánh, TP. Hồ Chí Minh (trước sắp nhập) vào tháng 6/2023 (hình 1A). Dược liệu sau khi thu hái được rửa sạch, cắt nhỏ và sấy ở nhiệt độ 60-70°C bằng tủ sấy Binder (Đức) đến khô (hình 1B). Sau đó, dược liệu khô được nghiền và rây qua rây số 32 để thu được bột mịn đồng nhất (hình 1C) và bảo quản trong túi kín.



Hình 1. Hình ảnh rau càng cua được sử dụng trong nghiên cứu.

2.1.2. Thiết bị, hoá chất

Hóa chất: DPPH (Sigma Aldrich), Quercetin (Sigma Aldrich), Folin-Ciocalteu (Sigma Aldrich), Gallic acid monohydrate (Himedia), Methanol (Sigma Aldrich) DMSO (Sigma Aldrich).

Thiết bị: Bể siêu âm Elmasonic S180H, Máy Elisa - BioTek, cân phân tích, cân kỹ thuật, falcon 15 ml, falcon 50 ml, eppendorf 2 ml, micropipet 1.000 µl, micropipet 100 µl, micropipet 10 µl.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Tối ưu hóa điều kiện chiết xuất rau càng cua giàu polyphenol

Sử dụng phương pháp đáp ứng bề mặt với mô hình kiểu trực quay tâm trong phần mềm Design Expert 11.0, thí nghiệm tiến hành cài đặt 4 thông số độc lập, bao gồm: tỷ lệ dược liệu/dung môi (A (g/ml): 1/5; 1/10; 1/15), độ cồn (B: 30, 60, 90%), thời gian siêu âm (C: 10, 20, 30 phút), số lần siêu âm (D: 1, 2, 3 lần). Nghiên cứu sử dụng hàm mục tiêu là hàm lượng polyphenol toàn phần TPP (mg GAE/g dược liệu khô). Các mức biến độc lập được cài đặt ở bảng 1.

Bảng 1. Ma trận bố trí thí nghiệm mã hóa các biến độc lập.

Biến độc lập	Đơn vị	Ký hiệu	Mức độ		
			-1	0	1
Tỷ lệ dược liệu/dung môi	g/ml	A	1/5	1/10	1/15
Độ cồn	%	B	30	60	90
Thời gian siêu âm	Phút	C	10	20	30
Số lần chiết	Số lần	D	1	2	3

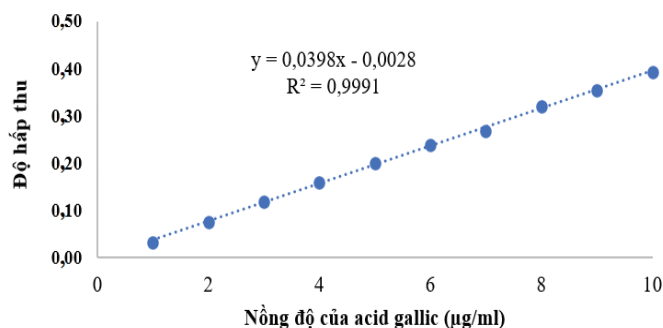
Dựa vào phương trình hồi quy đa biến trong phần mềm Design Expert, tương tác của 4 yếu tố ảnh hưởng với hàm mục tiêu là polyphenol ước tính cao nhất để xác định các thông số tối ưu. Sau đó, nghiên cứu tiếp tục chiết cao RCC với các thông số tối ưu để xác định hàm lượng polyphenol toàn phần và đánh giá hoạt tính chống oxy hoá.

Quá trình chiết xuất cao RCC: Mẫu 5 g bột thô RCC được làm ẩm bằng một lượng vừa đủ dung môi, được chiết xuất bằng phương pháp chiết hỗ trợ bằng siêu âm trên bể siêu âm Elmasonic S180H công suất 200 W. Các thông số nồng độ ethanol, tỷ lệ dung môi/dược liệu, thời gian siêu âm và số lần chiết được thay đổi như trong phần mềm. Toàn bộ dịch chiết được gộp chung, lọc, cô cách thủy và cô đặc đến khi khối lượng không đổi và tính hiệu suất chiết (H).

Hiệu suất (H) = (khối lượng cao)/(khối lượng dược liệu đã dùng × (100 - độ ẩm)% × 100%

Định lượng polyphenol tổng toàn phần: Tiến hành pha loãng các mẫu ethanol RCC với nồng độ 1000 µg/ml. Sau đó, hút lần lượt 50 µl cao thủ RCC, 250 µl thuốc thử Folin-Ciocalteu 10%, vortex đồng nhất và để yên phản ứng trong 5 phút. Tiếp tục, hỗn hợp được thêm vào 200 µl Na₂CO₃ 7,5% rồi ủ trong bóng tối 60 phút. Độ hấp thụ của hỗn hợp phản ứng được đo ở bước sóng 765 nm trên máy đọc đĩa 96 giếng. Gallic acid được sử dụng như chất chuẩn. Hàm lượng polyphenol được biểu diễn theo microgam đương lượng acid gallic trong 1 g dược liệu khô (mg GAE/g dược liệu khô) [8].

Phương trình đường chuẩn acid gallic $y=0,0398x-0,0028$; $R^2=0,9991$ (hình 2). trong đó x là nồng độ của acid gallic ($\mu\text{g/ml}$), y là độ hấp thụ đo ở bước sóng 765 nm.



Hình 2. Phương trình đường chuẩn acid gallic.

2.2.2. Hoạt tính kháng oxy hoá của cao rau càng cua bằng phương pháp DPPH

Mẫu RCC giàu polyphenol được pha trong dung môi thích hợp đạt nồng độ 1.000 $\mu\text{g/ml}$. Tiếp tục pha loãng thành các mẫu cao RCC có nồng độ 100-500 $\mu\text{g/ml}$. Hút 100 μl cao thử RCC ở nồng độ khác nhau và 100 μl DPPH 0,2 mM cho vào bình nhựa 96 giếng. Ủ 30 phút trong bóng tối và đo độ hấp thụ ở bước sóng 517 nm. Thực hiện 3 lần và lấy giá trị trung bình. Thực hiện song song với mẫu chứng (DPPH), mẫu trắng (nước cất, MeOH), mẫu so màu (cao thử, không có DPPH). Sử dụng mẫu đối chiếu là quercetin pha trong methanol.

Hoạt tính chống oxy hoá được tính theo công thức:

$$\text{HTCO (\%)} = \left(1 - \frac{OD_{\text{thử}} - OD_{\text{màu}}}{OD_{\text{chứng}} - OD_{\text{trắng}}}\right) \times 100\%$$

Thông qua kết quả thu được, xây dựng mối tương quan giữa hoạt tính chống oxy hoá và nồng độ của mẫu cao thử và từ đó xác định giá trị IC_{50} [9].

2.2.3. Phương pháp tính toán thống kê

Kết quả được xử lý thống kê theo phép kiểm ANOVA bằng phần mềm SPSS 20.0. Sử dụng phần mềm Design Expert 11.0 để sử dụng phân tích phương sai, tính toán hệ số hồi quy tương quan và đề xuất giải pháp tối ưu. Dùng trắc nghiệm T- student để so sánh kết quả thực nghiệm với kết quả dự đoán. Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê được xử lý ở mức $\alpha=0,05$.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Thiết kế và xây dựng phương trình hồi quy đa biến

Kế thừa các kết quả khảo sát đơn yếu tố, để xác định được miền biến thiên của các yếu tố thực nghiệm tương ứng các biến sẽ sử dụng trong tối ưu hóa bằng phương pháp đáp ứng bề mặt.

Dữ liệu hàm lượng polyphenol toàn phần (mg GAE/g được liệu khô) của 29 nghiệm thức được trình bày ở bảng 2.

Bảng 2. Hàm lượng polyphenol của 29 nghiệm thức từ rau càng cua.

Nghiệm thức	A (g/ml)	B (%)	C (phút)	D (lần)	TPP (mg GAE/g được liệu khô)	Nghiệm thức	A (g/ml)	B (%)	C (phút)	D (lần)	TPP (mg GAE/g được liệu khô)
1	5	30	20	2	5,26	16	10	90	30	2	4,57
2	15	30	20	2	6,82	17	5	60	10	2	3,01
3	5	90	20	2	1,61	18	15	60	10	2	7,62
4	15	90	20	2	2,10	19	5	60	30	2	2,78
5	10	60	10	1	2,29	20	15	60	30	2	7,87
6	10	60	30	1	3,90	21	10	30	20	1	4,25
7	10	60	10	3	9,84	22	10	90	20	1	2,92
8	10	60	30	3	8,78	23	10	30	20	3	8,51
9	5	60	20	1	2,47	24	10	90	20	3	4,44
10	15	60	20	1	3,76	25	10	60	20	2	6,57
11	5	60	20	3	7,64	26	10	60	20	2	5,71
12	15	60	20	3	8,16	27	10	60	20	2	5,31
13	10	30	10	2	6,68	28	10	60	20	2	6,50
14	10	90	10	2	2,33	29	10	60	20	2	6,66
15	10	30	30	2	8,21						

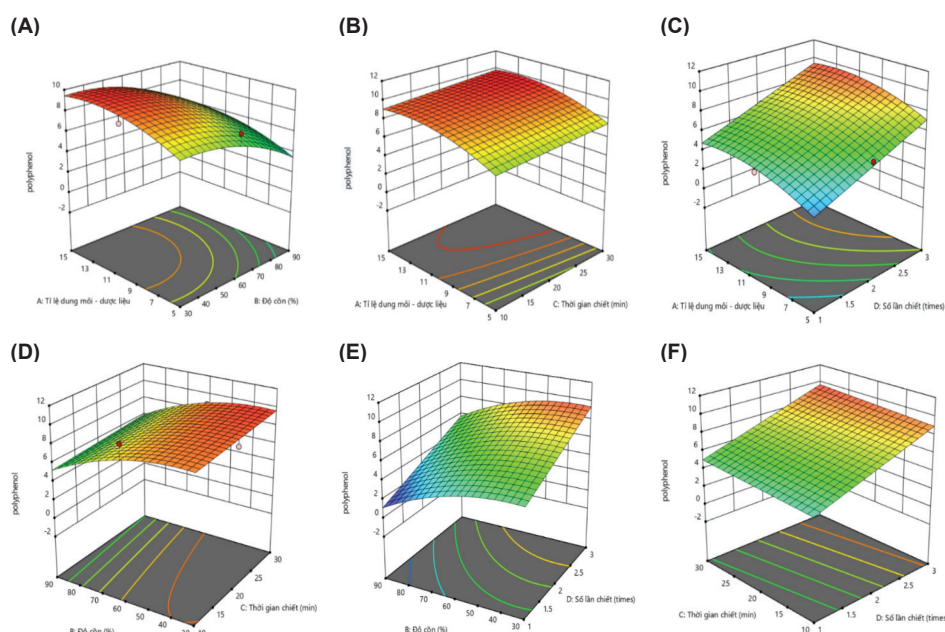
Từ số liệu thực nghiệm và từ phần mềm Design expert, phương trình hồi quy dạng bậc 2 thể hiện hàm lượng polyphenol được thiết lập như sau:

$$Y_{\text{polyphenol}} = -6,14097 + 0,998540 \times A + 0,091442 \times B + 0,03626 \times C + 2,31658 \times D - 0,038631 \times A^2 - 0,001266 \times B^2$$

Bảng 3. Phân tích các hệ số tương quan của các yếu tố đến hàm lượng polyphenol.

Nguồn	Tổng bình phương	Hệ số đf	Trung bình bình phương	Giá trị F	Giá trị P
Mô hình	134,46	8	16,81	13,26	<0,0001
A	15,31	1	15,31	12,08	0,0024
B	39,42	1	39,42	31,11	<0,0001
C	1,58	1	1,58	1,25	0,2776
D	64,40	1	64,40	50,81	<0,0001
A ²	5,62	1	5,62	4,44	0,0480
B ²	7,91	1	7,91	6,24	0,0213
C ²	0,1833	1	0,1833	0,1446	0,7078
D ²	0,0168	1	0,0168	0,0133	0,9095
Phần dư	25,53	20	1,27		
Sai số do mô hình không phù hợp (Lack of fit)	23,90	16	1,49	4,13	0,0897
Sai số thuần	1,45	4	0,3616		
Tổng hiệu chỉnh	159,81	28	R ² =0,8414		

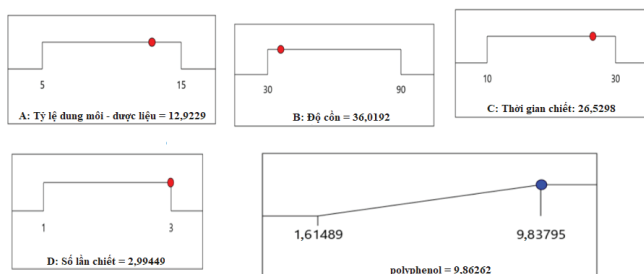
Bảng 3 cho thấy, giá trị F-value bằng 13,26 và giá trị $p < 0,0001$ chứng tỏ mô hình phương trình dạng bậc 2 có tính tương quan khá tốt với phân tích phương sai ANOVA, có ý nghĩa thống kê. Ngoài ra, giá trị Lack of fit của mô hình bằng $0,0897 > 0,05$, khác biệt không có ý nghĩa thống kê. Điều này cho thấy, mô hình này phù hợp và có thể dự đoán chính xác hàm mục tiêu (hàm lượng polyphenol). Phương trình đa biến bậc 2 được đề xuất có giá trị R^2 bằng 0,8414. Xét về tính tương quan R^2 , theo X. Guan và cs (2008) [10], một mô hình hồi quy đa biến theo phương pháp RSM được xem là tốt khi hệ số R^2 tối thiểu là 0,8. Hơn nữa, giá trị của hệ số



Hình 3. Đồ thị 3D biểu diễn sự ảnh hưởng của 2 yếu tố đến hàm lượng polyphenol. (A) Tương tác giữa tỷ lệ dung môi - dược liệu và độ cồn; (B) Tương tác giữa tỷ lệ dung môi - dược liệu và thời gian chiết; (C) Tương tác giữa tỷ lệ dung môi - dược liệu và số lần chiết; (D) Tương tác giữa độ cồn và thời gian chiết; (E) Tương tác giữa độ cồn và số lần chiết; (F) Tương tác giữa thời gian chiết và số lần chiết.

biến thiên của polyphenol $CV=0,6493\%$ cũng cho thấy, mô hình có độ chính xác và độ tin cậy cao (dưới 10%). Một số nghiên cứu đã chứng minh giá trị Lack of fit với $p>0,05$, $R^2>0,8$ và $CV<10\%$ thì mô hình dự đoán có tính áp dụng và thực nghiệm rất cao [11-13]. Các hệ số trong phương trình hồi quy đều có khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p<0,05$), ngoại trừ hệ số C, C2, D2. Như vậy, nồng độ ethanol, tỷ lệ dung môi, số lần chiết có ảnh hưởng lớn tới hàm lượng polyphenol.

Dựa vào phương trình đa biến bậc 2 ta thấy, khi sử dụng hợp lý tỷ lệ dung môi (A), độ cồn (B), thời gian siêu âm (C), số lần chiết (D) thì sẽ mang lại tác động tích cực, có nghĩa là làm tăng hàm lượng polyphenol. Ngược lại, nếu quá lạm dụng các yếu tố như tỷ lệ dung môi (A2), độ cồn (B2) thì sự tương tác mang lại sự tiêu cực, nghĩa là làm suy giảm hàm lượng polyphenol chiết tách từ rau càng cua. Các biểu đồ bề mặt đáp ứng 3D được tạo ra bằng cách cố định một yếu tố ở mức 0, đồng thời thay đổi 2 yếu tố khác trong phạm vi thăm dò. Các biểu đồ 3D mô tả sự thay đổi các yếu tố được thể hiện ở hình 3.



Hình 4. Hàm kỳ vọng và điều kiện tối ưu hàm lượng polyphenol.

3.2. Đánh giá hiệu quả tối ưu hoá điều kiện chiết xuất

Sử dụng phần mềm Design expert 11.0, nghiên cứu đã xác định được các thông số tối ưu như sau (hình 4): Tỷ lệ dược liệu/dung môi=1/12,9229; Độ cồn: 36,019%; thời gian siêu âm: 26,5298 phút; số lần chiết: 2,99499 lần; hàm lượng polyphenol dự đoán: 9,863 mg/g.

Để kiểm tra tính tương thích của kết quả phương trình hồi quy từ phần mềm đối với thực nghiệm, nghiên cứu tiến hành thực hiện lại quá trình chiết xuất với điều kiện tối ưu đã lựa chọn, bao gồm: 1/12,93 g/ml; nồng độ ethanol 36%; thời gian siêu âm 26,53 phút; số lần chiết là 3. Thí nghiệm được thực hiện 3 lần và kết quả trình bày ở bảng 4.

Bảng 4. Kết quả thực nghiệm và giá trị dự đoán.

Tên mẫu	Hàm lượng polyphenol/g dược liệu khô (mg/g)	Kết quả dự đoán	% sai lệch so với giá trị dự đoán
RCC ₁	9,765	9,863	0,997
RCC ₂	9,642	9,863	2,236
RCC ₃	9,755	9,863	1,092
Trung bình	9,721	9,863	1,439

RCC: rau càng cua.

Hàm lượng polyphenol toàn phần trong 3 mẫu RCC thực nghiệm đạt trung bình là 9,721 mg GAE/g dược liệu khô so với giá trị dự đoán 9,863 mg GAE/g dược liệu khô (bảng 5). Sự khác biệt giữa hàm lượng polyphenol thực nghiệm và dự đoán bằng phần mềm không có ý nghĩa thống kê (phép kiểm T-student). Hơn nữa, phần trăm sai lệch của giá trị thực so với giá trị dự đoán thấp dưới 5% và mô hình tối ưu có độ lặp lại tốt. Do đó, mô hình tối ưu trong nghiên cứu này được chấp nhận.

Bảng 5. Hiệu quả chống oxy hoá của cao rau càng cua tối ưu và quercetin.

Nồng độ (µg/ml)	HTCO (%)			Nồng độ (µg/ml)	HTCO của quercetin (%)
	RCC ₁	RCC ₂	RCC ₃		
100	16,07	18,75	18,50	1	16,70
200	21,06	32,34	32,34	2	32,02
300	31,65	42,31	42,31	3	48,97
400	41,37	52,21	52,21	4	65,61
500	61,37	60,62	61,00	5	78,01

HTCO: hoạt tính chống oxy hóa; RCC: rau càng cua.

Cao RCC của nghiên cứu thu được có hàm lượng polyphenol toàn phần cao hơn vượt trội so với nghiên cứu của I. Ahmad và cs (2017) [4]. Nghiên cứu này đã tối ưu hoá cao RCC với các dung môi khác nhau và thu được hàm lượng lần lượt 16,147 (ethyl acetate), 33,577 (1-butyl-3-methylimidazolium tetrafluoroborate), 15,734 (1-ethyl-3-methylimidazolium bromide) và 13,750 μg GAE/g (1-butyl-3 methylimidazolium bromide).

3.3. Đánh giá hoạt tính chống oxy hoá của rau càng cua tối ưu

Ba mẫu RCC₁, RCC₂, RCC₃ tối ưu tiếp tục được đánh giá hoạt tính chống oxy hoá thông qua thử nghiệm khử gốc tự do DPPH so với mẫu đối chiếu quercetin và được thể hiện ở bảng 5. Kết quả cho thấy, hoạt tính chống oxy hóa của cao RCC tỷ lệ thuận với nồng độ. Nồng độ cao càng cao, hoạt tính chống oxy hoá càng cao và ngược lại. Khi nồng độ cao RCC tăng từ 100 $\mu\text{g}/\text{ml}$ tới 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$ thì hiệu quả loại bỏ gốc tự do cũng tăng dần lần lượt là RCC₁ từ 16,07 tới 61,37%; RCC₂ từ 18,75 tới 60,62%; RCC₃ từ 18,50 tới 61,00%.

Từ đồ thị biểu diễn sự tương quan giữa hoạt tính chống oxy hoá và nồng độ của các mẫu thử, sử dụng phần mềm Excel suy ra được phương trình tuyến tính dạng $y=ax+b$. Thay $y=0\%$ vào phương trình tính được kết quả IC_{50} ở bảng 6.

Bảng 6. Giá trị IC_{50} của các cao thử.

Mẫu	Phương trình hồi quy tuyến tính	R ²	IC_{50} ($\mu\text{g}/\text{ml}$)
Quercetin	$y=15,62x+1,4019$	0,9975	3,11
Cao RCC ₁	$y=0,1014x+11,153$	0,9991	383,11
Cao RCC ₂	$y=0,1038x+10,293$	0,9898	382,53
Cao RCC ₃	$y=0,1049x+9,8131$	0,9924	383,10
Giá trị trung bình mẫu RCC			382,91

RCC: rau càng cua.

Từ các phương trình hồi quy tuyến tính được thiết lập, để tải xác định giá trị IC_{50} trung bình của 3 mẫu RCC là 382,91 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Cao tối ưu RCC cũng thể hiện hoạt tính chống oxy hoá mạnh hơn rất nhiều so với các nghiên cứu trước đây. N.S. Zaharin và cs (2020) [14] cũng đánh giá hoạt tính chống oxy hoá của cao RCC với giá trị IC_{50} là 5,57 mg/ml . M.T. Tran và cs (2022) [15] đã đánh giá hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết *P. pellucida* với giá trị EC_{50} là 730,34 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Điều này có thể giải thích do nguồn dược liệu thu hái khác nhau, quá trình chiết xuất khác nhau cũng như nghiên cứu có sử dụng thêm biện pháp hỗ trợ siêu âm để có thể chiết xuất được nhiều hợp chất polyphenol.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng được mô hình toán học mô tả ảnh hưởng của 4 nhân tố chiết (nồng độ ethanol, tỷ lệ dược liệu/dung môi, thời gian siêu âm, số lần siêu âm) đến hàm lượng polyphenol toàn phần. Các thông số được lựa chọn tối ưu bao gồm: nồng độ ethanol 36%, tỷ lệ dung môi 1/12,93 g/ml , thời gian siêu âm 26,53 phút, 3 lần siêu âm. Với các thông số này, hàm lượng polyphenol toàn phần cao nhất đạt được là 9,765 mg GAE/g dược liệu khô và thể hiện hoạt tính chống oxy hoá với giá trị IC_{50} trung bình 382,91 $\mu\text{g}/\text{ml}$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N.N.T. Nguyen, D.L. Vo, D.K. Dang, et al. (2023), "Research on preparation, antibacterial activities and antioxidant activities of *Peperomia pellucida* (L.) Kunth ethanol extract", *Cantho Journal of Medicine and Pharmacy*, **56**, pp.174-181 (in Vietnamese).
- [2] F.A. Blank, E. Maria, A. Robeto, et al. (2004), "Anti-inflammatory and analgesic activity of *Peperomia pellucida* (L.) HBK (Piperaceae)", *Journal of Ethnopharmacology*, **91(2-3)**, pp.215-218, DOI: 10.1016/j.jep.2003.12.030.
- [3] H. Sheik, S. Sikder, S. Paul, et al. (2013), "Hypoglycemic, anti-inflammatory and analgesic activity of *Peperomia pellucida* (L.) HBK (Piperaceae)", *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, **4(1)**, pp.458-463, DOI: 10.13040/IJPSR.0975-8232.4(1).458-63.
- [4] I. Ahmad, A. Yanuar, K. Mulia, et al. (2017), "Optimization of ionic liquid-based microwave-assisted extraction of polyphenolic content from *Peperomia pellucida* (L.) Kunth using response surface methodology", *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, **7(7)**, pp.660-665, DOI: 10.1016/j.apjtb.2017.06.010.
- [5] O.U. Igwe, N.M. Mgbemena (2014), "Chemical investigation and antibacterial activity of the leaves of *Peperomia pellucida* L. HBK (Piperaceae)", *Asian Journal of Chemical Pharmaceutical Research*, **2(1)**, pp.78-86.
- [6] A. Kurniawan, F.C. Saputri, Risselly, et al. (2016), "Isolation of angiotensin converting enzyme (ACE) inhibitory activity of quercetin from *Peperomia pellucida*", *International Journal of PharmaTech Research*, **9(7)**, pp.115-121.
- [7] X. Zhang, C. Gu, B. Ahmad, et al. (2017), "Optimisation of extract method for *Cynomorium songaricum* Rupr. by response surface methodology", *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, DOI: 10.1155/2017/6153802.
- [8] H.N.T. Pham, V.T. Nguyen, Q.V. Vuong, et al. (2016), "Bioactive compound yield and antioxidant capacity of *Helicteres hirsuta* Lour. stem as affected by various solvents and drying methods", *Journal of Food Processing and Preservation*, **41(1)**, DOI: 10.1111/jfpp.12879.
- [9] S.B. Kedare, R.P. Singh (2011), "Genesis and development of DPPH method of antioxidant assay", *Journal of Food Science and Technology*, **48(4)**, pp.412-422, DOI: 10.1007/s13197-011-0251-1.
- [10] X. Guan, H. Yao (2008), "Optimization of viscozyme L-assisted extraction of oat bran protein using response surface methodology", *Food Chemistry*, **106(1)**, pp.345-351, DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.05.041.
- [11] J. Lai, H. Wang, D. Wang, et al. (2014), "Ultrasonic extraction of antioxidants from Chinese sumac (*Rhus typhina* L.) fruit using response surface methodology and their characterization", *Molecules*, **19(7)**, pp.9019-9032, DOI: 10.3390/molecules19079019.
- [12] L. Zhang, Y. Jiang, X. Pang, et al. (2019), "Simultaneous optimization of ultrasound-assisted extraction for flavonoids and antioxidant activity of *Angelica keiskei* using response surface methodology (RSM)", *Molecules*, **24(19)**, DOI: 10.3390/molecules24193461.
- [13] H. Cui, T. Lu, M. Wang, et al. (2019), "Flavonoids from *Morus alba* L. leaves: Optimization of extraction by response surface methodology and comprehensive evaluation of their antioxidant, antimicrobial, and inhibition of α -amylase activities through analytical hierarchy process", *Molecules*, **24(13)**, DOI: 10.3390/molecules24132398.
- [14] N.S. Zaharin, S.A. Wakid (2020), "Antioxidant activity and toxicity studies of *Vernonia cinerea*, *Peperomia pellucida* and the combination of *Vernonia cinerea* and *Peperomia pellucida*", *Journal of Academia*, **8(1)**, pp.24-28.
- [15] M.T. Tran, T.K.T. La, T.K.A. Nguyen, et al. (2022), "Antioxidant and *in vitro* antidiabetic activities of *Peperomia pellucida* (L.) Kunth extract", *Veterinary Integrative Sciences*, **20(3)**, pp.683-693, DOI: 10.12982/VIS.2022.052.

Tinh chế biến thể alpha-toxin bất hoạt Hla_{H35LH48L} biểu hiện ở *Escherichia coli* và tạo kháng huyết thanh trên chuột

Lê Dương Vương¹, Nguyễn Thị Kim Liên¹, Phan Thị Phương Trang^{1,2}, Nguyễn Đức Hoàng^{1,2*}

¹Trung tâm Khoa học và Công nghệ Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 227 Nguyễn Văn Cừ, phường Chợ Quán, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Phòng Thí nghiệm Sinh học Phân tử, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 227 Nguyễn Văn Cừ, phường Chợ Quán, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 26/10/2024; ngày chuyển phân biện 30/10/2024; ngày nhận phân biện 11/12/2024; ngày chấp nhận đăng 18/12/2024

Tóm tắt:

Alpha-toxin (Hla) là yếu tố độc lực gây ly giải tế bào được tạo ra từ vi khuẩn *Staphylococcus aureus*, có vai trò quan trọng trong việc phát sinh các bệnh nhiễm trùng khác nhau và được xem là một nhân tố tiềm năng để phát triển vắc-xin. Nghiên cứu nhằm biểu hiện tái tổ hợp Hla_{H35LH48L} được dung hợp với His-tag ở *Escherichia coli* BL21(DE3), tinh sạch protein biến thể bất hoạt này và tạo kháng huyết thanh (serum) ở chuột. Kết quả khảo sát cho thấy, điều kiện phù hợp để biểu hiện protein Hla_{H35LH48L} là ở 30°C, nồng độ IPTG 0,05 mM và thu nhận ở 8 giờ sau cảm ứng. Dựa trên phương pháp sắc ký ái lực giữa đuôi 6xHis và Ni-NTA, protein Hla_{H35LH48L} thu được với nồng độ 1,17 mg/ml và độ tinh sạch đạt 96%. Kết quả thử nghiệm hoạt tính đối với protein được tinh sạch cho thấy, biến thể Hla_{H35LH48L} bị mất khả năng gây ly giải tế bào hồng cầu thỏ. Sau bốn lần tiêm chuột với liều 0,05 mg protein Hla_{H35LH48L} mỗi con, huyết thanh thu nhận có khả năng nhận diện kháng nguyên ở độ pha loãng 1/320.000. Kết quả của nghiên cứu này là tiền đề quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo, nhằm trung hòa Hla *in vivo* và phát triển vắc-xin phòng *S. aureus*.

Từ khóa: alpha-toxin, *Escherichia coli*, Hla_{H35LH48L}, *Staphylococcus aureus*, vắc-xin.

Chỉ số phân loại: 2.6, 2.8, 3.3

Purification of an inactive variant alpha-toxin Hla_{H35LH48L} expressed in *Escherichia coli* and generation of antiserum in mice

Duong Vuong Le¹, Thi Kim Lien Nguyen¹, Thi Phuong Trang Phan^{1,2}, Duc Hoang Nguyen^{1,2*}

¹Center for Bioscience and Biotechnology, University of Science, Vietnam National University - Ho Chi Minh City, 227 Nguyen Van Cu Street, Cho Quan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Molecular Biotechnology Laboratory, University of Science, Vietnam National University - Ho Chi Minh City, 227 Nguyen Van Cu Street, Cho Quan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 26 October 2024; revised 11 December 2024; accepted 18 December 2024

Abstract:

Alpha-toxin (Hla) is a major cytotoxic agent produced by *Staphylococcus aureus*, which plays a significant role in the pathogenesis of various infections and is regarded as a promising antigen for vaccine development. This study aims to express Hla_{H35LH48L} fused with His-tag in *Escherichia coli* BL21(DE3), purification of the inactive form, and generation of antiserum in mice. The survey results indicated that the appropriate conditions for expressing the Hla_{H35LH48L} protein were at 30°C with an IPTG concentration of 0.05 mM, and harvesting 8 hours post-induction. Based on affinity chromatography between the 6xHis tag and Ni-NTA, the Hla_{H35LH48L} protein was purified, obtaining a concentration of 1.17 mg/ml with a purity of 96%. Activity assays for the purified protein revealed that the Hla_{H35LH48L} variant lost its ability to lyse rabbit red blood cells. After four injections in mice with a dose of 0.05 mg of Hla_{H35LH48L} protein per mouse, the resulting antiserum was able to recognise the antigen with an antibody titer of 1:320,000. The results of this study serve as an important premise for further studies to neutralise Hla *in vivo* and develop a vaccine against *S. aureus*.

Keywords: alpha-toxin, *Escherichia coli*, Hla_{H35LH48L}, *Staphylococcus aureus*, vaccine.

Classification numbers: 2.6, 2.8, 3.3

* Tác giả liên hệ: Email: ndhoang@hcmus.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Staphylococcus aureus, vi khuẩn tụ cầu vàng, là vi khuẩn Gram dương mang nhiều yếu tố độc lực, đã và đang trở thành một trong những tác nhân gây bệnh phổ biến và nguy hiểm ở người. *S. aureus* là nguyên nhân hàng đầu gây ra các bệnh như nhiễm trùng huyết, viêm nội tâm mạc nhiễm khuẩn, viêm màng phổi và các bệnh liên quan đến xương khớp, da, mô mềm [1]. Theo nghiên cứu thống kê năm 2015, ước tính có 30% dân số toàn cầu nhiễm *S. aureus* [2]. Trong đó, hầu hết các quốc gia có tỷ lệ nhiễm *S. aureus* đã vượt qua con số 25% và một số ít nước lên tới 50%. Tại Việt Nam, tỷ lệ nhiễm *S. aureus* chiếm khoảng 33,8% dân số, cao hơn so với các nước Malaysia (28,7%), Hoa Kỳ (28,6%), Moldova (25,1%) và Algeria (25,8%) [3]. Điều đáng lo ngại là tỷ lệ tử vong của những bệnh nhân nhiễm *S. aureus* là khoảng 10-30%, cao hơn nhiều so với tỷ lệ tử vong do các bệnh AIDS, lao hay viêm gan do virus [4].

Để chống lại *S. aureus*, việc điều trị lâm sàng được thực hiện chủ yếu dựa trên các thể hệ kháng sinh như penicillin, amoxicillin, oxacillin, methicillin, vancomycin... Tuy nhiên, do việc lạm dụng kháng sinh quá mức đã dẫn đến tình trạng các chủng *S. aureus* kháng kháng sinh (Methicillin-resistant *S. aureus*, MRSA) lan rộng trên toàn thế giới, trong đó tỷ lệ nhiễm MRSA trên tổng số bệnh nhân nhiễm *S. aureus* ở châu Âu là 24% [5], ở Hoa Kỳ là 53% [6]. Tại Việt Nam, công trình nghiên cứu của N.T. Sơn và cs (2019) [7] cho thấy, tỷ lệ nhiễm MRSA của trẻ em trong bệnh viện ở Miền Bắc Việt Nam là 73% và Miền Nam là 39%.

Chính vì vậy, bên cạnh việc tìm kiếm thể hệ kháng sinh điều trị tiếp theo, các nghiên cứu phát triển vắc-xin kháng *S. aureus* đã và đang được quan tâm như một chiến lược lâu dài để phòng chống vi khuẩn này [8]. Trong các nghiên cứu trước đây, alpha-toxin (Hla) đã là một trong những yếu tố độc lực chính giúp *S. aureus* xâm nhiễm vào tế bào chủ và được biểu hiện ở hầu hết các chủng *S. aureus*. Đây còn là yếu tố hỗ trợ sự hình thành màng biofilm giúp *S. aureus* cư trú thành công trong tế bào chủ [9]. Bên cạnh đó, bằng việc đột biến protein Hla thay thế Histidine bằng Leucine tại vị trí His³⁵ và His⁴⁸, alpha-toxin bị mất hoạt tính tạo lỗ màng tại vị trí thụ thể ADAM-10 và không thể ly giải tế bào [10]. Do đó, việc nghiên cứu biểu hiện, tinh sạch và đánh giá các đặc tính của protein là cần thiết. Nghiên cứu này nhằm tinh chế biến thể alpha-toxin bất hoạt Hla_{H35LH48L} được biểu hiện trong vi khuẩn *Escherichia coli* và tạo kháng thể trên chuột làm tiền đề cho việc nghiên cứu phát triển vắc-xin phòng bệnh do *S. aureus*.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Chủng chủ và plasmid

Chủng chủ *E. coli* OmniMAX (Invitrogen™) được sử dụng để dòng hóa tạo plasmid. Chủng chủ *E. coli* BL21(DE3) (Thermo Scientific™) được dùng để biểu hiện các dạng alpha-toxin dưới sự điều hòa của T7 promoter. Plasmid khuôn pET28a(+) (Novagen) chứa trình tự T7 promoter và trình tự gen mã hóa đuôi 6xHis. Plasmid pHT2328 mang gen Hla_{H35LH48L} được tổng hợp.

2.2. Tạo dòng plasmid mang gen Hla_{H35LH48L}

Gen Hla_{H35LH48L} được thu nhận từ plasmid pHT2328 (được lưu trữ ở phòng thí nghiệm thông qua tổng hợp) bằng phản ứng PCR thu gen với cặp mồi đặc hiệu ON2367

(3'-TCTGACATCAACATCAAAAC-5') và ON2368 (3'-GGTGGTGGTCTCGAGTTAGACGTCGTTTGTCAATTTCTTC-5'). Sản phẩm PCR thu được và plasmid khung pET28a+ lần lượt được xử lý với hai enzyme cắt giới hạn *Xho*I và *Nde*I. Gen Hla_{H35LH48L} đã được nối với plasmid khung sườn pET28a+ bằng enzyme T4 DNA ligase. Sản phẩm nối được biến nạp vào chủng *E. coli* OmniMAX, sàng lọc trên môi trường LB-Agar có bổ sung Kanamycin (50 µg/ml). Các khuẩn lạc tiếp tục được sàng lọc bằng kỹ thuật PCR khuẩn lạc với cặp mồi đặc hiệu ON1461 (5'-GGTGATGTCGCGCATATAGGC-3') và ON2368. Khuẩn lạc có sản phẩm PCR tương ứng với kích thước lý thuyết (1175 bp) được nuôi cấy, tách plasmid bằng bộ kit QIAprep Miniprep và giải trình tự theo phương pháp Sanger bởi Công ty Macrogen Inc. (Hàn Quốc) với mồi đặc hiệu ON1462 (5'-CCGTTTAGAGGCCCAAGG-3') và ON1659 (3'-CCCGCGAAATTAATACGACTCACTATAGG-5'). Kết quả giải trình tự được so sánh, đối chiếu với trình tự đã được thiết kế.

2.3. Biểu hiện protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} trong *E. coli* BL21(DE3)/pHT2361

Plasmid pHT2361 mang gen Hla_{H35LH48L} được biến nạp vào chủng chủ *E. coli* BL21(DE3) bằng phương pháp sốc nhiệt và sàng lọc trên môi trường LB-Agar có bổ sung Kanamycin (50 µg/ml). Các khuẩn lạc tiếp tục được sàng lọc bằng PCR khuẩn lạc với cặp mồi ON1461/ ON2368. Khuẩn lạc có kết quả PCR tương ứng với kích thước lý thuyết (1175 bp) đã được sử dụng để khảo sát sự biểu hiện protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} trong *E. coli* BL21(DE3)/pHT2361 ở các điều kiện nhiệt độ (23°C, 30°C, 37°C), nồng độ IPTG cảm ứng (0; 0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1 mM) và thời gian thu mẫu sau cảm ứng (từ 0 h đến 12 h). Các mẫu khảo sát được thu nhận với cùng lượng tế bào tương ứng với 1 ml dịch nuôi cấy có OD_{600 nm} = 6 bằng phương pháp ly tâm (với tốc độ 6000×g trong 5 phút, loại bỏ dịch nổi). Các mẫu khảo sát nhiệt độ được bổ sung 500 µl lysis buffer (Tris-HCl pH 7,2; 15% sucrose), được tiến hành phá tế bào bằng sóng siêu âm (Q700, Qsonica) trong điều kiện ủ lạnh và thu nhận 100 µl mẫu tổng. Mẫu tủa và mẫu tan được phân tách bằng phương pháp ly tâm 100 µl dịch phá tế bào, với tốc độ 13000×g trong 10 phút. Phần tủa được bổ sung 100 µl lysis buffer và cả 3 mẫu tổng, tủa, tan được bổ sung 25 µl Sample 5X (250 mM Tris-HCl pH 6,8; 10% SDS; 10% (v/v) Glycerol; 10 mM DTT; 0,05% (w/v) Bromophenol Blue) và ủ biến tính ở nhiệt độ 95°C trong 5 phút trước khi tiến hành chạy SDS-PAGE. Sự biểu hiện của protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} được định lượng tương đối bằng độ đậm nhạt, kích thước của vạch protein trên gel SDS-PAGE và phân tích bằng phần mềm AlphaEase FC.

2.4. Tinh sạch protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} bằng sắc ký ái lực (IMAC)

Sinh khối của chủng *E. coli* BL21(DE3)/pHT2361 thu nhận sau nuôi cấy cảm ứng bằng IPTG được huyền phù trong Binding buffer (30 mM Tris-HCl pH 8,0; 500 mM NaCl; 5% glycerol) có bổ sung 20 µg/ml DNase I, 1 mM PMSF và phá tế bào bằng sóng siêu âm trong điều kiện lạnh. Dịch phá tế bào được ly tâm 19.000×g trong 20 phút ở 4°C và lọc qua màng lọc 0,22 µm. Dịch protein (mẫu trước cột) được đi qua cột HisTrap™ HP. Các protein có đuôi 6xHis sẽ bám lên cột và dung ly ra khỏi cột bằng imidazole với nồng độ tăng dần từ 10 đến 500 mM. Các phân đoạn dung ly protein được kiểm tra bằng phương pháp SDS - PAGE. Nồng độ protein tinh sạch được xác định bằng phương pháp đo độ hấp thụ của mẫu protein tại bước sóng 280 nm dựa trên hệ số Extinction coefficient của protein 6xHis-Hla_{H35LH48L}.

2.5. Kiểm tra hoạt tính ly giải tế bào hồng cầu thử của protein 6xHis-Hla_{H35LH48L}

Protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} được kiểm tra hoạt tính tán huyết bằng cách ủ 100 µl nồng độ 1 mg/ml trong lỗ trên đĩa thạch máu ở điều kiện 4°C, qua đêm. Thí nghiệm được thực hiện đồng thời trên các lỗ thạch khác trên cùng một đĩa thạch, với đối chứng là protein 6xHis-Hla wt và chứng âm là Binding buffer.

2.6. Gây đáp ứng miễn dịch trên chuột và thu nhận kháng huyết thanh

Protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} tinh sạch được pha loãng về nồng độ 1 mg/ml và trộn với tá chất Freund theo tỷ lệ về trọng lượng 1:1. Quy trình gây đáp ứng miễn dịch bằng phương pháp tiêm dưới da của chuột Swiss tám tuần tuổi gồm: hai lần tiêm mẫu protein với tá chất FCA (Freund's Complete adjuvant) và hai lần tiêm mẫu protein với tá chất FIA (Freund's Incomplete adjuvant); thể tích tiêm là 100 µl và các lần tiêm cách nhau hai tuần. Lô thí nghiệm thực hiện trên bốn con chuột, trong đó có một con chuột được sử dụng làm đối chứng chỉ tiêm tá chất và ba con tiêm với protein kháng nguyên Hla_{H35LH48L}. Mẫu máu được thu trước khi tiêm gây đáp ứng miễn dịch và sau khi tiêm nhắc lần cuối. Các mẫu máu này được ly tâm lạnh 6000×g trong 10 phút để tách lấy huyết thanh.

2.7. Western Blot để kiểm tra khả năng nhận diện kháng nguyên của huyết thanh

Huyết thanh chuột được gây đáp ứng miễn dịch chủ động bằng protein Hla_{H35LH48L} được kiểm tra khả năng đáp ứng miễn dịch với hai kháng nguyên là hai protein dung hợp 6xHis-Hla wt (wild type- dạng nguyên bản, không bị đột biến) và 6xHis-Hla_{H35LH48L} bằng phương pháp Western blot. Các mẫu kháng nguyên được chạy SDS-PAGE và chuyển qua màng lai nitrocellulose. Màng lai lần lượt được ủ với kháng thể sơ cấp là huyết thanh từ chuột, kháng thể thứ cấp là Anti-mouse IgG peroxidase (pha loãng trong PBS-T chứa 5% sữa gầy) và sử dụng cơ chất TMB để phản ứng tạo màu.

2.8. ELISA

Các protein kháng nguyên 6xHis-Hla wt và 6xHis-Hla_{H35LH48L} được pha loãng về các nồng độ 20 µg/ml; 10 µg/ml; 5 µg/ml; 2 µg/ml; 1 µg/ml và cố định trong các giếng ELISA trên đĩa Nunc. Các giếng ELISA được ủ qua đêm với 100 µl huyết thanh được gây đáp ứng miễn dịch chủ động bằng protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} (tỷ lệ pha loãng 1/5.000; 1/10.000; 1/20.000; 1/40.000; 1/80.000; 1/160.000 và 1/320.000). Sau khi rửa sạch bằng PBS-T, các giếng ELISA tiếp tục được ủ với 100 µl kháng thể thứ cấp Anti-mouse IgG peroxidase (nồng độ pha loãng 1/10.000) ở nhiệt độ phòng trong 1 giờ. Cơ chất TMB được sử dụng để phản ứng màu và độ hấp thụ màu (ở bước sóng 450 nm) của từng mẫu ELISA được xác định bằng máy đọc đĩa CLARIOstar (BMG Labtech). Giá trị ngưỡng dương tính (cut-off) được xác định bằng công thức (1) theo nghiên cứu của F. Lardeux và cs (2016) [11]:

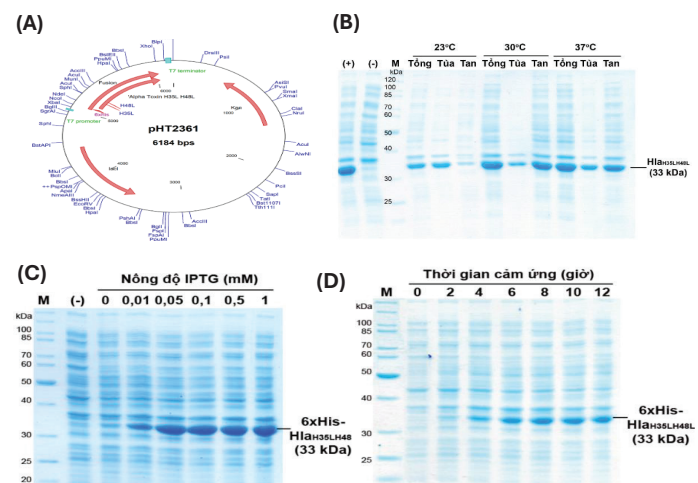
$$\text{Cut-off} = X + 3 \cdot \text{SD} \quad (1)$$

trong đó: X là giá trị trung bình của mẫu đối chứng âm, SD là độ lệch chuẩn của giá trị chứng âm ở các lần lặp lại.

3. Kết quả

3.1. Tạo plasmid pHT2361 và khảo sát sự biểu hiện protein 6xHis-Hla_{H35LH48L}

Việc tạo dòng plasmid pHT2361 được thực hiện dựa trên plasmid khung là pET28a+ và gen mã hóa protein Hla_{H35LH48L} từ plasmid khuôn pHT2328. Kết quả giải trình tự DNA với khuôn lác có kết quả PCR dương tính có độ tương đồng với trình tự thiết kế *in silico* là 100%. Điều này chứng tỏ đề tài đã thu nhận được plasmid pHT2361 mang gen mã hóa protein 6xHis-Hla_{H35LH48L}. Thông tin của plasmid pHT2361 được thể hiện ở hình 1A.



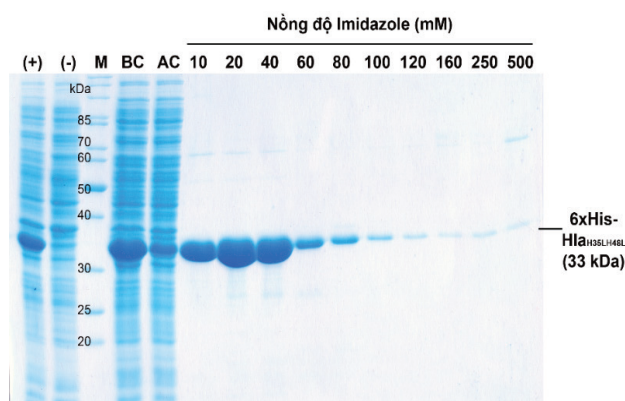
Hình 1. Kết quả khảo sát biểu hiện protein Hla_{H35LH48L} trong *E. coli* BL21(DE3)/pHT2361: (A) Sơ đồ plasmid pHT2361; (B) Kết quả khảo sát nhiệt độ biểu hiện; (C) Kết quả khảo sát nồng độ IPTG cảm ứng; (D) Kết quả khảo sát thời gian thu mẫu sau cảm ứng. M: thang protein; (-) *E. coli* BL21(DE3)/pET28a+.

Plasmid pHT2361 được biến nạp vào chủng *E. coli* BL21(DE3) để tạo chủng *E. coli* BL21(DE3)/pHT2361 có khả năng biểu hiện protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} dưới sự kiểm soát của T7 promoter. Khả năng biểu hiện protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} của chủng chủ này được khảo sát với các điều kiện nhiệt độ (23°C, 30°C, 37°C), nồng độ IPTG cảm ứng (0; 0,01; 0,05; 0,1; 0,5; 1 mM) và thời gian thu mẫu sau cảm ứng (từ 0 đến 12 giờ). Kết quả khảo sát điều kiện nhiệt độ (hình 1B) cho thấy, so với chứng âm, cả ba điều kiện nhiệt độ đều xuất hiện thêm vạch protein khoảng 33 kDa tương ứng với kích thước lý thuyết của protein 6xHis-Hla_{H35LH48L}. Tuy nhiên, ở 23°C, hơn 70% protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} tồn tại ở pha tan. Ở hai điều kiện nhiệt độ còn lại, phần lớn protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} tồn tại ở pha tan, trong đó điều kiện 30°C có sự biểu hiện protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} tan nhiều hơn. Do đó, 30°C được xác định là điều kiện phù hợp để thu nhận protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} tan. Đối với các kết quả khảo sát nồng độ chất cảm ứng IPTG (hình 1C) và thời gian thu sau cảm ứng (hình 1D), các mẫu tương ứng với điều kiện 0,05 mM IPTG và thời điểm 8 giờ sau cảm ứng có giá trị Area (giá trị định lượng protein tương đối dựa trên độ đậm nhạt, kích thước vạch bằng phần mềm AlphaEaseFC) cao nhất. Kết quả phân tích trên gel cho thấy đối với mẫu thu nhận ở điều kiện nhiệt độ 30°C, nồng độ 0,05 mM IPTG và 8 giờ sau cảm ứng, protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} chiếm khoảng 25% tổng số protein nội bào. Do đó, các điều kiện này được sử dụng để

thu nhận nhiều sinh khối chủng *E. coli* BL21(DE3)/pHT2361 nhằm thu nhận lượng lớn protein 6xHis-Hla_{H35LH48L}.

3.2. Thu nhận protein 6xHis-Hla_{H35LH48L}

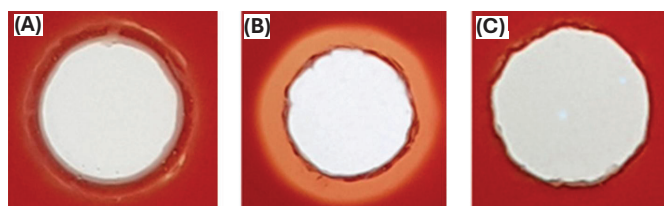
Khối lượng sinh khối thu được sau nuôi chủng *E. coli* BL21(DE3)/pHT2361 là 26,29 g từ 4,5 l môi trường LB-Kan. Sinh khối được huyền phù trong đệm (buffer) và phá tế bào bằng sóng siêu âm. Protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} được tinh sạch bằng cột HisTrapTM HP dựa trên ái lực của đuôi 6xHis và hạt Ni-NTA trong cột. Kết quả điện di SDS-PAGE (hình 2) cho thấy, trong quá trình dung ly từng bước một với các nồng độ Imidazole tăng dần, các phân đoạn có nồng độ Imidazole từ 10 mM đến 80 mM xuất hiện các vạch đậm có kích thước khoảng 33 kDa, tương ứng với kích thước của protein 6xHis-Hla_{H35LH48L}. Đồng thời, các phân đoạn này cũng tồn tại rất ít các vạch protein có kích thước khác. Điều này chứng minh rằng, protein dung hợp 6xHis-Hla_{H35LH48L} thu được có độ tinh sạch cao và đạt độ tinh sạch trên 95% với nồng độ 1,17 mg/ml. Độ tinh sạch này phù hợp để sử dụng gây đáp ứng miễn dịch trên chuột. Ngoài ra, sản lượng thu nhận protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} tinh sạch từ chủng *E. coli* BL21(DE3)/pHT2361 đạt mức 19,5 mg/l môi trường LB-Kan hay 2,85 mg/g sinh khối ướt.



Hình 2. Kết quả tinh chế thu nhận protein Hla_{H35LH48L} bằng cột HisTrapTM HP. M: thang protein; (-) *E. coli* BL21(DE3)/pET28a+; (+) *E. coli* BL21(DE3)/pHT2361; BC (before column): dịch phá tế bào của *E. coli* BL21(DE3)/pHT2361 đã được cảm ứng trước khi qua cột HisTrapTM HP; AC (after column): dịch protein thu nhận sau khi đi qua cột HisTrapTM HP.

3.3. Kết quả thử nghiệm hoạt tính tính ly giải tế bào hồng cầu

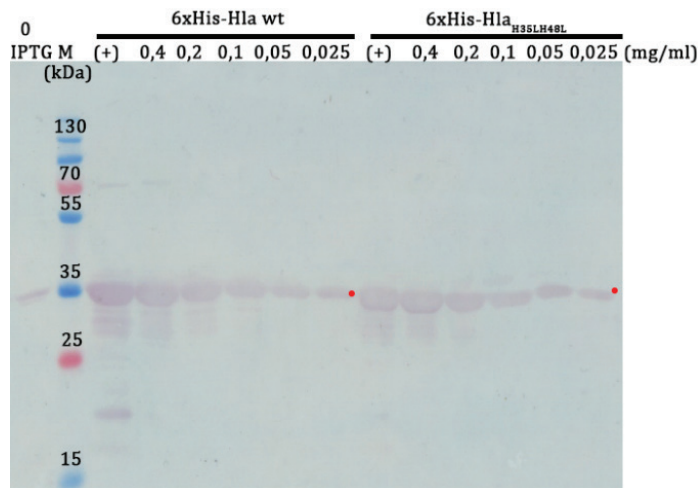
Protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} tinh sạch được kiểm tra hoạt tính ly giải tế bào hồng cầu thỏ trên đĩa thạch máu. Kết quả kiểm tra hoạt tính cho thấy: khác với phản ứng ủa với 6xHis-Hla wt (hình 3B) có vòng tròn tán huyết rõ rệt, phản ứng ủa với protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} (hình 3C) hầu như không có sự hiện diện của vòng tròn tán huyết. Kết quả này tương tự với mẫu chứng âm khi ủa với Binding Buffer (hình 3A). Điều này chứng tỏ hai đột biến H35L và H48L đã làm mất gần như hoàn toàn khả năng ly giải tế bào hồng cầu thỏ của alpha-toxin. Đồng thời, kết quả này cũng cho thấy protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} có tính an toàn, phù hợp để ứng dụng nghiên cứu vắc-xin hơn dạng alpha-toxin nguyên bản.



Hình 3. Hoạt tính ly giải hồng cầu thỏ của các dạng alpha-toxin trên đĩa thạch máu khi ủa với Binding Buffer (A), 6xHis-Hla wt (B), 6xHis-Hla_{H35LH48L} (C).

3.4. Khả năng nhận diện của huyết thanh chuột thu nhận từ kháng nguyên 6xHis-Hla_{H35LH48L} với 6xHis-Hla wt và 6xHis-Hla_{H35LH48L}

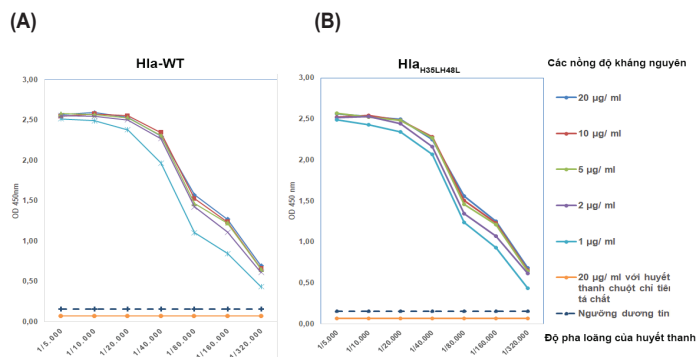
Huyết thanh của ba con chuột thu nhận được sau quá trình gây đáp ứng miễn dịch được trộn lại với nhau thành một mẫu đồng nhất, sau đó kiểm tra khả năng đáp miễn dịch với hai kháng nguyên 6xHis-Hla wt và 6xHis-Hla_{H35LH48L} bằng phương pháp Western blot. Kết quả Western blot (hình 4) cho thấy, xuất hiện tín hiệu màu ở các vạch có kích thước khoảng 33 kDa tương ứng với kích thước lý thuyết của protein dung hợp 6xHis-Hla và 6xHis-Hla_{H35LH48L}. Các vạch này nhỏ dần khi nồng độ kháng nguyên giảm dần. Điều này chứng tỏ, huyết thanh chuột thu nhận từ kháng nguyên 6xHis-Hla_{H35LH48L} có khả năng tương tác với kháng nguyên đột biến và cả dạng kháng nguyên nguyên bản (wt).



Hình 4. Kết quả Western blot của hai kháng nguyên Hla wt và Hla_{H35LH48L} với kháng huyết thanh thu được từ chuột được tiêm Hla_{H35LH48L}. M: thang protein; (-): mẫu biểu hiện không cảm ứng IPTG; (+): mẫu biểu hiện có cảm ứng IPTG.

Để phân tích kỹ hơn, đề tài tiến hành nghiên cứu sự tương tác của của huyết thanh chuột thu nhận từ kháng nguyên 6xHis-Hla_{H35LH48L} với hai kháng nguyên 6xHis-Hla wt và 6xHis-Hla_{H35LH48L} ở dạng tự nhiên (chưa bị biến tính như phương pháp Western Blot) bằng phương pháp ELISA với các nồng độ kháng nguyên và kháng thể khác nhau. Kết quả ELISA (hình 5A và 5B) cho thấy, ở độ pha loãng cao nhất 1/320.000, huyết thanh được thu nhận từ chuột gây đáp ứng miễn dịch bằng kháng nguyên 6xHis-Hla_{H35LH48L} đều có khả năng tương tác với hai kháng nguyên 6xHis-Hla wt và 6xHis-Hla_{H35LH48L} (giá trị OD_{450 nm} lớn hơn ngưỡng dương tính) ngay cả khi nồng độ của hai kháng nguyên chỉ là 1 µg/ml. Hai đột biến H35L và H48L hầu như không ảnh hưởng đến sự tương tác của huyết thanh với Apha-toxin. Do trong thực tế, *S. aureus* chỉ biểu hiện dạng nguyên bản nên

kết quả này còn cho thấy tiềm năng ứng dụng protein Hla_{H35LH48L} để phát triển vắc-xin kháng *S. aureus* là rất lớn.



Hình 5. Đồ thị biểu diễn khả năng phản ứng của kháng huyết thanh chuột được tiêm Hla_{H35LH48L} với kháng nguyên Hla wt (A) và Hla_{H35LH48L} (B) bằng phương pháp ELISA.

4. Bàn luận

Các kết quả thu nhận được từ nghiên cứu này chứng tỏ tiềm năng ứng dụng protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} tái tổ hợp ở *E. coli* để phát triển vắc-xin kháng *S. aureus*. Tuy nhiên, do đây mới chỉ là nghiên cứu sơ bộ nên vẫn còn những vấn đề có thể tối ưu. Thứ nhất, nếu so sánh với những sản lượng thu nhận protein tái tổ hợp ở *E. coli* trong những nghiên cứu khác trên thế giới (cao nhất đạt mức 946 mg protein/l môi trường) [12], sản lượng thu nhận protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} trong nghiên cứu này chỉ bằng 1/48. Vấn đề này hoàn toàn có thể khắc phục bằng việc tiến hành tối ưu các điều kiện nuôi cấy (nhiệt độ, pH, thời gian, nồng độ oxy hòa tan, nồng độ các nguyên tố đa lượng, vi lượng...) bằng các phương pháp thống kê như Plackett-Burman, RSM (response surface methodology) [13], cũng như việc lên men theo mẻ có bổ sung dinh dưỡng (fed-batch fermentation) [14]. Thứ hai, đối với kết quả Western Blot (hình 3), các mẫu tế bào *E. coli* biểu hiện 6xHis-Hla wt và 6xHis-Hla_{H35LH48L} xuất hiện một số vạch khác với kích thước lý thuyết. Điều này có thể giải thích là do độ tinh sạch của protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} chỉ đạt mức trên 95% nên các protein tạp còn sót lại trong mẫu tinh chế vẫn gây ra đáp ứng miễn dịch và tạo kháng thể trên chuột. Dù vậy, để có thể ứng dụng làm vắc-xin cho người, các protein tạp này phải được loại bỏ gần như hoàn toàn (>99%) để ngăn ngừa xảy ra hiện tượng đáp ứng miễn dịch quá mức như cơn bão cytokine. Độ tinh sạch của protein mục tiêu hoàn toàn có thể gia tăng bằng các phương pháp tinh chế khác như sắc ký ion, sắc ký lọc gel. Cuối cùng, do hầu hết các nghiên cứu vắc-xin kháng *S. aureus* gần đây đều được định hướng phát triển đa kháng nguyên (tức là một loại vắc-xin mang nhiều yếu tố độc lực khác nhau) để đáp ứng sự thay đổi và đa dạng các yếu tố độc lực của *S. aureus* [15]. Trong các nghiên cứu tiếp theo, protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} cần được phối trộn với các nhân tố độc lực khác của *S. aureus* để tiếp tục nghiên cứu phát triển vắc-xin phòng các bệnh do vi khuẩn này gây ra.

5. Kết luận

Protein 6xHis-Hla_{H35LH48L} đã được biểu hiện và thu nhận với độ tinh sạch cao ở dạng bất hoạt từ chủng *E. coli* BL21(DE3)/pHT2361. Đồng thời, huyết thanh của chuột được gây đáp ứng miễn dịch 6xHis-

Hla_{H35LH48L} có khả năng tương tác với cả hai dạng kháng nguyên là 6xHis-Hla wt và 6xHis-Hla_{H35LH48L}. Kết quả sẽ là cơ sở quan trọng cho các nghiên cứu về trung hòa alpha-toxin *in vivo* và nghiên cứu phát triển vắc-xin phòng *S. aureus* trong các nghiên cứu tiếp theo.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 108.06-2019.11. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] G.Y.C. Cheung, J.S. Bae, M. Otto (2021), "Pathogenicity and virulence of *Staphylococcus aureus*", *Virulence*, **12**, pp.547-569, DOI: 10.1080/21505594.2021.1878688.
- [2] A. Gnanamani, P. Hariharan, M.P. Satyaseela (2017), "Staphylococcus aureus: Overview of bacteriology, clinical diseases, epidemiology, antibiotic resistance and therapeutic approach", *Frontiers in Staphylococcus aureus*, 25pp, DOI: 10.5772/67338.
- [3] R. Ruimy, L.A. Lefevre, F. Barbier, et al. (2009), "Comparisons between geographically diverse samples of carried *Staphylococcus aureus*", *Journal of Bacteriology*, **191**(18), pp.5577-5583, DOI: 10.1128/JB.00493-09.
- [4] S.J.V. Hal, S.O. Jensen, V.L. Vaska, et al. (2012), "Predictors of mortality in *Staphylococcus aureus* bacteremia", *Clinical Microbiology Reviews*, **25**(2), pp.362-386. DOI: 10.1128/CMR.05022-11.
- [5] E.Y. Garoy, Y.B. Gebreab, O.O. Achila, et al. (2019), "Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA): Prevalence and antimicrobial sensitivity pattern among patients-a multicenter study in Asmara, Eritrea", *The Canadian Journal of Infectious Diseases & Medical Microbiology*, **2019**, 9pp, DOI: 10.1155/2019/8321834.
- [6] A.S. Lee, H.D. Lencastre, J. Garau, et al. (2018), "Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*", *Nature Reviews Disease Primers*, **4**, DOI: 10.1038/nrdp.2018.33.
- [7] N.T. Son, V.T.T. Huong, V.T.K. Lien, et al. (2019), "First report on multidrug-resistant methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* isolates in children admitted to tertiary hospitals in Vietnam", *Journal of Microbiology and Biotechnology*, **29**(9), pp.1460-1469, DOI: 10.4014/jmb.1904.04052.
- [8] S.A. Fritz, J.B. Wardenburg (2024), "A path forward for *Staphylococcus aureus* vaccine development", *Journal of Experimental Medicine*, **221**(10), 3pp, DOI: 10.1084/jem.20240002.
- [9] M.J. Anderson, Y.C. Lin, A.N. Gillman, et al. (2012), "Alpha-toxin promotes *Staphylococcus aureus* mucosal biofilm formation", *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, **64**(2), 10pp, DOI: 10.3389/fcimb.2012.00064.
- [10] L.Z. Song, M.R. Hobaugh, C. Shustak, et al. (1996), "Structure of staphylococcal alpha-hemolysin, a heptameric transmembrane pore", *Science*, **274**, pp.1859-1866, DOI: 10.1126/science.274.5294.1859.
- [11] F. Lardeux, G. Torrico, C. Aliaga (2016), "Calculation of the ELISA's cut-off based on the change-point analysis method for detection of *Trypanosoma cruzi* infection in Bolivian dogs in the absence of controls", *Memorias Do Instituto Oswaldo Cruz*, **111**(8), pp.501-504, DOI: 10.1590/0074-02760160119.
- [12] L.G. Morão, L.R. Manzone, L.O.D. Clementino, et al. (2022), "A scalable screening of *E. coli* strains for recombinant protein expression", *PLOS ONE*, **17**(7), 10pp, DOI: 10.1371/journal.pone.0271403.
- [13] D. Pal, G. Patel, S.H. Nile, et al. (2021), "Optimization of medium composition to increase the expression of recombinant human interferon-β using the Plackett-Burman and central composite design in *E. coli* SE1", *3 Biotech*, **11**(5), 10pp, DOI: 10.1007/s13205-021-02772-1.
- [14] V. Babaeipour, M.R. Mofid, S. Khanchezar, et al. (2017), "Bench-scale overproduction and purification of recombinant GCSF in *Escherichia coli* fed-batch process", *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, **7**, pp.149-155, DOI: 10.7324/JAPS.2017.70821.
- [15] N. Mohamed, M.Y. Wang, J.C.L. Huec, et al. (2017), "Vaccine development to prevent *Staphylococcus aureus* surgical-site infections", *The British Journal of Surgery*, **104**(2), pp.e41-e54, DOI: 10.1002/bjs.10454.

Nghiên cứu bảo quản ổi cắt tươi bằng màng alginate ăn được bổ sung cao chiết rong nâu *Sargassum polycystum*

Trần Thị Ngọc Mai*, Huỳnh Phương Quyên

Viện Khoa học Ứng dụng, Trường Đại học Công nghệ TP Hồ Chí Minh, 475A Điện Biên Phủ, phường Thạnh Mỹ Tây, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 17/6/2024; ngày chuyển phản biện 18/6/2024; ngày nhận phản biện 25/6/2024; ngày chấp nhận đăng 12/7/2024

Tóm tắt:

Rong nâu là nguồn nguyên liệu chứa nhiều các thành phần kháng oxy hoá quan trọng như các polyphenol, carotenoid, sulphate polysaccharide, và là nguồn tài nguyên phong phú, đa dạng về chủng loại ở khu vực biển miền Trung Việt Nam. Nghiên cứu nhằm mục tiêu tìm nồng độ cao chiết rong nâu *Sargassum polycystum* bổ sung vào dịch tạo màng alginate cho hiệu quả kháng oxy hóa cao áp dụng lên sản phẩm ổi cắt tươi. Đối tượng áp dụng là quả ổi *Psidium guajava*. Sử dụng phương pháp nhúng để phủ màng quả ổi cắt miếng sau xử lý. Nghiên cứu này được triển khai nhằm đánh giá hiệu quả của lớp phủ natri alginate ăn được để duy trì chất lượng dinh dưỡng sau thu hoạch và tăng khả năng bán ra thị trường của sản phẩm ổi cắt tươi trong quá trình bảo quản ở $5\pm 2^{\circ}\text{C}$. Kết quả cho thấy xử lý bằng cách bổ sung cao chiết xuất rong nâu *Sargassum polycystum* 2,0% vào dung dịch alginate 1,5% trong 12 ngày bảo quản, tỷ lệ hao hụt khối lượng giảm 5,55%, hàm lượng vitamin C tăng 50,0 mg/100 g, hàm lượng TPC tăng 20,0 mg/100 g, tỷ lệ chấp nhận thương mại (CAR) tăng 15,97%, và chỉ số độ chín (TSS/TA) giảm 14,4 lần so với đối chứng.

Từ khóa: alginate, cao chiết rong nâu, lớp phủ ăn được, *Psidium guajava*, *Sargassum*.

Chỉ số phân loại: 2.10, 4.6

Effects of alginate-based edible coatings enriched with *Sargassum polycystum* extract on the quality characteristics of fresh-cut guava

Thi Ngoc Mai Tran*, Phuong Quyen Huynh

Institute of Applied Sciences, HUTECH University, 475A Dien Bien Phu Street, Thanh My Tay Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 17 June 2024; revised 25 June 2024; accepted 12 July 2024

Abstract:

Brown seaweeds are an abundant and diverse natural marine resource in Central Vietnam coastal waters, rich in antioxidant compounds such as polyphenols, carotenoids, and sulphated polysaccharides. This study aims to find the high concentration of brown seaweed extract *Sargassum polycystum* added to alginate-based edible coatings for high antioxidant efficiency applied to fresh-cut guava. The subject of the application is guava *Psidium guajava*. The alginate film-dipping method was used to coat fresh-cut guava after processing. This study evaluated the effectiveness of an edible coating sodium alginate to maintain postharvest nutritional quality and increase the marketability of fresh-cut guava during storage at $5\pm 2^{\circ}\text{C}$. Results revealed that treatment with 1.5% alginate supplementing extract *Sargassum polycystum* 2.0% during 12 days of storage, the weight loss significantly reduced by 5.55%, vitamin C content increased by 50.0 mg/100 g, TPC content increased by 20.0 mg/100 g, the rate of commercially acceptable fruit (CAR) rose 15.97%, and the ripening index (TSS/TA) decreased 14.4 times as compared with the control.

Keywords: alginate, brown seaweed extract, edible coating, *Psidium guajava*, *Sargassum*.

Classification numbers: 2.10, 4.6

*Tác giả liên hệ: Email: ttu.mai79@hutech.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Màng phủ ăn được là một lớp vật liệu mỏng được áp trực tiếp trên bề mặt quả bằng cách nhúng, phun hay quét [1, 2]. Chúng hoạt động như một rào cản chọn lọc chống lại sự trao đổi ẩm, oxy và carbon dioxide; kết quả là giảm mất nước, giảm tốc độ phản ứng oxy hóa và tốc độ hô hấp, cải thiện chất lượng sản phẩm và ngăn chặn sự phát triển của vi sinh vật, do đó, có thể bảo tồn chất lượng trái cây và rau quả [1, 3, 4]. Lớp phủ ăn được làm bằng vật liệu thực phẩm, nên có thể được tiêu thụ một cách an toàn như là một phần của sản phẩm [2]. Hiện nay, việc sử dụng màng polymer tổng hợp đang được quan tâm thay thế dần bằng các loại màng thân thiện với môi trường, điều này góp phần làm giảm tác động và chi phí xử lý môi trường, nên lớp phủ sinh học ăn được được xem là công nghệ đóng gói đầy hứa hẹn do tính chất không gây ô nhiễm môi trường.

Alginate là polysaccharide tự nhiên, ưa nước, thu từ tảo nâu; ngành công nghiệp thực phẩm sử dụng alginate cho các ứng dụng tạo gel, làm dày và ổn định. Hơn nữa, alginate đặc trưng với tính chất và chức năng tạo màng tốt, dù màng này hòa tan trong nước, nhưng chúng có thể chuyển thành không hòa tan thông qua liên kết chéo với các cation như magiê, natri, canxi, strontium và barium. Các loại màng alginate rất đàn hồi, rất bền, chịu dầu và không dính kết [5, 6]. Các nghiên cứu cho thấy màng phủ alginate giữ được chất lượng sau thu hoạch của quả việt quất, cà chua, đào, anh đào ngọt, dứa, mận và trong một số loại quả khác [4, 5, 7].

Rong nâu là nguồn nguyên liệu chứa nhiều các thành phần kháng oxy hóa quan trọng như các polyphenol, carotenoid, sulphate polysaccharide... và là nguồn tài nguyên phong phú, đa dạng về chủng loại ở khu vực biển miền trung Việt Nam [8, 9]. Việc bổ sung các hợp chất kháng oxy hóa vào màng bao ăn được nhằm làm gia tăng giá trị chức năng của màng đang là xu hướng hiện nay, cao chiết rong nâu đã được chứng minh về tính chất kháng oxy hóa này [10-12].

Quả ổi (*Psidium guajava*) là một loại trái cây nhiệt đới và cận nhiệt đới, được trồng đại trà và tiêu thụ rộng rãi ở nhiều quốc gia, có nguồn gốc từ Trung và Nam Mỹ [13, 14]. Ổi được biết đến với hương vị, mùi thơm và các hợp chất hoạt tính sinh học như acid ascorbic, flavonoid, carotenoid và anthocyanin. Việc tiêu thụ ổi có thể đóng góp một lượng đáng kể chất dinh dưỡng và hợp chất hoạt tính sinh học vào chế độ ăn uống của con người [15]. Tuy nhiên, một trong những nhược điểm lớn của ổi tươi là nhanh hỏng do hoạt động hô hấp và tốc độ sản xuất ethylene tăng cao sau thu hoạch, điều này dẫn đến quá trình lão hóa nhanh ngay cả trong điều kiện làm lạnh được kiểm soát. Nhiều phương pháp bảo quản sau thu hoạch khác nhau đã được thử nghiệm trên ổi tươi [13], tuy nhiên, điều quan trọng là phát triển các kỹ thuật được ngành công nghiệp cắt tươi sử dụng để ngăn chặn sự hư hỏng của trái cây [16].

Nghiên cứu tạo lớp phủ lên quả ổi cắt tươi bằng dịch tạo màng alginate bổ sung cao chiết rong nâu *Sargassum polycystum* có khả năng kháng oxy hóa, là một giải pháp giúp kéo dài thời gian bảo quản và cải thiện giá trị cảm quan cho sản phẩm ổi cắt tươi.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Quả ổi Nữ Hoàng (*Psidium guajava*) thu từ các nhà vườn ở khu vực Đồng bằng sông Cửu Long, đạt độ chín thương mại. Quả được chọn phải tươi, đồng đều về kích cỡ, màu sắc, độ chín và hình dạng; rửa sạch bằng nước cất. Cắt theo chiều dọc chia quả làm 6-8 miếng bỏ lõi hạt.

Sodium alginate (HiMedia - Ấn Độ) dạng bột, màu trắng ngà. Glycerol (Merck, Đức) dạng lỏng, không màu. Acid ascorbic (DSM, Trung Quốc) dạng bột tinh thể màu trắng.

Rong nâu thu từ vùng biển Ninh Thuận vào khoảng tháng 4 đến tháng 8 hàng năm, được định danh tại Phòng thí nghiệm Thực vật, Khoa Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên TP Hồ Chí Minh bởi TS. Lưu Thị Thanh Nhân, mẫu rong có tên khoa học là *Sargassum polycystum*. Rong được ngâm, rửa sạch, phơi/sấy ở 45-50°C đến khô, xay nhỏ, ngâm chiết trong ethanol. Dịch chiết cô quay chân không để thu cao khô kiệt (độ ẩm 15±2%).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp tạo màng:

Dung dịch alginate 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5% (w/v) được chuẩn bị bằng cách hoà bột alginate vào nước cất nóng khoảng 70°C, khuấy đều cho đến khi hỗn hợp trong suốt. Sau đó, để nguội về nhiệt độ phòng, bổ sung glycerol tỷ lệ 20% (v/v) và khuấy đều cho đến khi hỗn hợp đồng nhất [4, 5]. Nồng độ alginate được chọn được bổ sung cao chiết *Sargassum polycystum* với các tỷ lệ 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 (w/w). Acid ascorbic dùng làm chất tham chiếu.

Tạo màng bằng phương pháp nhúng với số lượng 30 miếng cho một lần nhúng, mỗi thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Thời gian nhúng giữ trong dung dịch alginate là 5 phút để đảm bảo lớp phủ đồng nhất trên toàn bộ bề mặt của miếng ổi [4]. Sau đó, để khô tự nhiên ở nhiệt độ phòng, rồi cho vào hộp nhựa đậy kín và bảo quản ở nhiệt độ 5±2°C. Các miếng ổi này được đánh giá các chỉ tiêu hoá lý và cảm quan sau mỗi 3 ngày, trong thời gian 18 ngày bảo quản.

Các phương pháp đánh giá chất lượng:

- Tỷ lệ hao hụt khối lượng (WL, %) được xác định bằng phương pháp cân và được tính theo công thức:

$$WL (\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\%$$

trong đó: W_1 là khối lượng ban đầu của mẫu (g); W_2 là khối lượng mẫu tại mỗi thời điểm khảo sát (g).

- Tổng hàm lượng chất rắn hoà tan (TSS, %) được xác định bằng Khúc xạ kế (Atago Master-T 0-32% Atc Brix Refractometer, Mỹ) (AOAC 932.12).

- Hàm lượng acid tổng số (TA, %) được xác định bằng phương pháp chuẩn độ với dung dịch NaOH 0,1N với chất chỉ thị phenolphthalein 1% (AOAC 942.15).

- Hàm lượng vitamin C (Vit.C, mg/100 g) được xác định bằng phương pháp chuẩn độ với iode theo TCVN 11168:2015.

- Hàm lượng polyphenol tổng (TPC, mg/g) được xác định bằng phương pháp Folin-Ciocalteu theo TCVN 9745-1:2013. Hàm lượng polyphenol tổng có trong 1 g mẫu được tính theo công thức sau:

$$TPC (mg/g) = \frac{C_M \cdot v}{m}$$

trong đó: C_M - hàm lượng polyphenol tổng có trong mẫu được tính dựa trên đường chuẩn acid gallic (mg/g); v - thể tích định mức sau khi xử lý mẫu (ml); m - khối lượng mẫu (g).

- Tỷ lệ quả được chấp nhận thương mại (CAR, %) được xác định dựa theo Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 10747:2015 về quả ổi tươi. Tỷ lệ quả được chấp nhận thương mại được tính theo công thức:

$$CAR (\%) = \frac{W_2}{W_1} \times 100\%$$

trong đó: W_1 - khối lượng ban đầu của mẫu (g); W_2 - khối lượng quả đạt chất lượng theo TCVN 10747:2015 tại mỗi thời điểm khảo sát (g). Sử dụng phép thử phân biệt "A-notA" trong phương pháp đánh giá cảm quan để chọn mẫu đạt TCVN 10747:2015.

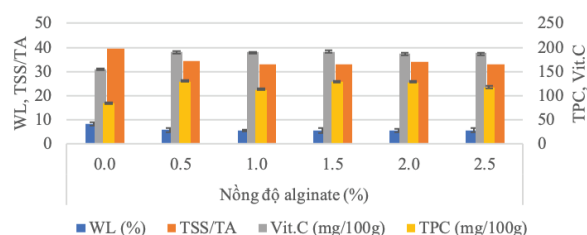
- Đánh giá cảm quan về mức độ ưa thích giữa các mẫu nghiên cứu bằng Phép thử cho điểm thị hiếu, thang điểm 0-7 chỉ mức độ ưa thích tăng dần, số lượng người thử là 30 (theo TCVN 11183:2015).

Phương pháp xử lý số liệu: Số liệu được xử lý bằng phần mềm Statgraphics Centurion XV. Tất cả số liệu được biểu diễn dưới dạng Trung bình $\pm$ SD, các chênh lệch khác biệt thể hiện bằng ^{a, b, c, d} ở mức ý nghĩa $p < 0,05$.

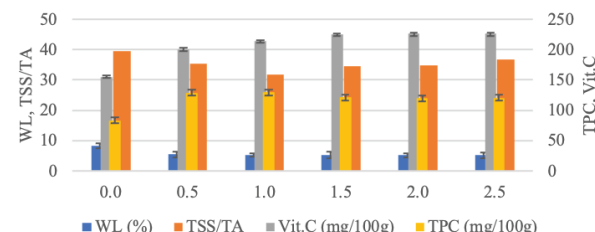
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của nồng độ alginate, tỷ lệ vitamin C và tỷ lệ cao chiết bổ sung vào dịch tạo màng alginate đến chất lượng ổi cắt tươi

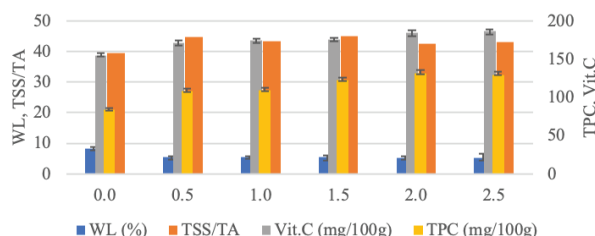
Khi cắt miếng trái cây sẽ làm tăng diện tích bề mặt tiếp xúc với môi trường ngoài, do đó làm gia tăng các hoạt động của quá trình trao đổi chất như hô hấp, oxy hóa và thoát hơi nước. Lớp phủ ăn được đóng vai trò như một rào cản giúp bảo vệ các tế bào, làm giảm hô hấp, giảm thoát hơi nước và cuối cùng dẫn đến giảm mất độ ẩm và trao đổi khí, do đó có thể cải thiện được chất lượng miếng ổi cắt tươi [16]. Kết quả ở các hình 1-3 cho thấy rõ điều này.



Hình 1. Ảnh hưởng của màng A-G đến chất lượng ổi cắt tươi.



Hình 2. Ảnh hưởng của màng A-G-As đến chất lượng ổi cắt tươi.

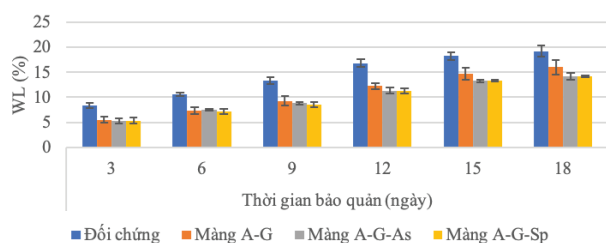


Hình 3. Ảnh hưởng màng A-G-Sp đến chất lượng ổi cắt tươi.

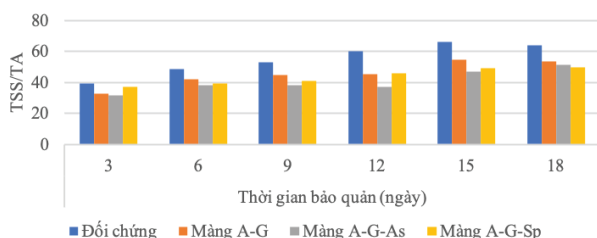
Các kết quả nghiên cứu cho thấy, ở hình 1 nồng độ alginate 1,5% có tỷ lệ WL thấp nhất, sự thay đổi TSS/TA nhỏ nhất, hàm lượng vitamin C và hàm lượng TPC giữ được cao nhất; điều này chứng tỏ ở nồng độ 1,5% sự biến động trong miếng ổi xảy ra nhỏ nhất nên tính chất dinh dưỡng giữ được nhiều nhất. Do đó, tỷ lệ này dùng cho khảo sát tỷ lệ vitamin C và tỷ lệ cao chiết rong nâu bổ sung vào với mục đích làm giảm phản ứng oxy hóa trên bề mặt miếng ổi sau khi cắt. Ở hình 2, 3, các tỷ lệ vitamin C và tỷ lệ cao chiết bổ sung tăng tỷ lệ thuận với hàm lượng vitamin C và hàm lượng TPC; ở tỷ lệ vitamin C 1,0, 1,5 và 2,0%; cao chiết 2,0 và 2,5% thì hàm lượng của vitamin C và TPC không có sự khác biệt ở mức ý nghĩa 95%. Vậy nên, dung dịch tạo màng có nồng độ alginate 1,5% và tỷ lệ cao chiết rong nâu *S. polycystum* bổ sung là 2,0%; màng alginate 1,5% và tỷ lệ vitamin C bổ sung 1,0% sử dụng làm mẫu tham chiếu.

3.2. Sự thay đổi chất lượng ổi cắt tươi theo thời gian bảo quản của các loại màng khác nhau

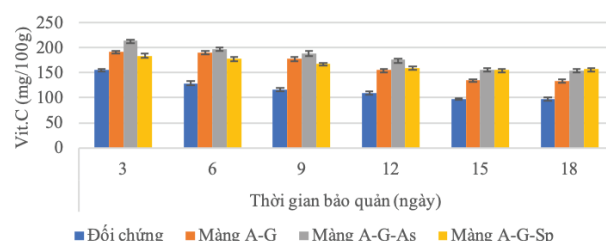
Các thông số tạo màng A-G, A-G-As và A-G-Sp nêu trên cho thấy hiệu quả của màng bổ sung chất kháng oxy hóa tự nhiên (cao chiết rong nâu *S. polycystum*) - màng A-G-Sp so với màng bổ sung chất kháng oxy hóa hóa học (acid ascorbic) - màng A-G-As. Dưới đây là các kết quả thu được theo thời gian bảo quản ổi cắt tươi phủ các loại màng khác nhau:



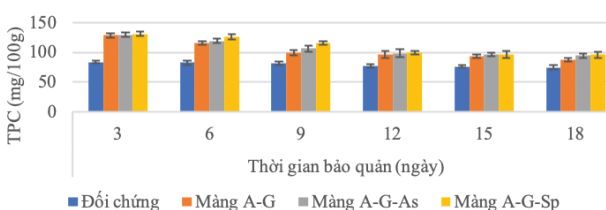
Hình 4. Sự thay đổi khối lượng theo thời gian bảo quản ôi cắt tươi của các loại màng khác nhau.



Hình 5. Sự thay đổi độ chín/acid tổng số theo thời gian bảo quản ôi cắt tươi của các loại màng khác nhau.



Hình 6. Sự thay đổi Vitamin C theo thời gian bảo quản ôi cắt tươi của các loại màng khác nhau.



Hình 7. Sự thay đổi hàm lượng polyphenol tổng theo thời gian bảo quản ôi cắt tươi của các loại màng khác nhau.

Sự thay đổi WL có thể do mất nước, do hoạt động của các quá trình trao đổi chất như hô hấp và được xác định bởi sự chênh lệch của áp suất hơi nước giữa quả và môi trường không khí xung quanh [2]. Hình 4 cho thấy, tất cả các mẫu WL đều có xu hướng tăng theo thời gian bảo quản, có sự khác biệt rõ về sự tăng của mẫu đối chứng so với mẫu có phủ màng A-G, sau 18 ngày bảo quản thì WL của đối chứng là $19,23 \pm 1,05\%$ và $16,04 \pm 1,46\%$. Bên cạnh đó, mẫu phủ màng A-G-As và màng A-G-Sp có WL tăng ít hơn và không có sự khác biệt ở mức ý nghĩa 95%, giá trị WL sau 18 ngày bảo quản tương ứng là $14,22 \pm 0,64\%$ và $14,25 \pm 0,17\%$. Kết quả này cho thấy tác dụng

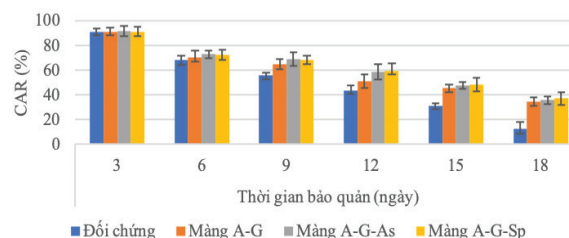
tích cực của màng alginate trong việc ngăn ngừa giảm WL cũng đã được báo cáo ở táo cắt tươi [17], mận [18], dưa cắt tươi [19], xoài [4], xoài cắt tươi [20] và quả việt quất [5].

Các giá trị TSS, TA của thịt quả là các thành phần tạo hương vị chính và cũng là các thành phần dinh dưỡng trong ôi. TSS/TA thường được sử dụng để chỉ độ chín và chất lượng sau thu hoạch của quả [15]. Theo hình 5, TSS/TA của tất cả các mẫu đều tăng chậm theo thời gian bảo quản và có sự khác biệt đối chứng. Điều này một phần do lớp phủ ngăn chặn trao đổi khí do đó làm giảm tốc độ hô hấp và hoạt động trao đổi chất, từ đó trì hoãn quá trình chín và hạn chế mất độ ẩm. Giá trị TA giảm trong suốt quá trình lưu trữ sau thu hoạch, là do việc sử dụng chúng làm chất nền cho sự hô hấp và chuyển đổi thành đường [14, 15]. Kết quả của nghiên cứu này phù hợp với kết quả nghiên cứu màng phủ alginate trên quả mận [18], quả xoài [4], quả việt quất [5] sau thu hoạch.

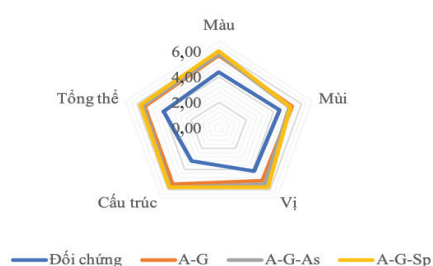
Hàm lượng vitamin C và TPC của tất cả các mẫu ở hình 6 và 7 giảm dần theo thời gian bảo quản, khác biệt rõ rệt so với mẫu đối chứng. Đối với mẫu phủ màng A-G-As và A-G-Sp thì sự giảm không khác biệt ở mức ý nghĩa 95% theo thời gian bảo quản. Hàm lượng vitamin C của ôi bọc màng A-G-Sp giảm so với nguyên liệu ban đầu là 17,37; 19,49 và 18,40%; màng A-G-As là 17,42; 27,15 và 28,23% tương ứng sau 12, 15, 18 ngày bảo quản. Hàm lượng TPC của ôi bọc màng A-G-Sp giảm tương ứng là 27,90; 30,07 và 30,58%; màng A-G-As giảm tương ứng là 28,62; 30,14 và 31,52%. Kết quả này cho thấy hiệu quả của việc phủ màng và quan trọng hơn là màng có bổ sung những hợp chất chức năng trên các sản phẩm trái cây cắt tươi. Hàm lượng vitamin C và TPC của mẫu phủ màng A-G-As với acid ascorbic 1,0% và màng A-G-Sp với cao chiết rong nâu *S. polycystum* 2,0% không khác biệt ở mức ý nghĩa 95%. Kết quả này cho thấy hiệu quả của chất kháng oxy hóa tự nhiên, điều này có ý nghĩa trong việc định hướng sử dụng những hợp chất có hoạt tính sinh học có nguồn gốc tự nhiên bổ sung vào thực phẩm thay thế việc sử dụng phụ gia.

3.3. Tỷ lệ chấp nhận thương mại và giá trị cảm quan của ôi cắt tươi theo thời gian bảo quản của các loại màng khác nhau

Tỷ lệ quả được chấp nhận thương mại (CAR) là một chỉ số quan trọng để đánh giá giá trị kinh tế của trái cây tươi đạt chất lượng hoặc đạt được sự chấp nhận của người tiêu dùng.



Hình 8. Giá trị chấp nhận thương mại theo thời gian bảo quản ôi cắt tươi của các loại màng khác nhau.



Hình 9. Giá trị cảm quan ôi cắt của các loại màng khác nhau sau 12 ngày bảo quản.

Hình 8 cho thấy CAR của ôi cắt tươi có bọc màng so với đối chứng có sự khác biệt, giá trị CAR của các mẫu đều cao hơn so với đối chứng. Sau 12 ngày bảo quản thì các mẫu ôi cắt tươi có bọc màng đạt giá trị CAR cao hơn 50% (màng A-G 51,2±5,66%, màng A-G-As 58,9±6,23%, màng A-G-Sp 59,6±5,45% trong khi đó đối chứng đạt 43,6±3,67%. Điều này cho thấy hiệu quả của màng có bổ sung cao chiết rong nâu *S. polycystum* so với đối chứng. Đồng thời giá trị cảm quan về màu, mùi, vị, cấu trúc và tổng thể của miếng ôi cắt tươi phủ màng A-G-Sp cho giá trị cảm quan tốt nhất sau 12 ngày bảo quản (hình 9). Do đó, thời gian khuyến nghị cho sản phẩm ôi cắt tươi phủ màng A-G-Sp là 12 ngày.

4. Kết luận

Nghiên cứu tạo lớp phủ A-G-Sp lên quả ôi cắt tươi bằng dịch tạo màng alginate bổ sung cao chiết rong nâu *S. polycystum* cho thấy các nồng độ alginate, nồng độ cao chiết rong nâu *S. polycystum* khác nhau đều có ảnh hưởng đến WL, TSS/TA, Vit.C, TPC và CAR. Nồng độ alginate 1,5% và tỷ lệ cao chiết rong nâu *S. polycystum* là 2,0% được chọn để tạo màng A-G-Sp phủ lên ôi cắt tươi thu được kết quả: Thời gian khuyến nghị cho sản phẩm là 12 ngày ở nhiệt độ 5±2°C với giá trị CAR là 59,6±5,45%; các giá trị WL, TSS/TA, Vit.C và TPC tương ứng là 11,23±0,52%; 45,91; 159,4±3,34 mg/100 g và 99,5±3,37 mg/100 g. Nghiên cứu này cũng cho thấy hiệu quả của chất kháng oxy hóa tự nhiên - cao chiết rong nâu *S. polycystum* so với phụ gia - acid ascorbic không khác biệt ở mức ý nghĩa 95%.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Viện Công nghệ cao HUTECH, Trường Đại học Công nghệ TP. Hồ Chí Minh (mã số 2025.11. KHUD).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] B. Hassan, S.A.S. Chatha, A.I. Hussain, et al. (2018), "Recent advances on polysaccharides, lipids and protein based edible films and coatings: A review", *International Journal of Biological Macromolecules*, **109**, pp.1095-1107, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2017.11.097.

[2] S.C. Riva, U.O. Opara, O.A. Fawole (2020), "Recent developments on postharvest application of edible coatings on stone fruit: A review", *Scientia Horticulturae*, **262**, DOI: 10.1016/j.scienta.2019.109074.

[3] R.K. Dave, T.V.R. Rao, A.S. Nandane (2017), "Improvement of post-harvest quality of pear fruit with optimized composite edible coating formulations", *J. Food Sci. Technol.*, **54**(12), pp.3917-3927, DOI: 10.1007/s13197-017-2850-y.

[4] S. Rastegar, H.H. Khankahdani, M. Rahimzadeh (2019), "Effectiveness of alginate coating on antioxidant enzymes and biochemical changes during storage of mango fruit", *J. Food Biochem.*, **43**(11), DOI: 10.1111/jfbc.12990.

[5] C.M. Jaramillo, C.Q. Pimiento, C.G. Hoyos, et al. (2020), "Alginate-edible coatings for application on wild andean blueberries (*Vaccinium meridionale* Swartz): Effect of the addition of nanofibrils isolated from cocoa by-products", *Polymers (Basel)*, **12**(4), DOI: 10.3390/polym12040824.

[6] K.Y. Lee, D.J. Mooney (2012), "Alginate: Properties and biomedical applications", *Prog. Polym. Sci.*, **37**(1), pp.106-126, DOI: 10.1016/j.progpolymsci.2011.06.003.

[7] T.S. Parreidt, M. Lindner, I. Rothkopf, et al. (2019), "The development of a uniform alginate-based coating for cantaloupe and strawberries and the characterisation of water barrier properties", *Foods*, **8**(6), DOI: 10.3390/foods8060203.

[8] S. Lim, A.H. Choi, M. Kwon, et al. (2019), "Evaluation of antioxidant activities of various solvent extract from *Sargassum serratifolium* and its major antioxidant components", *Food Chemistry*, **278**, pp.178-184, DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.11.058.

[9] R. Alghazeer, N. Howell, M.B.E. Naili, et al. (2018), "Anticancer and antioxidant activities of some algae from western libyan coast", *Natural Science*, **10**, DOI: 10.4236/ns.2018.107025.

[10] S. Sahraee, J.M. Milani, J.M. Regenstein, et al. (2019), "Protection of foods against oxidative deterioration using edible films and coatings: A review", *Food Bioscience*, **32**, DOI: 10.1016/j.fbio.2019.100451.

[11] H. Doh (2020), "Preparation of novel seaweed nanocomposite film from brown seaweeds *Laminaria japonica* and *Sargassum natans*", *Food Hydrocolloids*, **105**, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2020.105744.

[12] I. Albertos, A.B.M. Diana, M. Burón, et al. (2019), "Development of functional bio-based seaweed (*Himanthalia elongata* and *Palmaria palmata*) edible films for extending the shelflife of fresh fish burgers", *Food Packaging and Shelf Life*, **22**, DOI: 10.1016/j.fpsl.2019.100382.

[13] L.A. Forato, D.D. Britto, J.S.D. Rizzo, et al. (2015), "Effect of cashew gum-carboxymethylcellulose edible coatings in extending the shelf-life of fresh and cut guavas", *Food Packaging and Shelf Life*, **5**, pp.68-74, DOI: 10.1016/j.fpsl.2015.06.001.

[14] G.H.D.A. Teixeira (2020), "Chapter 18.6 - Subtropical fruits: Guavas", *Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce*, Academic Press, pp.435-445, DOI: 10.1016/B978-0-12-804599-2.00031-4.

[15] M. Sharma, C.S. Saini (2021), "Postharvest shelf-life extension of fresh-cut guavas (*Psidium guajava*) using flaxseed protein-based composite coatings", *Food Hydrocolloids for Health*, **1**, DOI: 10.1016/j.fhfh.2021.100015.

[16] A. Chumyarn, B. Faiyue, K. Saengnil (2019), "Reduction of enzymatic browning of fresh-cut guava fruit by exogenous hydrogen peroxide-activated peroxidase/thioredoxin system", *Scientia Horticulturae*, **255**, pp.260-268, DOI: 10.1016/j.scienta.2019.05.042.

[17] M.A.R. Graü, R.M.R. Massilia, R.C.S. Fortuny, et al. (2007), "Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples", *Postharvest Biology and Technology*, **45**(2), pp.254-264, DOI: 10.1016/j.postharvbio.2007.01.017.

[18] D. Valero, H.M.D. Mula, P.J. Zapata, et al. (2013), "Effects of alginate edible coating on preserving fruit quality in four plum cultivars during postharvest storage", *Postharvest Biology and Technology*, **77**, pp.1-6, DOI: 10.1016/j.postharvbio.2012.10.011.

[19] N. Azaraksh, A. Osman, H.M. Ghazali, et al. (2014), "Lemongrass essential oil incorporated into alginate-based edible coating for shelf-life extension and quality retention of fresh-cut pineapple", *Postharvest Biology and Technology*, **88**, pp.1-7, DOI: 10.1016/j.postharvbio.2013.09.004.

[20] R.M.R. Sánchez, M.A.R. Graü, I.O. Serrano, et al. (2013), "Influence of alginate-based edible coating as carrier of antibrowning agents on bioactive compounds and antioxidant activity in fresh-cut Kent mangoes", *LWT - Food Science and Technology*, **50**(1), pp.240-246, DOI: 10.1016/j.lwt.2012.05.021.

Kết quả điều trị viêm phổi thùy theo định hướng căn nguyên vi khuẩn từ dịch tỵ hầu tại Bệnh viện Nhi Trung ương (3/2023-2/2024)

Trần Thanh Tú, Nguyễn Thị Mai*, Đinh Thị Hoa, Trần Hoàng Linh, Vũ Thị Hải Yến, Vũ Đức Anh, Phạm Văn Trường

Bệnh viện Nhi Trung ương, 18/879 La Thành, phường Láng, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 21/1/2024; ngày chuyển phản biện 29/1/2024; ngày nhận phản biện 15/2/2024; ngày chấp nhận đăng 19/2/2024

Tóm tắt:

Viêm phổi thùy là bệnh lý tổn thương phổi nặng ở trẻ em, bệnh diễn biến thường cấp tính. Tuy nhiên việc chẩn đoán nguyên nhân của viêm phổi thùy rất khó khăn khi lấy mẫu bệnh phẩm tại vị trí tổn thương. Mục tiêu và phương pháp nghiên cứu: Đánh giá kết quả điều trị viêm phổi thùy theo định hướng căn nguyên vi khuẩn tại dịch tỵ hầu được xác định bởi phương pháp real-time polymerase chain reaction (PCR), cấy dịch tỵ hầu và kháng thể đặc hiệu IgM Mycoplasma. Kết quả: Nghiên cứu trên 777/835 trẻ mắc viêm phổi thùy được điều trị theo định hướng nguyên nhân là vi khuẩn tìm được tại dịch tỵ hầu bằng real-time PCR và nuôi cấy dịch tỵ hầu. Căn nguyên xác định được bằng PCR: *Mycoplasma pneumoniae* (MP) hay gặp nhất (32,1%), sau đó là *Haemophilus influenzae* (28,1%), *Streptococcus pneumoniae* (21,9%). Căn nguyên xác định được bằng cấy dịch tỵ hầu: *H. influenzae* 17,5%, *S. pneumoniae* 7,4% và *Moraxella catarrhalis* 7,9%. Tổng cộng 100% bệnh nhân có kết quả real-time PCR MP (+) điều trị khỏi bằng phác đồ Macrolide hoặc Quinolone, 159/211 (75,4%) bệnh nhân viêm phổi thùy được điều trị khỏi theo kháng sinh đồ, 52/211 (24,6%) khỏi không theo kháng sinh đồ. Kết luận: Điều trị viêm phổi thùy theo định hướng căn nguyên vi khuẩn trong dịch tỵ hầu đạt hiệu quả cao cho thấy dịch tỵ hầu có giá trị định hướng căn nguyên trong viêm phổi thùy. Khuyến cáo: Sử dụng kết quả nguyên nhân dịch tỵ hầu cho điều trị viêm phổi thùy đáng tin cậy.

Từ khóa: căn nguyên dịch tỵ hầu, điều trị, viêm phổi thùy.

Chỉ số phân loại: 3.2, 3.3

Results of treatment for lobar pneumonia based on bacterial etiology from nasopharyngeal samples at the Vietnam National Children's Hospital (March 2023 - February 2024)

Thanh Tu Tran, Thi Mai Nguyen*, Thi Hoa Dinh, Hoang Linh Tran, Thi Hai Yen Vu, Duc Anh Vu, Van Truong Pham

Vietnam National Children's Hospital, 18/879 La Thanh Street, Lang Ward, Hanoi, Vietnam

Received 21 January 2024; revised 15 February 2024; accepted 19 February 2024

Abstract:

Lobar pneumonia is a disease of severe lung damage in children that often progresses acutely. However, diagnosing the cause of lobar pneumonia is challenging when collecting specimens at the lesion site. Aims and methods: Evaluate the results of treatment of lobar pneumonia based on the bacterial etiology in nasopharyngeal samples determined by real-time PCR, NPS culture and specific Mycoplasma IgM antibodies. Results: The study involved 777 out of 835 children with lobar pneumonia treated according to the bacteria found in nasopharyngeal samples by real-time polymerase chain reaction (PCR) and nasopharyngeal samples culture. The cause determined by PCR: *Mycoplasma pneumoniae* (MP) was the most common 32.1%, followed by *Haemophilus influenzae* 28.1%, *Streptococcus pneumoniae* at 21.9%. The etiology was determined by nasopharyngeal culture: *H. influenzae* at 17.5%, *S. pneumoniae* at 7.4% and *Moraxella catarrhalis* at 7.9%. 100% of patients with real-time PCR MP (+) were successfully treated with Macrolide or Quinolone regimen, 159/211 (75.4%) patients with lobar pneumonia were cured according to the antibiogram, while 52/211 (24, 6%) recovered without following the antibiogram. Conclusion: Treatment of lobar pneumonia by targeting the bacterial etiology in nasopharyngeal samples is highly effective, showing the value of nasopharyngeal samples in identifying the cause of lobar pneumonia. Recommendation: Use nasopharyngeal samples etiology results for reliable treatment of lobar pneumonia.

Keywords: etiology of nasopharynx epidemic, lobar pneumonia, treatment.

Classification numbers: 3.2, 3.3

*Tác giả liên hệ: Email: maibs34@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Viêm phổi là bệnh truyền nhiễm gây tử vong cao nhất cho hơn 700.000 trẻ em dưới 5 tuổi trên toàn thế giới năm 2015, hay khoảng 2.000 trẻ mỗi ngày, chiếm 14% tổng số ca tử vong ở trẻ dưới 5 tuổi chủ yếu ở châu Phi và Đông Nam Á [1, 2]. Trong đó, viêm phổi thùy dùng để chỉ những tổn thương phổi tập trung lại thành đám trên phim chụp X-quang. Viêm phổi thùy hay gặp ở nhóm người trưởng thành 20-50 tuổi, đối với nhóm trẻ nhỏ và người già tổn thương chủ yếu là viêm phổi lan tỏa. Tuy nhiên, xu hướng những năm gần đây tuổi mắc viêm phổi thùy ngày càng nhỏ, tổn thương ngày càng nặng và căn nguyên gây bệnh thay đổi. Nghiên cứu của D.M. Tuan (2010) [3] thực hiện tại Bệnh viện Nhi Trung ương năm 2010 ghi nhận có 8,6% trẻ mắc viêm phổi thùy trong đó nguyên nhân tụ cầu chiếm 30,09% và phế cầu là 28,57%. Nghiên cứu của T.Q. Khai và cs (2020) [4] chỉ ra căn nguyên hay gặp là *M. pneumoniae* (69,7%). Trong nhiều trường hợp trẻ mắc viêm phổi thùy rất khó xác định căn nguyên gây bệnh do khó lấy được bệnh phẩm tại vị trí tổn thương, phần lớn chẩn đoán nguyên nhân sẽ được định danh qua dịch tỵ hầu, trong một số trường hợp nguyên nhân sẽ được chẩn đoán qua dịch nội khí quản (đây là một thủ thuật xâm lấn, có chỉ định chặt chẽ), vì vậy phần lớn các tác giả nghiên cứu về nguyên nhân viêm phổi thùy thường lấy bệnh phẩm từ dịch tỵ hầu. Mặc dù vậy, vẫn còn nhiều ý kiến chưa tin tưởng thực sự vào kết quả từ bệnh phẩm dịch tỵ hầu, cũng như lo lắng về việc vi khuẩn tìm được là vi khuẩn cư trú hay vi khuẩn gây bệnh. Những năm gần đây, ngành vi sinh học có nhiều tiến bộ: với kỹ thuật cấy đếm, chúng ta có thể xác định được vi khuẩn nào là vi khuẩn gây bệnh, vi khuẩn nào chỉ là vi khuẩn cư trú. Tuy nhiên, liệu vi khuẩn gây bệnh được tìm thấy tại dịch tỵ hầu có phải là vi khuẩn gây bệnh viêm phổi thùy không vẫn còn là một câu hỏi. Chúng tôi tiến hành nghiên cứu “Kết quả điều trị viêm phổi thùy theo định hướng vi khuẩn dịch tỵ hầu tại Trung tâm Quốc tế - Bệnh viện Nhi Trung ương từ tháng 3/2023 đến tháng 2/2024” với mục tiêu:

- Phát hiện tác nhân vi khuẩn trong dịch tỵ hầu bằng phương pháp real-time PCR, cấy dịch tỵ hầu và huyết thanh học.

- Kết quả điều trị viêm phổi thùy theo nguyên nhân và kháng sinh đồ dịch tỵ hầu.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Trẻ từ 1 tháng tuổi được chẩn đoán viêm phổi thùy và được điều trị tại Trung tâm Quốc tế - Bệnh viện Nhi Trung ương từ tháng 3/2023 đến tháng 2/2024.

Tiêu chuẩn lựa chọn: Viêm phổi được chẩn đoán theo tiêu chuẩn của Bộ Y tế [5].

- Hình ảnh X-quang có giá trị chẩn đoán xác định viêm phổi thùy khi có hình mờ của tổn thương tập trung khu trú ở 1 thùy hay 1 vùng của 1 bên hay cả 2 bên phổi.

- Bệnh nhân được lấy mẫu xét nghiệm nguyên nhân vi khuẩn dịch tỵ hầu (PCR và cấy).

Tiêu chuẩn loại trừ: Những bệnh nhân viêm phổi thùy không xác định được căn nguyên trong dịch tỵ hầu:

- Cấy dịch tỵ hầu âm tính.

- Real-time PCR 7 vi khuẩn: *Bordetella parapertussis* (BPP), *Bordetella pertussis* (BP), *Chlamydia pneumoniae* (CP), *Haemophilus influenzae* (HI), *Legionella pneumophila* (LP), *Mycoplasma pneumoniae* (MP), *Streptococcus pneumoniae* (SP) âm tính.

- IgM Mycoplasma huyết thanh (-).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thiết kế nghiên cứu: Nghiên cứu mô tả tiến cứu loạt ca bệnh.

Chọn mẫu nghiên cứu: Lấy toàn bộ bệnh nhi đủ tiêu chuẩn, trong 1 năm từ: 3/2023-2/2024.

Chẩn đoán viêm phổi do MP [6]: Bệnh nhân được chẩn đoán là viêm phổi và tìm thấy dấu ấn của *M. pneumoniae* trong bệnh phẩm dịch hô hấp và mẫu huyết thanh: PCR *M. pneumoniae* dương tính + IgM *M. pneumoniae* dương tính hoặc hiệu giá kháng thể IgM *M. pneumoniae* chuyển từ (-) sang (+).

Phương pháp xác định căn nguyên vi khuẩn cấy dịch tỵ hầu: Nuôi cấy vi khuẩn từ dịch tỵ hầu bằng phương pháp cấy định lượng. Bệnh phẩm được nuôi cấy và phân lập theo quy trình xét nghiệm tại Bệnh viện Nhi Trung ương (QTKT.ĐD.001.V1.0 và QTKT.ĐD.001.V2.0, QTXN.VS.007.V3.0, định danh vi khuẩn bằng hệ thống tự động VITEK MS theo quy trình QTXN.VS.16).

Điều trị viêm phổi thùy: Theo “Hướng dẫn xử trí Viêm phổi cộng đồng ở trẻ em” của Bộ Y tế (2014) [5].

Tiêu chuẩn khỏi bệnh: Lâm sàng: hết các triệu chứng ho, sốt, khó thở; nghe phổi: hết ran. Cận lâm sàng: số lượng bạch cầu, bạch cầu trung tính, CRP trở về bình thường, X-quang phổi thuyên giảm hoặc trở về bình thường.

Tiêu chuẩn thất bại: Trong vòng 72 giờ sau điều trị các dấu hiệu lâm sàng tăng nặng, xét nghiệm máu chỉ số nhiễm trùng tăng, tổn thương trên X-quang xấu đi.

Phương pháp thu nhập và phân tích số liệu: Thu thập thông tin bệnh nhân theo mẫu bệnh án nghiên cứu chung. Phân tích số liệu bằng phần mềm SPSS 20.0.

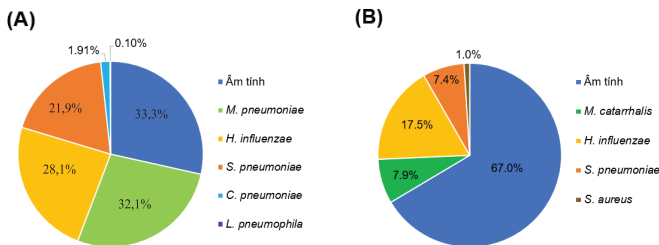
2.3. Đạo đức nghiên cứu

Thông tin bệnh nhân nghiên cứu được bảo đảm giữ bí mật, nghiên cứu không can thiệp vào quá trình điều trị của bệnh nhân. Trẻ và người chăm sóc trẻ tự nguyện tham gia nghiên cứu. Đề tài nghiên cứu được Hội đồng Đạo đức, Bệnh viện Nhi Trung ương thông qua số 3949/QĐ-BVNTW ngày 16/8/2023.

3. Kết quả

Trong thời gian nghiên cứu, có 835 bệnh nhi được thu thập, trong đó 58 bệnh nhi không xác định được căn nguyên trong dịch tỵ hầu và IgM Mycoplasma huyết thanh âm tính; 777 bệnh nhi xác định được căn nguyên, bao gồm 555 bệnh nhân xác định được căn nguyên trong dịch tỵ hầu bằng real-time PCR, 272 bệnh nhân có kết quả nuôi cấy dịch tỵ hầu dương tính, 569 bệnh nhi IgM Mycoplasma (+).

3.1. Căn nguyên vi khuẩn trong dịch tỵ hầu ở bệnh nhân viêm phổi thùy



Hình 1. Căn nguyên vi khuẩn được xác định bằng phương pháp real-time PCR (A) và nuôi cấy dịch tỵ hầu (B).

Trong 835 bệnh nhân viêm phổi thùy, số ca có căn nguyên được xác định bằng kỹ thuật real-time PCR là 555 (chiếm 66,5%); căn nguyên hay gặp nhất là *M. pneumoniae* 268/835 bệnh nhân (32,1%), sau đó là *H. influenzae* 235/835 bệnh nhân (28,1%), *S. pneumoniae* 183/835 bệnh nhân (21,9%) (hình 1). Với kỹ thuật real-time PCR phát hiện 7 loài vi khuẩn hô hấp hiện tại, chúng tôi không phát hiện được *M. catarrhalis*. Kết quả nuôi cấy dịch tỵ hầu cho thấy có 272/835 (32,6%) ca dương tính. Tác nhân hay gặp nhất là *H. influenzae* 146/835 (17,5%), sau đó là *S. pneumoniae* là 62/835 (7,4%) và *M. catarrhalis* là 66/835 (7,9%). Phương pháp nuôi cấy thông thường không phân lập được *M. pneumoniae*.

3.2. Viêm phổi thùy do *M. pneumoniae*

Bảng 1. Kết quả điều trị bệnh nhân viêm phổi thùy do *M. pneumoniae* và nhiễm MP.

Phác đồ điều trị	Viêm phổi thùy do MP n (%)	PCR MP (+) IgM MP (-) n (%)	PCR MP (-) IgM MP (+) n (%)	Giá trị p
Macrolide	166 (74,4%)	70 (81,4%)	276 (79,8%)	0,32
Quinolon từ đầu	10 (4,5%)	1 (1,2%)	3 (0,9%)	
Macrolide chuyển Quinolon	47 (21,1%)	15 (17,4%)	67 (19,3%)	
Tổng	223	86	346	

Bệnh nhân viêm phổi thùy do MP điều trị khỏi là 100%, trong đó có 47 bệnh nhân (21,1%) thất bại với phác đồ Macrolide phải chuyển Quinolon (bảng 1). Bệnh nhân nhiễm MP (xác định bằng PCR MP trong dịch tỵ hầu hoặc IgM MP

huyết thanh) điều trị bằng phác đồ điều trị MP có tỷ lệ khỏi là 100%, tỷ lệ thất bại với phác đồ Macrolide phải chuyển Quinolon là 17,4% với nhóm real-time PCR dịch tỵ hầu và 19,3% với nhóm IgM huyết thanh. Sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê với $p > 0,05$.

3.3. Viêm phổi thùy cấy dịch tỵ hầu dương tính vi khuẩn

Bảng 2. Kết quả điều trị viêm phổi thùy cấy dịch tỵ hầu dương tính vi khuẩn.

Kháng sinh	Căn nguyên vi khuẩn			
	H. influenzae n (%)	S. pneumoniae n (%)	M. catarrhalis n (%)	Tổng n (%)
Phù hợp kháng sinh đồ	88 (75,2%)	32 (69,6%)	39 (81,2%)	159 (75,4%)
Không phù hợp kháng sinh đồ	29 (24,8%)	14 (30,4%)	9 (18,8%)	52 (24,6%)
Tổng	117 (100%)	46 (100%)	48 (100%)	211 (100%)

Bệnh nhân viêm phổi thùy sử dụng kháng sinh phù hợp với kết quả kháng sinh đồ cấy dịch tỵ hầu có tỷ lệ cao 159/211 (75,4%), cụ thể với *H. influenzae* là 75,2%, *S. pneumoniae* là 69,6%, *M. catarrhalis* là 81,2% (bảng 2). Tỷ lệ bệnh nhân viêm phổi thùy sử dụng kháng sinh không phù hợp với kết quả kháng sinh đồ là 24,6%. 100% bệnh nhân viêm phổi thùy khỏi bệnh.

4. Bàn luận

4.1. Căn nguyên vi khuẩn trong dịch tỵ hầu ở bệnh nhân viêm phổi thùy

Kết quả nghiên cứu của chúng tôi khi khảo sát 835 bệnh nhân viêm phổi thùy cho thấy, căn nguyên trong dịch tỵ hầu được phát hiện bằng kỹ thuật real-time PCR gồm 7 loại vi khuẩn điển hình và không điển hình là 555 ca dương tính (66,5%), tuy nhiên không phát hiện thấy ca nào nhiễm *M. catarrhalis*. Nguyên nhân hay gặp nhất là *M. pneumoniae* (32,1%), tiếp theo là *H. influenzae* (28,1%) và *S. pneumoniae* (21,9%). Kết quả này có sự khác biệt với một số nghiên cứu trước đây trên thế giới và trong y văn, căn nguyên hay gặp nhất là *S. pneumoniae* [7, 8]. Tuy nhiên, kết quả lại tương đồng với nghiên cứu của tác giả T.Q. Khai và cs (2020) [4] với căn nguyên hay gặp là *M. pneumoniae* (69,7%), sau đó là *S. pneumoniae* (53%) và *Staphylococcus aureus* (27,2%) [4]. Có thể giải thích do gần đây các kỹ thuật để phát hiện MP (PCR hoặc IgM, IgG huyết thanh) ngày càng phát triển và sự phát triển của vắc-xin phế cầu cũng góp phần làm thay đổi dịch tễ của viêm phổi thùy.

Đối với phương pháp nuôi cấy dịch tỵ hầu không bao gồm *M. pneumoniae* đòi hỏi môi trường nuôi cấy đặc biệt, kết quả có 272/835 (32,6%) trường hợp dương tính, trong đó nguyên nhân hay gặp nhất là *H. influenzae* (17,5%) tiếp theo là *M. catarrhalis* (7,9%) và *S. pneumoniae* (7,4%) với tỷ lệ gần như

nhau. So với nghiên cứu của N.T.T. Binh và cs (2022) thì tỷ lệ *H. influenzae* (15,5%) và *S. pneumoniae* (13,8%) gần bằng nhau [9].

Từ hai kết quả xét nghiệm bằng hai phương pháp nêu trên, có thể thấy rằng cần kết hợp cả phương pháp real-time PCR và nuôi cấy dịch tỵ hầu để xác định chính xác hơn, tránh bỏ sót căn nguyên viêm phổi thùy là *M. pneumoniae* hoặc *M. catarrhalis*.

4.2. Kết quả điều trị viêm phổi thùy theo định hướng căn nguyên vi khuẩn tại dịch tỵ hầu

Bệnh nhân viêm phổi thùy do MP là 223/777 bệnh nhân được điều trị bằng Macrolide hoặc Quinolone khỏi 100%, trong đó số bệnh nhân điều trị Macrolide khỏi xuất viện là 166 bệnh nhân (74,4%), 47 bệnh nhân (21,1%) thất bại với Macrolide phải chuyển Quinolone. Bệnh nhân nhiễm MP (real-time PCR dịch tỵ hầu hoặc IgM huyết thanh) điều trị bằng phác đồ Macrolide hoặc Quinolone cũng đạt tỷ lệ khỏi bệnh 100%. Những bệnh nhân xác định MP trong dịch tỵ hầu bằng real-time PCR có tỷ lệ đáp ứng phác đồ Macrolide là 81,4%, tỷ lệ đổi Quinolone là 17,4%, những bệnh nhân có IgM MP (+) trong huyết thanh có tỷ lệ đáp ứng phác đồ Macrolide là 79,8%, tỷ lệ đổi Quinolone là 19,3%. Sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê $p > 0,05$. Kết quả này tương tự với nghiên cứu của N.T.T. Phuc và cs (2023) có 81% bệnh nhân nhiễm MP đáp ứng Macrolide, 19% phải đổi Quinolone [10]. Những bệnh nhân viêm phổi thùy do MP và nhiễm MP đều khỏi bệnh khi sử dụng phác đồ Macrolide hoặc Quinolone, tỷ lệ đổi thuốc như nhau. Như vậy đối với viêm phổi thùy, real-time PCR MP dịch tỵ hầu hoặc IgM MP huyết thanh có giá trị định hướng cao trong điều trị.

Trong 777 bệnh nhân tham gia nghiên cứu, có 272 bệnh nhân có kết quả cấy dịch tỵ hầu dương tính, chúng tôi tiến hành phân tích kết quả điều trị theo định hướng vi khuẩn tại dịch tỵ hầu của những bệnh nhân không đồng nhiễm MP có 211 bệnh nhân. Bệnh nhân viêm phổi thùy sử dụng kháng sinh phù hợp với kết quả kháng sinh đồ cấy dịch tỵ hầu có tỷ lệ cao 159/211 (75,4%). 117 bệnh nhân nuôi cấy dịch tỵ hầu *H. influenzae* dương tính: 88/117 (75,2%) bệnh khi sử dụng kháng sinh phù hợp với kháng sinh đồ. 46 bệnh nhân nuôi cấy dịch tỵ hầu có *S. pneumoniae* dương tính: 32/46 (69,6%) bệnh khi sử dụng kháng sinh phù hợp với kháng sinh đồ. 48 bệnh nhân nuôi cấy dịch tỵ hầu có *M. catarrhalis* dương tính: 39/48 (81,2%) bệnh khi sử dụng kháng sinh phù hợp với kháng sinh đồ. 100% bệnh nhân viêm phổi thùy ở cả 2 nhóm sử dụng kháng sinh phù hợp với kết quả kháng sinh đồ và nhóm không phù hợp kháng sinh

đều khỏi bệnh hoàn toàn. Như vậy, sử dụng kết quả định hướng vi khuẩn từ dịch tỵ hầu cho kết quả tốt đối với cả vi khuẩn điển hình và không điển hình.

5. Kết luận

Căn nguyên vi khuẩn trong dịch tỵ hầu hay gặp nhất ở bệnh nhân viêm phổi thùy là *M. pneumoniae*, tiếp theo là *H. influenzae*, *S. pneumoniae*, *M. catarrhalis*.

Điều trị viêm phổi thùy dựa trên căn nguyên vi khuẩn phát hiện trong dịch tỵ hầu đạt hiệu quả cao, cho thấy dịch tỵ hầu có giá trị định hướng căn nguyên trong viêm phổi thùy.

Khi chưa có phương pháp chẩn đoán nguyên nhân chính xác từ vị trí tổn thương tại thùy phổi, thì điều trị viêm phổi thùy theo nguyên nhân vi khuẩn trong dịch tỵ hầu là điều cần thiết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. Marangu, H.J. Zar (2019), "Childhood pneumonia in low-and-middle-income countries: An update", *Paediatr. Respir. Rev.*, **32**, pp.3-9, DOI: 10.1016/j.prrv.2019.06.001.
- [2] I. Rudan, C.B. Pinto, Z. Biloglav, et al. (2008), "Epidemiology and etiology of childhood pneumonia", *Bull. World Health Organ.*, **86**(5), pp.408-416, DOI: 10.2471/blt.07.048769.
- [3] D.M. Tuan (2010), *Clinical Characteristics, Laboratory Findings, Bacterial Etiology, and Treatment Outcomes of Focal Pneumonia in Children at The Vietnam National Children's Hospital*, Specialist Level II Thesis, Hanoi Medical University (in Vietnamese).
- [4] T.Q. Khai, V.H. Pham, P.M. Nguyen, et al. (2020), "Lobar pneumonia and bacterial pathogens in Vietnamese children", *Curr. Pediatr. Res.*, **24**(7), pp.247-253.
- [5] Ministry of Health (2014), *Issuing Guidelines for The Management of Community-Acquired Pneumonia in Children* (in Vietnamese).
- [6] C. Krafft, C. Christy (2020), "Mycoplasma pneumonia in children and adolescents", *Pediatr. Rev.*, **41**(1), pp.12-19, DOI: 10.1542/pir.2018-0016.
- [7] A.K. Leung, A.H. Wong, K.L. Hon (2018), "Community-acquired pneumonia in children", *Recent Pat. Inflamm. Allergy Drug Discov.*, **12**(2), pp.136-144, DOI: 10.2174/1872213X12666180621163821.
- [8] V.A. Zinserling, V.V. Swistunov, A.D. Botvinkin, et al. (2022), "Lobar (croupous) pneumonia: Old and new data", *Infection*, **50**(1), pp.235-242, DOI: 10.1007/s15010-021-01689-4.
- [9] N.T.T. Binh, T.T.N. Bui (2022), "Bacterial etiology of focal pneumonia in children and treatment outcomes based on bacterial pathogens", *Vietnam Med. J.*, **518**(2), pp.265-268, DOI: 10.51298/vmj.v518i2.3470 (in Vietnamese).
- [10] N.T.T. Phuc, T.T. Tran, T.B.T. Phung, et al. (2024), "Treatment outcomes of *Mycoplasma pneumoniae* with macrolide-resistant genes in children", *J. Med. Res.*, **174**(1), pp.158-163, DOI: 10.52852/tencyh.v174i1.2231 (in Vietnamese).

Nghiên cứu cải tạo và phục hồi độ phì nhiêu đất trồng cam bị suy thoái ở Nghệ An

Lương Đức Toàn*, Lê Xuân Anh, Trần Sỹ Hải, Nguyễn Thị Vân, Nguyễn Bá Trung

Viện Thổ nhưỡng Nông hóa, 10 Đức Thắng, phường Đông Ngạc, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 21/10/2024; ngày gửi phản biện 23/10/2024; ngày nhận phản biện 12/11/2024; ngày chấp nhận đăng 18/11/2024

Tóm tắt:

Huyện Quỳnh Hợp (trước sáp nhập) là vùng trồng cam lớn nhất của tỉnh Nghệ An với thương hiệu “Cam Vinh”. Qua nhiều năm canh tác thâm canh cao và sử dụng phân bón hóa học, hóa chất bảo vệ thực vật không hợp lý đã tác động tiêu cực đến độ phì nhiêu của đất, trong đó gia tăng độ chua, mất cấu trúc của đất, mất cân bằng dinh dưỡng trong đất, giảm hàm lượng hữu cơ, suy giảm vi sinh vật có ích và tăng các loài vi sinh vật gây hại trong vùng rễ cây. Nghiên cứu này đánh giá kết quả một số biện pháp nhằm cải tạo, phục hồi độ phì nhiêu đất để phát triển bền vững cây cam tại vùng nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu cho thấy, thực hiện các biện pháp tổng hợp trong quản lý và sử dụng phân bón như thay đổi loại và liều lượng phân bón, kết hợp với các biện pháp quản lý giữ ẩm cho đất đã cải thiện tính chất hóa lý của đất rõ rệt, giảm chi phí đầu tư, tăng hiệu quả kinh tế trong canh tác cam. Sử dụng các chế phẩm sinh học đã làm tăng mật độ vi sinh vật có lợi vùng rễ, phục hồi cân bằng sinh học đất, tăng khả năng sinh trưởng và phát triển của cây cam.

Từ khóa: cải tạo đất, cam Vinh, độ phì đất, suy thoái đất.

Chỉ số phân loại: 4.1, 4.6, 4.7

Research on the restoration of soil fertility in degraded orange-growing areas of Nghe An province

Duc Toan Luong*, Xuan Anh Le, Sy Hai Tran, Thi Van Nguyen, Ba Trung Nguyen

Soil and Fertilizers Institute, 10 Duc Thang Street, Dong Ngac Ward, Hanoi, Vietnam

Received 21 October 2024; revised 12 November 2024; accepted 18 November 2024

Abstract:

Quy Hop district (before the administrative merger), the largest orange-growing region in Nghe An province, is known for the “Cam Vinh” brand. Years of intensive cultivation and the indiscriminate use of chemical fertilizers and pesticides have negatively impacted soil fertility, leading to increased soil acidity, soil structure degradation, nutrient imbalance, reduced organic matter content, a decline in beneficial microorganisms, and an increase in harmful microorganisms in the root zone. This study evaluates the results of several measures to rehabilitate and restore soil fertility for the sustainable development of orange trees in the study area. The results showed that integrated management practices, including adjusting fertilizer types and rates and implementing moisture management, significantly improved soil physicochemical properties, reduced production costs, and increased economic efficiency in orange cultivation. Additionally, the application of bio-products increased the density of beneficial microorganisms in the rhizosphere, restored soil biological balance, and promoted the growth and development of orange trees.

Keywords: soil degradation, soil fertility, soil restoration, Vinh orange.

Classification numbers: 4.1, 4.6, 4.7

*Tác giả liên hệ: Email: ldtoan76@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Tỉnh Nghệ An từng được biết đến là thủ phủ về cam với thương hiệu “Cam Vinh”, diện tích cây cam thời kỳ cao điểm năm 2018 là 6.156 ha, tăng gần gấp đôi so với năm 2015, trong đó huyện Quỳnh Hợp chiếm gần 50% diện tích cam toàn tỉnh [1]. Có thể thấy, việc tăng nhanh diện tích đất trồng cam trong một thời gian ngắn là mối quan tâm cho ngành nông nghiệp tỉnh. Với diện tích trồng cam khá lớn, được phát triển ở những vùng đất không phù hợp, thiếu nguồn nước tưới, chưa áp dụng đúng các tiến bộ kỹ thuật, dẫn đến việc suy thoái chất lượng đất; sản lượng cam tăng nhanh dẫn đến khó khăn về tiêu thụ đầu ra.

Sự gia tăng nhanh diện tích, với mức đầu tư thâm canh cam quá cao ở Nghệ An nói chung, huyện Quỳnh Hợp nói riêng đã diễn ra liên tục trong suốt 1-2 thập kỷ qua. Mặc dù thương hiệu “Cam Vinh” được coi trọng đầu tư phát triển mở rộng sản xuất, tuy nhiên ngày càng có nhiều vườn cam, diện tích cam bị suy thoái, cây cam bị chặt bỏ ở thời kỳ còn rất trẻ (8, 10, 12 tuổi). Nguyên nhân chính được xác định là do việc sử dụng nhiều phân bón hóa học và thuốc bảo vệ thực vật hóa học gây suy thoái đất. Hơn 50% diện tích cam tại Quỳnh Hợp đã bị giảm trong giai đoạn 2019-2021 [2]. Chính vì vậy, trong 4 năm (2021-2024), đề tài đã dựa trên cơ sở ứng dụng các tiến bộ kỹ thuật để kết hợp với nghiên cứu chuyên sâu một cách hệ thống về thực trạng suy thoái độ phì nhiêu đất và giải pháp cải tạo phục hồi đất trồng cam bị thoái hóa tại Quỳnh Hợp nhằm giúp các cơ quan quản lý nhà nước và người sản xuất cam có thêm cơ sở để cải tạo vườn cam, phục hồi vùng trồng cam, góp phần phát triển cam trên địa bàn huyện một cách bền vững.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Cây cam Xã Đoài thời kỳ kinh doanh (12 tuổi); đất trồng cam là đất đỏ vàng.

Nghiên cứu được thực hiện tại xóm Châu Thành, xã Tam Hợp, huyện Quỳnh Hợp, tỉnh Nghệ An (trước sáp nhập) từ tháng 10/2022 đến tháng 11/2024.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Lấy mẫu phân tích các chỉ tiêu lý, hóa học đất: Mẫu đất được lấy ở tầng 0-30 cm, tại 4 điểm xung quanh tán của cây đã được chọn trong vườn lấy mẫu, trộn đều các mẫu và lấy 1 kg cho vào túi riêng biệt, lấy theo phương pháp lưới ô vuông (theo TCVN 5297:1995 và TCVN 7538-2:2005).

Lấy mẫu phân tích các chỉ tiêu vi sinh vật, tuyến trùng: Mỗi cây lấy 4 mẫu nhỏ, theo 4 hướng địa lý (đông - bắc - tây - nam), 4 mẫu nhỏ này trộn đều để lấy ra 1 mẫu lớn có khối lượng 2 kg. Kỹ thuật xác định vùng lấy mẫu theo TCVN 7538-4 (ISO 10381-4).

Phân tích chỉ tiêu lý, hóa học đất: Được thực hiện theo bảng 1.

Bảng 1. Phân tích chỉ tiêu lý, hóa học đất.

Thành phần cấp hạt	TCVN 8567:2010	N tổng số	TCVN 8557:2010
pH _{KCl}	TCVN 5979:2007	CEC	TCVN 8568:2010
OC tổng số	TCVN 8941:2011	Al ³⁺	TCVN 4403:2011
K ₂ O dễ tiêu	TCVN8662:2011	Ca ²⁺ trao đổi	TCVN 8569:2010
P ₂ O ₅ dễ tiêu	TCVN 8661:2011	Mg ²⁺ trao đổi	TCVN 8569:2010
K ₂ O tổng số	TCVN8660:2011	Cu và Zn dễ tiêu	TCVN 6496 :2009
P ₂ O ₅ tổng số	TCVN8940:2011		

Xác định mật độ tuyến trùng: Thực hiện theo TCVN 12194-1:2019 - Quy trình giám định tuyến trùng gây bệnh thực vật.

Xác định tổng số bào tử nấm rễ nội cộng sinh: Thực hiện theo TCVN 12560-1:2018. Phân bón vi sinh vật - Xác định mật độ nấm rễ nội cộng sinh - Phần 1: Đếm số lượng bào tử nấm nội cộng sinh bằng kỹ thuật sàng ướm, ly tâm nổi.

Xác định sinh khối carbon vi sinh vật: Thực hiện theo TCVN 6856-1:2001 (ISO 14240-1:1997). Chất lượng đất - Xác định sinh khối vi sinh vật đất - Phần 1: Phương pháp đo hô hấp cảm ứng chất nền.

Phân tích chất lượng quả cam: Độ Brix (%): xác định bằng cách ép lấy nước và đo trên máy chiết quang kế chuyên dụng; chất khô (%): xác định theo phương pháp sấy đến khối lượng không đổi; vitamin C: áp dụng theo TCVN 6427-2:1998.

Bố trí thí nghiệm: Gồm 7 công thức theo TCVN 12720:2019 về khảo nghiệm phân bón cho cây trồng lâu năm [3]. Thí nghiệm được bố trí theo khối ngẫu nhiên hoàn chỉnh, diện tích 200 m²/ô (16 cây) x 7 CT x 3 lần lặp lại =4.200 m² (bảng 2).

Bảng 2. Sơ đồ bố trí thí nghiệm.

R1	CT1 (đ/c)	CT4	CT7	CT5	CT3	CT6	CT2
R2	CT7	CT6	CT2	CT1 (đ/c)	CT4	CT5	CT3
R3	CT5	CT3	CT4	CT6	CT2	CT7	CT1 (Đ/c)

+ Công thức phân bón/ha: CT1: Đối chứng: phân chuồng + NPK theo quy trình thâm canh cây cam: 350 kg N + 250 kg P₂O₅ + 450 kg K₂O/ha; CT2: phân chuồng + NP1K; CT3: phân chuồng + NPK hòa tan; CT4: phân chuồng + NP1K + Bo + kẽm; CT5: phân chuồng + NP1K + Mycorrhiza + vi sinh vật cải tạo đất; CT6: phân chuồng + NP1K + Mycorrhiza + vi sinh vật cải tạo đất + Bo + kẽm; CT7: phân chuồng + NP1K + Mycorrhiza + vi sinh vật cải tạo đất + Bo + kẽm + phủ đất.

Loại phân đơn: đạm urê (46%N), lân nung chảy (16% P₂O₅), kali clorua (56% K₂O).

NPK hòa tan: NPK 15:30:15; NPK 27:7:7; NPK 15:5:40.

NP1K: Giảm 25% lượng lân theo quy trình thâm canh.

Lượng bón (kg/cây): phân chuồng đã ủ compost: 120 kg; Mycorrhiza: 0,6 kg; vi sinh vật cải tạo đất: 1,2 kg; Bo: 0,04 kg axit boric; Zn: 0,04 kg ZnSO₄.

Phân chuồng: Ủ yếm khí bằng compost maker sau 2 tháng, hoại mục hoàn toàn.

Tất cả công thức đều bón vôi: 0,5 kg/cây.

Các đợt bón phân:

- Đợt 1: Ngay sau khi thu hoạch quả (từ tháng 12 - tháng 1 năm sau), 100% phân hữu cơ + 100% phân lân + 100 vôi bột + 100% chế phẩm Mycorrhiza, cải tạo đất (bón sau khi bón vôi 10 ngày).

- Đợt 2: Bón thúc cành lộc và đốn hoa (tháng 1-2), 40% urê + 40% phân kali clorua.

- Đợt 3: Tháng 5-6 (bón thúc quả): 30% Urê + 20% phân kali clorua.

- Đợt 4: Tháng 8-9 (bón thúc lộc thu, nuôi quả): 30% urê + 40% phân kali clorua.

Cách bón: Sau khi thu hoạch quả, đào rãnh theo hình chiếu của tán xung quanh gốc cây với độ sâu 15-20 cm, rộng 20-30 cm rải đều phân, rồi lấp kín bằng đất + tủ rơm, rạ, xác thực vật để giữ ẩm. Các đợt bón tiếp sau bằng cách hòa tan phân rồi tưới đều xung quanh tán cây, sau đó tưới nước giữ ẩm thường xuyên. Hoặc sau các trận mưa, rắc đều phân lên trên mặt đất rồi tưới nhẹ cho phân tan ra. Nếu có hệ thống tưới phun mưa, tưới khoảng 20 phút, sau đó rắc phân rồi lại tưới khoảng 20 phút nữa. Đối với NPK hòa tan: tưới gốc mỗi tháng 1 lần, đợt 1 từ tháng 1-3 sử dụng NPK 15:30:15 (0,1 kg/gốc); đợt 2 tháng 4-8 sử dụng NPK 27:7:7 (0,1 kg/gốc); đợt 3 tháng 9-11 sử dụng NPK 15:5:40 (0,1 kg/gốc).

Phương pháp theo dõi và thu thập số liệu:

Phân tích đất trước và sau thí nghiệm: Độ ẩm, pH, Nts, P, K dễ tiêu, OC, CEC, Ca, Mg trao đổi; tuyến trùng, nấm gây bệnh vùng rễ (Fusarium, Phytophthora), sinh khối carbon vi sinh vật, tổng số bào tử nấm rễ nội cộng sinh.

Các chỉ tiêu theo dõi về cây: Yếu tố cấu thành năng suất, năng suất lý thuyết và thực thu.

Chỉ tiêu đánh giá chất lượng quả sau thu hoạch: Phân tích các chỉ tiêu Brix, vitamin C, hàm lượng chất khô của phần ăn được, kích thước quả.

Hiệu quả kinh tế: Vật tư đầu vào, đầu ra, hệ số đầu tư, lãi thuần...

Phương pháp đánh giá tình hình sâu bệnh: Theo QCVN 01-38:2010/BNNT về Phương pháp điều tra phát hiện dịch hại cây trồng và khảo sát thực tế đồng ruộng, nhận xét chung tình hình sâu bệnh chính trên từng loại cây trồng và các biện pháp phòng trừ [4].

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Mức độ suy thoái đất trồng cam

Bảng 3. Kết quả phân tích đất vườn cam trước thí nghiệm.

TT	Chỉ tiêu phân tích	Ô thí nghiệm	Đối chứng*	So sánh**
1	Độ ẩm	32,70	34,60	○
2	pH _{KCl}	4,82	5,22	↓
3	OC (%)	1,26	2,35	↓
4	N tổng số (%)	0,12	0,21	↓
5	P ₂ O ₅ dễ tiêu (mg/100 g đất)	37,62	22,34	↑
6	K ₂ O ₅ dễ tiêu (mg/100 g đất)	28,31	35,08	↓
7	CEC (meq/100 g đất)	13,62	15,38	↓
8	Ca ²⁺ (ldl/100 g đất)	2,46	5,19	↓
9	Mg ²⁺ (ldl/100 g đất)	0,57	0,74	↓
10	Tuyến trùng TS (TT/50 g đất)	86	54	↑
11	Fusarium spp. (CFU/g)	4,8x10 ³	2,2x10 ³	↑
12	Phytophthora spp. (CFU/g)	4,7x10 ³	2,1x10 ³	↑
13	Sinh khối C vi sinh vật tổng số (μg/g)	420	818	↓
14	Bào tử nấm CS (BT/100 g)	375	362	○

*: kết quả phân tích đất rừng cùng loại gần khu vực thí nghiệm; **: mũi tên chỉ xuống: chỉ tiêu đánh giá thấp hơn đối chứng; mũi tên chỉ lên: chỉ tiêu đánh giá cao hơn so với đối chứng; vòng tròn: chỉ tiêu đánh giá nằm trong khoảng tối ưu.

Kết quả phân tích tính chất đất của vườn cam trước thí nghiệm tại bảng 3 cho thấy, một số chỉ tiêu có biểu hiện suy giảm so với đối chứng (đất rừng cùng loại tại khu vực nghiên cứu) đó là pH_{KCl} suy giảm 7,7%; carbon hữu cơ tổng số (OC%) suy giảm 46,38%; N tổng số suy giảm 42,86%; K_2O_5 dễ tiêu suy giảm 19,3%, Ca^{2+} , Mg^{2+} lần lượt suy giảm 52,6 và 22,9%; sinh khối vi sinh vật tổng số suy giảm 48,66%. Một số chỉ tiêu có biểu hiện tăng so với đối chứng, đó là P_2O_5 dễ tiêu tăng 68,4%; tuyến trùng tổng số trong đất tăng 95,26%; *Fusarium* spp. tăng 119,9%; *Phytophthora* spp. tăng 123,8%. Như vậy, đất vườn cam đang có biểu hiện mất cân đối một số yếu tố dinh dưỡng trong đất, một số nấm bệnh đang có xu thế tăng lên làm mất cân bằng sinh học đất.

Kết quả này tương tự với nghiên cứu của T.T.T. Thu và cs (2016) [5], N.T. Trang và cs (2017) [6] khi nghiên cứu một số tính chất đất, cũng như sự phân bố của bào tử nấm *Arbuscular mycorrhiza fungi* (AMF) trong đất trồng cam Cao Phong, Hòa Bình (trước sáp nhập).

Theo yêu cầu sử dụng đất trồng cam của Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên hợp quốc (1998) [7], Bộ Nông nghiệp và Môi trường (2009) [8], nếu so sánh với hàm lượng carbon hữu cơ trong đất tối ưu đối với cây cam là >1,5%, thích hợp trung bình 0,8-1,5% và ít thích hợp <0,8% thì hàm lượng carbon hữu cơ tổng số trong đất ở ô thí nghiệm chỉ đạt ở mức trung bình. Theo D. Anh (2002) [9], hàm lượng đạm trong đất trung bình 0,1-0,2%, mức giàu >0,2% và <0,1% là ở mức nghèo, như vậy đất trồng cam có đạm ở mức cận nghèo. Theo D. Anh (2002) [9] và D. Achim và cs (2000) [10] đối với lân dễ tiêu trong đất trung bình 3,46-4,46 mg/100 g đất, mức giàu >4,46 mg/100 g đất và nghèo <3,46 mg/100 g đất, thì vườn cam có hàm lượng lân dễ tiêu trong đất ở mức giàu.

3.2. Ảnh hưởng của phân bón, kỹ thuật canh tác đến năng suất cam

Kết quả ở bảng 4 cho thấy, sau 2 năm thí nghiệm, giảm 25% lượng phân lân (CT2) so với quy trình của địa phương (CT1) đã không làm giảm các yếu tố cấu thành năng suất cam, trong đó số quả trên cây, khối lượng quả không có sự sai khác. Thay đổi loại phân bón NPK thông thường bằng sử dụng NPK hòa tan (CT3) đã có tác động đến số quả trên cây tăng so với đối chứng 1,2-11,5%, khối lượng quả không có nhiều thay đổi so với đối chứng. Bổ sung vi lượng (CT4) đã tăng số lượng quả trên cây 4,3-13,4% và khối lượng quả tăng trên 3%. Bổ sung chế phẩm vi sinh vật cải tạo đất và chế phẩm Mycorrhiza (CT5) cũng làm tăng số lượng quả trên cây 5,5-14,8%. Sử dụng kết hợp giữa phân bón đa lượng, vi lượng, chế phẩm cải tạo đất (CT6) làm tăng số quả trên cây 9,13-19,62%. Sử dụng kết hợp giữa phân bón đa lượng,

Bảng 4. Các yếu tố cấu thành năng suất cam.

Công thức/ năm	Số quả/cây		Khối lượng quả (g)		Chiều cao quả (cm)		Đường kính (cm)	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
CT1	209	252	219,0	231,3	7,18	7,08	7,39	7,51
CT2	227	252	225,0	232,7	7,17	7,18	7,33	7,56
CT3	233	255	224,7	222,0	7,41	7,34	7,80	7,65
CT4	237	263	227,0	226,0	7,25	7,31	7,63	7,71
CT5	240	266	227,3	227,0	7,27	7,35	7,67	7,67
CT6	250	275	225,7	225,7	7,19	7,24	7,51	7,85
CT7	261	285	228,3	239,7	7,14	7,41	7,56	7,86
CV%	3,98	2,18	1,94	2,73	4,93	3,81	3,36	3,47
LSD _{0,05}	16,75	10,25	7,77	10,83	0,63	0,49	0,45	0,47

CT1: đối chứng: phân chuồng + NPK theo quy trình thâm canh cây cam: 350 kg N + 250 kg P_2O_5 + 450 kg K_2O /ha; CT2: phân chuồng + NP1K; CT3: phân chuồng + NPK hòa tan; CT4: phân chuồng + NP1K + Bo + kẽm; CT5: phân chuồng + NP1K + Mycorrhiza + vi sinh vật cải tạo đất; CT6: phân chuồng + NP1K + Mycorrhiza + vi sinh vật cải tạo đất + Bo + kẽm; CT7: phân chuồng + NP1K + Mycorrhiza + vi sinh vật cải tạo đất + Bo + kẽm + Phũ đất.

vi lượng, chế phẩm cải tạo đất (CT6) và kết hợp giữa phân bón đa lượng, vi lượng, chế phẩm cải tạo đất và phủ đất giữ ẩm (CT7) đã cho hiệu quả rõ ràng hơn so với đối chứng, như tăng số lượng quả trên cây 13,1-24,8% và khối lượng quả 3,6-4,2%.

Bảng 5. Năng suất và bội thu năng suất cam.

Công thức/năm	Năng suất thực thu (kg/200 m ²)		Năng suất thực thu (kg/ha)		Tăng/giảm năng suất so đối chứng (kg/ha)		Tỷ lệ năng suất tăng (%)	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
CT1	490,8	501,2	24.540	25.060	-	-	-	-
CT2	491,1	502,2	24.555	25.110	15	50	0,06	0,20
CT3	502,9	506,7	25.145	25.335	605	275	2,47	1,10
CT4	520,5	521,7	26.025	26.085	1.485	1.025	6,05	4,09
CT5	533,3	540,3	26.665	27.015	2.125	1.955	8,66	7,80
CT6	557,4	579,8	27.870	28.990	3.330	3.930	13,57	15,68
CT7	579,6	623,7	28.980	31.185	4.440	6.125	18,09	24,44
CV (%)	4,06	3,02						
LSD _{0,05}	37,77	30,37						

CT1: đối chứng: phân chuồng + NPK theo quy trình thâm canh cây cam: 350 kg N + 250 kg P_2O_5 + 450 kg K_2O /ha; CT2: phân chuồng + NP1K; CT3: phân chuồng + NPK hòa tan; CT4: phân chuồng + NP1K + Bo + kẽm; CT5: phân chuồng + NP1K + Mycorrhiza + vi sinh vật cải tạo đất; CT6: phân chuồng + NP1K + Mycorrhiza + vi sinh vật cải tạo đất + Bo + kẽm; CT7: phân chuồng + NP1K + Mycorrhiza + vi sinh vật cải tạo đất + Bo + kẽm + Phũ đất.

Kết quả bảng 5 cho thấy, khi giảm 25% hàm lượng lân bón cho cam (CT2) không làm giảm năng suất so với cách bón thông thường của người dân, thay đổi loại phân bón NPK thông thường bằng NPK hòa tan (CT3) đã tăng năng suất cam so với đối chứng 1,10-2,47%. Kết hợp giữa phân bón đa lượng và bổ sung vi lượng (CT4) tăng năng suất không lớn so với việc bổ sung thêm chế phẩm vi sinh vật cải tạo đất và chế phẩm Mycorrhiza (CT5). Bón kết hợp phân bón đa lượng, vi lượng, chế phẩm vi sinh vật cải tạo đất và chế phẩm Mycorrhiza (CT6) đã làm tăng năng suất đáng kể so với đối chứng 13,57-15,68%. Đặc biệt khi kết hợp giữa phân bón đa lượng, bổ sung vi lượng, chế phẩm vi sinh vật cải tạo đất và chế phẩm Mycorrhiza, đồng thời phủ gốc giữ ẩm bằng phụ phẩm nông nghiệp (CT7) đã làm tăng năng suất lên 18,09-24,44% so với đối chứng; sử dụng giải pháp này liên tục trong 2 năm đã cải thiện được năng suất theo từng năm, năm sau cao hơn năm trước trên 6%. Kết quả nghiên cứu cũng cho thấy, biểu hiện sinh trưởng và phát triển của cây cam được cải thiện đáng kể, trong đó đã bảo vệ bộ lá cam, chồi non; giảm được hiện tượng nứt quả, rụng quả, vỏ dày, cứng quả, “quả ngò”.

3.3. Hiệu quả kinh tế đối với các giải pháp kỹ thuật trồng cam

Bảng 6. Hiệu quả kinh tế ứng dụng giải pháp kỹ thuật trong trồng cam.

Công thức/ năm	Năng suất (kg/ha)		Tổng thu (1.000 đ)		Vật tư, công (1.000 đ)		Lãi thuần (1.000 đ)		Lãi so với đối chứng (1.000 đ)	
	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024	2023	2024
CT1	24.540	25.060	613.500	626.500	89.294	89.294	524.206	537.206	-	-
CT2	24.555	25.110	613.875	627.750	87.652	87.652	526.223	540.098	2.017	2.892
CT3	25.145	25.335	628.625	633.375	93.323	93.323	535.302	540.052	11.096	2.846
CT4	26.025	26.085	650.625	652.125	88.513	88.513	562.112	563.612	37.906	26.406
CT5	26.665	27.015	666.625	675.375	102.833	102.833	563.792	572.542	39.586	35.336
CT6	27.870	28.990	696.750	724.750	103.185	103.185	593.565	621.565	69.359	84.359
CT7	28.980	31.185	724.500	779.625	111.900	111.900	612.600	667.725	88.394	130.519

Giá cam: 25.000 đồng/kg; phân chuồng: 600.000 đồng/tấn; chế phẩm Mycorrhiza: 30.000 đồng/kg; chế phẩm VSV cải tạo đất: 10.000 đồng/kg; urê: 10.000 đồng/kg; lân nung chảy 3.000 đồng/kg; kali clorua: 11.000 đồng/kg; B: 40.000 đồng/kg; Zn: 28.800 đồng/kg; NPK hòa tan: 45.000 đ/kg; công lao động: 300.000 đồng/ngày.

Kết quả bảng 6 cho thấy, ở CT7, mặc dù chi phí trung gian cao nhất nhưng năng suất tăng 18,09-24,44% so với đối chứng nên lợi nhuận mang lại cao nhất so với các công thức khác. Khi kết hợp giữa phân bón đa lượng, bổ sung vi lượng, chế phẩm vi sinh vật cải tạo đất và chế phẩm Mycorrhiza, đồng thời phủ gốc giữ ẩm bằng phụ phẩm nông nghiệp (CT7) không chỉ làm tăng năng suất có ý nghĩa so với đối chứng trong 2 năm thí nghiệm mà còn giúp tăng lợi nhuận từ 88.394.000 lên 130.519.000 đồng/ha. Khi giảm

25% lượng phân lân (CT2), mặc dù giảm chi phí trung gian, nhưng năng suất và hiệu quả kinh tế tăng không đáng kể; với công thức dùng phân bón NPK hòa tan (CT3) đã làm tăng chi phí công và vật tư lên hơn 4.000.000 đồng/ha/năm nhưng năng suất tăng 1,10-2,47%, nên lãi so với đối chứng từ 2.846.000 đến 11.096.000 đồng/ha, tuy nhiên sự sai khác là không lớn. Kết hợp phân bón đa lượng, bổ sung vi lượng (CT4) và kết hợp bón phân đa lượng, bổ sung chế phẩm vi sinh vật cải tạo và chế phẩm Mycorrhiza (CT5) cho năng suất sai khác không nhiều năm thứ nhất, nhưng sai khác khá lớn năm thứ hai, nên lợi nhuận năm thứ hai giữa các công thức tăng khá lớn, chênh lệch gần 10.000.000 đồng/ha. Bón tổng hợp phân bón đa lượng, vi lượng, chế phẩm vi sinh vật cải tạo và chế phẩm Mycorrhiza (CT6) đã làm tăng chi phí trung gian khá lớn, nhưng năng suất tăng không cao so với CT7 nên lợi nhuận thu được cũng thấp hơn.

Nhìn chung, khi sử dụng giải pháp bón phân cân đối, bổ sung phân vi lượng, chế phẩm vi sinh vật cải tạo đất, chế phẩm Mycorrhiza và kết hợp với kỹ thuật phủ gốc giữ ẩm, tuân thủ theo kỹ thuật bón phân, không những tăng năng suất cam trên 20% mà còn mang lại hiệu quả kinh tế cao so với canh tác thông thường của người dân.

3.4. Ảnh hưởng của các giải pháp kỹ thuật đến chất lượng cam

Bảng 7. Ảnh hưởng của giải pháp kỹ thuật đến chất lượng cao.

Công thức	Hàm lượng chất khô (%)	Độ brix (%)	Vitamin C (mg/100 g)
<i>Sau thí nghiệm (tháng 12/2023)</i>			
CT1	10,52	9,60	44,06
CT2	10,36	9,46	43,88
CT3	10,38	9,64	44,07
CT4	10,99	10,08	45,10
CT5	10,87	10,20	44,80
CT6	11,11	10,23	45,35
CT7	11,28	10,27	45,31
CV%	1,15	1,32	1,56
LSD _{0,05}	0,52	0,61	1,18
<i>Sau thí nghiệm (tháng 11/2024)</i>			
CT1	10,70	9,90	44,34
CT2	10,77	9,81	43,17
CT3	10,82	9,99	44,17
CT4	11,07	10,32	43,29
CT5	11,09	10,47	43,58
CT6	11,45	10,42	43,66
CT7	11,43	10,50	43,36
CV (%)	2,53	2,06	2,16
LSD _{0,05}	0,49	0,37	1,67

Kết quả bảng 7 cho thấy, không có sự khác biệt về độ brix, hàm lượng chất khô và vitamin C trong năm thứ nhất tại thời điểm thu hoạch giữa các công thức thí nghiệm ($LSD_{0,05}$). Nghiên cứu của N.T.T. Tinh và cs (2016) [11] về ảnh hưởng của liều lượng NPK (bón qua đất) đến chất lượng quả cam Mật Hiền Ninh tại Quảng Bình (trước sáp nhập) cũng đã cho thấy, liều lượng và tỷ lệ phân bón không ảnh hưởng đến một số chỉ tiêu chất lượng quả. Lý do là các chỉ tiêu hóa sinh của quả mang tính chất di truyền nên ít thay đổi nếu không có những biến động lớn về dinh dưỡng. Trong nghiên cứu này, khi bón bổ sung vi lượng từ CT4 đến CT6 thì hàm lượng chất khô, độ brix có xu hướng tăng, trong khi đó hàm lượng vitamin C có xu hướng giảm ở năm thứ hai khi so sánh với năm thứ nhất. Mặc dù không có sai khác về mặt thống kê nhưng các công thức bón bổ sung phân bón vi lượng hầu hết đều cho hàm lượng các chất trong quả cao hơn so với công thức không sử dụng phân bón vi lượng. Điều này chứng tỏ, việc bón phân đa lượng kết hợp với bổ sung vi lượng có tác dụng làm tăng chất lượng quả của giống cam Xã Đoài. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả nghiên cứu của V.V. Hung và cs (2019) [12] khi nghiên cứu ảnh hưởng của liều lượng phân bón đến năng suất, chất lượng cam Khe Mây tại Hương Khê, tỉnh Hà Tĩnh.

3.5. Ảnh hưởng của các giải pháp kỹ thuật đến cải thiện độ phì nhiêu đất trồng cam

Bảng 8. Tính chất lý hóa học đất trồng cam sau thí nghiệm.

Công thức	Độ ẩm (%)	pH (KCl)	Chất tổng số (%)		Chất dễ tiêu (mg/100 g đất)		Trao đổi (meq/100 g đất)		
			OC	N	P_2O_5	K_2O	Ca^{2+}	Mg^{2+}	CEC
CTO*	32,70	4,82	1,26	0,120	37,62	28,31	2,46	0,57	13,62
CT1	36,15	4,84	1,42	0,122	36,42	29,76	2,25	0,55	13,54
CT2	35,14	4,92	1,33	0,118	35,35	28,71	2,74	1,06	13,21
CT3	42,97	5,05	1,50	0,125	34,24	30,15	2,67	2,08	14,55
CT4	40,02	5,26	1,99	0,119	37,33	30,25	2,82	2,16	14,08
CT5	41,25	5,19	1,86	0,115	37,98	32,17	2,89	2,36	15,11
CT6	42,18	5,25	2,00	0,132	37,12	31,85	3,21	2,68	15,89
CT7	46,39	5,28	2,21	0,136	38,33	33,24	3,55	2,72	16,23

CTO*: Đất trước thí nghiệm.

Thực hiện áp dụng các tiến bộ kỹ thuật bằng việc thay thế các loại phân đơn và NPK hòa tan cho phân hỗn hợp NPK thông thường, sử dụng phân lân nung chảy, đặc biệt sử dụng phân chuồng được ủ hoai mục bằng compost maker thay thế cho phân chuồng thông thường người dân hay dùng, sử dụng chế phẩm vi sinh vật cải tạo đất và chế phẩm

Bảng 9. Kết quả phân tích sinh học đất sau thí nghiệm.

Công thức	Sinh vật gây hại			Sinh vật đất	
	Tuyến trùng (TT/50 g đất)	<i>Fusarium</i> spp. (CFU/g)	<i>Phytophthora</i> spp. (CFU/g)	Sinh khối C vi sinh vật (μ g/g)	Bào tử nấm cộng sinh (bào tử/100 g)
CTO*	86	$4,8 \times 10^3$	$4,7 \times 10^3$	420	375
CT1	95	$1,6 \times 10^4$	$3,8 \times 10^3$	517	321
CT2	94	$2,5 \times 10^4$	$5,7 \times 10^3$	427	345
CT3	98	$1,7 \times 10^4$	$4,2 \times 10^3$	508	340
CT4	96	$3,9 \times 10^4$	$6,2 \times 10^3$	471	335
CT5	52	$1,9 \times 10^3$	$2,2 \times 10^2$	920	645
CT6	50	$2,6 \times 10^3$	$3,8 \times 10^2$	895	671
CT7	51	$1,2 \times 10^3$	$5,1 \times 10^2$	1.106	725

CTO*: Đất trước thí nghiệm.

nấm rễ cộng sinh Mycorrhiza trong cải thiện độ phì nhiêu đất, sử dụng kỹ thuật phủ gốc bằng phụ phẩm nông nghiệp đã phần nào cải thiện độ phì nhiêu của đất trồng cam đang có xu thế thoái hóa và mất cân bằng dinh dưỡng (bảng 8 và 9). Khi sử dụng đồng thời bón phân đa lượng NPK kết hợp bổ sung phân bón vi lượng, chế phẩm vi sinh vật cải tạo đất, chế phẩm nấm rễ cộng sinh Mycorrhiza và biện pháp phủ gốc bằng phụ phẩm nông nghiệp (CT7) đã cải thiện tính chất lý, hóa học và sinh học đất tốt nhất so với đất trước thí nghiệm. Sau hai năm nghiên cứu đã cải thiện tốt độ phì nhiêu đất thông qua các chỉ tiêu: trị số pH đạt 5,28, tăng 9,56% so với đất trước thí nghiệm; hàm lượng OC đạt 2,21%, tăng 0,95% so với đất trước thí nghiệm, các chỉ tiêu hóa học đất khác tuy có cải thiện song không có nhiều khác biệt so với đất trước thí nghiệm. Các chỉ tiêu sinh học đất trồng cam đã được cải thiện đáng kể, trong đó tuyến trùng đã giảm khá mạnh, sinh khối carbon vi sinh vật đã tăng gấp đôi so với trước thí nghiệm; các vi sinh vật gây hại trong đất đã có xu thế giảm so với trước thí nghiệm. Mật độ bào tử nấm cộng sinh cũng được cải thiện tăng gấp đôi ở các công thức sử dụng chế phẩm Mycorrhiza.

Nghiên cứu đã cho thấy, để cải tạo đất trồng cam bị suy thoái, cần kết hợp nhiều giải pháp kỹ thuật bằng cách thay thế phân bón người dân hay sử dụng bằng các phân bón mới có kiểm soát và áp dụng kỹ thuật chăm sóc một cách khoa học mới, mang lại hiệu quả cao.

3.6. Nhận xét tình hình sâu bệnh hại cây trồng

Có xuất hiện sâu vẽ bùa (tháng 4-10), sâu đục cành (tháng 5-6) nhưng tần suất thấp, đã sử dụng Saimida 100SL và quét vôi vào gốc cây sau thu hoạch để phòng trừ, sử dụng bẫy dính màu vàng để diệt côn trùng môi giới truyền bệnh;

thời điểm đặt bẫy là khi trưởng thành rầy chổng cánh, rệp xuất hiện và thường trùng với thời điểm ra lộc của cây với một ô thí nghiệm/bẫy và thay bẫy 7 ngày/lần, do vậy không ảnh hưởng đến sinh trưởng, phát triển và năng suất cây cam.

4. Kết luận

Đất trồng cam ở Quỳnh Hợp, Nghệ An đã có nhiều biểu hiện bị suy thoái, gây ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất. Độ phì nhiêu đất đã có biểu hiện suy giảm trị số pH, suy giảm hàm lượng hữu cơ, mất cân đối dinh dưỡng, đặc biệt là lân dễ tiêu rất cao. Các vi sinh vật có lợi trong đất có xu thế giảm, nấm bệnh và vi sinh vật gây bệnh trong đất có xu hướng tăng.

Cần thực hiện các giải pháp đồng bộ, kịp thời trong kỹ thuật canh tác, sử dụng phân bón và thuốc trừ sâu hóa học một cách hợp lý, tăng cường sử dụng chế phẩm sinh học để cải thiện tính chất lý hóa sinh học đất, nhằm bảo vệ sức khỏe đất và duy trì đa dạng sinh học.

Sau 2 năm nghiên cứu các giải pháp cải tạo đất trồng cam bị suy thoái đã cho các kết quả tích cực, với việc kết hợp đồng bộ giữa cải tạo vật lý đất, hóa học đất và sinh học đất bằng việc lựa chọn loại phân bón phù hợp, cân bằng dinh dưỡng, sử dụng các chế phẩm vi sinh vật cải tạo đất và phương thức canh tác hợp lý, vừa cho năng suất cam tăng đáng kể, vừa cải thiện được đặc tính đất về độ chua, hàm lượng hữu cơ và đặc biệt đã tăng mật độ vi sinh vật có lợi, nấm rễ cộng sinh, qua đó giúp phát triển cam một cách bền vững.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn (nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường) cấp kinh phí thông qua đề tài “Nghiên cứu mức độ suy giảm và đề xuất các giải pháp phục hồi, nâng cao độ phì nhiêu đất trồng cam vùng miền Bắc Việt Nam”, thực hiện từ năm 2021 đến năm 2024. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nghe An Statistics Office (2021), *Nghe An Statistical Yearbook 2020*, Statistical Publishing House, 595pp (in Vietnamese).
- [2] Nghe An Statistics Office (2024), *Nghe An Statistical Yearbook 2023*, Statistical Publishing House, 565pp (in Vietnamese).
- [3] Ministry of Science and Technology (2019), *Vietnam National Standard TCVN 12720:2019 - Fertilizer Testing Methods for Perennial Crops* (in Vietnamese).
- [4] Ministry of Agriculture and Environment (2010), *National Technical Regulation on Methods for Pest Survey and Detection on Crops (QCVN 01-38:2010/BNPTNT)* (in Vietnamese).
- [5] T.T.T. Thu, N.T.P. Loan, L.M. Thao, et al. (2016), “Study on some soil properties of orange-growing areas in Cao Phong district, Hoa Binh province”, *Vietnam Journal of Soil Science*, **47**, pp.16-21 (in Vietnamese).
- [6] N.T. Trang, T.T.T. Thu, N.V. Hiep (2017), “Distribution of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) spores in orange-growing soils in Cao Phong, Hoa Binh”, *Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, **33(1S)**, pp.235-242 (in Vietnamese).
- [7] Food and Agriculture Organization of The United Nations (1998), *Land Requirement for Crops* (in Vietnamese).
- [8] Ministry of Agriculture and Environment (2009), *Handbook on Agricultural Land Use. Volume 2: Land Classification and Evaluation*, Science and Technology Publishing House (in Vietnamese).
- [9] D. Anh (2002), *Soil Fertility and Plant Nutrition*, Hanoi Agricultural Publishing House, 88pp (in Vietnamese).
- [10] D. Achim, T. Fairhurst (2000), *Rice Nutrient Disorders and Nutrient Management*, 191pp, International Rice Research Institute.
- [11] N.T.T. Tinh, N.Q. Hung, N.T. Tuyet, et al. (2016), “Study on suitable fertilizer rates and ratios for the Mat Hien Ninh orange variety in Quang Binh province”, *Journal of Agriculture and Rural Development*, **1**, pp.45-49 (in Vietnamese).
- [12] V.V. Hung, N.T. Tuyet, D.T. Mai, et al. (2019), “Study on the effects of fertilizer application rates on yield and quality of Khe May tea in Huong Khe - Ha Tinh”, *Vietnam Journal of Agricultural Science and Technology*, **5(102)**, pp.55-58 (in Vietnamese).

Tối ưu quy trình vận hành hệ thống aquaponics quy mô nhỏ nuôi cá Trê vàng (*Clarias macrocephalus*) bằng mô hình máy tính

Ngô Thế Ân*, Kim Văn Vạn², Nguyễn Thị Bích Yến¹

¹Khoa Tài nguyên và Môi trường, Học viện Nông nghiệp Việt Nam, xã Gia Lâm, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Thủy sản, Học viện Nông nghiệp Việt Nam, xã Gia Lâm, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 2/4/2025; ngày chuyển phản biện 4/4/2025; ngày nhận phản biện 18/4/2025; ngày chấp nhận đăng 26/4/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu này nhằm tối ưu quy trình vận hành hệ thống aquaponics dạng lọc giá thể (media-filled) bằng mô hình máy tính để nuôi cá Trê vàng (*Clarias macrocephalus*). Mô hình mô phỏng được xây dựng theo tiếp cận đa tác tử (ABM) và được hiệu chỉnh theo số liệu thí nghiệm. Kết quả tối ưu trên máy tính đã đưa ra quy trình vận hành cho sáu loại thể tích bể nuôi (500, 1000, 1500, 2000, 2500 và 3000 lít), trong đó mật độ cá có thể đạt tối đa 150 kg/m³ nước; cỡ cá giống là 20 g/con; diện tích trồng rau cân đối theo sản lượng cá (5-6 kg cá/m²); bơm tuần hoàn nước cần hiệu chỉnh theo thể tích bể nuôi, dao động từ 16 đến 24 lần/ngày. Cá được đề xuất thu hoạch sau 151 ngày nuôi. Khi áp dụng quy trình vận hành cần lưu ý giám sát thường xuyên chất lượng nước để hiệu chỉnh bơm và xả nước thải khi cần.

Từ khóa: aquaponics, cá Trê vàng, mô hình máy tính, nuôi cá tuần hoàn, tối ưu.

Chỉ số phân loại: 4.5, 4.6

Optimising the operation of a small-scale aquaponic system for yellow catfish (*Clarias macrocephalus*) using a computer-based model

The An Ngo^{1*}, Van Van Kim², Thi Bich Yen Nguyen¹

¹Department of Natural Resources and Environment, Vietnam National University of Agriculture, Gia Lam Commune, Hanoi, Vietnam

²Department of Seafood, Vietnam National University of Agriculture, Gia Lam Commune, Hanoi, Vietnam

Received 2 April 2025; revised 18 April 2025; accepted 26 April 2025

Abstract:

This study aimed to optimise the operating process of a media-filled aquaponic system for raising bighead catfish (*Clarias macrocephalus*) based on a computer model. The computer-based model was built using the agent-based modelling (ABM) approach and calibrated with experimental datasets. The optimised results from the model runs suggested operating processes for six fish tank volumes (500, 1000, 1500, 2000, 2500, and 3000 litres), where fish density can reach a maximum of 150 kg/m³ of water. The optimal fingerling size is 20 g/fish, and the vegetable growing area is balanced according to fish weight (5-6 kg of fish/m²). Water circulation should be adjusted according to the fish tank volume, ranging from 16 to 24 times per day. To maximise the benefits, which are calculated from the balance between fish weight gain and feed consumption, it is suggested to harvest the fish after 151 days of raising in the aquaponic system. When applying these operating processes, it is necessary to regularly monitor water quality and adjust pumping and wastewater discharge as needed.

Keywords: aquaponics, *Clarias macrocephalus*, computer-based model, optimisation, recirculation aquaculture.

Classification numbers: 4.5, 4.6

*Tác giả liên hệ: Email: ntan@vnua.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Thủy canh kết hợp thủy sản (aquaponics) là mô hình canh tác có sự kết hợp của cây trồng và nuôi thủy sản (thường là cá) trong một hệ thống tuần hoàn [1]. Đặc điểm cơ bản nhất của hệ aquaponics thể hiện qua dòng hoàn lưu nước chứa dinh dưỡng đi từ (i) bể nuôi cá với mật độ cao, qua (ii) hệ thống xử lý và cung cấp cho (iii) hệ thống trồng rau thủy canh để hấp thu dinh dưỡng trước khi trả lại nước sạch về bể nuôi cá [2]. Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên hợp quốc (FAO) đã xem aquaponics là biện pháp canh tác hiệu quả và thân thiện môi trường trong thế kỷ XXI vì tiết kiệm nước, ít gây ô nhiễm, tiết kiệm năng lượng, tiết kiệm không gian canh tác và tạo sản phẩm hữu cơ an toàn [3].

Aquaponics rất đa dạng nhưng nhìn chung được phân thành ba loại dựa vào kiểu giá thể trồng rau [3-5]: (i) Mạng dinh dưỡng (NFT), rau được trồng trên các ống dẫn nước liên tục chảy từ bể nuôi cá qua các bộ rễ; (ii) Bể nổi (floating-raft), rau được gắn vào tấm vật liệu nổi trên bề mặt tiếp nhận nước thải sau nuôi cá với bộ rễ ngâm chìm trong nước; (iii) Trồng rau trên hạt giá thể (media-filled). Loại (i) và (ii) cần phải có hệ thống xử lý nước (biofilter) để khoáng hóa dinh dưỡng và lắng cặn. Loại (iii) không nhất thiết phải có bộ lọc sinh học vì các hạt giá thể có chức năng tương tự, nhưng cần lắp bộ xi-phông để điều hòa mức ngập và thoát nước theo nhịp. Tuy nhiên, nếu không có bộ lọc thì hệ thống media-filled dễ bị tắc [2, 3]. Hiện nay, hệ thống aquaponics quy mô nhỏ (~1 m³ bể cá và 3 m² trồng rau) chiếm ưu thế và được khuyến khích phát triển [3].

Đối tượng nuôi trong hệ aquaponics thường là cá rô phi, điêu hồng, cá quả, cá trê, lươn. Trong đó, cá Trê vàng được xem là có hiệu quả cao và dễ nuôi nhất do có tính chịu đựng cao với môi trường khắc nghiệt [6]. Sử dụng cây trồng để hấp thu triệt để dinh dưỡng trong nước nuôi cá là mẫu chốt trong duy trì cân bằng cho hệ thống aquaponics [4]. Cây trồng phổ biến của aquaponics là cà chua, rau diếp, cải thảo, diếp cá, rau muống [3].

Cho đến nay, nhiều công trình nghiên cứu đã được triển khai để cải thiện chức năng của aquaponics bằng cách điều chỉnh sự cân bằng dinh dưỡng giữa các thành phần trong hệ thống [2]. Việc điều chỉnh bao gồm cân đối giữa lượng thức ăn cho cá và cây trồng, hoặc cân đối giữa diện tích trồng cây, thể tích nuôi cá và bộ lọc sinh học [7]. Nghiên cứu về mô hình hóa áp dụng cho hệ aquaponics cũng đã được triển khai [2, 7, 8]. Tuy nhiên, việc sử dụng mô hình mô phỏng để tối ưu quy trình vận hành của aquaponics thì chưa được phổ biến [9]. Đặc biệt, ứng dụng mô hình máy tính để đề xuất quy trình canh tác có hiệu quả cho những đối tượng vật nuôi cụ thể thì rất khó tìm.

Ở Việt Nam, mặc dù tên gọi aquaponics mới chỉ xuất hiện trong một vài thập kỷ gần đây nhưng cũng đã có nhiều nghiên cứu về lĩnh vực này. Nghiên cứu về aquaponics ở nước ta chủ yếu tập trung vào hai chủ đề là (i) Những chỉ tiêu kỹ thuật nước, phát triển của cá, rau [10] và (ii) Tự động hóa trong vận hành hệ thống (thiết kế thuật toán tự động cho bơm, quạt thông gió) [11]. Nghiên cứu về mô phỏng và tối ưu hóa cho hệ aquaponics ở Việt Nam hiện rất khó tìm. Đây cũng chính là khoảng trống khoa học cần được bổ sung để góp phần phát triển aquaponics ở nước ta.

Nghiên cứu này có mục tiêu tối ưu quy trình vận hành hệ thống aquaponics dựa trên mô hình máy tính, mô phỏng theo những thông số cơ bản của FAO [3] và được hiệu chỉnh bằng số liệu thí nghiệm cho đối tượng cá Trê vàng. Mô hình máy tính được sử dụng để lựa chọn một cách tự động các quy trình vận hành hệ aquaponics từ rất nhiều tổ hợp các yếu tố thí nghiệm, hỗ trợ trả lời câu hỏi về “quy trình vận hành đặc biệt cho cá trê” mà tài liệu FAO [3] đã nêu ra nhưng chưa có hướng dẫn chi tiết.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Đối tượng chính của nghiên cứu này là cá Trê vàng (*Clarias macrocephalus*) và rau diếp cá (*Houttuynia cordata*); sử dụng hệ thống media-filled quy mô nhỏ.

Cá Trê vàng được lựa chọn vì rất phù hợp với hệ canh tác tuần hoàn [6]; rau diếp cá được lựa chọn vì loại rau này ưa ẩm, ít sâu bệnh, dễ thu hoạch, là cây thuốc mang lại giá trị kinh tế cao, đã được đề xuất cho hệ thống aquaponics [12].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện để thu thập số liệu cho hiệu chỉnh và đánh giá mô hình máy tính. Thí nghiệm được triển khai tại khu nhà lưới của Học viện Nông nghiệp Việt Nam (HVN). Hệ thống aquaponics (media-filled) thiết kế theo hướng dẫn kỹ thuật của FAO [3], bao gồm 3 thành phần:

Bể nuôi cá: Bể vuông lót bạt (1,5x0,8x0,6 m), không chế nước ở độ cao 0,42 cm (thể tích khoảng 0,5 m³); thả 37 con/bể (mật độ 74 con/m²); khối lượng 46±5 g/con.

Chậu trồng rau: Sử dụng 8 chậu nhựa (0,65x0,42x0,19 m), chứa hạt giá thể đất nung nhẹ, đặt phía trên bể nuôi cá; diện tích 2,18 m². Mỗi chậu có lắp xi phông điều tiết nước đảm bảo thời gian ngập cạn xen kẽ. Rau được trồng thành khóm với mật độ 0,3 kg gốc/m², trồng trước 1 tuần thí nghiệm để kịp bén rễ và ổn định hệ vi sinh.

Bể lọc sinh học: Thể tích 0,2 m³, chứa 50 lít giá thể nhựa MBBR (diện tích riêng bề mặt 750 m²/m³). Hệ thống media-filled có thể không cần bể lọc sinh học nhưng vì thí nghiệm có quy mô nhỏ và lưu chuyển nước nhanh nên chúng tôi vẫn bố trí hệ thống lọc để chống tắc và đảm bảo quá trình khoáng hóa như đề xuất của nghiên cứu trước [3, 5].

Mô hình được vận hành dựa vào bơm hút nước (28W-1,350 m³/H) từ bể cá lên bể lọc sinh học, 3 tiếng một lần, mỗi lần bơm 12 phút (lưu lượng tuần hoàn 4x thể tích bể cá/ngày). Nước từ bể lọc được phân phối đều vào 8 chậu trồng rau và hoàn lưu trở lại bể cá. Cá cho ăn 2 lần/ngày bằng máy cho ăn tự động vào lúc 6h và 18h hàng ngày, thức ăn viên có hàm lượng đạm 40%, lượng thức ăn cân đối bằng 3% khối lượng cá ở những ngày nuôi đầu tiên và giảm dần đều xuống 1% ở ngày thu hoạch. Thời gian thí nghiệm kéo dài 180 ngày, từ 18/3/2023 đến 18/9/2023.

Lấy mẫu và phân tích nước: Các chỉ tiêu chất lượng nước theo dõi bao gồm: tổng đạm amôn (TAN) và nitrat (N-NO_3^-), được thu 10 ngày một lần tại đầu ra của bể cá, bể lọc sinh học và chậu trồng rau. Mẫu được thu vào khoảng thời gian giữa 2 lần cho cá ăn. Tất cả các chỉ tiêu được phân tích theo các phương pháp chuẩn của E.W. Rice và cs (2012) [13].

Đánh giá tăng trưởng của cá và rau: Cá được cân theo định kỳ 10 ngày, mỗi lần thu (bằng vợt) ngẫu nhiên 10 con để tính khối lượng trung bình. Rau được thu hoạch 60 ngày/lần, bằng cách cắt sát gốc để cân xác định tổng khối lượng; Thu luân phiên rau thành 2 lần để duy trì sự hấp thu dinh dưỡng liên tục trong nước thải.

2.2.2. Phương pháp xây dựng mô hình máy tính

Phần mềm và tiếp cận xây dựng mô hình: Mô hình mô phỏng được xây dựng theo tiếp cận agent-based modeling (ABM) thiết kế trên phần mềm chuyên dụng Netlogo [14]. Trong đó, mỗi thành phần của hệ thống (bể cá, chậu rau và bể lọc sinh học) được thiết kế như một tác tử “agent”, có khả năng thể hiện hành vi một cách độc lập. Các thành phần của hệ thống aquaponics được liên hệ với nhau thông qua dòng trao đổi nước và dinh dưỡng.

Hoạt động của hệ thống được điều khiển bằng các yếu tố đầu vào (thể tích bể cá, cá giống, lưu lượng bơm nước, diện tích trồng rau, kiểu thu hoạch rau, số ngày nuôi) để chi phối mức cung cấp và sự chuyển hóa dinh dưỡng trong hệ thống. Đầu ra của mô hình bao gồm chất lượng nước, tăng trọng cá, rau và hiệu quả kinh tế của toàn hệ thống.

Tham số và thuật toán của mô hình:

Hàm số tăng trưởng của cá: sử dụng mô hình tăng trưởng Gompertz [15].

$$W_t = w_{max} * e^{\left[\ln\left(\frac{w_0}{w_{max}}\right) * e^{-kt}\right]} \quad (1)$$

trong đó: W_t (gam) là khối lượng cá tại ngày thứ t ; w_0 và w_{max} là khối lượng lý thuyết tính cho cá tại thời điểm ngày đầu thí nghiệm và khối lượng cao nhất có thể đạt được; k là hệ số tăng trưởng riêng (k cần hiệu chỉnh theo thí nghiệm); t là thời gian (ngày).

Lượng dinh dưỡng ($N_{excreted}$) do cá thải ra [16]:

$$N_{excreted} = N_{feed} * R_{waste} * P_{feed} * P_{fish} \quad (2)$$

trong đó: N_{feed} là tỷ lệ N trong thức ăn (16%); R_{waste} là tỷ lệ thải (75%); P_{feed} là tỷ lệ đạm trong thức ăn (40%); và P_{fish} là tỷ lệ protein trong cá (17%).

Chuyển đổi N thành TAN trong bể cá [16]:

$$X_{NH_x-N_{excreted}} = X_{N_{excreted}[g]} * \left[\sin\left(\frac{\pi}{1440}\right) + 1\right] \quad (3)$$

trong đó: $X_{N_{excreted}}$ là lượng N do cá thải ra.

Hàm ước lượng mức ảnh hưởng của TAN lên khả năng từ vong của cá: Xây dựng từ số liệu thực nghiệm trong hệ thống nuôi tuần hoàn [6]. Theo đó:

$$\text{Tỷ lệ chết} = -17,087 + 5,491 \lg(\text{TAN} * 1000) \quad (4)$$

Hàm số tăng trưởng của rau diếp cá: Áp dụng theo hàm logic của C. Geelen (2016) [17]:

$$X_t = \frac{X_{max} * X_{min} * e^{\left[\mu * (t-t_0)\right]}}{X_{max} + X_{min} * \left\{e^{\left[\mu * (t-t_0)\right]} - 1\right\}} \quad (5)$$

trong đó: X_{max} , X_{min} là khối lượng cao nhất và thấp nhất (trước và sau khi thu); X_t là khối lượng rau thu được tại ngày thứ t , tính từ ngày thu gần nhất t_0 ; μ là hệ số tăng trưởng riêng cho rau diếp cá (μ cần hiệu chỉnh theo thí nghiệm).

Chuyển hóa TAN thành Nitrate (N-NO_3^-) [17]:

$$r_{TAN}(t) = -k_{BF}^{TAN} * A_{BF} * C_{TAN}^{in}(t) \quad (6)$$

trong đó: $r_{TAN}(t)$ là tỷ lệ chuyển đổi; A_{BF} là diện tích bề mặt giá thể; C_{TAN}^{in} là nồng độ TAN trong bể lọc; k_{BF}^{TAN} là hệ số chuyển đổi (k_{BF}^{TAN} cần hiệu chỉnh theo thí nghiệm); t là thời gian (ngày).

Nồng độ N-NO_3^- (C_{NO_3-out}) đầu ra của các chậu trồng rau (media-filled) được tính như sau [17]:

$$C_{NO_3out} = e^{\left[\ln C_{NO_3in} - \ln f - \left(\frac{S_{HP} * A_V^{1.75} * \frac{K_T}{1000} * (d_m * n + d_w)}{Q}\right)\right]} \quad (7)$$

trong đó: Q là lưu lượng nước ($\text{m}^3/\text{ngày}$); C_{NO_3in} là nồng độ N-NO_3^- nước đầu vào (từ bể lọc sinh học); d_m là độ sâu tầng giá thể; d_w là chiều cao lớp nước trong chậu; n là hệ số thành phần cơ giới ($=0,75$); A_V là diện tích bề mặt hoạt động của vi sinh vật (m^2/m^3); f là lượng NO_3^- chưa chuyển hóa lắng đọng trong bùn ($=0,52$); K_T là hệ số xử lý NO_3^- trong giá thể rau (K_T cần hiệu chỉnh theo thí nghiệm).

Các hàm số liên quan tới cân bằng nước, gồm có hấp thu nước của rau, bay hơi được áp dụng theo công thức tính của Greenen [17].

2.3. Phương pháp đánh giá và hiệu chỉnh mô hình

2.3.1. Đánh giá độ nhạy của mô hình

Đánh giá độ nhạy là để kiểm tra mức độ ảnh hưởng của các biến đầu vào đến kết quả đầu ra của mô hình. Nghiên cứu này áp dụng phương pháp “Sequential Bifurcation - SB” [18] do cách đánh giá này phân biệt được tác động của tổng hợp nhiều biến và của từng biến đơn lẻ [19]. Về cơ bản, phương pháp SB dựa vào so sánh sự tương phản giữa hai trạng thái (i) “on”: khi biến đầu vào đặt ở giá trị tạo đầu ra cao nhất (giới hạn trên); và (ii) “off”: biến đặt ở giá trị tạo đầu ra nhỏ nhất (giới hạn dưới).

2.3.2. Hiệu chỉnh mô hình

Mô hình ABM được hiệu chỉnh bằng cách điều chỉnh các giá trị của tham số mô hình ở ngưỡng phù hợp để có kết quả mô phỏng chính xác hoặc gần nhất với thực tế.

Tham số cần hiệu chỉnh bao gồm hệ số tăng trưởng riêng của cá (k); tăng trưởng riêng của rau (μ), hệ số chuyển đổi TAN (k_{BF}^{TAN}) trong bể lọc và chậu rau; hệ số xử lý NO_3^- trong giá thể rau (K_T) như đã trình bày trong các hàm số phía trên. Khoảng giá trị của mỗi tham số cần hiệu chỉnh được xác định dựa trên cách giải ngược phương trình (hàm số) liên quan.

Độ chính xác của mỗi tham số được đánh giá dựa vào so sánh giữa kết quả chạy mô hình và đo đạc từ thí nghiệm theo công thức tính sai số RMSE [20] như sau:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{1,i} - x_{2,i})^2}{n}} \quad (8)$$

trong đó: $x_{1,i} - x_{2,i}$ là sự khác biệt giữa lần đo thứ i từ (1) kết quả dự báo từ mô hình và (2) từ thí nghiệm; n là tổng số lần đo (18 lần). Những số liệu sử dụng để so sánh tương ứng với tham số hiệu chỉnh là: khối lượng cá, rau, nồng độ TAN và $N-NO_3^-$.

2.4. Phương pháp tối ưu hóa bằng mô hình máy tính

Chương trình tối ưu hóa được xây dựng và chạy trong mô-đun BehaviorSearch thiết kế riêng cho phần mềm Netlogo. Về nguyên tắc, chương trình tối ưu dựa trên thuật toán di truyền (GA) - genetic algorithm theo nghiên cứu của T.A. Ngo và cs (2021) [19]. Phương pháp này phỏng theo cơ chế di truyền trong chọn lọc tự nhiên, được mô tả một cách đơn giản như sau:

Kiểu gen trong di truyền tương ứng với những giá trị đầu vào lựa chọn để tối ưu quy trình vận hành hệ thống aquaponics; bao gồm thể tích bể cá, mật độ cá, lưu lượng bơm, diện tích chậu trồng rau, kiểu thu hoạch rau, số ngày nuôi*.

Mỗi tổ hợp gen tương ứng với tổ hợp giá trị của tất cả yếu tố đầu vào mô hình.

Kiểu hình tương ứng với kết quả chạy mô hình (hiệu quả kinh tế của mô hình).

Mỗi lần chạy mô hình tương ứng với một vòng đời sinh học, kết quả chạy với tổ hợp tham số cho ra kết quả gần nhất với mục tiêu tối ưu thì sẽ được ghi lại để lại tạo (tổ hợp) với thế hệ mới (các tổ hợp tham số mới).

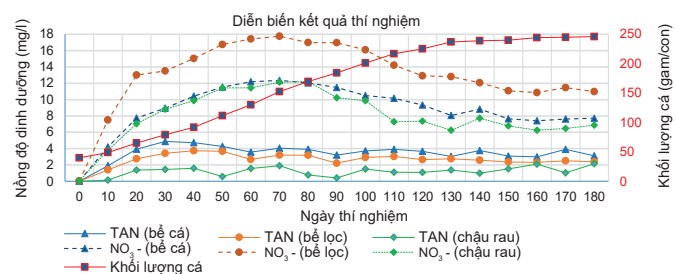
Hàm mục tiêu cho nghiên cứu này chính là hàm tối ưu quy trình vận hành của hệ thống để tạo ra hiệu quả kinh tế cao nhất; tức là đạt được năng suất cá và rau cao nhất trong khi giảm thiểu chi phí xây dựng và vận hành. Mô hình sẽ dò tìm tự động với rất nhiều tổ hợp các giá trị đầu vào, cho đến khi nào thỏa mãn hàm mục tiêu thì dừng lại.

3. Kết quả

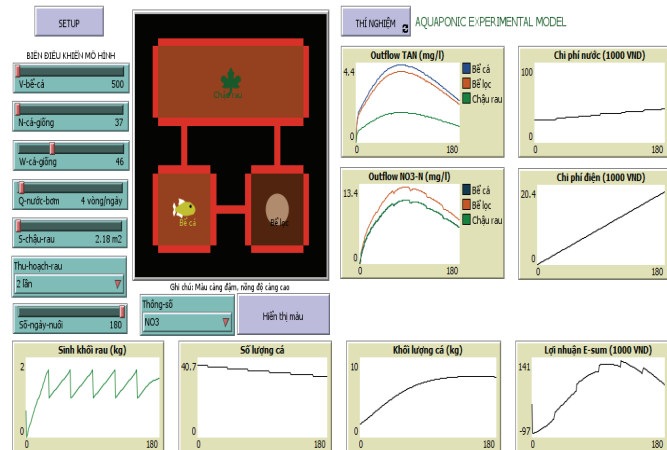
3.1. Kết quả theo dõi trên hệ thống aquaponics thí nghiệm

Sau 180 ngày nuôi thí nghiệm, số cá còn lại là 31 con, tổng khối lượng là 7,626 kg, tương đương mật độ 15,252 kg cá/m³ nước; khối lượng trung bình cá đạt 0,246 kg/con; tỷ lệ sống là 83,8%. Diễn biến tăng trưởng cá được trình bày ở hình 1.

*Genetic algorithm (GA) sử dụng trong nghiên cứu này là một chương trình độc lập. GA sử dụng yếu tố đầu vào là các yếu tố điều khiển trong mô hình máy tính ABM; GA điều khiển mô hình ABM vận hành với những tham số và thuật toán thể hiện mối liên hệ giữa tăng trưởng cá, rau và cân bằng dinh dưỡng của toàn hệ thống aquaponics.



Hình 1. Khối lượng cá Trê vàng, nồng độ TAN và $N-NO_3^-$ đo được trong hệ aquaponics thí nghiệm.



Hình 2. Giao diện mô hình mô phỏng hệ thống aquaponics.

Rau diếp cá thu hoạch dao động 0,55-1,12 kg/m²; thấp nhất ở lần thu đầu và tăng dần ở những lần sau. Mức thu trung bình đạt 0,96 kg/m²/đợt.

Nồng độ TAN trong bể cá cao nhất, đạt 4,88 mg/l; trong chậu rau rất thấp, chỉ dao động trong khoảng 0,14-2,14 mg/l, trung bình là 1,26 mg/l. Nồng độ nitrat ($N-NO_3^-$) trong bể lọc sinh học đạt cao nhất, lên tới 17,76 mg/l; trong bể nuôi cá và trồng rau không có sự khác biệt nhiều, chỉ dao động trong khoảng 3,78-12,22 mg/l.

3.2. Kết quả xây dựng mô hình aquaponics trên máy tính

Mô hình máy tính được xây dựng với giao diện có các thanh trượt để điều khiển biến đầu vào và đồ họa để quan sát kết quả đầu ra (hình 2).

Chương trình máy tính được vận hành bằng hệ thống mã (code) theo bộ ngôn ngữ riêng của Netlogo [14], bao gồm các chương trình mô phỏng tăng trưởng cá, rau, trao đổi nước và dinh dưỡng. Mô hình máy tính được thiết kế vận hành theo chu kỳ thời gian là ngày để phù hợp với nhịp điệu hoạt động của rau và cá [7, 8].

3.3. Kết quả đánh giá và hiệu chỉnh mô hình máy tính

3.3.1. Kết quả đánh giá độ nhạy của mô hình

Kết quả tính giá trị tương phản giữa hai trạng thái “on” và “off” của 7 yếu tố đầu vào đã xác định tổng giá trị tương phản của mô hình là 724,64 và hệ số tương phản (độ nhạy β) của

từng yếu tố như trong bảng 1. Chỉ có 6 yếu tố điều khiển có hệ số β lớn hơn giá trị ngưỡng 14,49 (5% của độ tương phản trung bình [19]). “Kiểu thu rau” không có ảnh hưởng một cách ý nghĩa tới hiệu quả kinh tế của mô hình.

Bảng 1. Hệ số độ nhạy của các yếu tố điều khiển mô hình.

TT	Yếu tố đầu vào	Độ nhạy β	% so với tổng tương phản
1	Thể tích bể cá (m ³)	385,01	21,52
2	Số lượng cá giống (con)	670,03	46,23
3	Cỡ cá giống (g/con)	454,53	31,36
4	Lưu lượng tuần hoàn nước (x lần thể tích bể cá/ngày)	451,50	31,15
5	Diện tích trồng rau (m ²)	408,64	28,20
6	Kiểu thu rau (số lần luân phiên)	12,15	0,84
7	Ngày thu hoạch (số ngày nuôi)	492,62	27,53

3.3.2. Kết quả hiệu chỉnh mô hình

Hệ số tăng trưởng riêng của cá (k) trong công thức (1) được tính ngược từ khối lượng cá W_t thu được từ thí nghiệm như sau:

$$k = \ln[(\ln(W_t/w_{\max})/\ln(w_0/w_{\max}))]/t \quad (9)$$

Khi giải phương trình (9) với các tham số mặc định $w_0=0,460$; $w_{\max}=0,250$ và W_t tương ứng với số liệu 18 lần cân cá, kết quả thu được khoảng trị k dao động 0,012-0,029. Hiệu chỉnh được thực hiện tự động bằng mô-đun BehaviorSearch, với 3 lần dò tìm độc lập trong khoảng giá trị trên và nhận được $k=0,025$. Quá trình hiệu chỉnh cũng được thực hiện tương tự cho các yếu tố còn lại và thu được kết quả như ở bảng 2.

Bảng 2. Tham số mô hình được hiệu chỉnh theo kết quả thí nghiệm nuôi cá Trê vàng.

TT	Tham số mô hình	Khoảng giá trị ^(*)	Giá trị hiệu chỉnh
1	Hệ số tăng trưởng riêng của cá (k)	0,020-0,029	0,025
2	Hệ số tăng trưởng riêng của rau (μ_{Xnf})	0,011-0,035	0,033
3	Hệ số chuyển đổi TAN trong bể lọc ($k_{TAN/BF}$)	0,0011-0,0090	0,0023
4	Hệ số chuyển đổi TAN trong chậu rau ($k_{TAN/PR}$)	0,0016-0,0072	0,0049
5	Hệ số xử lý NO_3^- trong giá thể rau (K_I)	0,010-0,430	0,117

^(*) xác định bằng cách giải ngược các phương trình (1, 5, 6 và 7) theo các tham số thu thập từ thí nghiệm.

Với những giá trị hiệu chỉnh do chương trình GA tìm được ở bảng 2, mô hình máy tính có thể được sử dụng để cho ra kết quả xác thực, phục vụ mục đích tối ưu hóa quá trình vận hành của hệ thống aquaponics.

3.4. Tối ưu hóa sự vận hành của mô hình aquaponics

3.4.1. Hàm mục tiêu vận hành mô hình aquaponics

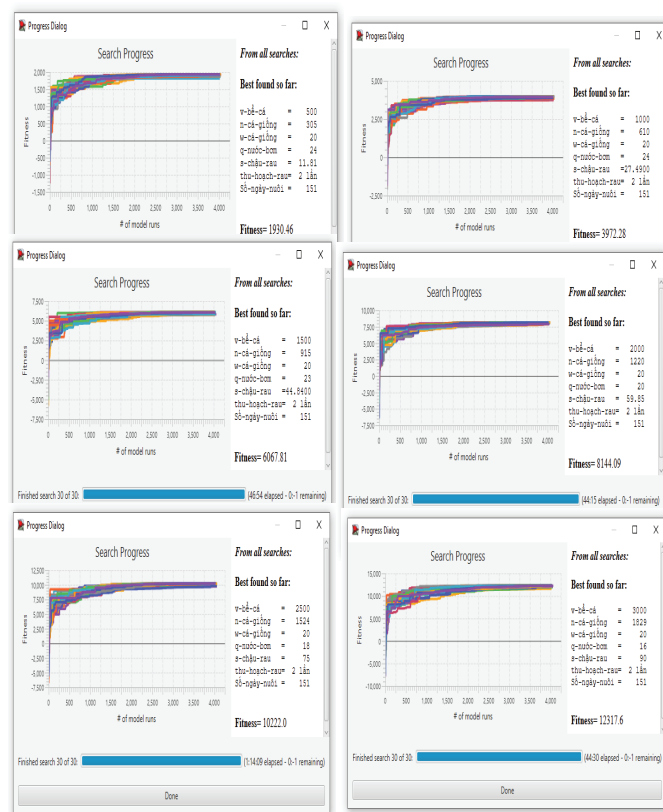
Mục tiêu mà hầu hết các mô hình aquaponics cần hướng tới là lợi ích kinh tế, xã hội và môi trường [1]. Trong nghiên cứu này, mục tiêu của mô hình được cụ thể hóa bằng hàm tối đa lợi nhuận (E_{SUM}) từ tiền bán cá và rau sau khấu trừ chi phí.

$$E_{SUM} = \max [W_t * fishPrice_w + \sum (X_t * vegPrice) - \sum (constructionCost) - \sum (operationCost_t)] \quad (10)$$

trong đó: W_t là khối lượng cá tại thời điểm thu hoạch t ; $fishPrice_w$ là giá bán (ngàn đ/kg) phụ thuộc cỡ cá, tính từ thực nghiệm: $fishPrice_w = e^{(3,033 + 0,005 * w_t)}$ (11)

X_t là tổng khối lượng rau tích lũy đến thời điểm t ; $vegPrice$ là giá rau (60.000 đồng/kg); $constructionCost$ là chi phí xây dựng mô hình tính kèm khấu hao (bể cá: 500.000 đồng/m³/5 năm; bể lọc: 750.000 đồng/m³/10 năm; bơm: 150.000 đồng/cái/2 năm; giá thể trồng rau: 1.800.000 đồng/m³/10 năm); $operationCost_t$ là chi phí vận hành tính đến thời điểm t , bao gồm thức ăn cá (16.000 đồng/kg); điện (2.500 đồng/kW); nước (27.000 đồng/m³).

Như vậy, nhiệm vụ tối ưu của mô hình là dò tìm tập hợp giá trị của 7 yếu tố đầu vào (bảng 1) để thỏa mãn hàm (10). Kiểu thu rau không ảnh hưởng đáng kể đến hiệu quả nhưng hình thức “thu luân phiên” vẫn được đề xuất để duy trì sinh khối.



Hình 3. Kết quả tối ưu mô hình aquaponics bằng thuật toán GA theo các quy mô bể nuôi khác nhau.

3.4.2. Kết quả tối ưu quy trình vận hành mô hình aquaponics

Phân tích tối ưu (giải hàm 10) được thực hiện trong mô-đun BehaviorSearch (30 lượt dò tìm độc lập, 4.000 thế hệ lai), theo các quy mô bể nuôi khác nhau, sử dụng khoảng giá trị đầu vào như hướng dẫn của FAO [3]. Kết quả đã tìm được quy trình nuôi cá tối ưu theo từng thể tích như trong hình 3 và tổng hợp hợp lại thành bảng 3.

Bảng 3. Đề xuất quy trình vận hành hệ thống aquaponics dạng media-filled nuôi cá Trê vàng.

Yếu tố điều khiển	Thể tích bể nuôi					
	0,5 m ³	1,0 m ³	1,5 m ³	2,0 m ³	2,5 m ³	3,0 m ³
Số lượng cá giống (con)	305	610	915	1.220	1.524	1.829
Cỡ cá giống (g/con)	20	20	20	20	20	20
Lưu lượng tuần hoàn nước (x lần thể tích bể cá/ngày)	24	24	23	20	18	16
Diện tích trồng rau (m ²)	11,81	27,49	44,84	59,85	75	90
Kiểu thu rau (số lần luân phiên)	2	2	2	2	2	2
Ngày thu hoạch (số ngày nuôi)	151	151	151	151	151	151
Lợi nhuận dự báo (ngàn đồng)	1.930	3.972	6.068	8.144	10.222	12.318

4. Bàn luận

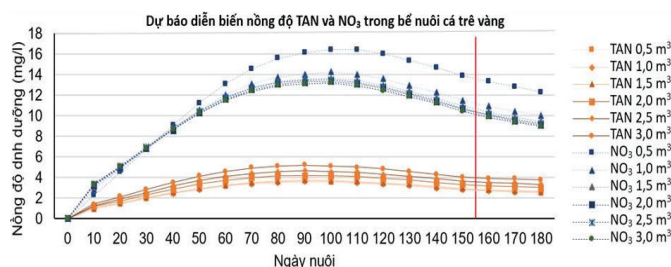
Trong các yếu tố đầu vào của mô hình, số lượng cá giống có ảnh hưởng nhiều nhất tới kết quả đầu ra. Kết quả này gợi ý cần ưu tiên nâng cao mật độ cá nếu muốn tăng lợi nhuận cho mô hình. Tuy nhiên, mật độ cá ở mức nào là phù hợp cho một hệ aquaponics hiện vẫn còn nhiều ý kiến khác biệt. Công trình nghiên cứu hệ tuần hoàn nuôi cá Trê vàng [6] cho rằng, mật độ nuôi có thể tới 1000 con/m³ nước (118 kg/m³); A. Endut và cs (2010) [21] khuyến cáo mật độ tối đa không quá 58,8 kg cá/m³ nước và tài liệu hướng dẫn của FAO [3] gợi ý mật độ cá trê có thể đạt 150 kg/m³ nước nhưng cần một quy trình nuôi đặc biệt. Lưu lượng nước bơm cũng tương tự; một số nghiên cứu cho rằng, bơm nước nhiều sẽ làm giảm nồng độ TAN trong nước, có lợi cho sự phát triển của cá [21]. Đồng thời, cảnh báo cũng đặt ra khi tốc độ nước trong hệ thống lưu chuyển quá nhanh sẽ giảm thời gian tiếp xúc của vi sinh vật khoáng hóa, giảm hiệu quả chuyển hóa dinh dưỡng, cản trở sự phát triển của cá rau và cá [21]. Vì vậy, xác định ngưỡng điều khiển cho hệ thống để đạt hiệu quả tối ưu trong sản xuất vẫn luôn có ý nghĩa thực tiễn to lớn.

Kết quả từ hình 3 cho thấy, quá trình tối ưu GA cho các quy mô thể tích bể nuôi đều tìm ra mức lợi nhuận tối đa từ khoảng lần chạy (số thế hệ lai GA) thứ 2.000 trở đi. Vì vậy, lời giải cho hàm 10 khi vận hành mô hình máy tính tới thế hệ lai thứ 4.000 là nhất quán, có thể sử dụng để đề xuất quy trình vận hành hệ aquaponics.

Đối với mỗi quy mô thể tích, gợi ý về số lượng cá giống đều ở số lượng mà khi thu hoạch đạt mật độ khoảng 124 kg cá/m³

nước, gần bằng mức tối đa trong phạm vi hướng dẫn của FAO (150 kg/m³ nước) [3]. Mật độ gợi ý này vượt 2,1 lần giới hạn mật độ đối với các loài cá khác theo tài liệu của A. Endut và cs (2010) [21] và cao hơn 5% so với mật độ cho cá Trê vàng để xuất trong điều kiện nuôi tuần hoàn (không có hệ thống trồng rau) tại Việt Nam [6]. Đây là lợi thế khi chọn nuôi cá Trê vàng do khả năng chịu đựng cao của chúng. Cỡ cá giống được GA gợi ý đều ở mức thấp nhất (20 g/con), do ở cỡ này giá mua phù hợp trong khi vẫn đảm bảo tỷ lệ sống cao. Thời gian thu cá được gợi ý ở ngày nuôi thứ 151 vì liên quan tới mức tăng trọng đạt gần tối đa vào ngày thứ 150, và thời điểm thu rau luân phiên đúng vào ngày thứ 150.

Những yếu tố vận hành khác đi kèm theo mật độ cá tối đa (tài liệu FAO gọi là quy trình đặc biệt), bao gồm lưu lượng bơm và diện tích trồng rau, cũng đã được GA đề xuất trên cơ sở cân đối hàm lượng dinh dưỡng để rau và cá tăng trưởng tốt nhất. Các công trình nghiên cứu [3-5] đã chứng minh, nồng độ N-NO₃⁻ tối ưu cho rau phát triển là từ 10 mg/l trở lên; đối với cá Trê vàng, nồng độ TAN 15,5 mg/l và N-NO₃⁻ 100 mg/l vẫn trong ngưỡng phát triển bình thường [6]. Theo đó, diện tích rau và số lần tuần hoàn nước trong bể cá đã được GA tổ hợp để duy trì nồng độ TAN và N-NO₃⁻ ở mức không gây tử vong cho cá. Nhìn chung, diện tích rau được đề xuất ở tỷ lệ khoảng 5-6 kg cá/m² rau; tuần hoàn nước thì thay đổi theo bể nuôi: 0,5 m³ là 24 lần/ngày (12 m³/ngày), 3,0 m³ là 16 lần/ngày (48 m³/ngày). Với diện tích rau và số lần tuần hoàn nước như trên thì nồng độ dinh dưỡng trong nước được dự báo khá phù hợp với cả rau và cá (hình 4).



Hình 4. Nồng độ dinh dưỡng được mô hình máy tính dự báo theo các quy trình nuôi khác nhau.

Kết quả hình 4 cho thấy, nồng độ N-NO₃⁻ trong bể cá tăng nhanh trong khoảng 50 ngày đầu để đạt trên 10 mg/l và duy trì mức độ này tới hết vụ nuôi. Nồng độ cao nhất đạt 16,44 mg/l, vẫn thuộc ngưỡng an toàn của cá Trê vàng. Đây là nguồn dinh dưỡng rất phù hợp để cấp trực tiếp cho rau phát triển [12]. Đối với nồng độ TAN, các quy trình nuôi đều không vượt quá 5,5 mg/l, cũng chưa tới mức gây hại cho cá Trê vàng.

Kết quả chạy mô hình với kịch bản thể tích cao nhất (3,0 m³) và lưu lượng bơm 16 lần thay nước/ngày thì chi phí điện là 448.000 đồng (3,5% tổng chi), chi phí nước là 124.000 (1,0% tổng chi) đồng cho cả vụ nuôi. Chi phí vận hành chủ yếu là tiền

thức ăn cho cá (82,0% tổng chi phí). Thức ăn trong mô hình cần để tạo sinh khối cá nhưng đó cũng là nguồn dinh dưỡng (thức ăn thừa và chất thải của cá) để rau tăng trưởng. Như vậy, ngoài lợi ích kinh tế, những lợi ích môi trường khác của mô hình aquaponics như tiết kiệm năng lượng và hạn chế ô nhiễm môi trường cũng rất có ý nghĩa, đặc biệt là nhìn nhận theo góc độ kinh tế tuần hoàn.

Mô hình mô phỏng của nghiên cứu này có thể được sử dụng để tối ưu theo nhiều mục tiêu khác nhau. Ví dụ, tối ưu riêng cho mục đích trồng rau hoặc nuôi cá, hoặc tối ưu theo lợi nhuận trong hoàn cảnh giá sản phẩm bị thay đổi... Đây là ưu điểm của phương pháp sử dụng mô hình máy tính. Tuy nhiên, mô hình cũng có một số hạn chế, trước hết là chưa đề cập tới yếu tố khí tượng, tối ưu chưa tính đến chi phí nhân công, thuốc phòng và chữa bệnh. Đây cũng là gợi ý cho các nghiên cứu tiếp theo liên quan tới xây dựng mô hình và tối ưu hệ thống. Một điều cần nhấn mạnh nữa là những giá trị đưa ra trong quy trình là logic tương quan về cân bằng vật chất và chi phí. Trong quá trình áp dụng, người sản xuất có thể linh hoạt điều khiển mô hình gần với giá trị ngưỡng, nhưng phải giám sát thường xuyên diễn biến về rau, cá và chất lượng nước để hiệu chỉnh khi cần. Ngoài ra, mức đầu tư ban đầu và yêu cầu mặt bằng cũng tăng theo quy mô. Vì vậy, người sản xuất phải lựa chọn quy mô cho phù hợp với điều kiện của mình và có những dự phòng về dịch bệnh phát sinh trong quá trình nuôi.

5. Kết luận

Mô hình máy tính mô phỏng hệ thống aquaponics nuôi cá Trê vàng và trồng rau diếp cá cho thấy, số lượng cá nuôi có ảnh hưởng nhiều nhất đến kết quả đầu ra của mô hình. Vì vậy, muốn tăng lợi nhuận sản xuất cần chú ý nhiều hơn tới mật độ cá. Kết quả phân tích tối ưu bằng thuật toán GA đã xác định quy trình vận hành hệ thống theo thể tích bể nuôi, trong đó, mật độ nuôi tối đa của cá Trê vàng có thể đạt tới 124 kg/m³ nước; cỡ cá giống là 20 g/con; diện tích trồng rau cân đối theo sản lượng cá (5-6 kg/m²); bơm tuần hoàn nước thay đổi theo thể tích bể nuôi, dao động từ 16 lần/ngày (bể 3,0 m³) tới 24 lần/ngày (bể 0,5 m³). Cá được đề xuất thu hoạch ở ngày nuôi thứ 151. Khi áp dụng quy trình vận hành như trên, cần lưu ý giám sát thường xuyên chất lượng nước để hiệu chỉnh bơm và xả nước thải khi cần, đồng thời phải có biện pháp kiểm soát những sự cố kỹ thuật và rủi ro dịch bệnh cho cá và rau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] V.T. Okomoda, S.A. Oladimeji, S.G. Solomon, et al. (2023), "Aquaponics production system: A review of historical perspective, opportunities, and challenges of its adoption", *Food Sci. Nutr.*, **11**(3), pp.1157-1165, DOI: 10.1002/fsn3.3154.

[2] S. Wongkiew, Z. Hu, K. Chandran, et al. (2017), "Nitrogen transformations in aquaponic systems: A review", *Aquacultural Engineering*, **76**, pp.9-19, DOI: 10.1016/j.aquaeng.2017.01.004.

[3] C. Somerville, M. Cohen, E. Pantanella, et al. (2014), "Small-scale aquaponic food production: Integrated fish and plant farming", *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper*.

[4] J.E. Rakocy, M.P. Masser, T.M. Losordo (2006), "Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-integrating fish and plant culture", *Oklahoma Cooperative Extension Service*.

[5] S. Bernstein (2011), *Aquaponic Gardening: A Step-by-Step Guide to Raising Vegetables and Fish Together*, New Society Publishers, 296pp.

[6] N.T.H. Nho, H.T.K. Hong, P.T. Liem (2018), "Effects of farming density on water quality, growth and survival rate of yellow catfish (*Clarias macrocephalus*) in the recirculating system", *Can Tho University Journal of Science*, **54**, pp.108-114 (in Vietnamese).

[7] M. Bradley, S. Lane, N. Woodbury (2018), *Modeling and Control of An Aquaponics System*, Bibliography, 76pp.

[8] B. Stalport, P. Raulier, H. Jijakli, et al. (2022), "Modeling aquaponics: A review on available models and simulation tools", *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, **6**(3), pp.155-165, DOI: 10.25518/1780-4507.19802.

[9] A.A. Channa, K. Munir, M. Hansen, et al. (2024), "Optimisation of small-scale aquaponics systems using artificial intelligence and the IoT: Current status, challenges, and opportunities", *Encyclopedia*, **4**(1), pp.313-336, DOI: 10.3390/encyclopedia4010023.

[10] N.P.C. Tu, N.N. Ha, T.T.T. Thuy, et al. (2021), "Effects of two hydroponic systems on water quality and growth of snakehead fish and mustard greens in the aquaponic model", *The Journal of Agriculture and Development*, **20**(2), pp.27-35 (in Vietnamese).

[11] N. L. Tuan, N. H. Nam, T. C. Dong, et al. (2016), "Automation in Aquaponics sustainable food production systems", *National Scientific Conference on Control and Automation* (in Vietnamese).

[12] X. Ke, M. Yi, Q. Li, et al. (2021), "Effect of the herbal *Houttuynia cordata* floating bed on the Nile tilapia pond culturing system", *Aquaculture Reports*, **20**, DOI: 10.1016/j.aqrep.2021.100680.

[13] E.W. Rice, L. Bridgewater, A.P.H. Association (2012), *Standard Methods for The Examination of Water and Wastewater*, American public health association, 733pp.

[14] S. Tisue, U. Wilensky (1999), *NetLogo: Center for Connected Learning and Computer-Based Modelling*, Northwest, Evanston University.

[15] B.O. Musa, A.H. Flores, O.A. Adeogun, et al. (2021), "Determination of a predictive growth model for cultivated African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell, 1882)", *Aquaculture Research*, **52**(9), pp.4434-4444, DOI: 10.1111/are.15282.

[16] K. J. Keesman, O. Körner, K. Wagner, et al. (2019), "Aquaponics systems modelling", *Aquaponics Food Production Systems.*, Springer, pp.267-299.

[17] C. Geelen (2016), *Dynamic Model of an INAPRO Demonstration Aquaponic System*, Thesis Biobased Chemistry and Technology, Wageningen University, 54pp.

[18] B. Bettonvil, J.P. Kleijnen (1997), "Searching for important factors in simulation models with many factors: Sequential bifurcation", *European Journal of Operational Research*, **96**(1), DOI: 10.1016/S0377-2217(96)00156-7.

[19] T.A. Ngo, L. See (2011), "Calibration and validation of agent-based models of land cover change", *Agent-Based Models of Geographical Systems*, Springer, pp.181-197, DOI: 10.1007/978-90-481-8927-4_10.

[20] C. Chatfield (1992), "A commentary on error measures", *International Journal of Forecasting*, **8**(1), pp.100-102.

[21] A. Endut, A. Jusoh, N. Ali, et al. (2010), "A study on the optimal hydraulic loading rate and plant ratios in recirculation aquaponic system", *Bioresource Technology*, **101**(5), pp.1511-1517, DOI: 10.1016/j.biortech.2009.09.040.

Tổng mục lục năm 2025

Thứ tự	Tác giả	Tên bài	Chi số phân loại	Số	Trang
1	Doãn Ngọc San, Nguyễn Văn Thắng, Hoàng Hữu Hiệp, Nguyễn Anh Hào, Trần Thị Oanh, Nguyễn Thị Minh Hồng	Ứng dụng học máy nhận dạng tương đất đá khu vực bồn trũng An Châu.	1.2, 1.8, 2.1	(67) 1	1
2	Nguyễn Thị Thu Hà, Trịnh Văn Giáp, Bùi Đức Kỳ	Nghiên cứu khảo sát đặc trưng đo liều gamma của LiAlO_2 .	1.3, 1.4, 2.5	(67) 1	7
3	Bùi Quang Trí, Lê Văn Sơn, Huỳnh Thị Thu Hương, Trần Trọng Hiệu, Đặng Nguyễn Thế Duy, Trần Văn Bá	Nghiên cứu, thử nghiệm phương pháp đánh dấu để khảo sát giếng khai thác gas-lift.	1.3, 2.1	(67) 1	12
4	Nguyễn Văn Bình, Trần Xuân An, Nguyễn Xuân Tùng, Hoàng Đăng Sáng, Trần Băng Diệp, Trần Huyền Thanh, Hoàng Phương Thảo, Trần Minh Quỳnh	Tác dụng của chiếu xạ chùm điện tử đến một số đặc tính của xanthan định hướng ứng dụng cho sản xuất phân bón lá.	1.3, 4.7	(67) 1	20
5	Huỳnh Thái, Trần Ngọc Đan, Nguyễn Mộng Hoàng, Nguyễn Thị Tuyết Nhung	Tổng hợp vật liệu hỗn hợp Cu/C bằng nhiệt phân yếm khí Cu-MOF và ứng dụng làm xúc tác cho phản ứng phân hủy 4-nitrophenol.	1.4, 1.7, 2.5	(67) 1	25
6	Phạm Thị Kha, Vũ Mạnh Hùng, Lê Văn Nam, Cao Thị Thu Trang, Trần Mạnh Hà	Xác định hàm lượng các nguyên tố kim loại trong mô thịt của một số loài cá phổ biến vùng cửa sông Bạch Đằng, Hải Phòng.	1.4, 2.10, 4.5	(67) 1	31
7	Huỳnh Xuân Phong, Dương Thị Ngọc Lan, Lưu Minh Châu, Bùi Hoàng Đăng Long, Nguyễn Ngọc Thanh, Hà Thanh Toàn	Phân lập và tuyển chọn nấm mốc có khả năng phân giải pectin từ vỏ cam sành (<i>Citrus sinensis</i>).	1.6, 2.8	(67) 1	40
8	Bạch Ngọc Minh, Nguyễn Thị Anh Thư, Nguyễn Thị Thanh Kiều, Huỳnh Hoàn Mỹ	Phân lập và tuyển chọn các chủng vi khuẩn sinh lipase từ nước thải nhà hàng.	1.6, 2.8	(67) 1	47
9	Nguyễn Thị Thu Huyền, Trịnh Thị Thu Thủy, Lê Thị Ngọc Thúy, Đặng Thảo Yến Linh, Nguyễn Thị Thanh Thủy	Phân lập, tuyển chọn vi khuẩn sinh pectinase từ đất trồng và vỏ quả cà phê ứng dụng trong lên men sản xuất cà phê.	1.6, 2.8, 2.10	(67) 1	52
10	Nguyễn Bằng Phi, Nguyễn Đoàn Nguyên Phương, Nguyễn Ngọc Bảo Châu, Nguyễn Bảo Quốc	Đánh giá biểu hiện của phân tử microRNA <i>osa-miR160a</i> trên các giống lúa chống chịu và mẫn cảm với nấm <i>Magnaporthe oryzae</i> gây bệnh đạo ôn.	1.6, 4.1, 4.6	(67) 1	58
11	Cao Thị Hồng, Nguyễn Thị Thơm, Phạm Thị Năm, Hoàng Thái Hà, Đinh Thị Mai Thanh, Trần Đại Lâm	Tổng hợp vật liệu 2D-MXene- Ti_3AlC_2 bằng phương pháp ăn mòn chọn lọc MAX- Ti_3AlC_2 trong hydrogen fluoride.	2.4, 2.5	(67) 1	62
12	Nguyễn Quốc Trung, Nguyễn Anh Thư, Trịnh Thiên, Phạm Ngọc Thạch, Lê Hữu Thọ, Võ Quốc Khương	Nghiên cứu tổng hợp xanh hóa nano bạc từ cao chiết cây Cúc leo (<i>Mikania micrantha</i> Kunth).	2.4, 2.9	(67) 1	67
13	Huỳnh Thành Đạt, Trần Bích Lam	Nghiên cứu vi bao kháng thể IgY.	2.6, 2.8, 3.5	(67) 1	75
14	Nguyễn Thị Thu Hà, Trịnh Văn Giáp, Bùi Đức Kỳ	Tổng hợp và phân tích đường cong tích phân nhiệt phát quang của LiAlO_2 .	1.3, 2.5	(67) 2	1
15	Hồ Thị Xuân Giang, Phạm Thanh Liêm, Phạm Hoàng Việt, Lê Minh Trường, Đinh Thị A Thái, Trần Văn Mẫn	Nghiên cứu tính chất ăn mòn Pb và hợp kim Pb-Sb-Ag trong dung dịch axit H_2SO_4 bằng phương pháp điện hóa.	1.4, 2.4	(67) 2	6
16	Nguyễn Ngọc Thịnh, Nguyễn Văn Anh, Nguyễn Huy Hoàng	Nghiên cứu khả năng hấp phụ chất màu methyl da cam trong dung dịch nước sử dụng vật liệu composite ZnO/chitosan kích thước nano.	1.4, 2.5, 2.9	(67) 2	11
17	Nguyễn Văn Hợp, Nguyễn Văn Quý, Kiều Mạnh Hương, Nguyễn Thị Lương	Đa dạng và giá trị của thực vật ăn được ở rừng Tân Phú, tỉnh Đồng Nai.	1.6, 2.8, 4.4	(67) 2	16
18	Nguyễn Thanh Hải, Ngô Thanh Vũ	Ứng dụng thuật toán quy hoạch động để phân tích lựa chọn tối ưu trong xây dựng.	1.8, 2.1	(67) 2	22
19	Nguyễn Văn Thương, Nguyễn Ngọc Tú	Nâng cao chất lượng hình ảnh và video chụp trong điều kiện thời tiết sương mù, sử dụng bộ lọc dẫn hướng đa lớp.	1.8, 2.2	(67) 2	29
20	Cao Thị Hồng, Nguyễn Thị Thơm, Phạm Thị Năm, Nguyễn Thu Phương, Vũ Thị Thu, Đinh Thị Mai Thanh, Ngô Văn Hoàng, Trần Đại Lâm	Ảnh hưởng của nồng độ HF và thời gian siêu âm đến tính chất của vật liệu 2D-MXene- Ti_3C_2 tổng hợp bằng phương pháp hóa học ướt.	2.4, 2.5	(67) 2	35
21	Hoàng Quang Bình, Huỳnh Đức Danh, Lê Trung Thiên	Đánh giá hoạt tính chống oxy hóa và chất lượng cảm quan của kẹo dẻo bổ sung bột vỏ bưởi và nước bưởi.	2.10	(67) 2	40
22	Hồ Trần Phương Uyên, Hoàng Quang Bình, Dương Thị Ngọc Diệp	Nghiên cứu phát triển sản phẩm và đánh giá thành phần hóa lý thạch sơ ri.	2.10	(67) 2	46
23	Nguyễn Lê Anh Tuấn, Võ Lê Anh Thư, Đào Chí Tuyên	Sàng lọc <i>in silico</i> các phân tử nhỏ có khả năng ức chế thụ thể AT_1 để nghiên cứu phát triển thuốc điều trị bệnh tăng huyết áp.	3.1, 3.4	(67) 2	53
24	Đỗ Thanh Hòa, Nguyễn Văn Chính, Trần Thị Hằng, Dương Đức Hùng, Hoàng Minh Anh, Nguyễn Thị Diễm, Nguyễn Sỹ Lánh	Bước đầu nhận xét đặc điểm mô dây thần kinh đồng loài bảo quản lạnh sâu tại Ngân hàng Mô, Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức.	3.1, 3.5	(67) 2	61
25	Phan Tuấn Đức, Bùi Sơn Nhật, Lê Thị Luyến	Mô phỏng động học/động lực học của pyrazinamid trên bệnh nhân lao phổi.	3.3, 3.4	(67) 2	68
26	Nguyễn Thị Thu Hoài, Trần Bá Hiếu, Trần Ngọc Cẩm, Nguyễn Việt Dũng, Vũ Tú Bình, Lê Thị Ngọc Anh, Ngô Thị Hương	Kết quả kiểm soát các yếu tố nguy cơ và chỉ số khối cơ thể ở người có nguy cơ tim mạch cao bằng giải pháp y tế từ xa (telemedicine).	3.3, 3.5	(67) 2	74
27	Nguyễn Thị Huyền, Trần Văn Hậu, Mai Thị Phương, Phạm Văn Trinh, Bùi Hùng Thắng, Nguyễn Văn Chúc, Phạm Văn Nhất, Phùng Việt Tiệp, Vũ Đình Lâm, Phan Ngọc Minh, Ji-Yong Park, Nguyễn Văn Tú	Tổng hợp và đặc trưng tính chất điện của tiếp giáp dị thể graphene-MoS ₂ -graphene.	1.3, 1.4, 2.5	(67) 3	1
28	Nguyễn Hoàng Minh, Phan Thị Thúy Hằng, Nguyễn Thị Ý Như, Lê Chánh Chí Tài, Nguyễn Ngọc Trâm	Thu nhận hiệu quả beta-mannanase dung hợp với mồi neo LysM3014 trong <i>Escherichia coli</i> bằng phương pháp phá vỡ tế bào với hạt thủy tinh.	1.4, 2.4	(67) 3	7
29	Phạm Thu Trang, Nguyễn Thanh Tùng, Nguyễn Văn Khôi, Phạm Thị Thu Hà, Nguyễn Trung Đức, Nguyễn Thu Hương	Ảnh hưởng của độ ẩm và nhiệt độ môi trường đến độ bền cơ lý của polyme blend poly(butylene adipate-co-terephthalate)/tinh bột dong riềng.	1.4, 2.5, 2.7	(67) 3	13
30	Dương Tuấn Mạnh, Lê Xuân Thanh Thảo, Huỳnh Đức Long, Đỗ Văn Mạnh	Nghiên cứu xác định vi nhựa trong vẹm xanh (<i>Perna viridis</i>) tại một số khu vực ven biển tỉnh Quảng Ninh.	1.5, 2.7	(67) 3	18
31	Nguyễn Đức Thế, Nguyễn Thị Miên, Phạm Văn Chiến, Đinh Thị Hà, Nguyễn Văn Quân	Đặc điểm hình thái và tương quan chiều dài - khối lượng của loài bạch tuộc <i>Amphioctopus neglectus</i> (Nateewathana & Norman, 1999) ở vùng biển vịnh Hạ Long, tỉnh Quảng Ninh.	1.6, 4.5, 4.6	(67) 3	24
32	Đinh Thị Hà, Phạm Văn Chiến, Nguyễn Xuân Thành, Nguyễn Văn Quân, Nguyễn Đức Thế, Đặng Đỗ Hùng Việt	Đặc điểm sinh học sinh sản của cá bóng Thệ <i>Oxyurichthys ophthalmonema</i> (Bleeker, 1856) ở vùng đầm phá Tam Giang - Cầu Hai, tỉnh Thừa Thiên Huế.	1.6, 4.6	(67) 3	31
33	Đào Sỹ Dân, Bùi Văn Đức, Trịnh Đức Cường	Nghiên cứu ứng dụng vật liệu carbon fiber-reinforced polymer để gia cường kết cấu bê tông cốt thép.	2.1, 2.5	(67) 3	37
34	Vũ Xuân Mạnh, Vũ Quốc Tuấn, Nguyễn Đăng Phú, Đỗ Quang Lộc, Chử Đức Trinh, Bùi Thanh Tùng	Hệ đo siêu nhạy từ dựa trên kỹ thuật khuếch đại Lock-in và cảm biến từ trở khổng lồ.	2.2	(67) 3	43

35	Hoàng Văn Hán, Trần Anh Sơn, Đoàn Đình Quân, Phạm Anh Vũ, Vũ Hồng Sơn, Nguyễn Văn Thoại, Chu Văn Tuấn, Phạm Thế Tân	Chế tạo vật liệu ZnO cấu trúc nano tetrapod bằng phương pháp bốc bay nhiệt không sử dụng mầm kết tinh trong điều kiện áp suất khí quyển.	2.4, 2.5, 2.9	(67) 3	50
36	Đồng Quang Thúc, Nguyễn Anh Sơn, Mai Quân Đoàn, Lê Anh Tuấn, Phạm Anh Tuấn	Tăng cường khả năng chịu bức xạ UV của nhựa polyester không no dựa trên nano TiO ₂ : Ứng dụng trong sản xuất đá thạch anh nhân tạo.	2.5, 2.9	(67) 3	54
37	Trần Thị Hằng, Nguyễn Văn Chinh, Dương Đức Hùng, Nguyễn Sỹ Lánh	Bước đầu nhận xét đặc điểm mô khí quản đồng loài được bảo quản lạnh sâu tại Ngân hàng Mô, Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức.	3.1, 3.5	(67) 3	63
38	Đặng Văn Huy, Nguyễn Thế Hoàng, Ngô Thị Minh Hạnh, Nguyễn Thị Ngọc Ánh, Phạm Công Nguyên, Nguyễn Hải Anh, Lê Hữu Phương Anh, Nguyễn Đức Lương, Nguyễn Kim Anh, Nguyễn Ngọc Mai, Đào Huy Hoàng, Nguyễn Hữu Giáp, Ngô Thu Hường, Trương Văn Hà, Trần Thị Huyền Trang	Tối ưu hoá quy trình đánh giá tổn thương sụn bằng mô bệnh học.	3.2	(67) 3	70
39	Hà Văn Thúy, Tăng Quốc Hùng, Nguyễn Ngọc Nghĩa, Bùi Thị Xuân	Phân tích tổng quan hệ thống về chi phí - hiệu quả của apixaban trong ngăn ngừa đột quỵ ở người mắc bệnh rung nhĩ.	3.4, 3.5	(67) 3	75
40	Bùi Thị Thu Hà, Bùi Tuấn Thành	Ảnh hưởng của truyền thông nội bộ đến hạnh phúc và kết quả làm việc của nhân viên tại các ngân hàng thương mại ở Hà Nội.	5.2, 5.4, 5.8	(67) 4	1
41	Huỳnh Việt Khải, Trần Thị Thu Duyên, Nguyễn Tài Mạnh, Nguyễn Thị Thúy Kiều	Sự sẵn lòng chi trả của người dân Sóc Trăng cho dự án năng lượng tái tạo.	5.2, 5.4, 5.13	(67) 4	8
42	Nguyễn Minh Phú	Nghĩa vụ thông báo sự gia tăng rủi ro bảo hiểm trong Bộ nguyên tắc Luật hợp đồng bảo hiểm châu Âu - Một số gợi mở cho pháp luật Việt Nam.	5.2, 5.5	(67) 4	14
43	Vũ Quỳnh Nam, Chu Thúc Đạt	Nâng cao hiệu quả quản lý nhãn hiệu cộng đồng cho sản phẩm OCOP, sản phẩm nông nghiệp: Nghiên cứu tại vùng Trung du và miền núi phía Bắc.	5.2, 5.5	(67) 4	18
44	Nguyễn Minh Phương, Trần Thị Quỳnh Chi, Lê Ngọc Hán, Lê Hương Ly, Trần Thị Yến Nhi, Nguyễn Thuỳ Quỳnh	Mức độ phát triển của Chính phủ điện tử và vấn đề tham nhũng trong kỷ nguyên số: Vai trò điều tiết của kinh tế số.	5.2, 5.12	(67) 4	23
45	Lưu Văn Duy, Hà Thị Thanh An, Vũ Thị Khánh Toàn	Thực trạng chuyển đổi số trong sản xuất nông nghiệp ở tỉnh Thái Bình.	5.2, 5.13	(67) 4	28
46	Thái Thanh Bình, Nguyễn Mạnh Cường, Nguyễn Thanh Hải	Hiện trạng và giải pháp đào tạo, phát triển nguồn nhân lực cho ngành thủy sản Việt Nam.	5.3, 5.13	(67) 4	34
47	Đình Tấn Phong	Nâng cao hiệu quả thực hiện vai trò của Nhà nước trong lĩnh vực đất đai ở Việt Nam hiện nay.	5.5	(67) 4	40
48	Nguyễn Linh Giang	Bảo đảm quyền con người trong đại dịch COVID-19 và những vấn đề pháp lý đặt ra cho Việt Nam.	5.5	(67) 4	47
49	Nguyễn Thu Trang	Hợp tác Ấn Độ - Nhật Bản trong bối cảnh địa chính trị thay đổi ở Ấn Độ Dương - Thái Bình Dương.	5.6, 5.7, 5.12	(67) 4	53
50	Nguyễn Xuân Hồng	Góp phần minh định cách diễn đạt “Khủng hoảng truyền thông” tại Việt Nam qua khảo sát một số tài liệu về truyền thông.	5.8	(67) 4	61
51	Vũ Thị Minh Tâm	Tiêu chí đánh giá thông điệp đối ngoại trên báo mạng điện tử tiếng Anh của Việt Nam.	5.8	(67) 4	69
52	Nguyễn Tắt Thắng, Nguyễn Đình Cơ	La Sơn Phu tử Nguyễn Thiếp - kẻ sĩ thức thời trong bối cảnh Đại Việt cuối thế kỷ XVIII.	5.9	(67) 4	75
53	Trần Thế Hiệp, Bùi Tiến Thành, Nguyễn Thạch Bích, Nguyễn Thị Thanh Yên	Một phương pháp dựa trên mạng nơ-ron tích chập một chiều kết hợp tăng cường dữ liệu để khôi phục dữ liệu bị thiếu trong hệ thống giám sát sức khỏe kết cấu cầu.	1.2, 2.1	(67) 5	1
54	Nguyễn Văn Khiển, Vũ Thị Kim Liên, Chu Thị Anh Xuân, Lô Thị Huệ, Phạm Hoài Linh, Nguyễn Thị Ngọc Anh, Nguyễn Văn Quang, Nguyễn Văn Đăng, Lê Tiến Hà	Mối liên hệ giữa thời gian phục hồi điện môi và tính chất áp điện của hệ vật liệu Ba _{1-x} Ca _x O _{0.1} Ti _{0.9} O ₃ .	1.3, 1.4, 2.5	(67) 5	9
55	Lê Mạnh Cường	Nghiên cứu khả năng phân tán mangan dioxit trong hệ polyvinyl alcohol và đánh giá khả năng hấp phụ photphat của vật liệu.	1.4, 2.7, 2.9	(67) 5	14
56	Đình Ngọc Minh, Trương Thanh Tùng	Tổng hợp acetaminophen trực tiếp từ chất đầu dạng muối <i>p</i> -aminophenol hydrochloride và natri acetat ứng dụng trong công nghiệp dược.	1.4, 3.4	(67) 5	19
57	Nguyễn Thị Mai Hương, Phạm Thị Thu Hoài	Phân lập, tuyển chọn chủng <i>Lactobacillus</i> ứng dụng cho lên men sữa chua đậu xanh.	1.6, 2.8, 2.10	(67) 5	24
58	Đào Gia Bách, Đoàn Thị Thùy Linh, Lưu Thị Thúy Ngân, Dương Hưng Thịnh, Nguyễn Vũ Trung, Lê Thị Hội	Bước đầu nghiên cứu khảo sát một số đặc tính của chủng <i>Bacillus subtilis</i> bản địa, phân lập từ người Việt Nam khỏe mạnh ứng dụng trong sản xuất chế phẩm probiotic.	1.6, 2.8, 3.5	(67) 5	32
59	Nguyễn Đức Bách, Phí Thị Cẩm Miên, Trần Thị Phương Thảo, Nguyễn Thị Thu Hoa, Trần Thị Oanh, Tô Thị Mai Hương, Trần Ngọc Hùng	Khảo sát hoạt tính enzyme tyrosinase ngoại bào của vi khuẩn <i>Ralstonia solanacearum</i> và sàng lọc khả năng ức chế enzyme của một số dịch chiết thực vật.	1.6, 2.8, 4.6	(67) 5	38
60	Trần Văn Tiến, Nguyễn Văn Phong, Nguyễn Thị Huệ	Nghiên cứu nhân giống cây Long não (<i>Cinnamomum camphora</i> (L.) Presl) bằng phương pháp nuôi cấy mô tế bào.	1.6, 4.6	(67) 5	47
61	Vũ Thị Mơ, Hoàng Thanh Tùng, Nguyễn Thị Như Mai, Hoàng Đức Khải, Trần Mai Đức, Đặng Xuân Cường, Lê Trọng Nghĩa, Trần Văn Huỳnh, Võ Thành Trung, Hồ Sơn Lâm, Đoàn Văn Thân, Đỗ Mạnh Cường, Vũ Quốc Luận, Nguyễn Ngọc Lâm, Dương Tấn Nhựt	Sự sinh trưởng và hàm lượng carrageenan của cây rong Bắp sú <i>Kappaphycus striatus</i> nuôi trồng ở điều kiện bán tự nhiên và tự nhiên.	1.6, 4.6	(67) 5	52
62	Trần Long Giang	Nghiên cứu tính toán kết cấu cầu cảng dạng khung không gian theo lý thuyết cơ học phá huỷ dựa trên phần mềm SAP 2000.	1.8, 2.1	(67) 5	61
63	Trần Đình Minh Huy, Trần Hải Yến, Hạ Thị Xuân Thảo, Hồ Thị Bích Vân, Nguyễn Lê Hoàng Nguyên	Đánh giá thị giác của trẻ cận thị sử dụng tròng kính vi thấu kính phi cầu bậc cao.	3.2, 3.5	(67) 5	67
64	Trương Tuấn Anh, Hoàng Thị Vân Lan	Vai trò của cầu lạc bộ sức khỏe cộng đồng trong dự phòng đột quỵ não ở người bệnh tăng huyết áp.	3.3, 3.5	(67) 5	71
65	Chu Huy Tường, Nguyễn Tiến Dũng, Nguyễn Thị Tinh, Nguyễn Quốc Hùng, Bùi Quang Đăng, Lê Văn Hiền, Nguyễn Văn Hồng, Ngô Xuân Bình	Nghiên cứu ảnh hưởng của phun GA ₃ đến năng suất và chất lượng quả giống hồng Việt Cường (<i>Diospyros kaki</i> L.).	4.1, 4.6	(67) 5	76
66	Lương Thị Thanh Huyền, Nguyễn Thị Hồng Đức, Nguyễn Huy Hoàng, Nguyễn Văn Hà	Nghiên cứu sàng lọc ảo các hợp chất dị vòng thiazole hướng ức chế enzyme 3CLpro của virus Corona nhằm phát triển các thuốc điều trị COVID-19.	1.4, 1.6, 3.4	(67) 6	1
67	Nguyễn Ngọc Trí, Cao Thị Hương	Nghiên cứu lý thuyết sự hấp phụ các phân tử hữu cơ dễ bay hơi trên bề mặt MoSe ₂ .	1.4, 2.4, 2.5	(67) 6	9

68	Hoàng Thị Hiền, Chu Văn Tuấn, Trần Thanh Bình, Đỗ Huy Hoàng, Hồ Trường Giang	Nghiên cứu các đặc trưng của cảm biến khí NH ₃ dựa trên các màng nhạy polypyrrole pha tạp FeCl ₃ ở nhiệt độ phòng.	1.4, 2.4, 2.5	(67) 6	16
69	Hoàng Đức Khải, Nguyễn Việt Hưng, Hoàng Thanh Tùng, Vũ Quốc Luận, Đỗ Mạnh Cường, Nguyễn Thị Như Mai, Hoàng Thị Như Phương, Đoàn Văn Thu, Đỗ Thanh Tuấn, Dương Tấn Nhứt	Nano bạc nâng cao hiệu quả tái sinh chồi từ mẫu cấy cánh hoa Thu hải đường (<i>Begonia</i> × <i>tuberhybrida</i> Voss) thông qua con đường tổng hợp carbohydrate.	1.4, 4.6	(67) 6	21
70	Đào Thị Ngọc Ánh, Bùi Thị Khánh Ly, Trần Hương Quỳnh, Nguyễn Thị Nguyệt, Hồ Ngọc Anh, Vi Thị Kim Chi, Phạm Ngọc Long, Cung Thị Ngọc Mai, Nguyễn Phương Minh, Lê Thị Nhi Công	Xạ khuẩn có khả năng nuôi cấy trong đất ô nhiễm dioxin, khả năng sinh laccase và tiềm năng ứng dụng trong xử lý sinh học.	1.6, 2.7	(67) 6	27
71	Mai Thị Ngọc Lan Thanh, Hoàng Anh Hoàng	Đánh giá khả năng kháng <i>Staphylococcus aureus</i> kháng methicillin của pinostrobin từ cao chiết Trâm tròn (<i>Syzygium glomeratum</i>).	1.6, 3.5	(67) 6	34
72	Trần Văn Tiến, Nguyễn Văn Dư, Trịnh Xuân Thành	Cập nhật danh lục họ Ráy ở Việt Nam.	1.6, 4.7	(67) 6	40
73	Nguyễn Đăng Nguyên, Mai Thị Hồng, Nguyễn Văn Dũng	Cường độ và độ bền của vữa sử dụng bã cà phê thay thế một phần cốt liệu nhỏ.	2.1, 2.5	(67) 6	45
74	Lê Đức Mạnh, Vũ Thị Ngọc Ánh, Phạm Hoàng Nhật Huy, Đinh Thị Vân, Mai Quang Tuyền	Nghiên cứu chế tạo vật liệu hấp phụ dầu từ rơm biến tính bằng copolymer glycidyl methacrylate và lauryl methacrylate.	2.4, 2.5, 2.7	(67) 6	52
75	Triệu Tiến Sang, Trần Văn Khoa, Nguyễn Văn Phong, Tạ Thị Bình, Phạm Xuân Thế Anh	Tối ưu quy trình Tetra-primer ARMS PCR xác định đa hình đơn nucleotide rs1799929 của gen <i>NAT2</i> ở người tại một số tỉnh, thành phố của Việt Nam.	2.6, 3.1, 3.3	(67) 6	59
76	Nguyễn Thị Thu Hoa, Nguyễn Xuân Khánh Hà, Dương Khánh Minh, Nguyễn Thị Lan Phương, Dương Hữu Thái	Đánh giá mô hình hỗn hợp vắc xin bạch hầu - uốn ván - ho gà vô bào (DTaP) tại Viện Vắc xin và Sinh phẩm Y tế.	3.1, 3.3	(67) 6	64
77	Mai Xuân Thu, Nguyễn Thị Minh Hiếu, Trịnh Ngọc Thành, Nguyễn Minh Anh, Trần Ngọc Ánh, Phạm Thị Huệ, Đặng Quốc Nghĩa, Khương Anh Tuấn	Thực trạng kiểm định định kỳ thiết bị y tế trong quá trình sử dụng tại các cơ sở y tế ở một số địa phương.	3.5	(67) 6	70
78	Võ Ngọc Nguyên, Trần Thanh Mến, Trần Ngọc Quý	Khảo sát ảnh hưởng của cao chiết các loài thực vật thuộc họ Cúc lên sự nảy mầm và tăng trưởng hạt.	4.1, 4.6	(67) 6	75
79	Cao Thị Thanh, Nguyễn Thị Huyền, Phạm Văn Trinh, Nguyễn Văn Tú, Phạm Thanh Bình, Lê Thị Quỳnh Xuân, Nguyễn Ngọc Anh, Lương Trúc Quỳnh Ngân, Vũ Xuân Hòa, Hiroya Abe, Nguyễn Văn Chúc	Tổng hợp và ứng dụng vật liệu tổ hợp Gr/CNTs/AuNPs trong cảm biến điện hóa nhằm xác định nồng độ dư lượng thuốc bảo vệ thực vật fenitrothion.	1.3, 1.4, 2.5	(67) 7	1
80	Lê Nguyễn Ngân, Nguyễn Văn Hà, Bùi Minh Thắng, Trần Văn Danh, Ngô Hoàng Nhật Vi, Nguyễn Minh Nhật, Đặng Thị Mỹ Dung, Đoàn Đức Chánh Tín, Đặng Mậu Chiến	Tổng quan các phương pháp và công nghệ đo độ mặn trong nước hiện nay.	1.3, 1.4, 2.7	(67) 7	7
81	Trần Ngọc An, Vũ Thị Khánh Chi, Nguyễn Thiện Thành	Nâng cao vận tốc gió tới hạn cho cầu nhíp lớn bằng cách lắp các tấm mỏng lên các dây cáp về một phía của dầm cầu.	1.3, 1.8, 2.1	(67) 7	17
82	Phạm Quang Phú, Bùi Trung Thành, Lê Anh Đức	Tính toán trao đổi nhiệt từ các hạt đến bề mặt trao đổi nhiệt trong công đoạn làm nguội của sấy đường tinh luyện bằng phương pháp tăng sôi xung khí.	1.3, 2.5, 2.10	(67) 7	21
83	Trần Đức Châu, Trần Lê Hải, Nguyễn Quốc Việt, Lưu Hoàng Tâm, Nguyễn Hữu Tâm, Nguyễn Trần Hà	Tổng hợp copolymer cấu trúc phân nhánh trên cơ sở đơn vị dithienopyrrole và triphenylamine bằng phương pháp ghép đôi trực tiếp trong điều kiện aerobic.	1.4, 2.4, 2.5	(67) 7	28
84	Mai Thị Xuân, Nguyễn Thị Nhiệm, Đoàn Thị Hải, Phạm Thị Hồng, Trần Quang Vinh	Nghiên cứu khả năng loại bỏ bụi mịn và vi khuẩn trong không khí bằng thiết bị lọc không khí kiểu ướt cải tiến.	1.4, 2.4, 2.7	(67) 7	34
85	Lê Thanh Tùng, Trần Mai Đức, Đỗ Anh Duy, Nguyễn Văn Nguyên, Lê Trọng Nghĩa, Trương Văn Tuấn, Trần Văn Huỳnh	Đánh giá hiện trạng nuôi trồng, tốc độ sinh trưởng, hàm lượng và chất lượng carrageenan rong sụn <i>Kappaphycus alvarezii</i> (Doty) ở Việt Nam.	1.6, 4.6	(67) 7	40
86	Trần Chí Nhân, Nguyễn Ngọc Hân, Võ Thị Hoàng Oanh, Phan Tấn Tài, Lê Uyên Nhi, Đỗ Thị Tuyết Nhung	Ảnh hưởng của điều kiện sấy đến chất lượng bột từ gạo Huyết Rồng (<i>Oryza sativa</i> L.).	2.10, 4.6	(67) 7	48
87	Nguyễn Thị Thanh Phúc, Trần Thanh Tú, Phùng Thị Bích Thủy, Vũ Thị Tâm, Phan Ngọc, Nguyễn Thủy Dung, Hoàng Thị Thanh Mai, Trần Thị Sinh	Đặc điểm lâm sàng, cận lâm sàng viêm phổi nhiễm <i>Mycoplasma pneumoniae</i> mang gen kháng macrolid ở trẻ em.	3.1, 3.2	(67) 7	52
88	Nguyễn Thanh Huyền, Lương Thị Lan Anh, Vũ Thị Hà, Tạ Đình Đức, Trịnh Thị Quế, Đoàn Thị Kim Phượng	Nghiên cứu đa hình 4G/5G gen <i>PAI-1</i> ở phụ nữ có tiền sử sảy thai, thai chết lưu liên tiếp.	3.1, 3.5	(67) 7	56
89	Đoàn Thị Thu Hiền, Nguyễn Nho Lân, Hoàng Văn Đức, Trần Xuân Vĩnh, Vũ Thị Phước, Nguyễn Thị Mến, Nguyễn Thị Kim Dung	Nghiên cứu điều chế nguyên liệu cho phân bón lá silica từ natri metasilicat pentahydrat và tro trấu.	4.1, 4.6	(67) 7	61
90	Trần Thị Vân, Nguyễn Thị Ngọc An, Văn Thị Thiên Thư, Đinh Quốc Toàn, Phan Thị Phương Trang, Lê Đình Đôn	Nghiên cứu tác nhân <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>cubense</i> gây bệnh héo vàng hại cây chuối giả tại huyện Trảng Bom, tỉnh Đồng Nai (cũ).	4.1, 4.6	(67) 7	67
91	Võ Văn Hà, Huỳnh Bá Di	Đánh giá hệ thống canh tác kết hợp trên vùng đất chua phèn và xâm nhập nước mặn tại vùng ven biển tỉnh Kiên Giang.	4.1, 4.7	(67) 7	74
92	Phạm Quang Anh, Lê Duy Anh, Đặng Tiến Dũng, Nguyễn Phương Linh, Nguyễn Thị Trang, Trần Danh Cường, Trần Thị Vân Anh	Phát triển ứng dụng di động dựa trên tri thức chuyên gia hỗ trợ sàng lọc nguy cơ mang gen bệnh Thalassemia.	1.2, 3.1, 3.3	(67) 8	1
93	Nguyễn Văn Sỹ, Nguyễn Thanh Hùng, Đặng Cung Kiếm, Đặng Quang Bảo	Hiệu chỉnh sự phụ thuộc vào nhiệt độ cho đầu đo nhấp nháy SiPM.	1.3, 2.2	(67) 8	7
94	Lê Đăng Mạnh, Phạm Hoài Phương, Đinh Đức Anh, Nguyễn Mạnh Tiến, Trần Đại Lâm, Nguyễn Thị Thu Trang, Bùi Trung Hiếu	Chế tạo tấm điện cực linh hoạt cấu tạo từ sợi nano carbon xoắn bằng phương pháp electrospinning ứng dụng trong pin Li-O ₂ .	1.3, 2.2, 2.5	(67) 8	12
95	Khuất Thị Thư, Nguyễn Đình Hoàng Đức, Vũ Đình Huân, Trần Thị Duyên, Nguyễn Văn Quang, Nguyễn Hữu Tinh, Chu Anh Ván, Vũ Thị Kim Thoa, Đặng Thị Thu Huyền, Nguyễn Thế Duyên, Đỗ Thùy Tiên, Hoàng Quang Bắc, Nguyễn Trí Tuấn, Nguyễn Tư, Tống Thị Hào Tâm	Nghiên cứu khả năng phát xạ đỏ/đỏ xa của ion Mn ⁴⁺ trong mạng nền Y ₃ Al ₅ O ₁₂ -YAIO ₃ nhằm định hướng ứng dụng trong chiếu sáng cây trồng.	1.3, 4.1	(67) 8	18
96	Bàn Văn Phúc, Hồ Quốc Việt, Đỗ Tuấn Tú, Nguyễn Minh Hoàng, Trần Tuấn Linh, Đặng Thanh Tuấn, Trần Quang Hưng	Thiết kế tổng hợp và đánh giá tính chất phát quang của một số dẫn xuất 3,6-diphenylpyrazine-2-cyanopyrazine mới.	1.4, 2.5	(67) 8	24
97	Trần Văn Đức, Lê Tiến Dũng, Trần Vũ Long, Nguyễn Quang Trung, Lâm Danh Nhân	Đặc điểm nguồn nước khoáng nóng kiểm thiên nhiên khu vực Đông Nam tỉnh Bạc Liêu.	1.5, 2.7	(67) 8	30
98	Nguyễn Trần Đông Phương, Trần Tấn Đạt, Thiều Hồng Huệ, Lao Đức Thuận, Lê Huyền Ái Thủy	Sự biểu hiện các gen điều hòa sinh tổng hợp fructose, glucose và sucrose trong quá trình phát triển trái dưa hoàng kim (<i>Cucumis melo</i> L.).	1.6, 4.6	(67) 8	38
99	Nguyễn Thành Khiêm, Nguyễn Hàm Hội, Lương Tuấn Hiệp, Đỗ Việt Anh, Lê Văn Duy, Đỗ Hải Đăng	Đánh giá kết quả phẫu thuật với mục đích triệt căn điều trị ung thư ngã ba đường mật tại Bệnh viện Bạch Mai.	2.6, 3.2	(67) 8	44
100	Tạ Thị Yến, Vũ Thị Mai, Phạm Thị Mai Thảo, Lê Thị Trinh	Phương pháp và kỹ thuật kiểm toán chất thải: Kinh nghiệm quốc tế và gợi ý áp dụng cho Việt Nam.	2.7	(67) 8	50

101	Phạm Kiên Cường, Nguyễn Thị Tâm Thư	Nghiên cứu xây dựng bữa ăn chế biến sẵn theo khẩu vị người Việt Nam.	2.10	(67) 8	57
102	Vũ Văn Tuấn, Trịnh Nam Trung, Nguyễn Văn Bạch	Nghiên cứu định lượng verapamil trong huyết tương chó bằng phương pháp sắc ký lỏng khối phổ.	3.1, 3.4	(67) 8	62
103	Phạm Văn Dân, Vũ Văn Dũng, Nguyễn Việt Hà	Ảnh hưởng của mật độ gieo trồng và liều lượng phân bón đến sinh trưởng, phát triển của giống ngô lai VS201 trên địa bàn Hà Nội.	4.1, 4.6	(67) 8	69
104	Đỗ Mạnh Cường, Hồ Cẩm Khánh Hoà, Phan Lê Hà Nguyễn, Nguyễn Thị Thanh Thủy, Nguyễn Thị Như Mai, Hoàng Thanh Tùng, Hoàng Đức Khải, Vũ Quốc Luân, Hoàng Thị Như Phương, Nguyễn Hoài Châu, Ngô Quốc Bưu, Dương Tấn Nhựt	Ảnh hưởng của các hạt nano cobalt, đồng và molybden trioxide lên giai đoạn ra rễ <i>in vitro</i> của cây Dâu tây (<i>Fragaria × ananassa</i> Duch.).	4.1, 4.6	(67) 8	75
105	Lê Thị Hương Giang, Lê Tùng Anh, Trần Ngọc An	Xác định thông số tối ưu của thiết bị giảm chấn khối lượng lệch tâm nhằm giảm dao động xoắn cho kết cấu hệ nối.	1.3, 1.8, 2.1	(67) 9	1
106	Nguyễn Thị Vân Anh, Mai Thị Thanh Thủy, Phan Thị Bình	Nghiên cứu tính chất điện hóa và quá trình tổng hợp dung dịch ferrate(VI) trên điện cực anot gang xám trong dung dịch kiềm đặc.	1.4, 2.4	(67) 9	6
107	Lê Đức Duy, Nông Văn Hải, Nguyễn Thùy Dương	Đa dạng di truyền vùng D-loop ở hai dân tộc Cơ-tu và Rơ-măm.	1.6, 3.1	(67) 9	13
108	Vũ Ngọc Trụ, Tăng Văn Lâm	Ảnh hưởng của tỷ lệ nước - chất kết dính và cát - cốt liệu đến độ cứng và cường độ nén của bê tông đầm lăn.	2.1, 2.5	(67) 9	19
109	Trần Hà, Mã Thị Bích Thảo, Nguyễn Phương, Nguyễn Thị Hồng, Bùi Bích Thủy, Phùng Phương Anh, Trịnh Phan Mạnh, Hoàng Văn Tuấn, Nguyễn Thanh Hào	Tối ưu hóa các thông số kỹ thuật trích ly saponin từ củ đắng sẫm (<i>Codonopsis javanica</i> (Blume) Hook. f) trồng tại huyện Tây Giang, tỉnh Quảng Nam bằng phương pháp sử dụng sóng siêu âm.	2.8, 3.5	(67) 9	28
110	Phạm Thùy Quỳnh, Đinh Thủy Linh, Bùi Phương Anh, Nguyễn Đức Hoàng, Nguyễn Ngọc Sơn, Phạm Anh Quân, Lê Hữu Minh, Phạm Quang Anh, Nguyễn Thị Trang	Đánh giá hiệu quả kỹ thuật CNV-seq trong chẩn đoán trước sinh bất thường di truyền tại Bệnh viện Phụ sản Hà Nội.	3.1, 3.3, 3.5	(67) 9	34
111	Hồ Thị Huyền Trang, Vũ Thị Hà, Hoàng Thu Lan, Lương Thị Lan Anh, Đoàn Thị Kim Phượng	Đánh giá kết quả sàng lọc lệch bội nhiễm sắc thể giới tính thai nhi bằng xét nghiệm trước sinh không xâm lấn.	3.1, 3.3, 3.5	(67) 9	38
112	Cao Thị Cẩm Nhung	Tổng hợp và thử hoạt tính gây độc tế bào ung thư của một số dẫn chất indole carbohydrazide.	3.4, 3.5	(67) 9	43
113	Lương Thị Thảo Vi, Vũ Thanh Thảo, Nguyễn Vũ Giang Bắc, Trần Ngọc Châu	Tổng hợp các dẫn chất tetrahydroquinolin có tiềm năng khôi phục sự nhạy cảm của <i>Staphylococcus aureus</i> kháng methicillin đối với cefuroxim.	3.4, 3.5	(67) 9	48
114	Phan Thị Tuyết Mai, Đặng Thị Hồng Hạnh, Nguyễn Thị Ngọc Huyền, Lê Thị Thanh Loan, Phan Thị Đào	Tăng hiệu quả nhả phân bón của polyme siêu hấp thụ trên cơ sở dẫn xuất cellulose bằng kết mạng bề mặt.	4.1, 4.6	(67) 9	55
115	Hoàng Thị Lan Hương, Nguyễn Ngọc Hữu, Hoàng Thị Huệ, Nguyễn Quang Tín	Ảnh hưởng của mật độ cấy và lượng phân đạm đến khả năng sinh trưởng và phát triển của giống lúa gạo màu Chằm Đạo tại huyện Mường La, Sơn La.	4.1, 4.6	(67) 9	62
116	Lương Đức Toàn, Lê Như Kiều, Lê Thị Thanh Thủy, Nguyễn Thị Thu Hằng, Phonepaseut Syha	Đánh giá hiệu quả phân hữu cơ sinh học SA02 trên một số cây trồng tại tỉnh Sayaboury, Lào.	4.1, 4.6	(67) 9	68
117	Nguyễn Huy Trung, Nguyễn Quang Thi, Nguyễn Ngọc Anh, Chu Văn Trung, Hoàng Hữu Chiến	Nghiên cứu sử dụng ảnh đa phổ chụp từ thiết bị bay không người lái trong đánh giá tình trạng dinh dưỡng vườn xoài tại tỉnh Sơn La.	4.1, 4.7	(67) 9	74
118	Nguyễn Hồng Vân	Ứng dụng mô hình PLS-SEM và Bootstrapping trong phân tích động lực làm việc nội tại của người lao động trong lĩnh vực kinh doanh vận tải đường sắt tại Việt Nam.	5.1, 5.2, 5.13	(67) 10	1
119	Lê Thảo Quỳnh	Năng lực lãnh đạo của nhà quản trị dự án.	5.1, 5.2, 5.13	(67) 10	9
120	Nguyễn Thị Minh Hòa, Hà Tuấn Anh, Lê Hải Yến	Phát triển dịch vụ theo hướng kinh tế xanh: Nghiên cứu trường hợp tỉnh Trà Vinh.	5.2, 5.4, 5.13	(67) 10	15
121	Phạm Ngọc Thành	Vai trò của Nhà nước trong quan hệ lao động tại doanh nghiệp: Nghiên cứu trường hợp tại tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu.	5.2, 5.5	(67) 10	22
122	Vũ Tuấn Anh, Trần Thọ Đạt, Nguyễn Việt Long	Phát triển nhân lực số: Điều kiện để tăng quy mô kinh tế số bền vững cho tỉnh Bình Dương.	5.2, 5.7, 5.13	(67) 10	28
123	Nguyễn Thị Hồng	Mô hình kinh doanh đổi mới sáng tạo của các startup công nghệ tại Việt Nam: Tiếp cận từ khung mô hình Business Model Canvas.	5.2, 5.13	(67) 10	34
124	Nguyễn Thị Thu Quỳnh, Nguyễn Quốc Ngừ	Thúc đẩy sản xuất theo quy chuẩn để đáp ứng yêu cầu về an toàn thực phẩm và truy xuất nguồn gốc cho nông sản Việt Nam.	5.2, 5.13	(67) 10	42
125	Nguyễn Thị Bích Hà, Bùi Trọng Ngươn	Vận dụng ẩn dụ ngữ pháp theo quan điểm ngữ pháp chức năng hệ thống vào việc bồi dưỡng học sinh giỏi tiếng Việt ở tiểu học.	5.3, 5.10	(67) 10	46
126	Trần Thu Hà, Phạm Thanh Quế, Đỗ Thị Hương, Nguyễn Bá Long, Bùi Văn Kiều, Đặng Tùng Hoa, Cẩm Tú Lan, Nguyễn Thị Mai Hiền	Quản lý, sử dụng đất rừng cộng đồng của người Thái theo hướng tiếp cận sinh thái nhân văn: Nghiên cứu tại xã Đông Sang, huyện Mộc Châu, tỉnh Sơn La.	5.4, 5.5, 5.13	(67) 10	53
127	Nguyễn Văn Hòa	Những yếu tố tác động đến phát huy vai trò của thanh niên Quân đội trong nghiên cứu, ứng dụng công nghệ số đáp ứng yêu cầu xây dựng Quân đội hiện đại.	5.4, 5.13	(67) 10	59
128	Trần Bá Uẩn, Lưu Văn Duy, Lê Thị Thu Hương, Đặng Thị Thảo	Quản lý nhà nước về đề điều trên địa bàn huyện Ứng Hoà, Hà Nội.	5.5, 5.13	(67) 10	64
129	Phạm Phương Chi	Bản sắc văn hóa trong tiểu thuyết <i>The Circle of Reason</i> (1986) của Amitav Ghosh.	5.10, 5.12, 5.13	(67) 10	70
130	Trịnh Quỳnh Trang	Hợp tác khoa học tự nhiên với UNESCO: Mô hình trung tâm khoa học dạng 2 và một số khuyến nghị đối với Việt Nam.	5.12, 5.13	(67) 10	76
131	Trần Thị Quỳnh Trang, Vũ Mai Phương, Nguyễn Thị Linh Chi, Nguyễn Thị Phương Liên, Nguyễn Quang Huy, Nguyễn Thị Anh Đào, Nguyễn Duy Hà, Nguyễn Quỳnh Uyên, Hoàng Văn Vinh	Nhân dòng và phân tích trình tự gen mã hoá di nguyên Der f 1 từ mật bụi nhà <i>Dermatophagoides farinae</i> trong <i>Escherichia coli</i> .	1.6, 2.6, 3.5	(67) 11	1
132	Trịnh Thị Thu Hằng, Vũ Khắc Minh Dương, Đỗ Văn Tấn, Phạm Trung Hiếu, Vũ Khắc Hùng	Xác định một số đặc tính sinh học và đánh giá khả năng sinh miễn dịch của hai chủng parvovirus phân lập tại Việt Nam.	1.6, 2.8, 4.3	(67) 11	6
133	Phan Lê Hà Nguyễn, Dương Tấn Nhựt, Nguyễn Thị Thanh Thủy, Nguyễn Thị Như Mai, Hoàng Thanh Tùng, Hoàng Đức Khải, Đỗ Mạnh Cường, Vũ Quốc Luân, Hoàng Thị Như Phương, Nguyễn Hoài Châu, Ngô Quốc Bưu	Vai trò của nano molybdenum trioxide thay thế natri molybdate dehydrat trong môi trường nuôi cấy lên khả năng sinh trưởng và phát triển của cây hoa Cúc nuôi cấy <i>in vitro</i> .	1.6, 4.6	(67) 11	12
134	Huỳnh Như Diễm, Huỳnh Kỳ, Nguyễn Lộc Hiền, Phạm Thị Bé Tư, Chung Trương Quốc Khang, Châu Thanh Nhã	Đánh giá sự khác biệt kiểu hình và thông số di truyền trên các giống/dòng lúa màu để cải thiện chất lượng hạt gạo chức năng.	1.6, 4.6	(67) 11	19

135	Cao Thị Thúy Hằng, Nguyễn Thị Thuận, Võ Thị Diệu Trang, Phan Thị Thuý Trang, Đinh Thành Trung, Trần Nguyễn Hà Vy, Hoàng Hồng Hạnh, Phạm Đức Thịnh, Huỳnh Hoàng Như Khánh	Bước đầu phân lập và tuyển chọn vi khuẩn cổ ưa mặn tiềm năng sinh cellulase, chitinase, xylanase và hyaluronidase.	1.6, 4.6	(67) 11	26
136	Nguyễn Thành Vũ, Trần Ngọc Uyên, Bùi Thị Thu Vân, Lê Lưu Phương Hạnh, Nguyễn Hoàng Thụy Ý	Xây dựng quy trình knockout gen <i>keap1a</i> bằng kỹ thuật CRISPR-Cas9 trên cá ngựa vằn (<i>Danio rerio</i>) tại Việt Nam.	1.6, 4.6	(67) 11	31
137	Nguyễn Chính Kiên, Nguyễn Thị Hồng Hạnh, Trương Xuân Hùng	Thử nghiệm thuật toán tìm đường đi tối ưu cho hệ thống robot di động vận chuyển hàng trong kho tự động.	1.8, 2.2	(67) 11	39
138	Lê Quang Phong, Nguyễn Văn Hợp, Trịnh Tuấn Anh, Vũ Mạnh Thuận, Doãn Hà Thăng, Bùi Thị Hằng	Ảnh hưởng của phụ gia S ²⁻ lên đặc trưng điện hóa của vật liệu tổ hợp Fe ₃ O ₄ /C.	2.4, 2.5	(67) 11	47
139	Lê Mạnh Hùng, Bùi Minh Tiến, Lê Xuân Huyền, Bùi Ngọc Dương, Nguyễn Văn Hội, Khương Lê Thành, Nguyễn Việt Thắng, Mai Tuấn Đạt	Nghiên cứu sản xuất nhiên liệu đặc chủng diesel DO L-62 tại Nhà máy Lọc dầu Dung Quất phục vụ cho quốc phòng - an ninh.	2.4, 2.11	(67) 11	52
140	Nguyễn Minh Tuấn, Nguyễn Hữu Thọ, Lê Quang Ứng	Thực trạng sản xuất cây dược liệu Hoài Sơn (<i>Dioscorea persimilis</i> Prain et Burk) trên địa bàn tỉnh Thái Nguyên.	3.4, 3.5	(67) 11	60
141	Châu Văn Hào, Sanghun Lee, Trần Nhật Minh	Tổng quan dược lý mạng trong nghiên cứu thuốc y học cổ truyền.	3.4, 3.5	(67) 11	65
142	Hồ Lệ Thị, Nguyễn Gia Huy, Trần Anh Khoa	Hiện trạng canh tác và thành phần cỏ dại trong các vườn sầu riêng tại huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang.	4.1, 4.7	(67) 11	71
143	Trương Xuân Cường, Ngô Thanh Lộc, Nguyễn Thành Long	Đặc điểm tài nguyên đất sản xuất nông nghiệp tại Đồng Tháp.	4.1, 4.7	(67) 11	76
144	Trần Thanh Hà, Trần Thị Tuyết, Hoàng Thị Ngọc Anh, Lê Thị Phương, Phạm Hải Long, Nguyễn Thị Hà	Tổng hợp tetrahydrocurcumin từ curcumin.	1.4, 2.4, 3.4	(67) 11DB	1
145	Võ Văn Lệnh, Nguyễn Việt Cường, Đào Thị Thanh Thảo, Nguyễn Dương Ngọc Thới	Tác dụng hạ đường huyết <i>in vivo</i> của hệ vi tự nhũ berberin.	1.6, 3.1, 3.4	(67) 11DB	7
146	Phạm Thị Phương Dung, Trần Phương Thảo, Nguyễn Thị Trâm, Nguyễn Trần Linh, Nguyễn Thạch Tùng	Xây dựng và thẩm định phương pháp định lượng 1-tetrahydropalmitin trong viên nén giải phóng kéo dài bằng sắc ký lỏng hiệu năng cao.	2.4, 3.4	(67) 11DB	12
147	Tiêu Chí Đức, Trần Hữu Phước	Khác biệt về tỷ lệ thành công của phẫu thuật tạo đường vào mạch máu để thâm tách máu trên người bệnh có và không có sỏi thận đường.	2.6, 3.2	(67) 11DB	21
148	Lê Văn Đoàn, Nguyễn Việt Tân	Kết quả bước đầu phẫu thuật phục hồi bàn tay bị cụt nhiều ngón (metacarpal hand) bằng chuyển ngón chân.	2.6, 3.2	(67) 11DB	25
149	Nguyễn Thành Khiêm, Lê Viết Bách, Phạm Minh Lanh, Nguyễn Hàm Hội	Kết quả phẫu thuật cắt gan điều trị ung thư đường mật trong gan tại Bệnh viện Bạch Mai từ tháng 1/2020 đến tháng 6/2024.	2.6, 3.2	(67) 11DB	32
150	Nguyễn Văn Phong, Triệu Tiến Sang, Trần Văn Khoa, Đặng Thị Hồng, Trần Văn Tuấn	Ứng dụng phân tích di truyền liên kết sử dụng trình tự lặp lại ngắn trong chẩn đoán di truyền tiền lâm tổ bệnh Pompe.	3.1, 3.2, 3.5	(67) 11DB	39
151	Phạm Đức Anh, Lê Thị Phương, Đào Nguyễn Hà Linh, Đinh Thuý Linh, Trần Văn Khánh	Đặc điểm di truyền ở bệnh nhân u nguyên bào võng mạc hai mắt được điều trị tại Bệnh viện Mắt Trung ương trong giai đoạn 2021-2023.	3.1, 3.2, 3.5	(67) 11DB	47
152	Phạm Thị Dung, Phạm Thị Kiều Chinh, Trần Thị Thu Hà, Trần Thị Lan, Nguyễn Minh Diệu, Trần Khánh Thu	Cấu trúc một số thành phần cơ thể của người cao tuổi vùng nông thôn tỉnh Thái Bình.	3.1, 3.3, 3.5	(67) 11DB	53
153	Trần Kỳ Doan, Trần Thành Đạo, Hoàng Thy Nhac Vũ, Trần Văn Thành	Đặc điểm mô hình bệnh tật tại Bệnh viện Quận 8 TP. Hồ Chí Minh giai đoạn 2022-2024.	3.3, 3.5	(67) 11DB	59
154	Trần Đình Minh Huy, Hà Thị Xuân Thảo, Trần Hải Yến, Phạm Ngọc Đan Thanh, Nguyễn Lê Hoàng Nguyễn	Đánh giá ảnh hưởng của atropine nồng độ thấp trên chất lượng thị giác trong sinh hoạt hằng ngày của trẻ em cận thị.	3.2, 3.4	(67) 11DB	65
155	Trần Quang Minh, Phùng Mạnh Duy, Nguyễn Khánh Ly, Nguyễn An Tuấn, Chu Phương Anh, Nguyễn Đức Thái, Samath Sony, Nguyễn Thị Tuyết Nhung, Vũ Phong Túc	Mối liên quan giữa một số yếu tố trầm cảm, rối loạn lo âu, stress, rối loạn giấc ngủ và rối loạn ăn uống ở sinh viên y khoa Trường Đại học Y Dược Thái Bình.	3.2, 3.5	(67) 11DB	70
156	Nguyễn Thị Bé, Đào Thị Thanh Thảo, Đoàn Văn Viên	Nghiên cứu tác dụng kháng khuẩn, kháng viêm của cao nước toàn phần cây Me chua đất hoa vàng <i>Oxalis corniculata</i> L.	3.4, 3.5	(67) 11DB	75
157	Trần Thái Hùng, Trần Minh Tuấn, Ninh Văn Bình, Nguyễn Văn Tường, Huỳnh Ngọc Tuyên, Lê Văn Thịnh, Nguyễn Hoàng Mỹ Linh, Lê Thị Quỳnh Anh	Nghiên cứu áp dụng mô hình trữ nước mương - liếp phục vụ tưới vườn bưởi thích ứng điều kiện hạn mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long.	1.5, 2.1, 4.1	(67) 12	1
158	Đinh Thị Thu Hà, Nguyễn Thị Thu Hiền, Trần Quốc Bảo	Nghiên cứu xử lý nhu cầu oxy hóa học và chất hoạt động bề mặt trong nước thải giặt ủi công cộng bằng quá trình keo tụ - tạo bông.	1.5, 2.4, 2.7	(67) 12	8
159	Nguyễn Khanh Vân, Hoàng Thị Kiều Oanh	Sử dụng chỉ số khí hậu du lịch để đánh giá tài nguyên khí hậu cho phát triển du lịch biển - đảo Nam Trung Bộ, Việt Nam.	1.5, 2.7	(67) 12	15
160	Trần Ngọc Đăng, Nguyễn Ngọc Nhật Thanh, Vũ Anh Tuấn	Tác động của bụi mịn do giao thông đến tỷ lệ tử vong tại TP. Hồ Chí Minh.	1.5, 3.3	(67) 12	23
161	Vũ Đặng Hạ Quỳnh, Trương Thị Oanh, Trần Quang Sáng, Văn Hồng Cẩm, Đặng Thuý Bình	Đa dạng loài và mối quan hệ tiến hoá các loài cá nước ngọt tại Tây Nguyên dựa trên chỉ thị phân tử.	1.6, 4.6	(67) 12	28
162	Phạm Quang Hoàng, Ngô Mỹ Hoa, Phan Tiến Danh, Ngô Thu Hương, Phạm Xuân Thảo, Nguyễn Minh Hiếu, Nguyễn Thị Dung, Đinh Chí Linh, Nguyễn Thị Việt Chinh, Đào Sơn Lâm	Cải thiện tính chất sắt điện và sắt từ của vật liệu multiferroic tổ hợp trong ứng dụng phân hủy thuốc nhuộm tổng hợp.	2.4, 2.7	(67) 12	33
163	Trần Minh Đức, Trần Phương Thảo, Đàm Thuý Hằng, Nguyễn Lan Hương	Tiền xử lý nước thải sơ chế cao su thiên nhiên tách protein và đánh giá khả năng xử lý sinh học kỵ khí nước thải sau tiền xử lý.	2.4, 2.7, 2.8	(67) 12	38
164	Nguyễn Thị Bạch Tuyết, Hoàng Thị Phương Liên	Tối ưu hóa điều kiện chiết xuất polyphenol toàn phần từ rau càng cua (<i>Peperomia pellucida</i>) bằng phương pháp đáp ứng bề mặt.	2.4, 2.8, 3.4	(67) 12	43
165	Lê Dương Vương, Nguyễn Thị Kim Liên, Phan Thị Phương Trang, Nguyễn Đức	Tính chế biểu thể alpha-toxin bất hoạt Hla _{H35L,H48L} biểu hiện ở <i>Escherichia coli</i> và tạo kháng huyết thanh trên chuột.	2.6, 2.8, 3.3	(67) 12	48
166	Trần Thị Ngọc Mai, Huỳnh Phương Quỳnh	Nghiên cứu bảo quản ôi cắt tươi bằng màng alginate ăn được bổ sung cao chiết rong nâu <i>Sargassum polycystum</i> .	2.10, 4.6	(67) 12	53
167	Trần Thanh Tú, Nguyễn Thị Mai, Đinh Thị Hoa, Trần Hoàng Linh, Vũ Thị Hải Yến, Vũ Đức Anh, Phạm Văn Trường	Kết quả điều trị viêm phổi thùy theo định hướng căn nguyên vi khuẩn từ dịch tỵ hầu tại Bệnh viện Nhi Trung ương (3/2023-2/2024).	3.2, 3.3	(67) 12	58
168	Lương Đức Toàn, Lê Xuân Ánh, Trần Sỹ Hải, Nguyễn Thị Vân, Nguyễn Bá Trung	Nghiên cứu cải tạo và phục hồi độ phì nhiêu đất trồng cam bị suy thoái ở Nghệ An.	4.1, 4.6, 4.7	(67) 12	62
169	Ngô Thế Ân, Kim Văn Vạn, Nguyễn Thị Bích	Tối ưu quy trình vận hành hệ thống aquaponics quy mô nhỏ nuôi cá Trê vàng (<i>Clarias macrocephalus</i>) bằng mô hình máy tính.	4.5, 4.6	(67) 12	69
170		Tổng mục lục năm 2025		(67) 12	76

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 thủy (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 (Phòng 507, số 113 Trần Duy Hưng, phường Trung Hòa, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam) hoặc qua hòm thư điện tử: khoahocvacongnghevietnam@most.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.
- Khí 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 khóa 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 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.

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.

Phụ lục (nếu có)

Đăng tải bảng số liệu, thông tin để hỗ trợ thêm cho nội dung bài báo.

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 cuối phần ảnh 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 thủy 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 67 - Number 12 - December 2025

Nghiên cứu áp dụng mô hình trữ nước mương - liếp phục vụ tưới vườn bưởi thích ứng điều kiện hạn mặn ở Đồng bằng sông Cửu Long.

Trần Thái Hùng, Trần Minh Tuấn, Ninh Văn Bình, Nguyễn Văn Tường, Huỳnh Ngọc Tuyên, Lê Văn Thịnh, Nguyễn Hoàng Mỹ Linh, Lê Thị Quỳnh Anh

Nghiên cứu xử lý nhu cầu oxy hóa học và chất hoạt động bề mặt trong nước thải giặt ủi công cộng bằng quá trình keo tụ - tạo bông.

Đinh Thị Thu Hà, Nguyễn Thị Thu Hiền, Trần Quốc Bảo

Sử dụng chỉ số khí hậu du lịch để đánh giá tài nguyên khí hậu cho phát triển du lịch biển - đảo Nam Trung Bộ, Việt Nam.

Nguyễn Khanh Vân, Hoàng Thị Kiều Oanh

Tác động của bụi mịn do giao thông đến tỷ lệ tử vong tại TP. Hồ Chí Minh.

Trần Ngọc Đăng, Nguyễn Ngọc Nhật Thanh, Vũ Anh Tuấn

Đa dạng loài và mối quan hệ tiến hoá các loài cá nước ngọt tại Tây Nguyên dựa trên chỉ thị phân tử.

Vũ Đặng Hạ Quỳnh, Trương Thị Oanh, Trần Quang Sáng, Văn Hồng Cẩm, Đặng Thủy Bình

Cải thiện tính chất sắt điện và sắt từ của vật liệu multiferroic tổ hợp trong ứng dụng phân hủy thuốc nhuộm tổng hợp.

Phạm Quang Hoàng, Ngô Mỹ Hoa, Phan Tiến Danh, Ngô Thu Hương, Phạm Xuân Thảo, Nguyễn Minh Hiếu, Nguyễn Thị Dung, Đinh Chí Linh, Nguyễn Thị Việt Chinh, Đào Sơn Lâm

Tiền xử lý nước thải sơ chế cao su thiên nhiên tách protein và đánh giá khả năng xử lý sinh học kỵ khí nước thải sau tiền xử lý.

Trần Minh Đức, Trần Phương Thảo, Đàm Thủy Hằng, Nguyễn Lan Hương

Tối ưu hóa điều kiện chiết xuất polyphenol toàn phần từ rau càng cua (*Peperomia pellucida*) bằng phương pháp đáp ứng bề mặt.

Nguyễn Thị Bạch Tuyết, Hoàng Thị Phương Liên

Tính chế biến thể alpha-toxin bất hoạt Hla_{H35L,H48L} biểu hiện ở *Escherichia coli* và tạo kháng huyết thanh trên chuột.

Lê Dương Vương, Nguyễn Thị Kim Liên, Phan Thị Phượng Trang, Nguyễn Đức

Nghiên cứu bảo quản ôi cắt tươi bằng màng alginate ăn được bổ sung cao chiết rong nâu *Sargassum polycystum*.

Trần Thị Ngọc Mai, Huỳnh Phương Quỳn

Kết quả điều trị viêm phổi thùy theo định hướng căn nguyên vi khuẩn từ dịch tỵ hầu tại Bệnh viện Nhi Trung ương (3/2023 - 2/2024).

Trần Thanh Tú, Nguyễn Thị Mai, Đinh Thị Hoa, Trần Hoàng Linh, Vũ Thị Hải Yến, Vũ Đức Anh, Phạm Văn Trường

Nghiên cứu cải tạo và phục hồi độ phì nhiêu đất trồng cam bị suy thoái ở Nghệ An.

Lương Đức Toàn, Lê Xuân Ánh, Trần Sỹ Hải, Nguyễn Thị Vân, Nguyễn Bá Trung

Tối ưu quy trình vận hành hệ thống aquaponics quy mô nhỏ nuôi cá Trê vàng (*Clarias macrocephalus*) bằng mô hình máy tính.

Ngô Thế Ân, Kim Văn Vạn, Nguyễn Thị Bích

Tổng mục lục

1 Research on applying water storage ditches and planting beds for pomelo irrigation under drought and salinity conditions in the Mekong delta.

Thai Hung Tran, Minh Tuan Tran, Van Binh Ninh, Van Tuong Nguyen, Ngoc Tuyen Huynh, Van Thinh Le, Hoang My Linh Nguyen, Thi Quynh Anh Le

8 Research on the removal of chemical oxygen demand and surfactants from commercial laundry wastewater by the coagulation-flocculation process.

Thi Thu Ha Dinh, Thi Thu Hien Nguyen, Quoc Bao Tran

15 Using the tourism climate index to assess climatic resources for tourism development in the South-Central Coastal and Island Region of Vietnam.

Khanh Van Nguyen, Thi Kieu Oanh Hoang

21 Impact of traffic-related fine particulate matter on mortality in Ho Chi Minh city.

Ngoc Dang Tran, Ngoc Nhat Thanh Nguyen, Anh Tuan Vu

28 Species diversity and evolutionary relationships of freshwater fish in the Central Highlands, Vietnam, based on molecular markers.

Dang Ha Quyen Vu, Thi Oanh Truong, Quang Sang Tran, Hong Cam Van, Thuy Binh Dang

33 Improving the ferroelectric and ferromagnetic properties of multiferroic composite materials for the decomposition of synthetic dyes.

Quang Hoang Pham, My Hoa Ngo, Tien Danh Phan, Thu Huong Ngo, Xuan Thao Pham, Minh Hieu Nguyen, Thi Dung Nguyen, Chi Linh Dinh, Thi Viet Chinh Nguyen, Son Lam Dao

38 Pretreatment of deproteinised natural rubber wastewater and evaluation of its anaerobic treatment performance.

Minh Duc Tran, Phuong Thao Tran, Thuy Hang Dam, Lan Huong Nguyen

43 Optimisation of the extraction conditions of polyphenol compounds from *Peperomia pellucida* and evaluation of *in vitro* antioxidant activity.

Thi Bach Tuyet Nguyen, Thi Phuong Lien Hoang

48 Purification of an inactive variant alpha-toxin Hla_{H35L,H48L} expressed in *Escherichia coli* and generation of antiserum in mice.

Duong Vuong Le, Thi Kim Lien Nguyen, Thi Phuong Trang Phan, Duc Hoang Nguyen

53 Effects of alginate-based edible coatings enriched with *Sargassum polycystum* extract on the quality characteristics of fresh-cut guava.

Thi Ngoc Mai Tran, Phuong Quyen Huynh

58 Results of treatment for lobar pneumonia based on bacterial etiology from nasopharyngeal samples at the Vietnam National Children's Hospital (March 2023 - February 2024).

Thanh Tu Tran, Thi Mai Nguyen, Thi Hoa Dinh, Hoang Linh Tran, Thi Hai Yen Vu, Duc Anh Vu, Van Truong Pham

62 Research on the restoration of soil fertility in degraded orange-growing areas of Nghe An province.

Duc Toan Luong, Xuan Anh Le, Sy Hai Tran, Thi Van Nguyen, Ba Trung Nguyen

69 Optimising the operation of a small-scale aquaponic system for yellow catfish (*Clarias macrocephalus*) using a computer-based model.

The An Ngo, Van Van Kim, Thi Bich Nguyen

76 Table of contents