

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

TẬP 67, SỐ 2, THÁNG 2 NĂM 2025
VOLUME 67, NUMBER 2, FEBRUARY 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 - Trường 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

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

Vũ Văn Hưng - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

Ninh Văn Diện - Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam

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

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

Lê Thị Tuyết Hạnh - 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 Duc Loc - Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam

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 Nuan - 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 Editor-in-Chief

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

Managing Editors

Phi Cong Thuong - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Vu Van Hung - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Ninh Van Dien - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Le Thi Bac - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Tang Xuan Binh - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Le Thi Tuyen Hanh - Ministry of Science and Technology, Vietnam

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

TÒA SOẠN

113 Trần Duy Hưng - Cầu Giấy - Hà Nội - Việt Nam

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

Email: khoahocvacongnghevietnam@most.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

113 Tran Duy Hung Str. - Cau Giay Dist. - Hanoi - Vietnam

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

Email: khoahocvacongnghevietnam@most.gov.vn

E-journal: b.vjst.vn

PUBLICATION LICENCE

No. 459/GP-BTTTT 20th July 2021

No. 50/GP-BTTTT 1st February 2023

Tổng hợp và phân tích đường cong tích phân nhiệt phát quang của LiAlO_2

Nguyễn Thị Thu Hà*, Trịnh Văn Giáp, Bùi Đức Kỳ

Viện Khoa học và Kỹ thuật Hạt nhân, Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam, 179 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 20/9/2022; ngày chuyển phân biên 22/9/2022; ngày nhận phân biên 20/10/2022; ngày chấp nhận đăng 25/10/2022

Tóm tắt:

Chế tạo vật liệu LiAlO_2 bằng phương pháp sol-gel kết hợp với một loại axit hữu cơ (ethylene diamine tetraacetic acid - EDTA) đã được thực hiện. Nghiên cứu, đánh giá cấu trúc tinh thể và hình thái học của vật liệu LiAlO_2 sau khi chế tạo bằng kỹ thuật nhiễu xạ tia X (XRD) và kính hiển vi điện tử quét (SEM). Phân tích, đánh giá đường cong tích phân nhiệt phát quang của vật liệu LiAlO_2 bằng phương pháp giải chấp áp dụng các mô hình động học bậc 1, bậc 2 và bậc tổng quát. Vật liệu LiAlO_2 có cấu trúc đơn pha gamma khi được nung ở nhiệt độ từ 900°C. Đường cong tích phân nhiệt phát quang của vật liệu LiAlO_2 bao gồm hai đỉnh ở nhiệt độ 136 và 248°C, đỉnh 248°C được chọn làm đỉnh đo liều. Tinh thể $\gamma\text{-LiAlO}_2$ đơn pha gamma được chế tạo thành công bằng phương pháp sol-gel kết hợp với EDTA. Điều kiện tối ưu để thu được tinh thể LiAlO_2 đơn pha gamma là nhiệt độ thiêu từ 900°C trong thời gian 4 giờ với các hằng số mạng và tỷ trọng được xác định lần lượt là: $a=5,16870 \text{ \AA}$, $c=6,26790 \text{ \AA}$, và $\delta=2,615 \text{ g/cm}^3$. Đường cong tích phân nhiệt phát quang của LiAlO_2 được phân tích bằng phương pháp giải chấp cho thấy sự phù hợp cao nhất với mô hình bậc tổng quát, với hệ số làm khớp $\text{FOM}=1,08 \times 10^{-2}$ và bậc động học $b=1,79$.

Từ khóa: động học bậc tổng quát, phương pháp giải chấp, tổng hợp LiAlO_2 .

Chỉ số phân loại: 1.3, 2.5

Synthesis and analysis of thermoluminescence glow curve of LiAlO_2

Thi Thu Ha Nguyen*, Van Giap Trinh, Duc Ky Bui

*Institute for Nuclear Science and Technology, Vietnam Atomic Energy Institute,
179 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam*

Received 20 September 2022; revised 20 October 2022; accepted 25 October 2022

Abstract:

The synthesised LiAlO_2 by sol-gel with ethylene diamine tetraacetic acid (EDTA) method was investigated. The synthesised LiAlO_2 was studied for its structure and morphology by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) techniques. The thermoluminescence glow curve of LiAlO_2 was analysed by deconvolution using the first-order, second-order, and general-order kinetic models. LiAlO_2 material exhibits a single-phase gamma structure when calcined at temperatures starting from 900°C. The thermoluminescence glow curve of LiAlO_2 consists of two peaks at 136 and 248°C, while peak 248°C is considered a dosimetric peak. The $\gamma\text{-LiAlO}_2$ material was successfully synthesised using the sol-gel method combined with EDTA. The single-phase gamma LiAlO_2 material was obtained after being sintered at temperatures greater than 900°C for 4 hours with lattice constants and density determined as follows: $a=5.16870 \text{ \AA}$, $c=6.26790 \text{ \AA}$, and $\delta=2.615 \text{ g/cm}^3$. The thermoluminescence glow curve of LiAlO_2 was analysed using the glow curve deconvolution method, which showed the best fit with the general-order model, with a fitting factor $\text{FOM}=1.08 \times 10^{-2}$ and a kinetic order $b=1.79$.

Keywords: deconvolution, general order kinetic, synthesis LiAlO_2 .

Classification numbers: 1.3, 2.5

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

1. Mở đầu

Nghiên cứu và phát triển vật liệu LiAlO_2 đã được nhiều nhà khoa học quan tâm từ hơn một thập kỷ trước [1-3]. Các tính chất đặc trưng nhiệt phát quang và quang phát quang của vật liệu này đã cho thấy ý nghĩa khoa học và thực tiễn to lớn trong lĩnh vực đo liều bức xạ [1-5]. Nhiều nhà nghiên cứu đã mô tả các đặc tính nhiệt phát quang của vật liệu LiAlO_2 dựa trên các nghiên cứu cộng hưởng thuận từ (EPR), xác định các loại khuyết tật, bẫy điện tử hoặc bẫy lỗ trống trong vùng cấm của vật liệu [3, 6, 7]. Nghiên cứu EPR cho thấy, sự hiện diện của một số lượng lớn các chỗ trống lithium trong vật liệu LiAlO_2 sau khi được tạo thành. Sự hiện diện của chỗ trống lithium đóng vai trò như một bẫy lỗ trống tại vị trí của ion oxy nằm liền kề với chỗ trống lithium.

Phương pháp chế tạo LiAlO_2 bằng phương pháp phản ứng pha rắn đã được nghiên cứu từ nhiều nhóm tác giả [8-12]. Trong đó, hợp chất LiAlO_2 pha gamma ($\gamma\text{-LiAlO}_2$) được tạo ra và nung ở nhiệt độ cao trong môi trường không khí. Năm 1997, K. Kinoshita và cs (1997) [10] đã chế tạo thành công $\gamma\text{-LiAlO}_2$ bằng phản ứng kết hợp giữa alumina với alkali hydroxide hoặc với alkali carbonate. Trước đó, năm 1991, J. Becerril và cs (1991) [12] tổng hợp LiAlO_2 pha gamma và một lượng nhỏ LiAl_5O_8 khi kết hợp giữa Li_2CO_3 và Al_2O_3 và thiêu kết ở nhiệt độ 1000°C . Nói chung, để thu được vật liệu LiAlO_2 pha gamma từ phản ứng pha rắn thì cần phải nung ở nhiệt độ cao.

Một vài nghiên cứu khác khảo sát về các tính chất nhiệt phát quang của LiAlO_2 cũng được báo cáo. J.I. Lee và cs (2012) [13] đã nghiên cứu các đường cong tích phân nhiệt phát quang của LiAlO_2 pha tạp ($\text{LiAlO}_2\text{:Mn}$ và $\text{LiAlO}_2\text{:Ce}$). V. Pagonis và cs (2006) [14] cũng nghiên cứu, khảo sát các tính chất nhiệt phát quang của $\text{LiAlO}_2\text{:Mn}$. Trước đó, R. Chen (1969) [15] và J.M.G. Ros và cs (2002) [16] cũng đã khảo sát đường cong tích phân nhiệt phát quang của LiAlO_2 . Trong bài báo này, nhóm tác giả tập trung vào việc chế tạo vật liệu LiAlO_2 đơn pha gamma và sử dụng phương pháp giải chấp dựa trên các mô hình động học bậc 1, mô hình động học bậc 2 và mô hình động học bậc tổng quát để nghiên cứu, khảo sát đường cong tích phân nhiệt phát quang của tinh thể LiAlO_2 .

2. Nghiên cứu thực nghiệm

Các hóa chất được dùng để chế tạo LiAlO_2 bao gồm LiNO_3 có độ tinh khiết 99,99% (của Alfa Aesar), axit citric có độ tinh khiết 99,5% (của Hãng Sigma-Aldrich), $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ có độ tinh khiết cao 99,99% (của Hãng Sigma-Aldrich) và EDTA có độ tinh khiết 98,5% (của Hãng Sigma-Aldrich).

Bước đầu tiên, cân khối lượng của hai muối theo tỷ lệ: 1 mol LiNO_3 và 1 mol $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Sau đó, đưa vào cốc và hòa tan với nước khử ion sử dụng máy khuấy từ gia nhiệt, ta được dung dịch 1. Bước hai, cân tỷ lệ 1,5 mol EDTA và 1 mol axit citric, hòa tan hỗn hợp này với NH_4OH sử dụng

máy khuấy từ gia nhiệt, ta được dung dịch thứ 2. Bước ba, đổ từ từ dung dịch 2 vào dung dịch 1, thực hiện trên máy khuấy từ. Điều chỉnh giá trị pH có giá trị khoảng $\text{pH}=9$ sử dụng NH_4OH . Theo dõi quá trình tạo sol trên máy khuấy từ, dung dịch sol thu được hoàn toàn tan và trong suốt. Để tạo gel, nhóm tác giả sử dụng dung dịch sol, điều chỉnh nhiệt độ $90\text{-}95^\circ\text{C}$ trên máy gia nhiệt để bay hơi nước. Quan sát sự bay hơi nước của dung dịch, dừng lại khi thấy dung dịch ở dạng gel có màu vàng nhạt. Sau đó, chuyển phần gel sang bát sứ, tăng nhiệt độ lên $200\text{-}300^\circ\text{C}$, để loại bỏ các thành phần hữu cơ. Mẫu thu được có màu xám đen, được chuyển sang cốc nung và tiến hành nung trong lò nung ở các nhiệt độ (600 , 800 , 900 và 1000°C) và thời gian nung khác nhau để tìm nhiệt độ thiêu kết và thời gian nung tối ưu. Bột sau nung có màu trắng, được nghiền mịn, trộn đều, đóng gói và lưu giữ ở môi trường tránh ánh sáng.

Sử dụng kỹ thuật nhiễu xạ tia X (XRD) và kính hiển vi điện tử quét (SEM) để kiểm tra cấu trúc tinh thể và hình thái học của LiAlO_2 . Tiếp theo, nhóm tác giả thực hiện khảo sát đường cong tích phân nhiệt phát quang của vật liệu LiAlO_2 sau khi chiếu bức xạ tia gamma ($0,3\text{ Gy}$) sử dụng phương pháp giải chấp từ các phương trình động học bậc 1 (FOK), động học bậc 2 (SOK) và động học bậc tổng quát (GOK) như sau:

Phương trình động học bậc 1 [16]:

$$I(T) = I_M \exp \left[1 + \frac{E}{kT} \left(\frac{T - T_M}{T_M} \right) - \frac{T^2}{T_M^2} \left(1 - \frac{2kT}{E} \right) \exp \left\{ \frac{E}{kT} \left(\frac{T - T_M}{T_M} \right) \right\} - \frac{2kT_M}{E} \right]$$

Phương trình động học bậc 2 [17]:

$$I(T) = 4I_M \exp \left(\frac{E}{kT} \left(\frac{T - T_M}{T_M} \right) \right) \left[\frac{T^2}{T_M^2} \left(1 - \frac{2kT}{E} \right) \exp \left(\frac{E}{kT} \cdot \frac{T - T_M}{T_M} \right) + 1 + \left(1 - \frac{2kT_M}{E} \right) \right]^{-2}$$

Phương trình động học bậc tổng quát [18]:

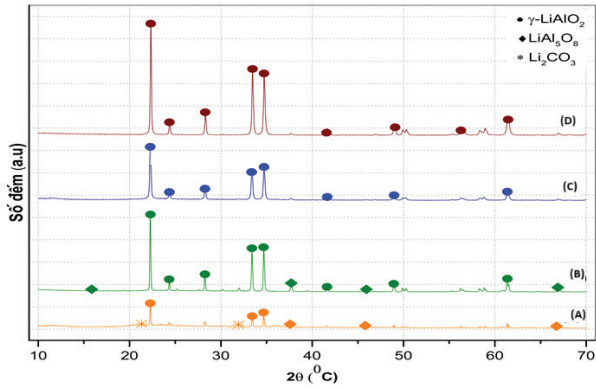
$$I(T) = I_M(b)^{\frac{b}{b-1}} \exp \left(\frac{E}{kT} \cdot \frac{T - T_M}{T_M} \right) \left[(b-1) \left(1 - \frac{2kT}{E} \right) \frac{T^1}{T_M^1} \exp \left(\frac{E}{kT} \cdot \frac{T - T_M}{T_M} \right) + Z_M \right]^{\frac{b}{b-1}}$$

trong đó: I_M là cường độ nhiệt phát quang tại vị trí cao nhất của đỉnh nhiệt phát quang; T_M là nhiệt độ tại vị trí cao nhất của đỉnh nhiệt phát quang; E là năng lượng kích hoạt của bẫy bắt điện tử; k là hằng số Boltzman, T là nhiệt độ, b là tham số bậc tổng quát, còn Z_M là viết tắt của công thức sau: $Z_M = 1 + (b-1) \times (2kT_M)/E$.

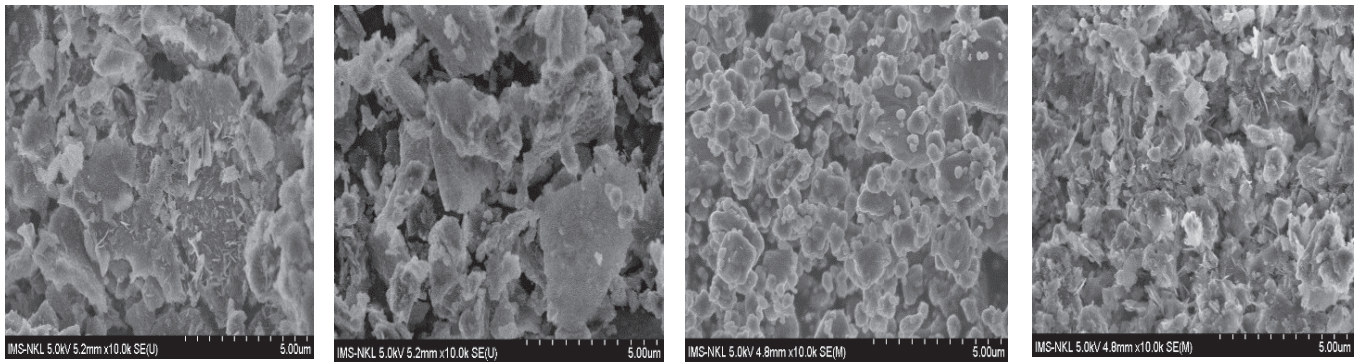
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Khảo sát cấu trúc của vật liệu LiAlO_2

Kết quả sau khi đo XRD của vật liệu LiAlO_2 nung ở các nhiệt độ (600 , 800 , 900 và 1000°C) cho thấy: vật liệu LiAlO_2 được nung ở nhiệt độ 900 và 1000°C có cấu trúc đơn pha gamma. Ở nhiệt độ nung 600 và 800°C vẫn có một phần tạp chất LiAlO_5 và Li_2CO_3 , điều này chứng tỏ nhiệt độ thiêu kết để đạt tinh thể LiAlO_2 đơn pha gamma là từ nhiệt độ 900°C . Hình 1 trình bày kết quả kiểm tra cấu trúc của tinh thể LiAlO_2 .

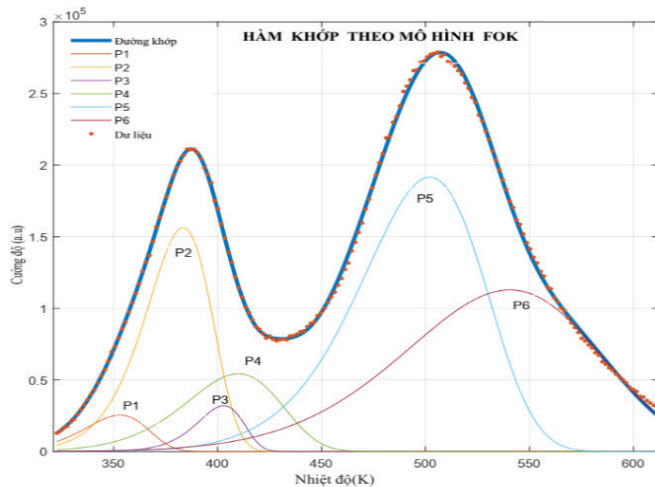
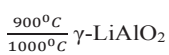
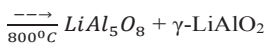
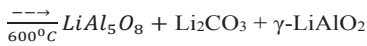


Hình 1. Cấu trúc của tinh thể LiAlO_2 được thiêu kết. (A) 600°C, (B) 800°C, (C) 900°C, (D) 1000°C.



Hình 2. Hình ảnh hình thái học của vật liệu LiAlO_2 được nung ở các nhiệt độ khác nhau lần lượt: 600, 800, 900 và 1000°C.

Dưới đây là tóm tắt các phương trình tổng hợp vật liệu LiAlO_2 :



Hình 3. Đường cong tích phân nhiệt phát quang của LiAlO_2 sau khi chiếu tia gamma (0,3 Gy) khớp hàm theo mô hình động học bậc 1.

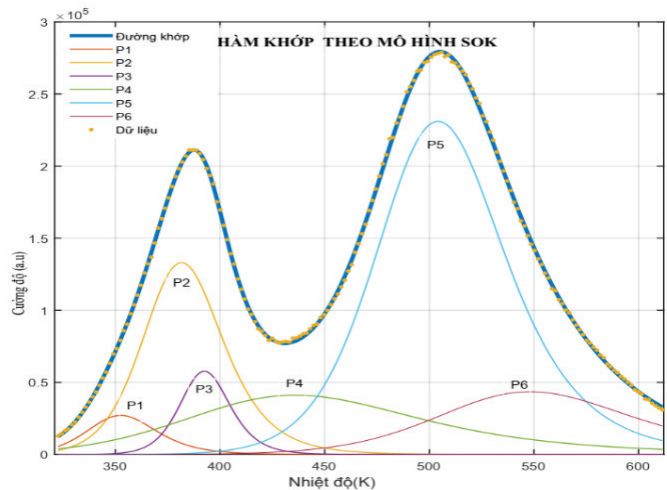
Điều kiện tối ưu để chế tạo tinh thể LiAlO_2 đơn pha gamma là nung ở nhiệt độ từ 900°C. Các chỉ số hằng số mạng và tỷ trọng của vật liệu LiAlO_2 đơn pha gamma được xác định lần lượt là: $a=5,16870 \text{ \AA}$, $c=6,26790 \text{ \AA}$ và $\delta=2,615 \text{ g/cm}^3$.

3.2. Nghiên cứu hình thái học của vật liệu LiAlO_2

Hình ảnh hình thái học của vật liệu LiAlO_2 được chụp bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) trong hình 2 cho thấy kích thước nano của vật liệu chế tạo, phụ thuộc vào nhiệt độ thiêu kết. Khi nhiệt độ thiêu kết từ 900°C thì hạt tinh thể đồng đều hơn và không bị kết dính.

3.3. Nghiên cứu đường cong tích phân nhiệt phát quang bằng phương pháp giải chập

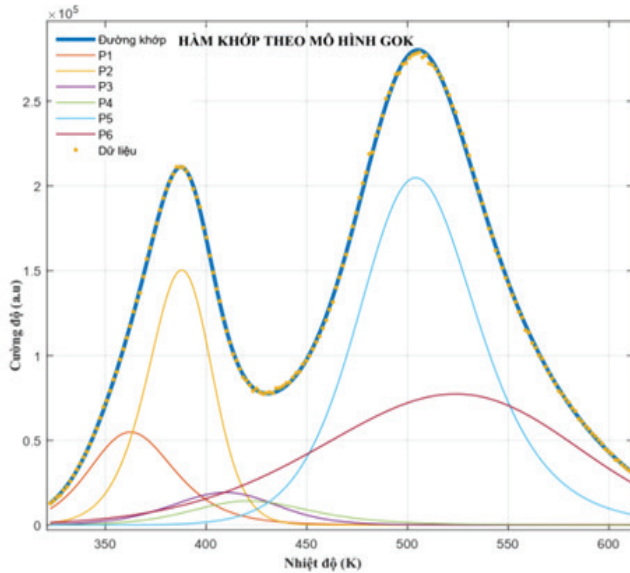
Hình 3 mô tả đường cong thực nghiệm của vật liệu LiAlO_2 sau khi được chiếu tia gamma (0,3 Gy) và đường làm khớp theo mô hình động học bậc 1 (FOK) với hệ số làm khớp hàm $\text{FOM}=1,65 \times 10^{-2}$.



Hình 4. Đường cong tích phân nhiệt phát quang của LiAlO_2 sau khi chiếu tia gamma (0,3 Gy) khớp hàm theo mô hình động học bậc 2.

Hình 4 trình bày đường cong thực nghiệm của vật liệu LiAlO_2 sau khi được chiếu tia gamma (0,3 Gy) và đường làm khớp theo mô hình động học bậc 2 (SOK) với hệ số làm khớp hàm $\text{FOM}=1,72 \times 10^{-2}$.

Hình 5 trình bày đường cong tích phân của vật liệu LiAlO_2 sau khi được chiếu tia gamma (0,3 Gy) khớp hàm theo mô hình phương trình động học bậc tổng quát (GOK) với hệ số làm khớp hàm $\text{FOM}=1,08 \times 10^{-2}$.



Hình 5. Đường cong tích phân nhiệt phát quang của LiAlO_2 sau khi chiếu tia gamma (0,3 Gy) làm khớp hàm theo mô hình động học bậc tổng quát.

Từ kết quả áp dụng phần mềm xác định các tham số động học của vật liệu LiAlO_2 theo các phương trình động học bậc 1, động học bậc 2 và động học bậc tổng quát, cho thấy rằng vật liệu LiAlO_2 này phù hợp nhất với mô hình động học bậc tổng quát với bậc động học $b=1,79$. Bảng 1 trình bày các tham số lũy của vật liệu LiAlO_2 .

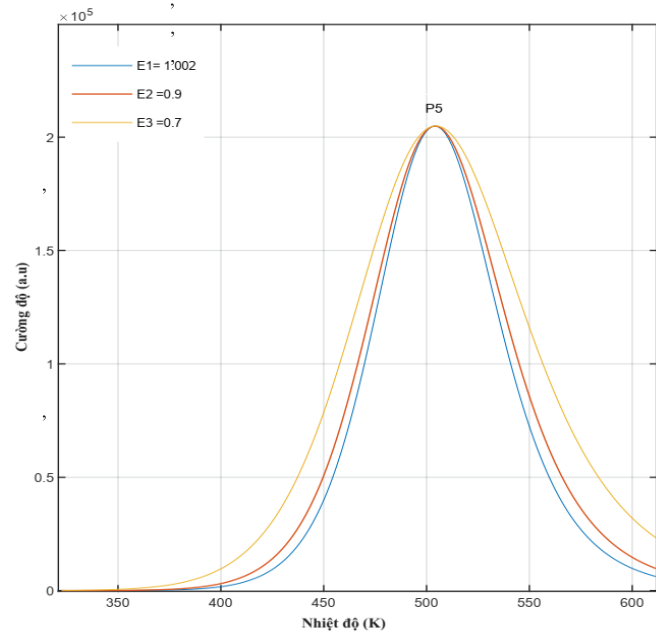
Bảng 1. Các tham số lũy của LiAlO_2 làm khớp theo các mô hình động học bậc 1, bậc 2 và bậc tổng quát.

P	T (°C)	Mô hình bậc 1 (FOK)		Mô hình bậc 2 (SOK)		Mô hình bậc tổng quát (GOK)	
		E(eV)	s(s ⁻¹)	E(eV)	s(s ⁻¹)	E(eV)	s(s ⁻¹)
1	136	0,80	2,17E+09	0,95	1,94E+11	0,75	5,30E+08
2	248	0,84	2,73E+07	1,05	3,07E+09	1,03	1,97E+09
FOM		$1,65 \times 10^{-2}$		$1,72 \times 10^{-2}$		$1,08 \times 10^{-2}$	

3.4. Khảo sát ảnh hưởng của năng lượng kích hoạt E

Khảo sát ảnh hưởng của năng lượng kích hoạt E (hay độ sâu của bẫy) trên đường cong tích phân nhiệt phát quang tại đỉnh đo liều (P5) được trình bày trong hình 6. Đồ thị được trình bày trong hình 6 sử dụng phương trình động học bậc tổng quát của đỉnh đo liều (P5) khi các tham số: s (tần số thoát), b (bậc động học), T_M (nhiệt độ tại vị trí cao nhất của

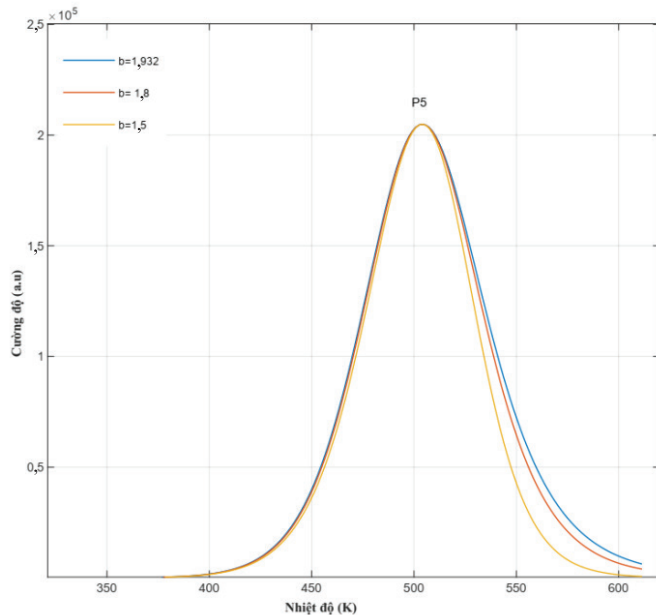
đỉnh) và I_M (cường độ tại vị trí cao nhất của đỉnh) được giữ nguyên không thay đổi, chỉ có năng lượng kích hoạt E là thay đổi. Quan sát trên đồ thị ta thấy, đường cong của đỉnh trở nên rộng hơn khi giá trị năng lượng kích hoạt E giảm.



Hình 6. Đường cong tích phân nhiệt phát quang của vật liệu LiAlO_2 mở rộng hơn khi giá trị năng lượng kích hoạt E giảm.

3.5. Khảo sát ảnh hưởng của bậc động học b

Nếu giữ nguyên các tham số s (tần số thoát), T_M (nhiệt độ tại vị trí cao nhất của đỉnh), I_M (cường độ tại vị trí cao nhất của đỉnh) và E (năng lượng kích hoạt), nhưng thay đổi b (bậc động học), thì khi giá trị của b tăng, nhiệt độ phía



Hình 7. Đường cong tích phân nhiệt phát quang có xu hướng mở rộng về phía bên phải của đỉnh khi bậc động học b tăng.

bên nhiệt độ cao hơn của đỉnh (phía bên phải) sẽ được mở rộng hơn, trong khi phía nhiệt độ thấp hơn của đỉnh (phía bên trái) không bị ảnh hưởng khi thay đổi bậc động học b (hình 7).

4. Kết luận

Vật liệu LiAlO_2 đơn pha gamma đã được nghiên cứu và tổng hợp thành công sử dụng phương pháp sol-gel kết hợp với EDTA. Nhóm tác giả đã nghiên cứu, khảo sát và tìm ra điều kiện tối ưu để thu được tinh thể LiAlO_2 đơn pha gamma khi được nung ở nhiệt độ từ 900°C trong thời gian 4 giờ, với các hằng số mạng và tỷ trọng được xác định lần lượt là: $a=5,16870 \text{ \AA}$, $c=6,26790 \text{ \AA}$, và $\delta=2,615 \text{ g/cm}^3$. Đường cong tích phân nhiệt phát quang của LiAlO_2 được phân tích bằng phương pháp giải chập cho thấy, phù hợp nhất với mô hình bậc tổng quát với hệ số làm khớp $\text{FOM}=1,08 \times 10^{-2}$ và bậc động học $b=1,79$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] A. Twardak, P. Bilski, B. Marczevska, et al. (2014a), "Analysis of TL and OSL kinetics of lithium aluminate", *Radiat. Meas.*, **71**, pp.143-147, DOI: 10.1016/j.radmeas.2014.03.012.
- [2] A. Twardak, P. Bilski, B. Marczevska, et al. (2014b), "Properties of lithium aluminate for application as an OSL dosimeter", *Radiat. Phys. Chem.*, **104**, pp.76-79, DOI: 10.1016/j.radphyschem.2014.05.046.
- [3] B. Dhabekar, E.A. Raja, S. Menon, et al. (2008a), "Identification of defect centres using TSL, PL, OSL and ESR studies in LiAlO_2 based phosphors", *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **41(11)**, DOI: 10.1088/0022-3727/41/11/115414.
- [4] H. Teng, S. Zhou, H. Lin, et al. (2010), "Growth and characterisation of high-quality Mn-doped LiAlO_2 single crystal", *Chin. Opt. Lett.*, **8**, pp.414-417.
- [5] J. Pejchal, Y.U. Fujimoto, V. Chani, et al. (2011), "Crystal growth and luminescence properties of Ti-doped LiAlO_2 for neutron scintillator", *J. Ryst. Growth*, **318(1)**, pp.828-832, DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2010.11.053.
- [6] B. Dhabekar, E.A. Raja, S. Menon, et al. (2008b), "ESR, PL and TL studies of LiAlO_2 : Mn/Ce phosphor", *Radiat. Meas.*, **43(2-6)**, pp.291-294, DOI: 10.1016/j.radmeas.2007.11.054.
- [7] M.S. Holston, J.W.M. Clory, N.C. Giles, et al. (2015), "Radiation-induced defects in LiAlO_2 crystals: Holes trapped by lithium vacancies

and their role in thermoluminescence", *J. Lumin.*, **160**, pp.43-49, DOI: 10.1016/j.jlumin.2014.11.018.

- [8] K. Kinoshita, J.W. Sim, J.P. Ackerman (1978), "Preparation and characterization of lithium aluminate", *Mater. Res. Bull.*, **13(5)**, pp.445-455, DOI: 10.1016/0025-5408(78)90152-6.
- [9] J.P. Kopasz, C.A. Seils, C.E. Johnson (1992), "Tritium release from lithium aluminate: Can it be improved", *J. Nucl. Mater.*, **191-194(A)**, pp.231-235, DOI: 10.1016/S0022-3115(09)80040-8.
- [10] K. Kinoshita, J.W. Sim, G.H. Kucera (1997), "Synthesis of fine particle size lithium aluminate for application in molten carbonate fuel cells", *Mater. Res. Bull.*, **14(10)**, pp.1357-1368, DOI: 10.1016/0025-5408(79)90016-3.
- [11] B. Schulz, H. Wedemeyer (1986), "Theoretical study of the electronic, thermodynamic, and thermo-conductive properties of $\gamma\text{-LiAlO}_2$ with 6Li isotope substitutions for tritium production", *J. Nucl. Mater.*, **139**, pp.35-41, DOI: 10.1016/0022-3115(86)90161-3.
- [12] J. Becerril, P. Bosch, S. Bulbulian (1991), "Synthesis and characterization of $\gamma\text{-LiAlO}_2$ ", *J. Nucl. Mater.*, **185(3)**, pp.304-307, DOI: 10.1016/0022-3115(91)90520-H.
- [13] J.I. Lee, A.S. Pradhan, J.L. Kim, et al. (2012), "Preliminary study on development and characterization of high sensitivity LiAlO_2 optically stimulated luminescence material", *Radiat. Meas.*, **47(9)**, pp.837-840, DOI: 10.1016/j.radmeas.2012.01.007.
- [14] V. Pagonis, G. Kitis, C. Furetta (2006), *Numerical and Practical Exercises in Thermoluminescence*, Springer Science & Business Media, <https://link.springer.com/book/10.1007/0-387-30090-2>, accessed 19 July 2022.
- [15] R. Chen (1969), "Glow curves with general order kinetics", *Journal of Electrochemical Society*, **116(9)**, pp.1254-1257.
- [16] J.M.G. Ros, G. Kitis (2002), "Computerised glow curve deconvolution using general and mixed order kinetics", *Radiat. Prot. Dosim.*, **101(1-4)**, pp.47-52, DOI: 10.1093/oxfordjournals.rpd.a006029.

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

Hồ Thị Xuân Giang¹, Phạm Thanh Liêm², Phạm Hoàng Việt³, Lê Minh Trường³, Đinh Thị A Thái³, Trần Văn Mẫn^{2*}

¹Trung tâm Giáo dục Nghề nghiệp - Giáo dục Thường xuyên, 27/3 đường số 10, khu phố 3, phường Bình Thuận, quận 7, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Phòng Thí nghiệm Hóa lý Ứng dụng, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh,

227 Nguyễn Văn Cừ, phường 4, quận 5, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

³Chi nhánh Công ty Cổ phần Pin Ắc quy miền Nam - Xí nghiệp Ắc quy Đồng Nai 2, thị trấn Hiệp Phước, huyện Nhơn Trạch, tỉnh Đồng Nai, Việt Nam

Ngày nhận bài 22/5/2023; ngày chuyển phân biên 25/5/2023; ngày nhận phân biên 9/6/2023; ngày chấp nhận đăng 16/6/2023

Tóm tắt:

Trong nghiên cứu này, mẫu Pb và hợp kim Pb-Sb-Ag được ứng dụng làm sườn cực trong ắc quy chì-axit, được khảo sát tính chất ăn mòn trong dung dịch axit H_2SO_4 ($d=1,05 \text{ g/cm}^3$). Phương pháp quét thế tuyến tính được thực hiện theo tiêu chuẩn ISO 17475:2005 với tốc độ quét là $0,17 \text{ mV/s}$ trong vùng thế $\pm 300 \text{ mV}$ so với thế mạch hở. Kết quả mẫu Pb-Sb-Ag có mật độ dòng ăn mòn (i_{corr}) lần lượt là $6,0 \mu\text{A/cm}^2$ (0 giờ), sau 24 giờ i_{corr} tăng lên $7,44 \mu\text{A/cm}^2$, sau 72 và 168 giờ thì i_{corr} giảm lần lượt là $2,23$ và $0,77 \mu\text{A/cm}^2$. Mẫu Pb có i_{corr} tại các thời điểm (0 giờ: $154,95 \mu\text{A/cm}^2$; 24 giờ: $322,06 \mu\text{A/cm}^2$; 72 giờ: $274,01 \mu\text{A/cm}^2$ và 168 giờ: $58,3 \mu\text{A/cm}^2$) trong dung dịch đo đều cao hơn so với mẫu Pb-Sb-Ag. Kết quả đồ thị Nyquist thể hiện điện trở chuyển điện tích (R_1) và điện trở phân cực (R_2) của mẫu Pb-Sb-Ag lần lượt lớn hơn gấp 45 và 1150 lần sau khi ngâm mẫu trong dung dịch axit trong 24 giờ. Kết quả này cho thấy, khả năng chống ăn mòn của mẫu Pb-Sb-Ag tốt hơn so với mẫu Pb.

Từ khóa: ắc quy chì-axit, ăn mòn sườn cực, hợp kim Pb-Sb-Ag.

Chỉ số phân loại: 1.4, 2.4

Study the corrosion of Pb-Sb-Ag alloy in sulfuric acid solution by electrochemical methods

Thi Xuan Giang Ho¹, Thanh Liem Pham², Hoang Viet Pham³, Minh Truong Le³, Thi A Thai Dinh³, Van Man Tran^{2*}

¹Vocational and Continuing Education Center, 27/3 Street 10, Ward 3, Binh Thuan Ward, District 7, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Applied Physical Chemistry Laboratory, University of Science, Vietnam National University - Ho Chi Minh City,

227 Nguyen Van Cu Street, Ward 4, District 5, Ho Chi Minh City, Vietnam

³Southern Battery Joint Stock Company, Hiep Phuoc Town, Nhon Trach District, Dong Nai Province, Vietnam

Received 22 May 2023; revised 9 June 2023; accepted 16 June 2023

Abstract:

In this study, Pb and Pb-Sb-Ag alloy samples were used as grid materials in lead-acid batteries and investigated for their corrosion properties in a sulfuric acid (H_2SO_4) solution (density = 1.05 g/cm^3). Linear sweep voltammetry (LSV) was performed according to the ISO 17475:2005 standard, with a scan rate of 0.17 mV/s , and a potential range of $\pm 300 \text{ mV}$ versus the open-circuit potential. The results of the Pb-Sb-Ag alloy sample show that the corrosion current density (i_{corr}) of $6.0 \mu\text{A/cm}^2$ (0 hours), increasing to $7.44 \mu\text{A/cm}^2$ after immersing 24 hours and decreasing to 2.23 and $0.77 \mu\text{A/cm}^2$ after immersing 72 and 168 hours in acid solution, respectively. The i_{corr} of Pb sample at (0 hours: $154.95 \mu\text{A/cm}^2$; 24 hours: $322.06 \mu\text{A/cm}^2$; 72 hours: $274.01 \mu\text{A/cm}^2$, 168 hours: $58.3 \mu\text{A/cm}^2$) were higher than those of the Pb-Sb-Ag sample in the test solution. The results of the Nyquist plot of the alloy samples showed that the charge transfer resistance (R_1) and polarisation resistance (R_2) of the Pb-Sb-Ag sample were 45 times and 1150 times higher, respectively, after 24 hours of immersion in the acid solution. These results indicate that the Pb-Sb-Ag sample exhibits better corrosion resistance compared to the Pb sample.

Keywords: corrosion resistance, lead-acid battery, Pb-Sb-Ag alloy.

Classification numbers: 1.4, 2.4

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

1. Đặt vấn đề

Ắc quy chì-axit được chế tạo vào năm 1859 bởi Gaston Planté. Hơn 160 năm qua, ắc quy chì-axit đã và đang được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. Ưu điểm của loại ắc quy này là giá thành rẻ, công nghệ đơn giản và khả năng cung cấp dòng điện lớn một cách nhanh chóng, nên chúng được ứng dụng trong ô tô và xe máy, nơi cần dòng điện cao để khởi động động cơ [1, 2]. Các điện cực âm và dương trong ắc quy chì-axit đều được thiết kế sử dụng sườn cực (dạng lưới) nhằm giảm trọng lượng cũng như chi phí sản xuất, tăng tuổi thọ và chống ăn mòn cho điện cực của ắc quy. Các sườn cực dạng lưới phải ổn định về kích thước, bền cơ học để không bị uốn, giãn hoặc cong vênh trong quá trình phóng nạp. Do tính cơ học của chì (Pb) nguyên chất mềm, khó ổn định khung sườn nên các hợp kim của chì với hàm lượng nhỏ của một số kim loại giúp ổn định và tăng độ cứng sườn cực như hợp kim Pb-Sb, Pb-Ca, Pb-Sn... Hàm lượng của các hợp kim không chỉ ảnh hưởng đến các đặc tính cơ học, cấu trúc khung sườn mà còn ảnh hưởng đến tính chất điện hóa và khả năng chống ăn mòn của điện cực. Sự ăn mòn của các khung sườn cực là một yếu tố quan trọng dẫn đến tuổi thọ của ắc quy giảm nhanh chóng [3].

Sườn cực phải có độ bền cơ học tốt để không bị các biến dạng cơ và nhiệt trong quá trình sản xuất, cũng như trong thời gian ắc quy hoạt động. Bên cạnh đó, về mặt động học, các bản điện cực dương luôn hình thành một lớp sản phẩm ăn mòn (PbO) ở giữa, do Pb và PbO_2 tiếp xúc trực tiếp với nhau gây ra cũng như phải chịu điện thế cao. Lớp ăn mòn được hình thành có thể tích lớn hơn 22-23% so với lớp chì không bị oxy hóa. Do đó, tạo ra ứng suất cơ học lên sườn cực, dễ làm biến dạng khung lưới và làm giảm khả năng tiếp xúc điện của điện cực [4]. Vì vậy, hơn 30 năm qua, các nhà sản xuất ắc quy chì-axit đã tập trung vào nghiên cứu quy trình sản xuất và thay đổi thành phần hóa học các hợp kim của sườn cực nhằm chống lại quá trình ăn mòn, ngoài ra còn giảm trọng lượng sườn cực cũng như giảm chi phí sản xuất, tăng tuổi thọ cho ắc quy [5].

Hiện nay, các nghiên cứu trên thế giới về việc phát triển các sườn cực hợp kim Pb không chỉ dừng lại ở hợp kim chỉ bao gồm Pb và một kim loại, mà bổ sung thêm một vài kim loại khác nhau để cải thiện tính chất cơ học và khả năng chống ăn mòn. Sử dụng các chất phụ gia đã được chứng minh là một trong những cách tiếp cận hiệu quả để giải quyết vấn đề của ắc quy [3]. Y. Baofeng và cs (2019) [3] đã nghiên cứu tốc độ ăn mòn hợp kim Pb-Ca-Sn-Al trong môi trường axit H_2SO_4 . Kết quả cho thấy, tốc độ ăn mòn của hợp kim giảm 15% khi thêm Ag, La hoặc Sn.

Hợp kim Pb-Sb được nghiên cứu và ứng dụng làm khung sườn cực với hàm lượng Sb khoảng 10-12%. Hàm lượng Sb càng cao làm cho hợp kim dễ dàng được đúc thành sườn cực có cấu trúc ổn định, tính chất cơ học tốt, khả năng thuận nghịch cao trong nhiều chu kỳ và cải thiện tuổi thọ của ắc quy. Bên cạnh đó, sườn cực có hàm lượng 10-12% Sb có hiệu suất phóng nạp cao và điện thế phóng điện tương đối ổn định. Tuy nhiên, nhược điểm lớn nhất của hợp kim này là tốc độ ăn mòn sườn cực lớn và gây ngộ độc Sb do kết tủa trên điện cực âm, giảm quá thế hydro khi hàm lượng Sb càng lớn. Hợp kim Pb-Ca được nghiên cứu và ứng dụng đã khắc phục được nhược điểm trên của Pb-Sb. Tuy nhiên, Pb-Ca có độ bền cơ học kém, gây khó khăn trong quá trình đúc sườn điện cực và khả năng giảm dung lượng nhanh trong 30 đến 40 chu kỳ đầu tiên khi ắc quy phóng nạp (hay còn gọi là hiệu ứng không Sb) [4]. Pb-Ca-Sn là sườn điện cực được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi đến hiện nay, thay cho Pb-Ca. Bên cạnh đó, một số nghiên cứu trở lại với hợp kim Pb-Sb như giảm hàm lượng Sb trong hợp kim xuống 4,5-6%, tuy nhiên tính chất cơ học của sườn cực lại giảm đi. Để cải thiện độ cứng, các nhà sản xuất đã thêm 0,15-0,20% Sn. Khả năng ăn mòn được cải thiện bằng cách bổ sung Ag trong hợp kim Pb-Sb, Ag giúp tăng quá trình thoát oxy, chuyển thế điện cực về phía dương hơn, cũng như giảm độ xốp trên bề mặt sườn cực, giúp giảm khả năng khuếch tán axit H_2SO_4 đi vào sâu bên trong sườn cực [4].

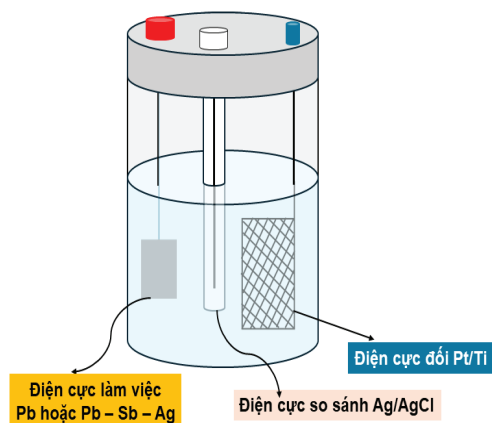
Ăn mòn sườn cực xảy ra trong hai pha là pha lỏng (xảy ra giữa dung dịch axit H_2SO_4 với sườn điện cực) và pha rắn (khi vật liệu sườn cực tiếp xúc với hoạt chất điện cực như PbO hoặc PbO_2 sau khi phóng hoặc nạp) [6]. Trong nghiên cứu này, Pb và hợp kim Pb-Sb-Ag được khảo sát đặc tính ăn mòn trong pha lỏng với dung dịch H_2SO_4 ($d=1,05 \text{ g/cm}^3$) bằng các phương pháp quét thế tuyến tính và phổ tổng trở điện hóa theo tiêu chuẩn ISO 17475:2005, để xem xét ứng dụng làm khung sườn cực trong ắc quy chì-axit.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Pb tinh khiết và hợp kim Pb-Sb-Ag (với hàm lượng Sb 2,0% và hàm lượng Ag là 0,002%) và dung dịch H_2SO_4 ($d=1,05 \text{ g/cm}^3$) do chi nhánh Công ty Cổ phần Pin ắc quy miền Nam - Xí nghiệp Ắc quy Đồng Nai 2 cung cấp, điện cực so sánh sử dụng điện cực Ag/AgCl trong KCl bão hòa (Biologic, Pháp) và điện cực đối là lưới titan phủ platin (Đức).

Bình điện hóa được sử dụng với hệ ba điện cực (hình 1): điện cực so sánh Ag/AgCl trong KCl bão hòa, điện cực đối là lưới titan phủ platin, điện cực làm việc (Pb, hợp kim Pb-Sb-Ag) có diện tích là 5 cm^2 . Dung dịch thử nghiệm là axit H_2SO_4 với $d=1,05 \text{ g/cm}^3$, với thể tích là 100 ml axit H_2SO_4 trên 1 cm^2 điện cực làm việc.



Hình 1. Bình đo điện hóa với hệ ba điện cực.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

- Kính hiển vi điện tử quét (SEM): Mẫu vật liệu được đo trên máy S4800 (Hitachi, Nhật Bản) tại Viện Công nghệ Nano TP Hồ Chí Minh.

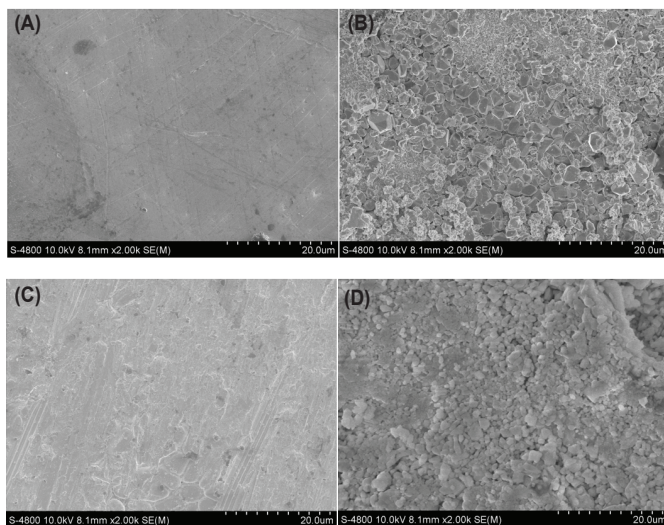
- Phương pháp quét thế tuyến tính được thực hiện theo tiêu chuẩn ISO 17475:2005 với tốc độ quét thế $0,17 \text{ mV/s}$, và vùng thế $\pm 300 \text{ mV}$ so với thế mạch hở. Phép đo tổng trở điện hóa ở vùng tần số $10 \text{ kHz} - 100 \text{ mHz}$, biên độ 10 mV . Cả hai phương pháp đo được thực hiện ở 25°C , trên máy đo điện hóa VSP-3 (BioLogic, Pháp) tại Phòng Thí nghiệm Hóa lý Ứng dụng, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Kết quả phân tích hình thái bề mặt

Ảnh SEM của mẫu Pb tinh khiết và hợp kim Pb-Sb-Ag trước và sau khi được ngâm 168 giờ trong dung dịch axit H_2SO_4 với $d=1,05 \text{ g/cm}^3$ được thể hiện trong hình 2. Bề mặt của hai mẫu Pb tinh khiết và hợp kim Pb-Sb-Ag trước khi bị ăn mòn đều nhẵn, sau khi bị ăn mòn bề mặt, mẫu Pb tinh khiết có nhiều vết nứt, tạo thành các hạt không đồng đều trên toàn bề mặt mẫu. Kết quả này cho thấy, bề mặt mẫu Pb tinh khiết bị ăn mòn cục bộ, dẫn đến quá trình ăn mòn diễn ra nhiều hơn trên bề mặt Pb, từ đó tạo nên độ xốp lớn, dung dịch axit H_2SO_4 dễ khuếch tán vào sâu bên trong sườn cực làm tăng tốc độ ăn mòn. Đối với mẫu hợp kim Pb-Sb-Ag,

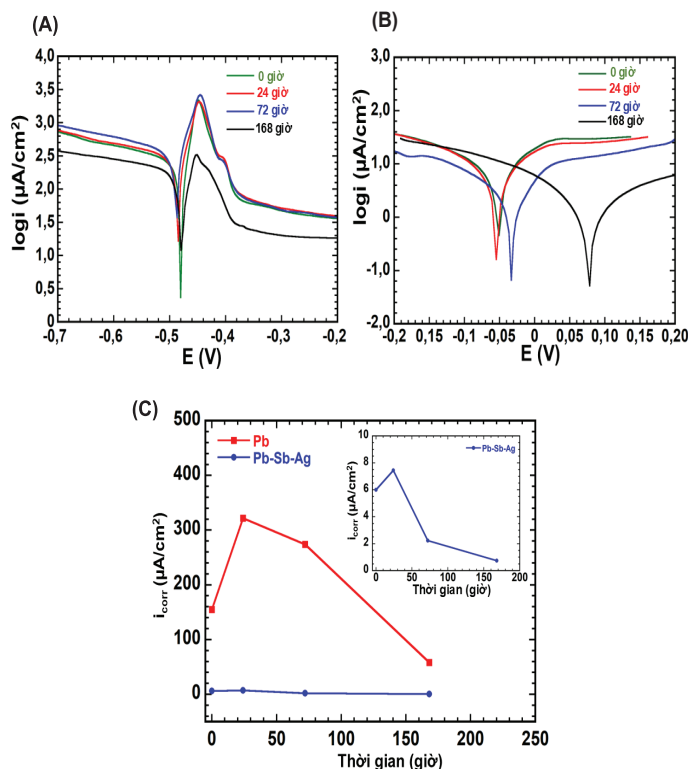
sau quá trình ngâm trong dung dịch axit, bề mặt mẫu xuất hiện các hạt đồng đều hơn, hạt có kích thước nhỏ và độ xốp cũng nhỏ hơn so với mẫu Pb tinh khiết. Điều này ngăn cản sự tiếp xúc giữa bề mặt và ngăn chặn quá trình axit H_2SO_4 đi sâu vào bên trong hợp kim Pb-Sb-Ag [4].



Hình 2. Hình thái bề mặt mẫu. (A) Mẫu Pb trước ăn mòn; (B) Mẫu Pb sau ăn mòn; (C) Mẫu hợp kim Pb-Sb-Ag trước ăn mòn; (D) Mẫu hợp kim Pb-Sb-Ag sau ăn mòn 168 giờ.

3.2. Kết quả quét thế tuyến tính

Kết quả quét thế tuyến tính theo chuẩn ISO 17475:2005 với tốc độ quét thế $0,17 \text{ mV/s}$ và vùng thế $\pm 300 \text{ mV}$ so với thế mạch hở, được thể hiện trong hình 3. Bằng phương pháp ngoại suy Tafel ta có mật độ dòng ăn mòn (i_{corr}) của mẫu Pb tinh khiết (hình 3C) ở lần đầu tiếp xúc với dung dịch axit H_2SO_4 là $154,95 \mu\text{A/cm}^2$, sau 24 giờ mật độ dòng ăn mòn đạt $322,06 \mu\text{A/cm}^2$, tăng lên gấp 2,08 lần so với ban đầu. Sau 72 giờ ngâm trong bình đo, mật độ dòng giảm xuống còn $274,01 \mu\text{A/cm}^2$. Đặc biệt, sau 168 giờ điện cực tiếp xúc với dung dịch axit, mật độ dòng ăn mòn giảm chỉ còn $58,3 \mu\text{A/cm}^2$. Đối với mẫu hợp kim Pb-Sb-Ag, mật độ dòng ăn mòn của điện cực khi tiếp xúc với dung dịch axit là $6,0 \mu\text{A/cm}^2$, sau 24 giờ tiếp xúc điện cực có xu hướng bị ăn mòn hơn so với ban đầu, mật độ dòng ăn mòn tăng chậm ($7,44 \mu\text{A/cm}^2$). Tuy nhiên, sau 72 và 168 giờ tiếp xúc với dung dịch axit, mật độ dòng ăn mòn đạt tương ứng 2,23 và $0,77 \mu\text{A/cm}^2$, giảm mạnh lần lượt 3,0 và 7,8 lần so với giá trị i_{corr} ban đầu ($6,0 \mu\text{A/cm}^2$). Từ các đường cong Tafel (hình 3B), có thể thấy thế ăn mòn của hợp kim Pb-Sb-Ag chuyển mạnh về phía dương hơn, nghĩa là quá thế thoát oxy có thể tăng, làm giảm khả năng tương tác giữa Pb với O_2 , do đó tốc độ ăn mòn giảm, mặc dù không bị thụ động như trên điện cực Pb (hình 3A).



Hình 3. Kết quả quét thế tuyến tính của các mẫu. (A) Mẫu Pb; (B) Mẫu Pb-Sb-Ag; (C) Mật độ dòng ăn mòn theo thời gian tiếp xúc dung dịch axit H₂SO₄ của hai mẫu.

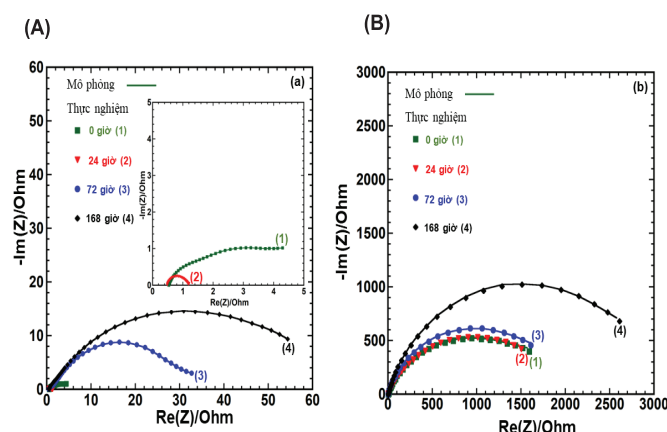
Tính chất ăn mòn sườn cực luôn xảy ra ở cực dương của ắc quy đã trở thành một vấn đề quan trọng đối với tuổi thọ của ắc quy chì-axit. Sự ăn mòn là do sự có mặt của H₂O ở bề mặt Pb được thể hiện qua quá trình dưới đây:



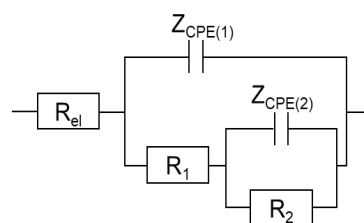
Mẫu Pb tinh khiết trong quá trình khảo sát bằng phương pháp quét thế tuyến tính, phản ứng cơ bản trên bề mặt điện cực là do sự có mặt của H₂O trong dung dịch axit và quá trình thoát oxy của H₂O, vì phản ứng ăn mòn là kết quả của sự xâm nhập của oxy qua lớp ăn mòn, tạo điều kiện cho sự khuếch tán dung dịch axit H₂SO₄ đến bề mặt của Pb, nên sau 24 giờ mẫu bị ăn mòn lớn, sau 72 và 168 giờ mẫu tạo được lớp thụ động trên bề mặt điện cực đã làm giảm khả năng bị ăn mòn. Sự có mặt của Ag trong thành phần hợp kim làm giảm kích thước tinh thể và giảm độ xốp của lớp sản phẩm ăn mòn hình thành trên bề mặt điện cực (hình 2D). Qua đó, giúp hạn chế sự khuếch tán của dung dịch axit vào bề mặt và sâu bên trong điện cực. Ag làm tăng quá thế thoát oxy, chuyển thế về phía dương nên khả năng chống ăn mòn của hợp kim Pb được cải thiện. Từ những lý do trên, Ag làm giảm sự ăn mòn tổng thể của điện cực khảo sát [4]. Do đó, mẫu hợp kim Pb-Sb-Ag cải thiện được khả năng chống ăn mòn đáng kể.

3.3. Kết quả phân tích phổ tổng trở điện hóa

Hình 4 thể hiện đồ thị Nyquist của hai mẫu Pb tinh khiết và hợp kim Pb-Sb-Ag theo các thời gian ngâm mẫu khác nhau (0, 24, 72 và 168 giờ) trong môi trường axit H₂SO₄. Sơ đồ mạch điện được mô phỏng bằng phần mềm EC-Lab version 11.43. Kết quả phân tích cho thấy, khả năng phù hợp được đánh giá bằng trị số χ^2 lần lượt là 8.10^{-2} và 9.10^{-2} cho hai mẫu Pb và Pb-Sb-Ag (hình 5). Trong đó, R_{el} là điện trở chất điện giải (dung dịch axit H₂SO₄), R_1 là điện trở chuyển điện tích của lớp bề mặt điện cực và R_2 là điện trở chuyển điện tích của lớp bề mặt trong lỗ xốp, CPE là hằng số pha của điện dung lớp kép. Sơ đồ mạch điện có các thành phần tương tự với một số nghiên cứu khác trên thế giới đã công bố [7, 8].



Hình 4. Phổ tổng trở điện hóa. (A) Mẫu Pb; (B) Mẫu Pb-Sb-Ag.



Hình 5. Sơ đồ mạch tương đương mô phỏng bằng phần mềm EC-Lab version 11.43.

Đường cong phổ tổng trở Nyquist có dạng bán cung dẹt phản ánh sự xuất hiện của hai thành phần Z_{CPE1} và Z_{CPE2} bởi sự gồ ghề của lớp bề mặt điện cực và bề mặt lỗ xốp tạo ra. Xu thế chung cho thấy, khi tăng thời gian ngâm mẫu từ 0 đến 72 giờ, đường tổng trở Nyquist của mẫu Pb đều có cung dẹt nhỏ hơn so với mẫu hợp kim Pb-Sb-Ag, tức là R_1 và R_2 tương ứng nhỏ hơn rất nhiều lần (bảng 1). Tuy nhiên, khi ngâm mẫu 24 giờ trong dung dịch axit H₂SO₄ thì điện trở R_1 và R_2 của cả hai mẫu đều đạt thấp nhất, trong khi giá trị các CPE lại đạt cao nhất, điều này thể hiện quá trình ăn mòn diễn ra nhanh trong 24 giờ đầu, sau đó tốc độ giảm dần.

Bảng 1. Giá trị các thành phần trong sơ đồ mạch điện hình 5.

Thông số	Mẫu Pb				Mẫu Pb-Sb-Ag			
	0 giờ	24 giờ	72 giờ	168 giờ	0 giờ	24 giờ	72 giờ	168 giờ
$R_{cl}(\Omega)$	0,489	0,538	0,519	0,515	0,496	0,559	0,506	0,577
$Z_{CPE(1)}$	(μF)	358	545	249	196	121	155	67,7
	Giá trị	0,55	0,58	0,52	0,49	0,66	0,69	0,58
	số mũ	0,55	0,58	0,52	0,49	0,66	0,69	0,58
$Z_{CPE(2)}$	(μF)	80,8	258	54,1	49,6	16,8	18,9	15,3
	Giá trị	0,67	0,84	0,60	0,59	0,76	0,79	0,73
	số mũ	0,67	0,84	0,60	0,59	0,76	0,79	0,73
$R_1(\Omega)$	1,72	0,695	6,72	12,4	78,3	31,8	100	181
$R_2(\Omega)$	4,30	1,27	32,7	52,5	1660	1477	1686	2579

Ví dụ như sau 24 giờ, điện trở R_1 của mẫu hợp kim Pb-Sb-Ag là 31,8 Ω , cao hơn 45 lần so với mẫu Pb (0,695 Ω). Đặc biệt, điện trở R_2 của mẫu hợp kim Pb-Sb-Ag (1477 Ω) cao hơn khoảng 1150 lần so với mẫu Pb (1,27 Ω). Điều này cho thấy, Sb và Ag ảnh hưởng tới quá trình chuyển điện tích của lớp bề mặt điện cực cũng như trong lỗ xốp, qua đó ức chế quá trình ăn mòn của nền Pb. Giá trị CPE giảm cho thấy, có sự hình thành một lớp thụ động trên bề mặt kim loại Pb làm tăng chiều dày lớp điện tích kép. Sự giảm giá trị CPE cũng có thể có nguyên nhân từ sự hấp phụ diễn ra trên bề mặt, làm tăng diện tích che phủ trên bề mặt kim loại Pb và giảm các trung tâm hoạt động, do đó quá trình ăn mòn được ức chế. Kết quả này phù hợp với giá trị i_{corr} của các mẫu được khảo sát bằng phương pháp quét thế tuyến tính ở phần trên.

4. Kết luận

Mẫu hợp kim Pb-Sb-Ag cho thấy, khả năng chống ăn mòn tốt hơn so với mẫu Pb khi được sử dụng làm sườn cực trong ắc quy chì-axit. Mật độ dòng ăn mòn đối với mẫu hợp kim Pb-Sb-Ag (6,0; 7,44; 2,23 và 0,77 $\mu A/cm^2$) tương ứng trong các giờ ngâm mẫu (0, 24, 72 và 168 giờ) đều thấp hơn so với mẫu chì tinh khiết (154,95; 322,06; 274,01 và

58,3 $\mu A/cm^2$), đạt chuẩn ISO 17475:2005 (mật độ dòng i_{corr} theo chuẩn là 15 $\mu A/cm^2$). Kết quả phổ tổng trở Nyquist cho thấy, các giá trị điện trở của mẫu Pb-Sb-Ag đều lớn hơn so với mẫu Pb nên có khả năng ức chế ăn mòn tốt hơn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh trong khuôn khổ đề tài mã số T2021-32. Các tác giả xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia TP Hồ Chí Minh và Chi nhánh Công ty Cổ phần Pin ắc quy miền Nam - Xí nghiệp Ắc quy Đồng Nai 2.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Lach, K. Wróbel, J. Wróbel, et al. (2019), "Applications of carbon in lead-acid batteries: A review", *Journal of Solid State Electrochemistry*, **23**(3), pp.693-705, DOI: 10.1007/s10008-018-04174-5.
- [2] A.H. Seikh, S.M.A.K. Mohammed, M. Baig, et al. (2018), "Microstructure characterization and corrosion resistance properties of Pb-Sb alloys for lead-acid battery spine produced by different casting methods", *PLOS ONE*, **13**(4), DOI: 10.1371/journal.pone.0195224.
- [3] Y. Baofeng, X. Cai, E. Li, et al. (2019), "Effect of lanthanum, cerium and other elements on the electrochemical corrosion properties of Pb-Ca-Sn-Al alloy in lead-acid batteries", *Journal of Power Sources*, **25**, DOI: 10.1016/j.est.2019.100908.
- [4] D.A. Pavlov (2017), *Handbook of Lead-Acid Battery Technology and Its Influence on The Product*, Atlantic Publication, 720pp.
- [5] L.C. Peixoto, W.R. Osório, A. Garcia (2009), "Microstructure and electrochemical corrosion behavior of a Pb-1 wt% Sn alloy for lead-acid battery components", *Journal of Power Sources*, **192**(2), pp.724-729, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2009.02.081.
- [6] K. Wiesener, J. Garche, W. Schneider (1981), *Elektrochemische Stromquellen*, Akademie Verlag, DOI: 10.1002/zfch.19820220426.
- [7] W.R. Osório, D.M. Rosa, A. Garcia (2008a), "The roles of cellular and dendritic microstructural morphologies on the corrosion resistance of Pb-Sb alloys for lead-acid battery grids", *Journal of Power Sources*, **175**(1), pp.595-603, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2007.08.091.
- [8] W.R. Osório, C.S.C. Aoki, A. Garcia (2008b), "Hot corrosion resistance of a Pb-Sb alloy for lead-acid battery grids", *Journal of Power Sources*, **185**(2), pp.1471-1477, DOI: 10.1016/j.jpowsour.2008.08.040.

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

Nguyễn Ngọc Thịnh^{1*}, Nguyễn Văn Anh², Nguyễn Huy Hoàng³

¹Trường Hóa và Khoa học Sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội, 1 Đại Cồ Việt, phường Bách Khoa, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Thủ đô Hà Nội, 98 Dương Quang Hàm, phường Quan Hoa, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

³Viện Công nghệ Thông tin, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 27/3/2023; ngày chuyển phản biện 29/3/2023; ngày nhận phản biện 10/12/2023; ngày chấp nhận đăng 2/7/2024

Tóm tắt:

Ngày nay, thuốc nhuộm hữu cơ được sử dụng nhiều trong các ngành công nghiệp như: dệt nhuộm, mỹ phẩm, giấy, cao su... Tuy nhiên, sự phát triển nhanh của các ngành công nghiệp này đã làm tăng đáng kể lượng chất thải chứa thuốc nhuộm hữu cơ thải ra môi trường, do vậy cần có biện pháp xử lý hiệu quả. Trong bài báo này, vật liệu nanocomposite ZnO/chitosan (ZnO/CS) đã được tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa. Sau khi được tổng hợp thành công, vật liệu nanocomposite ZnO/CS được phân tích đặc trưng bằng các phương pháp phổ nhiễu xạ tia X, kính hiển vi điện tử quét và hiển vi điện tử truyền qua. Kết quả cho thấy, kích thước trung bình của tinh thể nano ZnO khoảng 29,6 nm. Vật liệu nanocomposite ZnO/CS có dạng hạt hình cầu và hình lục giác có kích thước trong khoảng 20-40 nm. Vật liệu tổng hợp đã được sử dụng để loại bỏ chất màu methyl da cam khỏi dung dịch nước. Kết quả cho thấy, thời gian hấp phụ đạt tới cân bằng sau 20-30 phút, kết quả hấp phụ phù hợp với mô hình đẳng nhiệt Freundlich, chứng tỏ quá trình hấp phụ là đa lớp. Vật liệu được chứng minh có khả năng hấp phụ tốt chất màu methyl da cam với dung lượng hấp phụ cực đại đạt 33,90 mg/g, chứng tỏ vật liệu hoàn toàn có khả năng phát triển thêm để tiến tới ứng dụng làm chất hấp phụ chất màu hữu cơ.

Từ khóa: hấp phụ, methyl da cam, nanocomposite, ZnO/chitosan.

Chỉ số phân loại: 1.4, 2.5, 2.9

Study on methyl orange adsorption capacity in water-based solutions using nano ZnO/chitosan composite

Ngoc Thinh Nguyen^{1*}, Van Anh Nguyen², Huy Hoang Nguyen³

¹School of Chemistry and Life Science, Hanoi University of Science and Technology, 1 Dai Co Viet Street, Bach Khoa Ward, Hai Ba Trung District, Hanoi, Vietnam

²Faculty of Technology and Environment, Hanoi Metropolitan University, 98 Duong Quang Ham Street, Quan Hoa Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

³Institute of Information Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

Received 27 March 2023; revised 10 December 2023; accepted 2 July 2024

Abstract:

Nowadays, organic dyes are widely used in numerous industrial fields such as textile dyeing, cosmetics, paper, rubber, etc. However, the rapid development of these industries has significantly increased the amount of waste containing organic dyes released into the environment, thus, they need to be effectively treated. In this article, ZnO/chitosan nanocomposites (ZnO/CS) were synthesised by the co-precipitation method. After being successfully synthesised, ZnO/CS nanocomposite materials were characterised by X-ray diffraction spectroscopy, scanning electron microscopy and transmission electron microscopy. The results indicate that the average size of ZnO nanocrystals is about 29.6 nm. ZnO/CS nanocomposite materials have spherical and hexagonal particles ranging in size from 20 to 40 nm. The synthesised material was used to remove methyl orange from water-based solutions. The results demonstrate that the equilibrium adsorption time is reached after about 20-30 minutes, the adsorption results are more appropriately described by the Freundlich isotherm model, proving that the adsorption process is multilayer. The material is proven to have a good adsorption capacity of methyl orange with a maximum adsorption capacity of 33.90 mg/g, showing that the material is fully capable of further development to be applied as an adsorbent for organic dyes.

Keywords: adsorption, methyl orange, nanocomposite, ZnO/chitosan.

Classification numbers: 1.4, 2.5, 2.9

*Tác giả liên hệ: Email: thinh.nguyennhoc@hust.edu.vn

1. Giới thiệu

Ngày nay, thuốc nhuộm hữu cơ được sử dụng nhiều trong các ngành công nghiệp như: dệt nhuộm, mỹ phẩm, giấy, cao su... Tuy nhiên, sự phát triển nhanh của các ngành công nghiệp đó đã làm cho lượng chất thải chứa thuốc nhuộm hữu cơ thải ra môi trường gia tăng đáng kể. Ước tính, khoảng 10-15% lượng thuốc nhuộm sử dụng trong quá trình sản xuất không được hấp thụ hoàn toàn vào sản phẩm cuối cùng mà bị thải trực tiếp ra nguồn nước. Điều này dẫn đến nước thải công nghiệp thường chứa một lượng lớn chất nhuộm làm tăng nhu cầu oxy hóa học (COD), nhu cầu oxy sinh học (BOD), giảm độ xuyên ánh sáng và tầm nhìn [1-3]. Các hợp chất này khi xâm nhập vào nguồn nước có thể gây ô nhiễm nghiêm trọng, ảnh hưởng đến chất lượng nước và làm giảm đa dạng sinh học của hệ sinh thái thủy sinh. Bên cạnh đó, một số thuốc nhuộm hữu cơ có khả năng sinh ra các chất độc hại trong điều kiện nhất định, gây ra các bệnh lý nguy hiểm [1-4]. Trong số các thuốc nhuộm hữu cơ, methyl da cam được chú ý nhiều do tính độc hại cao. Đây là một loại thuốc nhuộm azo với đặc tính ổn định và khó phân hủy, thường được sử dụng trong các ứng dụng công nghiệp và phòng thí nghiệm [4]. Theo báo cáo của E. Forgacs và cs (2004) [5], methyl da cam không chỉ ảnh hưởng đến sức khỏe con người mà còn có thể gây ra ảnh hưởng nghiêm trọng cho môi trường. Khi đi vào cơ thể, methyl da cam có thể gây tổn thương hoặc rối loạn chức năng các cơ quan như gan, thận... Ngoài ra, hợp chất này cũng được ghi nhận là làm giảm khả năng sinh sản và và tăng tỷ lệ tử vong ở các loài thủy sinh, từ đó phá vỡ cân bằng sinh thái [1, 5]. Đặc biệt, khi methyl da cam bị phân hủy không hoàn toàn, nó có thể tạo ra các sản phẩm phân hủy như amin thơm - một nhóm hợp chất có khả năng gây đột biến và là tác nhân gây nhiều ảnh hưởng không tốt tới sức khỏe đã được chứng minh [6]. Do đó, cần có các biện pháp loại bỏ hoặc giảm thiểu tối đa lượng thuốc nhuộm methyl da cam, cũng như thuốc nhuộm hữu cơ trong nước thải trước khi xả chúng ra môi trường.

Để xử lý thuốc nhuộm hữu cơ, các nhà nghiên cứu đã sử dụng một số các phương pháp sinh học, hóa học và vật lý, ví dụ như: xử lý hiếu khí hoặc kỵ khí, đông tụ, keo tụ, oxy hóa hóa học, phân hủy xúc tác quang, phân hủy điện hóa học, phương pháp lọc màng và hấp phụ... [1, 4, 5]. Trong số những phương pháp trên, hấp phụ là một trong những phương pháp phổ biến để loại bỏ thuốc nhuộm vì dễ thực hiện và hiệu quả cao [2-5]. Trong thời gian gần đây, vật liệu có kích thước nano (1-100 nm) thường được lựa chọn nghiên cứu làm chất hấp phụ nhờ có nhiều ưu điểm vượt trội hơn so với các vật liệu hấp phụ truyền thống do có diện

tích bề mặt riêng rất lớn. K.O. Iwuzor và cs (2021) [7] đã thống kê được khoảng 240 nghiên cứu đã xuất bản về khả năng xử lý loại bỏ thuốc nhuộm methyl da cam trong môi trường nước và nhấn mạnh rằng, các hạt nano và chất hấp phụ tổng hợp dựa trên polyme (sinh học) là những vật liệu được nghiên cứu thường xuyên sử dụng cho mục đích này [1, 7]. Trong số đó, chitosan (CS), một loại polyme sinh học tự nhiên có nguồn gốc từ chitin, không độc hại, có thể phân hủy sinh học, được coi là một trong những chất hấp phụ phù hợp nhất và linh hoạt nhất về mặt chức năng vì nó chứa các nhóm hydroxyl (-OH) và amin (-NH₂) [1]. Để tăng cường khả năng hấp phụ, tính chọn lọc cũng như độ bền cơ học của CS các nhà nghiên cứu thường kết hợp nó với các vật liệu bán dẫn kích thước nano như TiO₂, CdS, ZnO... để tạo thành các nanocomposite. Các nanocomposite vật liệu bán dẫn trên nền CS có ưu điểm nổi bật là giá rẻ, ít ảnh hưởng tới môi trường và cho hiệu suất xử lý cao [1, 8]. Trong bài báo này, vật liệu nanocomposite ZnO/CS đã được tổng hợp bằng phương pháp đồng kết tủa. Vật liệu tổng hợp đã được sử dụng để xử lý loại bỏ chất màu methyl da cam khỏi dung dịch nước.

2. Thí nghiệm và phương pháp nghiên cứu

2.1. Tổng hợp nanocomposite ZnO/CS

Nghiên cứu sử dụng các hóa chất tinh khiết dùng trong phân tích. Quy trình tổng hợp mẫu được tiến hành như đã công bố trước đây [8] với một số thay đổi, cụ thể: hòa tan hoàn toàn 12,75 g muối Zn(NO₃)₂.6H₂O vào 100 ml dung dịch CS (nồng độ 0,2%), khuấy đều hỗn hợp ở 80°C trong thời gian 30 phút bằng máy khuấy từ. Sau đó, dung dịch NaOH 0,1 M được thêm từ từ vào hỗn hợp cho tới khi pH của hỗn hợp đạt tới giá trị pH=10. Khuấy tiếp tục hỗn hợp phản ứng trong 120 phút tại cùng nhiệt độ nêu trên. Kết tủa tạo thành được tách bằng máy ly tâm Hettich Mikro 22R. Sau đó, kết tủa được làm sạch bằng cách rửa với nước cất cho đến pH trung tính. Sản phẩm thu được sấy qua đêm (khoảng 8 giờ) ở nhiệt độ 60°C. Vật liệu đã được làm khô sẽ được nghiền nhỏ với cối mã não.

2.2. Đặc trưng tính chất của vật liệu

Vật liệu nanocomposite ZnO/CS đã tổng hợp được đặc trưng bằng nhiều thiết bị phân tích hóa lý hiện đại như: thiết bị nhiễu xạ tia X (Bruker D8 - Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội), thiết bị hiển vi điện tử quét, thiết bị hiển vi điện tử truyền qua (JEOL JEM-1010 - Viện Vệ sinh Dịch tễ Trung ương). Nồng độ chất màu methyl da cam được đo bằng thiết bị quang phổ tử ngoại khả kiến (UV-Vis) (Agilent 8453) tại Trường Hóa và Khoa học Sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội.

2.3. Nghiên cứu khả năng hấp phụ chất màu methyl da cam của vật liệu nano ZnO/CS

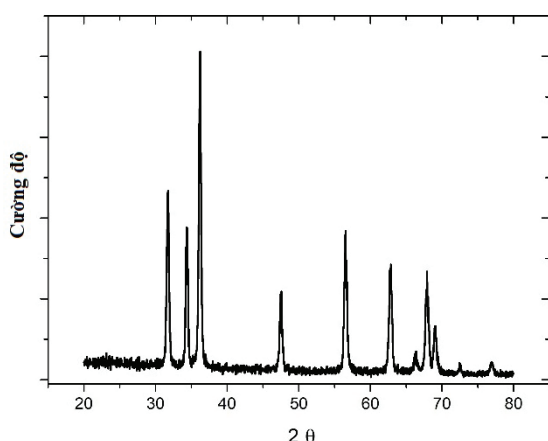
Quá trình hấp thụ methyl da cam lên vật liệu nanocomposite ZnO/CS được khảo sát theo quy trình sau: cân chính xác 0,05 g nanocomposite ZnO/CS, chuyển lượng chất hấp phụ đã cân vào bình phản ứng có chứa 50 ml dung dịch methyl da cam có các nồng độ khác nhau (5, 10, 20 và 30 mg/l). Hỗn hợp phản ứng được lắc liên tục bằng máy lắc ngang. Lượng mẫu 5 ml được lấy ra sau những khoảng thời gian khác nhau được ly tâm (6000 vòng/phút). Sau đó, nồng độ chất màu methyl da cam còn lại được xác định bằng phương pháp so màu trên máy UV-Vis tại bước sóng 464 nm. Sau khi đo nồng độ methyl da cam, dung dịch lấy ra được rót lại vào hỗn hợp phản ứng ban đầu [9]. Dưới đây là công thức được sử dụng để tính lượng methyl da cam hấp phụ tức thời lên vật liệu đã tổng hợp (q_t mg/l):

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{W} \quad (1)$$

trong đó: C_0 là nồng độ chất bị hấp phụ methyl da cam ở thời điểm ban đầu, C_t (mg/l) là nồng độ methyl da cam tại thời điểm t , V (l) là thể tích dung dịch methyl da cam và W (g) là khối lượng chất hấp phụ nanocomposite ZnO/CS.

3. Kết quả và bàn luận

Hình 1 trình bày giản đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu nano ZnO/CS. Có thể thấy, chỉ có một pha tinh thể duy nhất, các peak đều trùng với các peak tương ứng với ZnO tinh thể lục phương wurtzite theo thẻ dữ liệu chuẩn JCPDS (36-1451) [10]. Điều này chứng minh, sản phẩm chứa thành phần tinh thể ZnO tinh khiết và không còn pha tinh thể nào khác.



Hình 1. Phổ nhiễu xạ tia X của nano ZnO/CS.

Bảng 1 thể hiện các thông số của phổ nhiễu xạ tia X của vật liệu nano ZnO/CS sử dụng phần mềm X'Pert HighScore khi so sánh với phổ chuẩn của tinh thể ZnO, các vị trí peak đặc trưng và cường độ tương đối của các peak trong vật liệu đều khá tương đồng với phổ chuẩn. Kích thước nhỏ của tinh thể được chứng tỏ qua sự mở rộng của các peak thu được.

Bảng 1. So sánh các thông số của mẫu nano ZnO/CS và mẫu chuẩn.

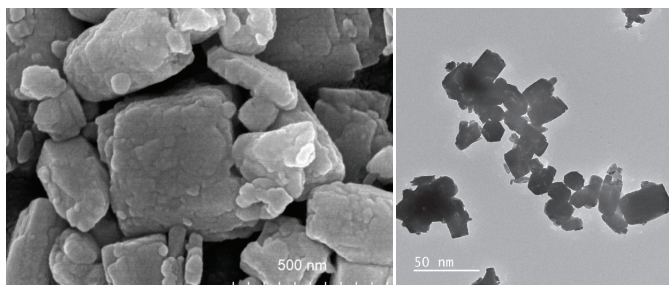
JCPDS (36-1451)		Nano ZnO/CS		
2 θ	%I	2 θ	%I	FWHM
31,76	57	31,75	56,01	0,2362
34,42	44	34,31	40,21	0,18
36,25	100	36,22	100	0,2952
47,53	23	47,58	24,57	0,2066
56,60	32	56,55	45,8	0,2362
62,86	29	62,82	32,1	0,4133
67,96	22	67,82	25,74	0,3542
69,09	16	69,02	14,47	0,1771

Công thức Scherer được dùng để tính kích thước tinh thể của vật liệu:

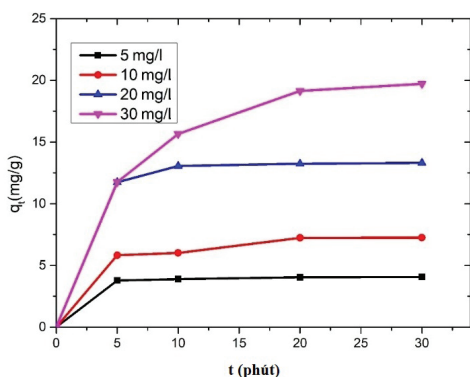
$$D = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta} \quad (2)$$

trong đó: D là kích thước tinh thể, $k=0,94$, bước sóng λ của tia X - 0,154 nm, độ rộng peak β tại vị trí nửa chiều cao (FWHM) [10]. Từ giản đồ nhiễu xạ tia X (hình 1) và các thông số trong bảng 1 có thể thấy, peak tại vị trí góc 2θ là $36,22^\circ$ là peak có cường độ lớn nhất (100%). Do đó, nhóm tác giả sử dụng peak này để tính kích thước của tinh thể nano ZnO. Theo đó, kích thước tinh thể tính theo công thức Scherer của vật liệu ZnO là 29,6 nm.

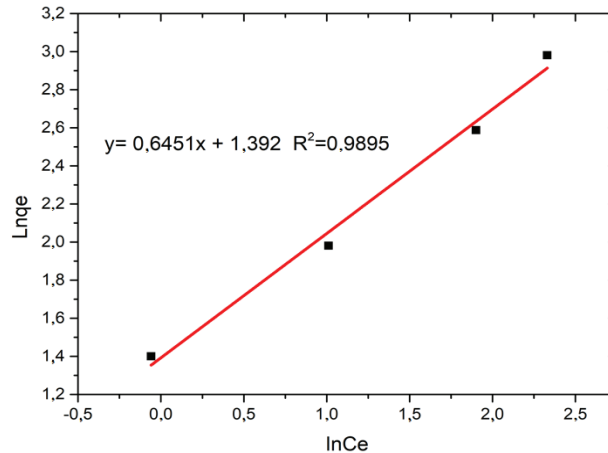
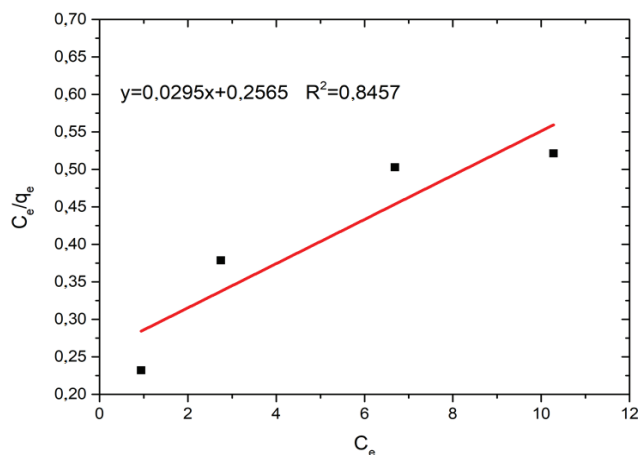
Kích thước cũng như hình thái hạt của vật liệu nano ZnO/CS, được xác định bằng phương pháp kính hiển vi điện tử quét (FESEM) và kính hiển vi điện tử truyền qua (TEM) (hình 2). Theo kết quả thu được, vật liệu nano ZnO/CS bao gồm các hạt hình cầu và các hạt hình lục giác có kích thước 20-40 nm. Trong một số nghiên cứu khác, khi sử dụng nguyên liệu đầu là muối $Zn(CH_3COO)_2$ thì sản phẩm nano ZnO thu được sẽ có dạng hình que là chủ yếu [11, 12]. Điều này có thể giúp kiểm soát hình dạng của vật liệu theo mong muốn, tùy theo các yêu cầu khác nhau. Tuy nhiên, cơ chế cụ thể chính xác thì cần các nghiên cứu sâu hơn.



Hình 2. Ảnh kính hiển vi điện tử quét (trái) và kính hiển vi điện tử truyền qua (phải) của mẫu vật liệu nanocomposite ZnO/CS.



Hình 3. Sự phụ thuộc của dung lượng hấp phụ methyl da cam lên vật liệu nanocomposite ZnO/CS vào thời gian.



Hình 4. Đường đẳng nhiệt Langmuir (trái) và Freundlich (phải) hấp phụ methyl da cam đối với vật liệu nanocomposite ZnO/CS.

Như đã biết, nồng độ ban đầu của methyl da cam (C_0) và thời gian hấp phụ có khả năng ảnh hưởng tới khả năng hấp phụ của vật liệu. Nhóm tác giả đã khảo sát ảnh hưởng này và biểu diễn kết quả thu được trong hình 3. Kết quả cho thấy, trong 5 phút đầu tiên, dung lượng hấp phụ tăng khá nhanh, sau đó giảm dần và đạt tới trạng thái cân bằng sau khoảng 20 phút. Ngoài ra, khi tăng C_0 thì dung lượng hấp phụ methyl da cam cũng tăng lên tương ứng (hình 3).

Hai mô hình đường đẳng nhiệt hấp phụ Langmuir (biểu diễn sự hấp phụ đơn lớp) và Freundlich (biểu diễn sự hấp phụ đa lớp) là các mô hình được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu về quá trình hấp phụ đẳng nhiệt. Do vậy, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã dùng 2 mô hình trên để kiểm chứng sự hấp phụ của methyl da cam lên vật liệu đã tổng hợp được. Dưới đây là những phương trình dạng tuyến tính tương ứng với hai mô hình hấp phụ Langmuir và Freundlich [7, 9]:

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{q_m \cdot K_L} \quad (3)$$

$$\ln q_e = \ln K_F + \frac{1}{n} \ln C_e \quad (4)$$

trong đó: q_e (mg/g) là dung lượng hấp phụ methyl da cam ở trạng thái cân bằng; q_m (mg/g) là dung lượng hấp phụ methyl da cam cực đại theo lý thuyết; C_e (mg/l) là nồng độ methyl da cam ở trạng thái cân bằng; K_L (l/mg) là hằng số Langmuir; K_F ((mg/g).(l/mg)^{1/n}) là hằng số Freundlich.

Hình 4 thể hiện đồ thị tuyến tính của đường hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir và Freundlich của methyl da cam lên vật liệu nano ZnO/CS. Từ những đường đồ thị này, những thông số của quá trình hấp phụ như q_m , K_L và K_F được tính toán và biểu diễn trong bảng 2. Từ kết quả thu được, có thể thấy, quá trình hấp phụ đẳng nhiệt methyl da cam tuân theo phương trình đẳng nhiệt hấp phụ Freundlich với hệ số tương quan R^2 là 0,9895, lớn hơn so với hệ số tương quan phương trình Langmuir ($R^2=0,8457$). Do đó, quá trình hấp phụ diễn ra theo cơ chế đa lớp.

Như vậy, theo tính toán của nhóm tác giả khi sử dụng mô hình Langmuir, dung lượng hấp phụ cực đại của methyl da cam trên nanocomposite ZnO/CS là 33,90 (mg/g). Nhóm tác giả đã tiến hành so sánh kết quả thu được với những kết quả nghiên cứu trên nhiều loại vật liệu của các bài báo tương tự, đã được xuất bản của các tác giả khác (bảng 3). Theo đó, dung lượng hấp phụ cực đại methyl da cam của vật liệu nanocomposite ZnO/CS thu được trong bài báo này tương đối tốt, chứng tỏ vật liệu nanocomposite ZnO/CS này có tiềm năng phát triển và ứng dụng trong xử lý ô nhiễm thuốc nhuộm hữu cơ.

Bảng 2. Các thông số mô hình hấp phụ đẳng nhiệt Langmuir và hấp phụ đẳng nhiệt Freundlich.

Hấp phụ Langmuir			Hấp phụ Freundlich		
q_m (mg/g)	K_L (l/mg)	R^2	K_F (mg/g).(l/mg) ^{1/n}	1/n	R^2
33,90	0,18434	0,8457	131,871	0,35186	0,9895

Bảng 3. So sánh khả năng xử lý methyl da cam với một số vật liệu hấp phụ khác.

Loại vật liệu	q_m (mg/g)	Tài liệu
CS-polyaniline-copper(II) oxide	9,22	[1]
CS schiff/ Fe_2O_3 nanocomposite	16,00	[1]
CS/diatomic	26,50	[13]
Fe_2O_3 /mesoporous carbon	35,12	[14]
LDH/ Fe_3O_4 /polyvinyl alcohol	19,59	[14]
CS sinh khối	29	[15]
Màng CS	8,41	[16]
Tro đáy	3,61	[17]
Đậu nành đã khử dầu	16,66	[17]
Gel CS	23,10	[18]
ZnO/CS nanocomposite	33,90	Nghiên cứu này

4. Kết luận

Trong bài báo này, vật liệu nano ZnO/CS đã được tổng hợp thành công bằng phương pháp đồng kết tủa. Vật liệu nano ZnO/CS sau khi tổng hợp được phân tích đặc trưng bằng các phương pháp phổ nhiễu xạ tia X, FESEM và TEM. Kết quả cho thấy, kích thước trung bình của tinh thể nano ZnO khoảng 29,6 nm. Kết quả hình ảnh SEM, TEM cho thấy, vật liệu nano ZnO/CS có dạng hạt hình cầu và lục giác với kích thước trong khoảng 20-40 nm. Vật liệu tổng hợp đã được sử dụng để xử lý loại bỏ chất màu methyl da cam khỏi dung dịch nước. Thời gian hấp phụ đạt cân bằng sau khoảng 20-30 phút và phù hợp với mô hình đẳng nhiệt Freundlich. Vật liệu được chứng minh có khả năng hấp phụ tốt chất màu methyl da cam với dung lượng hấp phụ cực đại là 33,90 mg/g, chứng tỏ vật liệu hoàn toàn có tiềm năng phát triển để ứng dụng làm chất hấp phụ chất màu hữu cơ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] G. Priyadarshi, N.P. Raval, M.H. Trivedi (2022), "Microwave-assisted synthesis of cross-linked CS-metal oxide nanocomposite for methyl orange dye removal from unary and complex effluent matrices", *International Journal of Biological Macromolecules*, **219**, pp.53-67, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.07.239.

[2] M. Behera, J. Nayak, S. Banerjee, et al. (2021), "A review on the treatment of textile industry waste effluents towards the development of efficient mitigation strategy: An integrated system design approach", *J. Environ. Chem. Eng.*, **9**(4), DOI: 10.1016/J.JECE.2021.105277.

[3] S. Madhav, A. Ahamad, P. Singh, et al. (2018), "A review of textile industry: Wet processing, environmental impacts, and effluent treatment methods", *Environ. Qual. Manag.*, **27**(3), pp.31-41, DOI: 10.1002/TQEM.21538.

[4] P. Zhao, R. Zhang, J. Wang (2017), "Adsorption of methyl orange from aqueous solution using CS/diatomite composite", *Water Sc. Technol.*, **75**(7-8), pp.1633-1642, DOI: 10.2166/wst.2017.034.

[5] E. Forgacs, T. Cserháti, G. Oros (2004), "Removal of synthetic dyes from wastewaters: A review", *Environment International*, **30**(7), pp.953-971, DOI: 10.1016/j.envint.2004.02.001.

[6] T. Robinson, G. McMullan, R. Marchant, et al. (2001), "Remediation of dyes in textile effluent: A critical review on current treatment technologies with a proposed alternative", *Bioresource Technology*, **77**(3), pp.247-255, DOI: 10.1016/S0960-8524(00)00080-8.

[7] K.O. Iwuozor, J.O. Ighalo, E.C. Emenike, et al. (2021), "Adsorption of methyl orange: A review on adsorbent performance", *Curr. Res. Green Sustain. Chem.*, **4**, DOI: 10.1016/j.crgsc.2021.100179.

[8] N.T. Nguyen, N.T. Nguyen, V.A. Nguyen (2020), "In situ synthesis and characterization of ZnO/CS nanocomposite as an adsorbent for the removal of Congo red from aqueous solution", *Advances in Polymer Technology*, DOI: 10.1155/2020/3892694.

[9] M. Blachnio, T.M. Budnyak, A.D. Marczevska, et al. (2018), "CS-silica hybrid composites for removal of sulfonated azo dyes from aqueous solutions", *Langmuir*, **34**(6), pp.2258-2273, DOI: 10.1021/acs.langmuir.7b04076.

[10] L.S. Vázquez, M. Cotto, C. Morant, et al. (2017), "Facile synthesis of ZnO nanoparticles and its photocatalytic activity in the degradation of 2-phenylbenzimidazole-5-sulfonic acid", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, **332**, pp.331-336, DOI: 10.1016/j.jphotochem.2016.09.010.

[11] N.N. Thanh, N.T. Tung, N.V. Anh, et al. (2022), "Removal of congo red dye from aqueous solution using nano ZnO/CS composite", *Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption*, **11**(4), pp.57-62, DOI: 10.51316/jca.2022.070 (in Vietnamese).

[12] C.C. Lin, Y.Y. Li (2009), "Synthesis of ZnO nanowires by thermal decomposition of zinc acetate dihydrate", *Materials Chemistry and Physics*, **113**(1), pp.334-337, DOI: 10.1016/j.matchemphys.2008.07.070.

[13] S. Chen, Y. Huang, X. Han, et al. (2018), "Simultaneous and efficient removal of Cr(VI) and methyl orange on LDHs decorated porous carbons", *Chemical Engineering Journal*, **352**, pp.306-315, DOI: 10.1016/j.cej.2018.07.012.

[14] Y. Xiao, J.M. Hill (2017), "Impact of pore size on Fenton oxidation of methyl orange adsorbed on magnetic carbon materials: Trade-off between capacity and regenerability", *Environ. Sci. Technol.*, **51**(8), pp.4567-4575, DOI: 10.1021/acs.est.7b00089.

[15] A.D. Khalaji, E.A.L. Maldonado (2024), "CS/polyvinyl acetate/manganese ferrite as a eco-friendly adsorbent for separation of methyl orange dye from aqueous solution", *Results in Chemistry*, **8**, DOI: 10.1016/j.rechem.2024.101612.

[16] A.S. Ismail, M.S.A. Darwish, E.A. Ismail (2017), "Synthesis and characterization of hydrophilic CS-polyvinyl acetate blends and their sorption performance in binary methanol-water mixture", *Egypt. J. Pet.*, **26**(1), pp.17-22, DOI: 10.1016/J.EJPE.2016.02.006.

[17] J. Kameliya, N.S. Leel, G.S. Mukeshchandra, et al. (2024), "Rapid removal of methyl orange from aqueous media by modified Mg-Al layered double hydroxides", *Journal of The Indian Chemical Society*, **101**(10), DOI: 10.1016/j.jics.2024.101355.

[18] D.T.M. Phuong, L.H. Viet, N.X. Loc (2023), "Adsorption capacity of methyl orange using CS hydrogel beads extracted from *Penaeus monodon* shrimp shell waste", *CTU Journal of Science*, **59**(2), pp.27-38, DOI: 10.22144/ctu.jvn.2023.061 (in Vietnamese).

Đa dạng và giá trị của thực vật ăn được ở rừng Tân Phú, tỉnh Đồng Nai

Nguyễn Văn Hợp^{1*}, Nguyễn Văn Quý², Kiều Mạnh Hương¹, Nguyễn Thị Lương¹

¹Trường Đại học Lâm nghiệp - Phân hiệu Đồng Nai, 98 Trần Phú, thị trấn Trảng Bom, huyện Trảng Bom, tỉnh Đồng Nai, Việt Nam

²Trung tâm Nghiên cứu Khoa học và Công nghệ Nhiệt đới Việt - Nga, chi nhánh phía Nam, số 1-3 đường 3/2, phường 11, quận 10, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 25/7/2023; ngày chuyển phản biện 27/7/2023; ngày nhận phản biện 14/8/2023; ngày chấp nhận đăng 21/8/2023

Tóm tắt:

Thực vật hoang dại ăn được là những thực phẩm “xanh - sạch”, mang lại nhiều lợi ích về sức khỏe cho người sử dụng và tạo sinh kế cho người dân địa phương. Nghiên cứu này nhằm xác định tính đa dạng thành phần loài và giá trị của thực vật hoang dại ăn được tại rừng Tân Phú, tỉnh Đồng Nai. Kết quả cho thấy, 278 loài thuộc 78 họ trong 5 ngành thực vật bậc cao có mạch đã được ghi nhận. Trong số các loài được tìm thấy, có 5 nhóm dạng sống, thân gỗ chiếm tỷ trọng lớn nhất. Có 8 nhóm giá trị sử dụng cũng được ghi nhận, nhóm thực vật dùng làm rau và quả chiếm tỷ lệ lớn (41,73-52,52%). 10 bộ phận của cây được sử dụng làm thực phẩm, lá, quả và ngọn chiếm tỷ lệ lớn nhất, hầu hết các loài cho 1 bộ phận sử dụng (66,19%). Có 14 phương pháp chế biến món ăn khác nhau, trong đó ăn sống và nấu canh là phổ biến nhất. Các loài có 1 hoặc 2 phương pháp chế biến chiếm ưu thế (38,13-44,24%). Bên cạnh đó, 80 loài cũng được xác định có giá trị bảo tồn ở trong nước và quốc tế.

Từ khóa: bảo tồn, giá trị sử dụng, Tân Phú, thành phần loài, thực vật hữu ích.

Chỉ số phân loại: 1.6, 2.8, 4.4

The diversity and value of wild edible plants in Tan Phu forest, Dong Nai province

Van Hop Nguyen^{1*}, Van Quy Nguyen², Manh Huong Kieu¹, Thi Luong Nguyen¹

¹Vietnam National University of Forestry - Dong Nai Campus, 98 Tran Phu Street, Trang Bom Town, Trang Bom District, Dong Nai Province, Vietnam

²Southern Branch of Joint Vietnam - Russia Tropical Science and Technology Research Center, 1-3 3/2 Street, Ward 11, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 25 July 2023; revised 14 August 2023; accepted 21 August 2023

Abstract:

Wild edible plants are essential “green-clean” foods which bring many health benefits to users and create livelihoods for local people. This study aims to determine the diversity of species composition and value of wild edible plants in Tan Phu Forest, Dong Nai province. The results showed that 278 species of 78 families belonging to 5 phyla of vascular plants were recorded. Five groups of life forms were found among the species, with woody plants comprising the largest proportion. Eight use-values were also recorded: the group for vegetables and fruits accounts for a large proportion (41.73-52.52%). Ten parts of the plant were used for food; leaves, fruits, and tops account for the most significant proportion, and most species have only 1 part used (66.19%). Fourteen processing methods to create different dishes, eating raw and cooking soup, were the 2 most common methods, with 1 and 2 predominating (38.13-44.24%). Besides, 80 plant species were also identified with domestic and global conservation value.

Keywords: conservation, species composition, Tan Phu, useful plants, use value.

Classification numbers: 1.6, 2.8, 4.4

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

1. Đặt vấn đề

Thực vật hoang dại ăn được trong tự nhiên là nguồn thực phẩm trong bữa ăn hằng ngày của các cộng đồng bản địa [1], cung cấp và bổ sung các chất dinh dưỡng, vitamin cần thiết cho cơ thể [2, 3]. Bên cạnh đó, chúng là những thực phẩm “xanh - sạch” hầu như không ảnh hưởng xấu đến sức khỏe người tiêu dùng do không sử dụng phân bón và thuốc bảo vệ thực vật [3-5]. Ngoài ra, thực vật ăn được còn tạo sinh kế cho người dân địa phương, góp phần nâng cao đời sống, đồng thời tạo sự ổn định về an ninh lương thực và trật tự xã hội. Điều này cho thấy vai trò và tiềm năng lớn của thực vật ăn được đối với con người [5]. Tuy nhiên, hiện nay còn nhiều hệ sinh thái trên thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng vẫn chưa được khám phá đầy đủ, toàn diện về tính đa dạng và lợi ích của thực vật ăn được, bao gồm rừng Tân Phú, tỉnh Đồng Nai. Do đó, những nghiên cứu tiếp theo về thực vật ăn được ở những điều kiện sinh thái khác nhau là cần thiết.

Nghiên cứu này được thực hiện tại rừng Tân Phú, thuộc địa phận huyện Định Quán, tỉnh Đồng Nai. Ban quản lý rừng phòng hộ Tân Phú (rừng Tân Phú), tỉnh Đồng Nai, tiền thân là Lâm trường Tân Phú được thành lập theo Quyết định số 603/UBND/2007 [6] của Ủy ban nhân dân tỉnh Đồng Nai, với tổng diện tích tự nhiên là 13.943,20 ha. Nơi đây là một trong những khu vực phong phú về tài nguyên thực vật [7] nói chung của vùng Đông Nam Bộ, với nhiều loài thực vật có giá trị bảo tồn cao như Trắc (*Dalbergia cochinchinensis* Pierre), Cẩm lai (*Dalbergia oliveri* Gamble ex Prain), Gõ đỏ (*Azelia xylocarpa* (Kurz) Craib)... Bên cạnh đó, các sản phẩm lâm sản ngoài gỗ cũng rất đa dạng, đặc biệt là thực vật hoang dại ăn được (thực vật ăn được) cung cấp gia vị, hoa, quả, rau, tinh bột và nhiều sản phẩm hữu ích khác cho người dân địa phương. Tuy nhiên, cho tới thời điểm hiện tại, chưa có nghiên cứu nào đề cập chi tiết đến vấn đề này. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định tính đa dạng về phân loại và tiềm năng về giá trị sử dụng của thực vật ăn được ở khu vực nghiên cứu. Trên cơ sở đó giúp cơ quan quản lý đề xuất chiến lược quản lý, bảo tồn và phát triển bền vững nguồn tài nguyên giá trị này.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Kế thừa

Nghiên cứu này kế thừa chọn lọc các bài báo trong nước và quốc tế liên quan đến thực vật ăn được, kinh nghiệm thực tiễn của cán bộ quản lý rừng, đặc biệt là người dân địa phương.

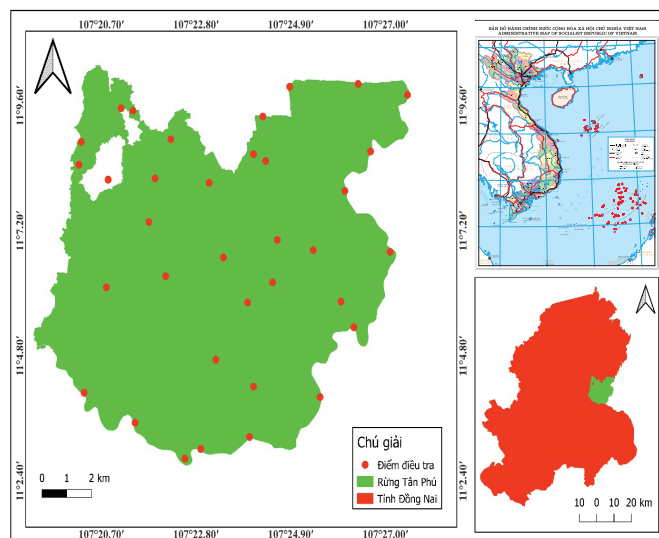
2.2. Phỏng vấn

Tổng cộng 45 phiếu phỏng vấn bán định hướng được sử dụng để thu thập thông tin. Trong đó, 12 phiếu câu hỏi dành cho cán bộ bảo vệ rừng và 33 phiếu câu hỏi dành cho người dân địa phương [8]. Các thông tin về tên loài, công dụng, bộ

phận sử dụng, phương pháp chế biến và sử dụng được thu thập dựa trên bộ câu hỏi được chuẩn bị trước.

2.3. Điều tra theo tuyến

Nghiên cứu này đã thiết kế 35 điểm nghiên cứu trên toàn khu vực (hình 1). Trên mỗi điểm nghiên cứu thiết lập 2 tuyến để thu thập dữ liệu. Các tuyến được thiết lập đi qua các kiểu rừng, địa hình đặc trưng ở mỗi điểm nghiên cứu. Dữ liệu thu thập theo tuyến được thực hiện theo “Các phương pháp nghiên cứu thực vật” [9]. Mỗi tuyến có chiều dài 1-3 km, rộng 5 m.



Hình 1. Bản đồ khu vực nghiên cứu.

2.4. Phân tích dữ liệu

Trong nghiên cứu này, phương pháp so sánh hình thái đã được sử dụng để định danh tên loài cây, dựa trên những tài liệu Cây cỏ Việt Nam [10], Tài nguyên gỗ Việt Nam [11]. Tên phổ thông, dạng sống được xác định theo Cây cỏ Việt Nam [10]. Giá trị sử dụng được xác định theo Cây cỏ Việt Nam [10], Useful Tropical Plants [12], kết quả phỏng vấn và các tài liệu có liên quan. Tên khoa học được hiệu chỉnh theo Plants of The World Online [13], The World Flora Online [14]. Phân loại thực vật theo Nhóm Phát sinh chủng loài Thực vật hạt kín (APG) IV [15]. Phân loại tính chất sử dụng của thực vật ăn được căn cứ kết quả điều tra, phỏng vấn, kế thừa tài liệu. Giá trị bảo tồn được xác định dựa trên Sách đỏ Việt Nam [16], Nghị định 84/2021 [17], Danh lục đỏ IUCN [18].

3. Kết quả

3.1. Đa dạng thành phần loài thực vật ăn được

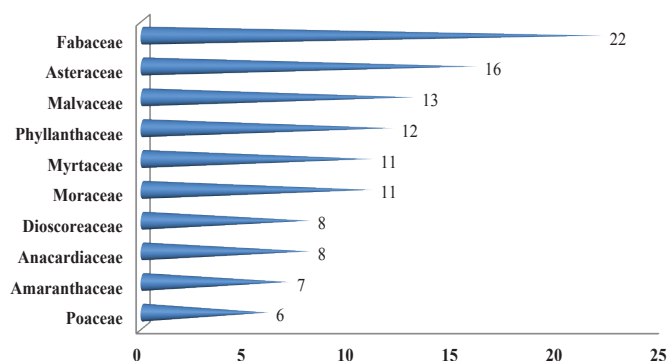
Đa dạng thành phần loài bậc ngành và dưới ngành: Thông qua phỏng vấn và điều tra hiện trường đã thống kê được các loài thực vật ăn được ở rừng Tân Phú, Đồng Nai. Kết quả được tóm tắt ở bảng 1.

Bảng 1. Phân bố thực vật ăn được ở các bậc taxon.

TT	Ngành		Họ		Chi		Loài	
			Số lượng	Tỷ lệ (%)	Số lượng	Tỷ lệ (%)	Số lượng	Tỷ lệ (%)
1	Thông đất	Lycopodiophyta	1	1,28	1	0,53	1	0,36
2	Dương xỉ	Polypodiophyta	4	5,13	6	3,17	6	2,16
3	Hạt trần	Gymnospermatophyta	1	1,28	1	0,53	1	0,36
4	Dây gắm	Gnetophyta	1	1,28	1	0,53	3	1,08
5	Hạt kín	Angiospermatophyta	71	91,03	180	95,24	267	96,04
5.1	Hai lá mầm	Dicotyledoneae	56	71,79	150	79,37	225	80,94
5.2	Một lá mầm	Monocotyledoneae	15	19,23	30	15,87	42	15,11
Tổng (1+2+3+4+5)			78	100	189	100	278	100

Nghiên cứu này đã khám phá được 278 loài thực vật ăn được của 189 chi, 78 họ thuộc 5 ngành thực vật có mạch đã được xác định. Bảng 1 chỉ ra rằng, các ngành Thông đất (Lycopodiophyta), Dương xỉ (Polypodiophyta), Hạt trần (Gymnospermatophyta) và Dây gắm (Gnetophyta) chiếm tỷ trọng rất nhỏ so với tổng số các taxon được ghi nhận (từ 0,36% đến 5,13% ở các bậc taxon). Trong khi đó, phần lớn các loài thực vật ăn được được tìm thấy ở rừng Tân Phú thuộc ngành Hạt kín (Angiospermatophyta), chiếm trên 91% ở tất cả các bậc taxon (91,03% số họ, 95,24% số chi và 96,04% số loài). Trong ngành Hạt kín (Angiospermatophyta), lớp hai lá mầm (Dicotyledoneae) chiếm ưu thế (chiếm tỷ trọng trên 71% ở các bậc taxon) so với lớp một lá mầm (Monocotyledoneae).

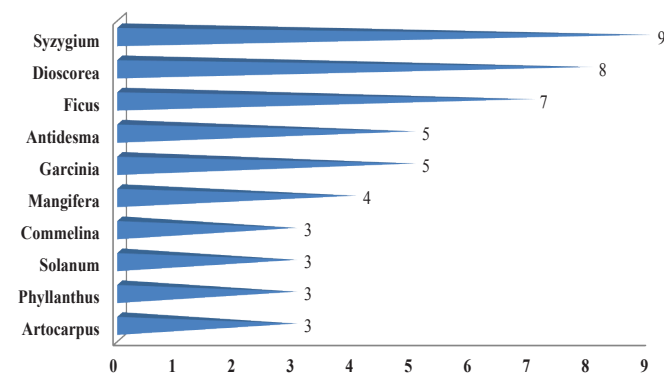
Đa dạng bậc họ và chi: Nghiên cứu đã liệt kê được 10 họ thực vật giàu có về loài với tổng số 114 loài chiếm 41,01%. Trong đó, họ Đậu (Fabaceae) đa dạng nhất với 22 loài (7,91%), tiếp đến là Cúc (Asteraceae) 16 loài (5,76%), Bông (Malvaceae) 13 loài (4,68%), họ Diệp hạ Châu (Phyllanthaceae) 12 loài (4,32%), họ Sim (Myrtaceae) và họ Dâu tằm (Moraceae) có cùng 11 loài (cùng có 3,96%),



Hình 2. Thống kê 10 họ đa dạng nhất.

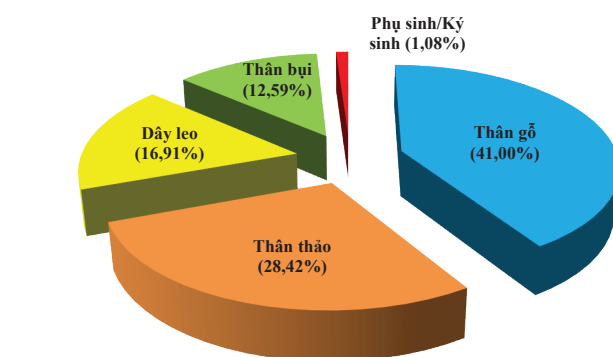
họ Củ nâu (Dioscoreaceae) và họ Xoài (Anacardiaceae) có cùng 8 loài (2,88%), Rau dền (Amaranthaceae) 7 loài (2,52%) và Cỏ (Poaceae) 6 loài (2,16) (hình 2). Ngoài ra, có 5 họ với 5 loài (1,80%), 6 họ với 4 loài (1,44%), 8 họ với 3 loài (1,08%), 12 họ với 2 loài (0,72%) và 31 họ đơn loài (0,36%) cũng đã được xác định.

10 chi có số loài phong phú nhất với tổng cộng 50 loài (17,99%) đã được thống kê. Chi Sim (*Syzygium*) đa dạng nhất với 9 loài (3,24%), tiếp đến Củ nâu (*Dioscorea*) 8 loài (2,88%), Sung (Đa) (*Ficus*) 7 loài (2,52%), Chòi mòi (*Antidesma*) và Bứa (*Garcinia*) có cùng 5 loài (1,80%), Xoài (*Mangifera*) 4 loài (1,44%), 4 chi gồm Thài lài (*Commelina*), Cà (*Solanum*) và Diệp hạ châu (*Phyllanthus*) và Mít (*Artocarpus*) có cùng 3 loài (1,08%) (hình 3). Mặt khác, 11 họ có cùng 3 loài (1,08%), 26 họ có 2 loài (0,72%) và 142 chi đơn loài cũng đã được ghi nhận.



Hình 3. Thống kê 10 chi đa dạng nhất.

Đa dạng về dạng sống: Có 5 dạng sống của thực vật ăn được đã được xác định bao gồm thân gỗ, thân thảo, dây leo, thân bụi và phụ sinh - ký sinh. Trong đó, thân gỗ có số loài nhiều nhất (114 loài, 41,00%), tiếp đến là thân thảo (79 loài, 28,42%), dây leo (47 loài, 16,91%), thân bụi (35 loài, 12,59%) và thấp nhất là phụ sinh - ký sinh (3 loài, 1,08%) (hình 4).



Hình 4. Năm dạng sống của thực vật ăn được ở rừng Tân Phú.

3.2. Đa dạng giá trị của thực vật ăn được

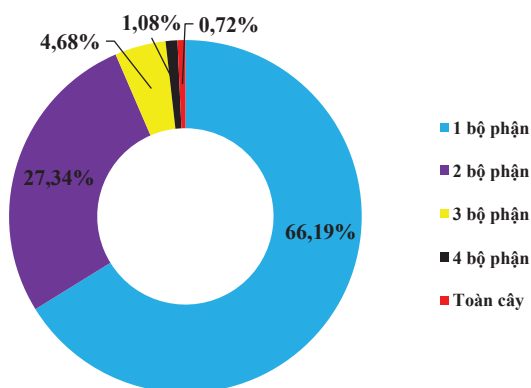
Đa dạng mục đích sử dụng: Căn cứ kết quả điều tra hiện trường, 8 nhóm giá trị đã được sử dụng làm thực phẩm là rau, quả, gia vị, tinh bột, đồ uống, men rượu, hạt và làm bánh. Số lượng loài cho rau và quả chiếm đa số so với các nhóm còn lại (tương ứng là 146 lượt loài, chiếm 52,52% và 116 lượt loài chiếm 41,73%). Nhóm cho gia vị và tinh bột có cùng 27 lượt loài (9,71%), các nhóm còn lại có số lượt loài ít (từ 6-17 lượt loài, tương ứng 2,16-6,12%) (bảng 2).

Bảng 2. Đa dạng giá trị sử dụng của thực vật ăn được.

TT	Phân loại	Số lượt loài	Tỷ lệ (%)
1	Bánh (Cak)	6	2,16
2	Hạt (See)	9	3,24
3	Men rượu (Alc)	15	5,40
4	Đồ uống (Bev)	17	6,12
5	Tinh bột (Sta)	27	9,71
6	Gia vị (Spi)	27	9,71
7	Quả (Fru)	116	41,73
8	Rau (Veg)	146	52,52
Tổng		363*	130,58*

*: Tổng số lượt loài lớn hơn số loài được ghi nhận và tỷ lệ % lớn hơn 100% là do một loài có thể cho một hoặc nhiều giá trị sử dụng khác nhau.

Hầu hết các loài thực vật ăn được cho một giá trị sử dụng, với tổng số 200 loài (71,94%). Nhóm này bao gồm các loài làm rau và cho quả. Số loài cho 2 nhóm giá trị sử dụng là 67 loài (24,10%), gồm những loài cho quả và hạt, rau và gia vị. Ít nhất là nhóm cho 3 giá trị sử dụng với 11 loài (3,96%) (hình 5).



Hình 5. Thống kê số lượng loài theo bộ phận sử dụng.

Đa dạng bộ phận sử dụng: 10 bộ phận của thực vật ăn được có giá trị sử dụng gồm vỏ, rễ, thân rễ, thân, củ, hạt, hoa, ngọn, quả và lá. Trong đó, lá có số lượt loài nhiều nhất (137 lượt loài, chiếm 49,28%), tiếp đến là quả (124 lượt loài, 44,60%), ngọn (54 lượt loài, 19,42%), hoa và hạt (cùng có 16 lượt loài, 5,76%), củ (10 loài, 3,60%), thân và thân rễ (có cùng 7 loài, 2,52%), rễ (4 loài, 1,44%), thấp nhất là vỏ (1 loài, 0,36%) (bảng 3).

Bảng 3. Đa dạng bộ phận sử dụng của thực vật ăn được.

TT	Bộ phận sử dụng	Số lượt loài	Tỷ lệ (%)
1	Vỏ (Bar)	1	0,36
2	Rễ (Roo)	4	1,44
3	Thân rễ (Rhi)	7	2,52
4	Thân (Ste)	7	2,52
5	Củ (Tub)	10	3,60
6	Hạt (See)	16	5,76
7	Hoa (Flo)	16	5,76
8	Ngọn (Sho)	54	19,42
9	Quả (Fru)	124	44,60
10	Lá (Lea)	137	49,28
	Tổng	376*	135,25*

*: Tổng số lượt loài lớn hơn số loài được ghi nhận và tỷ lệ % lớn hơn 100% là do một loài có thể cho một hoặc nhiều bộ phận khác nhau.

Mỗi loài có thể cho một, hai hoặc nhiều bộ phận sử dụng khác nhau. Theo đó, 184 loài (66,19%) có một bộ phận được sử dụng làm thức ăn, tiếp đến 76 loài (27,34%) có 2 bộ phận, 13 loài (4,68%) có 3 bộ phận, 3 loài (1,08%) có 4 bộ phận và thấp nhất chỉ có 2 loài (0,72%) có thể sử dụng toàn cây làm thực phẩm (hình 5).

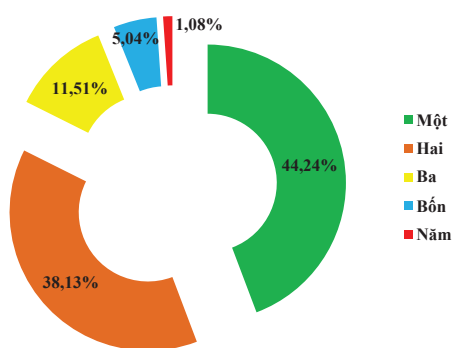
Đa dạng phương pháp chế biến: Có 14 cách chế biến thực vật ăn được làm thực phẩm đã được liệt kê. Chiếm đa số là ăn sống (153 lượt loài, 55,04%). Nhóm này bao gồm các loài cây cho quả, lá non, ngọn non để ăn sống. Nấu canh là cách chế biến có số lượt loài chiếm tỷ trọng đáng kể (125 lượt loài, 44,96%). Đây là cách chế biến phổ biến của người Việt Nam nói chung và người dân địa phương nói riêng, vì nó đơn giản và dễ áp dụng. Các loài cây cho lá non, ngọn non hầu hết đều sử dụng phương pháp này để chế biến thức ăn. Luộc cũng là cách chế biến phổ biến trong các gia đình người Việt, cách chế biến này đơn giản, không sử dụng thêm gia vị nên ít ảnh hưởng đến sức khỏe người dùng. Nhóm này có tổng số 45 lượt loài (16,19%). Mười một cách chế biến còn lại có số lượt loài rất thấp (từ 2 đến 17 lượt loài) và chiếm tỷ trọng không đáng kể (0,72-6,12%), bao gồm xào, muối dưa, nộm, rang, nướng, hầm, ngâm rượu... (bảng 4).

Bảng 4. Đa dạng phương pháp chế biến thực vật ăn được.

TT	Cách chế biến	Số lượt loài	Tỷ lệ (%)
1	Kho (Poa)	2	0,72
2	Ngâm rượu (Piw)	2	0,72
3	Hầm (Ste)	3	1,08
4	Hấp (Sta)	3	1,08
5	Nướng (Gri)	3	1,08
6	Lầu (Hop)	5	1,80
7	Rang (Roa)	6	2,16
8	Nộm (Sal)	10	3,60
9	Giã nhỏ (Cho)	10	3,60
10	Muối dưa (Pic)	17	6,12
11	Xào (Stf)	17	6,12
12	Luộc (Boi)	45	16,19
13	Nấu canh (Coo)	125	44,96
14	Ăn sống (Raw)	153	55,04
Tổng		401*	144,24*

*: Tổng số lượt loài lớn hơn số loài được ghi nhận và tỷ lệ % lớn hơn 100% là do một loài có thể có một hoặc nhiều cách chế biến khác nhau.

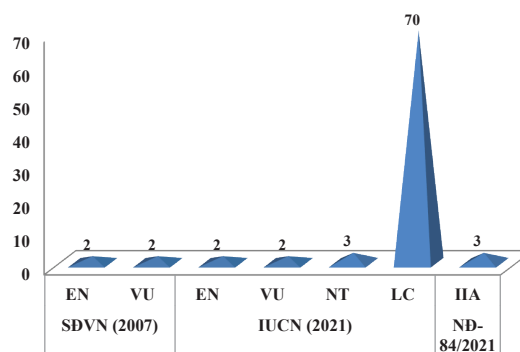
Trong số các phương pháp chế biến, 123 lượt loài (44,24%) có 1 cách chế biến, chủ yếu là ăn sống, luộc hoặc nấu canh. Tiếp đến 106 loài có 2 cách chế biến (38,13%), nhóm này bao gồm các loài cho ngon, lá làm rau để luộc và nấu canh. Số lượt loài có 4 cách chế biến là 14 loài (5,04%), thấp nhất là nhóm loài có 5 cách chế biến với 3 lượt loài (1,08%) (hình 6).



Hình 6. Thống kê số lượng loài theo cách chế biến.

Đa dạng giá trị bảo tồn: Trên cơ sở thành phần loài đã được ghi nhận tại khu vực nghiên cứu, đối chiếu với danh lục Sách đỏ Việt Nam (2007), Nghị định 84/2021 (NĐ 84/2021) của Chính Phủ và Danh lục Sách đỏ IUCN (2022). Tổng số 80 loài thực vật bị đe dọa đã được xác định (hình 7).

Trong đó, 4 loài được tìm thấy trong Sách đỏ Việt Nam (2007), 77 loài trong Danh lục Sách đỏ IUCN (2022) và 3 loài trong Nghị định 84/2021 của Chính phủ (2021).



Hình 7. Thống kê thực vật nguy cấp, quý, hiếm.

EN: nguy cấp, VU: sẽ nguy cấp, NT: sắp bị đe dọa, LC: ít lo ngại, SĐVN: Sách đỏ Việt Nam, IUCN: Danh lục Sách đỏ IUCN, NĐ 84/2021: Nghị định 84/2021 của Chính phủ.

Sách đỏ Việt Nam (2007): Có 4 loài, 2 loài phân hạng Nguy cấp (EN-Endangered) là Gõ đỏ (*Azelia xylocarpa* (Kurz) Craib.), Nân nghệ (*Dioscorea colletii* Hook.f.); và 2 loài phân hạng Sẽ nguy cấp (VU-Vulnerable) là Côm hạo nước (*Elaeocarpus hygrophilus* Kurz) và Thiết đình lá bẹ (*Markhamia stipulata* (Wall.) Seem.).

Danh lục Sách đỏ IUCN (2022): Đây là nhóm có số loài nhiều nhất (77 loài). Trong đó, hầu hết các loài được phân hạng Ít lo ngại (LC-Least concern). Xoài rừng (*Mangifera minutifolia* Evrard) và Gõ đỏ (*Azelia xylocarpa* (Kurz) Craib.) được phân hạng Nguy cấp (EN-Endangered). Khoai mài (*Dioscorea brevipedunculata* Prain & Burkill) và Thiên tuế (*Cycas siamensis* Miq.) phân hạng Sẽ nguy cấp (VU-Vulnerable). Ba loài phân hạng Sắp bị đe dọa (NT-Near threatened) là Xây (*Dialium cochinchinense* Pierre), Ba chia (*Aglaiia grandis* Korth. ex Miq.) và Trường mật (*Amesiodendron chinense* (Merr.) Hu).

Nghị định 84/2021: Ba loài được xác định thuộc nhóm IIA là Gõ mật (*Sindora siamensis* Teijsm. ex Miq.), Gõ đỏ (*Azelia xylocarpa* (Kurz) Craib.) và Thiên tuế (*Cycas siamensis* Miq.).

4. Kết luận

Rừng Tân Phú, tỉnh Đồng Nai có tính đa dạng cao về thành phần loài và tiềm năng sử dụng các loài thực vật ăn được. Tổng số 248 loài của 189 chi, thuộc 78 họ thực vật đã được ghi nhận. Hầu hết các loài phân bố trong ngành Hạt kín (Angiospermophyta). Mười họ và chi đa dạng nhất của thực vật ăn được cũng đã được liệt kê. Thực vật thân gỗ là dạng sống chiếm tỷ trọng lớn nhất (41,01%) so với thân thảo, thân bụi, dây leo và phụ sinh - ký sinh.

Thực vật ăn được có tiềm năng lớn về giá trị sử dụng và bảo tồn, với 8 nhóm giá trị sử dụng được ghi nhận, quả và rau có số lượng loài nhiều nhất (41,73-52,52%, hầu hết các

loài cho một giá trị sử dụng (71,94%). Lá là bộ phận được sử dụng nhiều nhất (49,28%), quả (44,60%), 8 nhóm còn lại chiếm tỷ lệ thấp (0,36-19,42%). Có 14 cách để chế biến các món ăn khác nhau đã được thống kê: ăn sống, nấu canh và luộc là phổ biến nhất, 12 cách còn lại chiếm tỷ trọng không đáng kể. Ngoài ra, 80 loài có giá trị bảo tồn đã được xác định có tên trong Sách đỏ Việt Nam (2007), Nghị định 84/2021 của Chính phủ và Danh lục Sách đỏ IUCN (2022).

Việc sử dụng các loài thực vật hoang dại ăn được “xanh - sạch” là xu hướng tất yếu trong bối cảnh các loại rau xanh hiện nay sử dụng thuốc bảo vệ thực vật, khó kiểm soát trước khi đưa ra thị trường tiêu thụ. Bảo tồn và phát triển các loài thực vật hoang dại ăn được đa giá trị - đa lợi ích, nhằm cung cấp một cách ổn định, đồng thời duy trì hiện trạng các hệ sinh thái rừng, đa dạng thực vật và kiến thức bản địa là một trong những thách thức lớn trong phát triển bền vững tài nguyên rừng. Do đó, trong thời gian tới nên nghiên cứu sâu hơn về thuần hóa các loài thực vật ăn được, đặc biệt là các loài cây đa tác dụng, nhằm đáp ứng nhu cầu tiêu dùng, góp phần làm giảm áp lực lên tài nguyên rừng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N.V. Hop (2018), “Plants composition used in traditional food by Cho Ro community in Dong Nai culture and nature reserve, Dong Nai province”, *Journal of Forestry Science and Technology*, **1**, pp.103-112 (in Vietnamese).
- [2] N.V. Hop, B.M. Hung, N.T. Ha, et al. (2020), “Composition of edible plant species used as food by the K’ho community: Case study in Nam Ban protection forest, Lam Dong province”, *Journal of Forestry Science and Technology*, **4**, pp.97-107 (in Vietnamese).
- [3] K.M. Huong, H.M. Duy, N.V. Quy, et al. (2023), “Indigenous knowledge on wild edible plants and cultivated (*Gnetum gnemon* var. *griffithii* (Parl.) Markgr.) of the S’Tieng ethnic in Bu Dang district, Binh Phuoc province”, *Journal of Forestry Science and Technology*, **12(6)**, pp.76-86, DOI: 10.55250/jo.vnuf.12.6.2023.076-086 (in Vietnamese).
- [4] N.T. Luong, N.V. Hop, N.V. Quy, et al. (2023), “Diversity of plant species for food coloring in Vietnam”, *Nusantara Bioscience*, **15(1)**, pp.95-105, DOI: 10.13057/nusbiosci/n150112.
- [5] K.M. Huong, N.V. Hop, N.V. Quy, et al. (2021), “Diversity and indigenous knowledge about the use of wild edible plants as food by the K’ho community in Bidoup - Nui Ba National Park, South Vietnam”, *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, **28(2)**, pp.213-223.
- [6] Dong Nai Provincial People’s Committee (2007), *Decision No. 603/QĐ-UBND Dated March 16, 2007, of Dong Nai Provincial People’s Committee on Approving the Project to Convert Tan Phu Forest Enterprise into Tan Phu Protected Forest Management Board* (in Vietnamese).
- [7] N.V. Hop, C.S. Pin, N.V. Quy, et al. (2024), “Tan Phu forest, Dong Nai province: A hotspot for plant diversity in Southern Vietnam”, *Applied Ecology and Environmental Research*, **22(3)**, pp.2179-2210, DOI: 10.15666/aeer/2203_21792210.
- [8] J.M. Gary (2002), *Ethnobotany*, Agricultural Publishing House, 389pp (in Vietnamese).
- [9] N.N. Thin (2007), *Methods for Plant Research*, Vietnam National University Press Hanoi, 171pp (in Vietnamese).
- [10] P.H. Ho (1999-2000), *An Illustrated Flora of Vietnam 1-3*, Ho Chi Minh City Youth Publishing House, 2990pp (in Vietnamese).
- [11] T. Hop (2002), *Vietnam Timber Resources*, Agricultural Publishing House, 767pp (in Vietnamese).
- [12] Useful Tropical Plants (2022), <https://tropical.theferns.info/>, accessed 13 July 2022.
- [13] Plants of the World Online (2022), <https://powo.science.kew.org/>, accessed 13 July 2022.
- [14] The World Flora Online (2022), <http://www.worldfloraonline.org/>, accessed 13 July 2022.
- [15] J.W. Byng, M.W. Chase, M.J.M. Christenhusz, et al. (2016), “An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV”, *Botanical Journal of The Linnean Society*, **181**, pp.1-20, DOI:10.1111/boj.12385.
- [16] N.T. Ban, T.D. Ly, N. Tap, et al. (2007), *Vietnam Red Data Book, Part II: Plant*, Natural Science and Technology Publishing House, Hanoi, 563pp (in Vietnamese).
- [17] Vietnamese Government (2021), *Decree No. 84/2021/ND-CP Issued on 22 September 2021 Amendments to The Government’s Decree No. 06/2019/ND-CP Dated 22 January 2019 on The Management of Endangered, Rare, and Precious Species of Forest Fauna and Flora and Compliance with of Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora* (in Vietnamese).
- [18] The IUCN Red List of Threatened Species (2022), www.iucnredlist.org, accessed 13 July 2022.

Ứng dụng thuật toán quy hoạch động để phân tích lựa chọn tối ưu trong xây dựng

Nguyễn Thanh Hải*, Ngô Thanh Vũ

Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, 54 Nguyễn Lương Bằng, phường Hòa Khánh Bắc, quận Liên Chiểu, TP Đà Nẵng, Việt Nam

Ngày nhận bài 25/4/2023; ngày chuyển phản biện 28/4/2023; ngày nhận phản biện 19/5/2023; ngày chấp nhận đăng 23/5/2023

Tóm tắt:

Xu hướng ứng dụng công nghệ thông tin vào các lĩnh vực đời sống và ngành công nghiệp xây dựng là xu thế tất yếu hiện nay. Việc áp dụng này đóng vai trò rất quan trọng trong sự phát triển của ngành xây dựng, nhằm hạn chế rủi ro trong giai đoạn thiết kế, tiết kiệm chi phí, nâng cao hiệu quả công việc trong giai đoạn triển khai thi công và mang lại lợi nhuận tốt nhất cho các bên liên quan từ giai đoạn thiết kế đến khi vận hành khai thác công trình. Trong bài báo này, chúng tôi xem xét việc ứng dụng thuật toán quy hoạch động để phân tích, lựa chọn tối ưu các hạng mục xây dựng để cho nhà thầu có được lợi nhuận tốt nhất. Chúng tôi đề xuất các bài toán đơn điều kiện ràng buộc về thời gian, đến bài toán đa điều kiện ràng buộc về thời gian và lợi nhuận lớn nhất cho một tổ thi công của nhà thầu. Kết quả cho thấy, bài toán đơn điều kiện có thể sử dụng phương trình quy đổi của quy hoạch động, với tham biến thời gian sắp xếp các hạng mục cho lời giải nhanh chóng và chính xác. Trong bài toán đa điều kiện, hệ thống phương trình với các tham biến về thời gian và lợi nhuận của quy hoạch động đã được cải tiến trong bài báo này để giải bài toán 10 hạng mục rất nhanh và hiệu quả. Những kết quả này cho phép ứng dụng thuật toán quy hoạch động vào phân tích và tối ưu các bài toán trong lĩnh vực xây dựng, giúp nâng cao hiệu quả công trình.

Từ khóa: phân tích dữ liệu, phân tích tối ưu, thi công xây dựng, thuật toán quy hoạch động.

Chỉ số phân loại: 1.8, 2.1

Application of dynamic programming algorithm to analyse the optimal selection in construction

Thanh Hai Nguyen*, Thanh Vu Ngo

University of Science and Technology, The University of Danang, 54 Nguyen Luong Bang Street, Hoa Khanh Bac Ward, Lien Chieu District, Da Nang City, Vietnam

Received 25 April 2023; revised 19 May 2023; accepted 23 May 2023

Abstract:

Information technology is commonly applied in all parts of life, as well as in the construction industry, and has become a pressing issue at present. These applications play an important role in the development of the construction industry, aiming to prevent risks during the design, save costs and increase work efficiency during construction and monitoring and bring the best profit for stakeholders. In this article, a dynamic programming algorithm is used to analyse and optimise the selection of construction project items to help contractors achieve the greatest profit. We propose problems ranging from single-condition focusing on time to multi-condition scenarios that include both time and maximum profit of a construction team. The results show that for single-condition problems, the dynamic programming equation with a time variable to sort construction project items can be solved quickly and accurately. For multi-condition problems, the system of equations with time and profit variables in dynamic programming has been improved in this paper to solve 10 construction project items rapidly and efficiently. These obtained results allow the application of the dynamic programming algorithm to analyse and optimise problems in the construction field, aiming to enhance the construction project efficiency.

Keywords: construction, data analysis, dynamic programming algorithm, optimal analysis.

Classification numbers: 1.8, 2.1

*Tác giả liên hệ: Email: nthalai@dut.udu.vn

1. Tổng quan nghiên cứu

Thuật toán quy hoạch động (QHD) (hay còn gọi là Dynamic Programming) là một nhánh của nghiên cứu các hoạt động để đưa ra những quyết định lựa chọn tối ưu thuộc một trong các phương pháp toán học tối ưu hóa. Trong những năm đầu 1950, nhà toán học người Mỹ R. Bellman đã nghiên cứu bài toán tối ưu hóa quá trình ra quyết định nhiều giai đoạn (quy trình quyết định nhiều bước), một nguyên tắc nổi tiếng về tính tối ưu (nguyên tắc tối ưu) [1]. Thuật toán QHD là một kỹ thuật toán học hữu ích để đưa ra một chuỗi các quyết định liên quan đến nhau, nó cung cấp một quy trình có hệ thống để xác định sự kết hợp tối ưu của các quyết định. Hơn nữa, thuật toán QHD là một loại cách tiếp cận chung để giải quyết vấn đề tối ưu và các phương trình cụ thể được sử dụng phải được phát triển để phù hợp với từng bài toán khác nhau [1-4].

Trong các bài toán thuộc lĩnh vực xây dựng, có rất nhiều vấn đề cần được tối ưu, như bài toán tối ưu trong quản lý dự án, hoặc tối ưu trong quản lý chất lượng công trình, quản lý kho bãi, quản lý tổ đội thi công, lập trình trong xây dựng... điển hình là các nghiên cứu như:

Năm 1975, D.R. Robison (1975) [5] đã đề xuất sử dụng thuật toán QHD nhằm xác định ưu tiên phân bổ nguồn lực, nhân công để giảm thiểu thời gian thi công của dự án. Ứng dụng thuật toán QHD để thiết kế và quản lý tối ưu trong các vấn đề về khảo sát đã được tác giả E.G. Anderson (1984) [6] trình bày trong nghiên cứu của mình. Theo đó, tác giả đã có những ví dụ minh họa trong bài toán san lấp mặt bằng, lập lịch hoạt động khảo sát, phân tích dữ liệu đầu vào do ảnh hưởng của biến thời tiết. Trong nghiên cứu của P.O. Nowak (2019) [7], từ dữ liệu thống kê liên quan đến số lượng chất thải xây dựng và quá trình vận chuyển chất thải từ các công trường xây dựng, tác giả đã sử dụng thuật toán QHD để tính toán tải trọng phù hợp của phương tiện vận chuyển, nhằm loại bỏ chất thải khỏi các công trình xây dựng. Nhóm tác giả cũng lập trình tính toán được việc thay đổi lợi nhuận khi chi phí tài nguyên vật liệu thay đổi trong từng giai đoạn khác nhau, ứng dụng tại Ba Lan.

Trong lĩnh vực giao thông: Thuật toán QHD được sử dụng để tính chi phí tối thiểu và chi phí trung bình trong xây dựng, bảo trì hàng năm bề mặt đường bộ do K.J. Feighan và cs (1988) [8] đề xuất năm 1988. Phương pháp này được chứng minh giúp giảm thời gian tính toán so với các thuật toán khác, nhưng vẫn đảm bảo độ chính xác của kết quả cuối cùng. Khi xem xét các loại tải trọng như tải trọng trên làn đều, tải trọng của xe tải hai trục và tải trọng của xe tải hai trục cộng với tải trọng của sơ mi rơ móc một trục theo thông số kỹ thuật của Hiệp hội Đường Cao tốc và Giao thông Vận tải Hoa Kỳ (AASHTO), nhóm tác giả H. Adeli và cs (1989) [9] đã ứng dụng thuật toán QHD để phân tích lực hay chuyển vị của các cây cầu dưới tác dụng của các loại tải trọng đó.

Trong lĩnh vực xây dựng công trình và quản lý tài nguyên nước: Thuật toán QHD được áp dụng để phân tích độ ổn định mái dốc, giúp tối ưu hóa quá trình chồng lớp lưới phụ lên lưới phần tử hữu hạn, để tìm hình dạng và vị trí của mặt trượt tối hạn. Quy trình này giúp giảm thiểu độ phức tạp của hàm tính toán cường độ cắt và ứng suất cắt tác động trong khối đất, cung trượt được trình bày trong nghiên cứu của D.G. Fredlund và cs (2019) [10]. Thuật toán tối ưu QHD cũng được áp dụng trong vấn đề quản lý các hồ chứa, công trình đầu nguồn khi có các biến ràng buộc đa mục tiêu, M. Jamshidi và cs (1977) [11] đã ứng dụng thuật toán QHD để kiểm soát hệ thống đa mục tiêu của hồ chứa nước ở Khuzestan. Đây cũng là bài toán điển hình trong vận hành liên hồ chứa, có thể áp dụng trong điều kiện mạng lưới hồ chứa ở Việt Nam hiện nay. Nhóm tác giả P.T.T. Phuong và cs (2017) [12] ở Việt Nam đã ứng dụng thuật toán QHD vào việc tính toán điều tiết hồ chứa Ialy trên hệ thống sông Sesan, nhằm tăng sản lượng điện tối đa vào mùa khô cho hai năm 2010 và 2012.

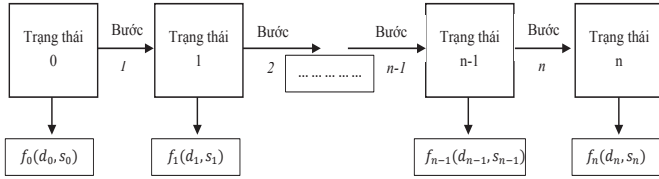
Trong lĩnh vực phát triển ứng dụng lập trình: Z. Li và cs (2015) [13] đề xuất đổi mới và nâng cấp các phần mềm quản lý dự án bằng các kỹ thuật phần mềm linh hoạt hơn, để đáp ứng các yêu cầu ngày càng cao của thực tế xây dựng và quản lý công trình, vì vậy phương pháp thuật toán QHD được đề xuất để tối ưu hóa, xử lý các vấn đề phát sinh.

Những nghiên cứu ở trên cho thấy, ứng dụng thuật toán QHD vào các bài toán xây dựng rất đa dạng. Tuy nhiên, vấn đề mà nhà thầu xây dựng luôn quan tâm đó là thời gian thi công ngắn nhất, chi phí thấp nhất nhưng lợi nhuận luôn cao. Vì vậy, chúng tôi tập trung ứng dụng thuật toán QHD trong bài báo này để phân tích và đưa ra được các lựa chọn tối ưu. Trình bày tổng quan thuật toán quy hoạch động tại phần 2 về lý thuyết thuật toán cơ bản, sau đó áp dụng phân tích tối ưu các vấn đề trong điều phối tổ đội thi công của một đơn vị xây dựng như: tối ưu đơn điều kiện, tối ưu đa điều kiện, tối ưu đa điều kiện nâng cao tại phần 3. Phần 4 là những kết luận và kiến nghị để phát triển các thuật toán trong lĩnh vực xây dựng nhằm nâng cao năng lực quản lý, tối ưu lựa chọn hạng mục công trình để đạt được lợi nhuận tốt nhất trong thời đại chuyển đổi số hiện nay.

2. Thuật toán quy hoạch động

Thuật toán QHD là phương pháp giải quyết các bài toán tối ưu được nhà toán học Richard Bellman phát triển vào năm 1950 [1]. Thuật toán QHD này sẽ chia nhỏ một bài toán lớn thành các bài toán con có tính chất đơn giản hơn và có lời giải giống nhau cho toàn bộ các bài toán con đó. Sau đó kết hợp các kết quả tối ưu của các bài toán con để tìm ra lời giải tối ưu cho bài toán tổng thể (bài toán lớn). Thuật toán QHD được vận dụng để tối ưu một quyết định lựa chọn nào đó bằng cách chia nhỏ nó thành một chuỗi các bước quyết định nhỏ hơn i hay gọi là các trạng thái i , trong đó i , nhận giá trị từ 0 đến n trạng thái. Từ đó, thuật toán QHD sẽ tìm

lời giải tối ưu từng bước quyết định tại các trạng thái i này để tìm được kết quả tối ưu toàn cục bài toán. Hiểu thêm rằng, trong mỗi trạng thái i sẽ có những tính toán để lựa chọn quyết định tối ưu d_i trong tập hợp các lựa chọn D_m (với i nhận giá trị từ 0 đến m) để có lời giải tối ưu cho trạng thái i đó (hình 1) [2-4].



Hình 1. Mô tả quá trình phân tích bài toán quy hoạch động qua n trạng thái.

Gọi $f_i(d_i, s_i)$ là hàm giá trị nhận được tại trạng thái i , khi d_i là sự lựa chọn chuỗi tập hợp dữ liệu D_m và s_i là bước tính của quá trình n trạng thái như mô tả ở hình 1.

Khi đó giá trị tối ưu cho toàn bộ bài toán cần tìm là $v_n(s_n)$ được xác định theo công thức:

$$v_n(s_n) = \text{Max}[f_n(d_n, s_n) + f_{n-1}(d_{n-1}, s_{n-1}) + \dots + f_1(d_1, s_1) + f_0(d_0, s_0)] \quad (1)$$

trong đó: $d_i \in D_m$ với $i=0,1,2,\dots,m$

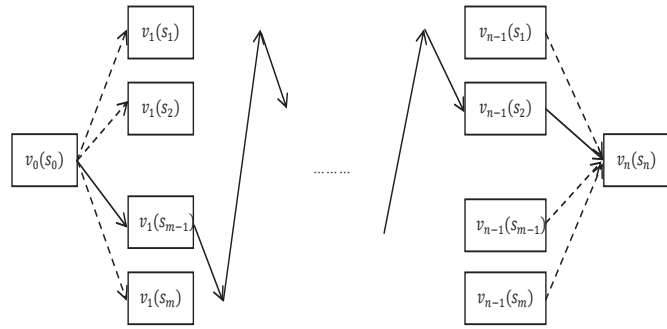
Xét tại trạng thái n , giá trị nhận được tại trạng thái này là $f_n(d_n, s_n)$, giá trị này nhận được tại quyết định d_n mà không liên quan đến quyết định $d_{n-1}, \dots, d_1, d_0$ tại các bước $n-1, \dots, 1, 0$. Có nghĩa là, trước tiên chúng ta tìm giá trị lớn nhất của nhóm trước đó (từ $i = 0, 1, \dots, n-1$) cho mọi d_n có thể, và sau đó chọn d_n để tối ưu hoá phương trình số (1). Chúng ta có thể viết lại phương trình trên như sau:

$$v_n(s_n) = \text{Max}\{f_n(d_n, s_n) + \text{Max}[f_{n-1}(d_{n-1}, s_{n-1}) + \dots + f_1(d_1, s_1) + f_0(d_0, s_0)]\} \quad (2)$$

Trong phương trình số (2), thành phần số hạng thứ 2 đơn giản là sử dụng thuật toán QHD để tính giá trị tối ưu nhận được tại bước $n-1$ của trạng thái $n-1$, tương tự khi xét cho các trạng thái khác. Do đó chúng ta có thể viết lại phương trình (2) bằng cách thể hiện quan hệ đệ quy như sau:

$$v_n(s_n) = \text{Max}[f_n(d_n, s_n) + v_{n-1}(s_{n-1})] \quad (3)$$

Phương trình (3) là phương trình tổng quát của bài toán tìm kiếm giá trị tối ưu lớn nhất, được mô tả chi tiết hơn tại hình 1. Để minh hoạ các vấn đề trên, hình 2 mô tả quá trình tìm kiếm giá trị tối ưu cho toàn bộ bài toán $v_n(s_n)$ thông qua n trạng thái khác nhau. Như vậy tại đây chúng ta thấy rằng, trải qua mỗi bước tính i , thì giá trị tối ưu tại mỗi trạng thái được lựa chọn (hay quyết định) trong một tập hợp nhiều giá trị của mỗi trạng thái đó như $v_1(s_{m-1})$ được chọn tại trạng thái 1; $v_{n-1}(s_2)$ được chọn tại trạng thái $n-1$.



Hình 2. Mô tả giá trị nhận được tại các trạng thái từ 0 đến n .

Trong quan hệ đệ quy ở phương trình (3) thì cần chỉ rõ giá trị tại trạng thái ban đầu. Trạng thái ban đầu, nó thực sự không được tính từ quan hệ đệ quy vì không có trạng thái nào sau trạng thái này nữa. Do vậy, nó được xác định như sau:

$$v_0(s_0) = \text{Max } f_0(d_0, s_0) \text{ với } d_0 \in D_0 \quad (4)$$

Thông thường thì không giải quyết tối ưu tại giai đoạn 0 vì là điểm bắt đầu trong toàn bộ các giai đoạn đưa ra quyết định của tổng thể bài toán. Có thể hiểu rằng, tại giai đoạn này, chúng ta có thể xem xét lấy một giá trị cực trị để xem xét tính toán. Tuy nhiên sang các bước tiếp theo ($i=1, \dots, n$), giá trị cực trị sẽ có thể không phải là giá trị tại trạng thái ban đầu được chọn ở trên. Vì trong thuật toán QHD, giá trị tối ưu được xem xét tại trạng thái cuối cùng.

Tương tự bài toán xác định tối ưu giá trị lớn nhất, bài toán xác định tối ưu nhỏ nhất khi xét toàn bộ trạng thái n mà trong đó các giá trị tối ưu trong mỗi trạng thái i là $f_i(d_i, s_i)$. Gọi $u_n(s_n)$ là giá trị tối ưu cần nhận được xác định theo công thức:

$$u_n(s_n) = \text{Min}[f_n(d_n, s_n) + f_{n-1}(d_{n-1}, s_{n-1}) + \dots + f_1(d_1, s_1) + f_0(d_0, s_0)] \quad (5)$$

trong đó: $d_i \in D_m$ với $i=0,1,2,\dots,m$

Từ phương trình số (2), (3) ở trên, ta có thể rút gọn phương trình tổng quát xác định tối ưu giá trị nhỏ nhất như sau:

$$u_n(s_n) = \text{Min}[f_n(d_n, s_n) + u_{n-1}(s_{n-1})] \quad (6)$$

Với giá trị ban đầu tại trạng thái 0 cũng được xác định tương tự phương trình (4).

$$u_0(s_0) = \text{Min } f_0(d_0, s_0) \text{ với } d_0 \in D_0 \quad (7)$$

Từ các phương trình trên chúng ta có thể thấy rằng, bài toán QHD có các tham số tham gia vào quá trình đó là (i) số lượng các trạng thái n , (ii) số lượng biến tham gia vào trong mỗi trạng thái, (iii) các ràng buộc liên quan đến giá trị nhận được. Trong bài báo này, chúng tôi sẽ tập trung nghiên cứu các bài toán ứng dụng trong xây dựng khi sử dụng thuật toán QHD để tối ưu có xét đến các ràng buộc.

3. Một số bài toán quy hoạch động điển hình áp dụng trong xây dựng

Trong các lĩnh vực thuộc ngành xây dựng hiện nay, có nhiều bài toán thực tế đặt ra cần được tối ưu với nhiều ràng buộc cụ thể khác nhau giữa việc chọn tối ưu thời gian thi công, tối ưu nguồn nhân lực, tối ưu doanh thu... Một số bài toán cụ thể đặt ra ở dạng tối ưu đơn điều kiện đến tối ưu đa điều kiện sẽ được trình bày trong phạm vi bài báo. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ lập trình tính toán dựa trên các lý thuyết phân tích cụ thể để có được các lời giải và đáp án tối ưu nhất.

3.1. Bài toán tối ưu dạng đơn điều kiện

Bài toán tối ưu dạng đơn điều kiện là bài toán chỉ có một (01) điều kiện ràng buộc cụ thể. Xét bài toán có n hạng mục xây dựng với giá thành được xem xét như nhau trên 1 đơn vị thời gian thi công, mỗi hạng mục thứ i có thời gian bắt đầu tại thời điểm A_i và kết thúc tại thời điểm B_i . Vấn đề đặt ra là làm thế nào để nhà thầu có thể lựa chọn được nhiều hạng mục xây dựng nhất có thể cho một (01) tổ đội thi công của nhà thầu.

Do chỉ xét một tổ đội thi công, nên 2 hạng mục bất kỳ sẽ được lựa chọn thi công nếu khoảng thời gian thi công của chúng không trùng lặp với nhau. Điều này có nghĩa là thời điểm kết thúc của hạng mục i cũng là thời điểm bắt đầu của hạng mục $i+1$, nếu 2 hạng mục i và $i+1$ được chọn.



Hình 3. Minh họa các hạng mục có sự chồng chéo về thời gian thi công.

Hình 3 minh họa các hạng mục xây dựng mà công ty xem xét nhận thầu, và sẽ có các hạng mục từ 1 đến n được chọn trong N hạng mục, mỗi hạng mục i có thời gian bắt đầu và kết thúc lần lượt là A_i và B_i . Chúng ta có thể thấy rằng, trong danh sách các hạng mục này có thời gian thi công chồng chéo nhau, hay nói cách khác là thời gian thi công xen kẽ nhau. Lúc này hàm giá trị $f_i(t_i)$ chính là giá trị hạng mục thứ i được tiếp nhận thi công, trong đó t_i là thời gian thi công của hạng mục i (từ A_i đến B_i). Đầu tiên, chúng ta sắp xếp các hạng mục theo thứ tự thời gian tăng dần theo thời điểm kết thúc B_i , do vậy hạng mục i sẽ được bố trí sau hạng mục j khi và chỉ khi thỏa mãn $j < i$ và $B_j \leq A_i$. Việc lựa chọn các hạng mục nhiều nhất phụ thuộc vào việc điều kiện trên có được thỏa mãn hay không. Như trình bày thuật toán tại phần 2, chúng tôi xây dựng công thức như sau:

$$v_n(t_n) = \text{Max}[f_n(t_n) + f_{n-1}(t_{n-1}) + \dots + f_1(t_1) + f_0(t_0)] \quad (8)$$

với $n \in \mathbb{N}$, và $B_j \leq A_i$

trong đó: $v_n(t_n)$ là số lượng hạng mục nhận được nhiều nhất. Để giá trị này lớn nhất thì số lượng $f_i(t_i)$ nhiều nhất, với mọi $i = 1, 2, \dots, n$.

Ta đang xét hạng mục i để có thể xây dựng một danh sách con các hạng mục nhiều nhất đến hạng mục j với $j = 0, 1, \dots, i-1$ đứng trước i , ta tìm j sao cho:

$$v_i(t_i) = \text{Max}\{f_i(t_i) + \text{Max}[f_{i-1}(t_{i-1}) + \dots + f_1(t_1) + f_0(t_0)]\} \quad (9)$$

với $B_j \leq A_i$

Sử dụng phương trình (6) ta có thể viết ngắn gọn công thức trên như sau:

$$v_n(t_n) = \text{Max}[f_n(t_n) + v_{n-1}(t_{n-1})] \quad (10)$$

với $B_{n-1} \leq A_n$, và $B_n \leq A_n$

Xét trường hợp đặc biệt khi chỉ có một hạng mục thì $v_n(t_n) = f_0(t_0) = 1$ có thời gian thi công $t_0 = B_0 - A_0$.

Bảng 1 giới thiệu thông tin của 10 hạng mục mà doanh nghiệp xây dựng xem xét có thể tiếp nhận trên thực tế. Trong 10 hạng mục được giới thiệu này, thông tin mỗi hạng mục có thời gian bắt đầu A_i (tháng) đến thời gian kết thúc là B_i (tháng). Có thể thấy rằng, các hạng mục được giới thiệu này có sự chồng chéo nhau về thời gian bắt đầu và kết thúc. Do vậy, doanh nghiệp xây dựng cần có sự tính toán hợp lý để lựa chọn các hạng mục sao cho tốt nhất, thỏa mãn các điều kiện của chủ đầu tư và điều kiện hiện có của doanh nghiệp.

Bảng 1. Thông tin về thời gian bắt đầu và kết thúc của các hạng mục xây dựng.

	Hạng mục 1	Hạng mục 2	Hạng mục 3	Hạng mục 4	Hạng mục 5	Hạng mục 6	Hạng mục 7	Hạng mục 8	Hạng mục 9	Hạng mục 10
Thời gian bắt đầu A_i (tháng)	1	3	1	5	8	6	10	8	11	7
Thời gian kết thúc B_i (tháng)	2	4	4	7	9	7	11	10	12	8

Từ thông tin được cung cấp ở trên, khi thực hiện phân tích và lựa chọn như trình bày ở trên thì kết quả là có 5 hạng mục được nhận thi công với ba phương án: (1) 1, 2, 4, 5, 7; (2) 1, 2, 4, 5, 9; (3) 1, 2, 6, 8, 9. Chúng ta thấy rằng, cả 3 phương án có tổng thời gian thi công như nhau là 11 tháng, tuy nhiên phương án 1 sẽ kết thúc sớm tại tháng 11 trong khi phương án 2 và 3 sẽ kết thúc công việc muộn hơn vào cuối tháng 12 do có thời gian gián đoạn 1 tháng không nhận được hạng mục phù hợp. Do vậy, tùy tình hình thực tế nhà thầu để có thể lựa chọn phương án hợp lý trong quá trình đảm nhận thi công các hạng mục trên sao cho thỏa mãn điều kiện được số lượng nhiều nhất.

Ta có thể thấy rằng, bài toán này chỉ có một ràng buộc về thời gian cụ thể là thời gian thi công của mỗi hạng mục. Do vậy, nếu tại hạng mục cuối cùng n thì thời gian kết thúc là tùy chọn của nhà thầu, vì lúc này không có ràng buộc của

hạng mục $n+1$. Điều này sẽ không thực tế, khi tất cả nhà thầu đều mong muốn kết thúc sớm quá trình thi công nếu mọi yếu tố khác thuận lợi. Khi đó bài toán sẽ có thêm sự ràng buộc ví dụ về thời gian hoàn thành thi công theo quy định, bài toán lúc này sẽ có nhiều hơn 1 ràng buộc. Chúng tôi sẽ tiếp tục thảo luận phần sau với bài toán đa điều kiện.

3.2. Bài toán tối ưu dạng đa điều kiện

Như đã trình bày ở trên, bài toán tối ưu dạng đa điều kiện là bài toán tối ưu có nhiều điều kiện ràng buộc cho trước, kết quả cuối cùng của bài toán phải thỏa mãn tất cả các điều kiện đã đặt ra. Bài toán số 2 với dạng điển hình như sau: Một tổ đội thi công (20 người) của Công ty TNHH Xây dựng THXD, muốn nhận các hạng mục có thông tin như bảng 2. Do tính chất công việc nên mỗi lần chỉ nhận được 1 (một) hạng mục. Vậy trong vòng 1 năm (365 ngày), nhà thầu muốn nhận được số lượng công trình mà có tổng giá thành nhiều nhất?

Bảng 2. Thông tin các hạng mục xây dựng mà nhà thầu được giới thiệu.

	Hạng mục 1	Hạng mục 2	Hạng mục 3	Hạng mục 4	Hạng mục 5	Hạng mục 6	Hạng mục 7	Hạng mục 8	Hạng mục 9	Hạng mục 10
Giá thành (triệu đồng)	500	500	100	150	300	1000	700	900	1200	600
Thời gian (ngày)	57	53	13	20	32	120	80	105	145	68

Với dạng này, bài toán điển hình trong xây dựng là bài toán tối ưu trong việc lựa chọn n hạng mục khác nhau trong N ($N=10$ hạng mục) tổng hạng mục giới thiệu. Bảng 2 chỉ rõ, tại mỗi hạng mục công trình sẽ có thời gian thi công bắt buộc hoàn thành và sẽ nhận được giá tương ứng của từng hạng mục. Việc lựa chọn số lượng hạng mục n cho một (1) tổ đội thi công sao cho trong một khoảng thời gian nhất định T , thì tổ đội đạt được lợi ích kinh tế cao nhất là $v_n(T)$. Lưu ý rằng, do tính chất quy định chỉ khi hoàn thành xong từng hạng mục thì mới được thi công hạng mục tiếp theo, điều này có nghĩa là phải hoàn thành hạng mục thứ j thì mới bắt đầu thực hiện hạng mục thứ i với $i > j$. Phương trình tổng quát cho bài toán trên như sau:

$$v_n(T) = \text{Max}[f_n(C_n, t_n) + f_{n-1}(C_{n-1}, t_{n-1}) + \dots + f_1(C_1, t_1) + f_0(C_0, t_0)] \quad (11)$$

với điều kiện: $t_n + t_{n-1} + \dots + t_1 + t_0 \leq T$

Gọi hàm $f_i(C_i, t_i)$ với $i = 0, 1, \dots, n$ là hàm giá trị thu được (triệu đồng) của hạng mục thứ i được chọn, trong đó t_i (ngày), C_i (triệu đồng) lần lượt là thời gian thi công và giá của từng hạng mục tương ứng. Giá trị thu được cuối cùng $v_n(T)$, là giá trị thu được cuối cùng (triệu đồng) khi nhà thầu xây dựng lựa chọn được các hạng mục. T là tổng thời gian quy định, như đã nêu trên thì $T \leq 365$ ngày.

Ban đầu, chúng tôi sẽ xét (chọn) 1 hạng mục bất kỳ, vì lúc này đây được xem là trạng thái ban đầu (trạng thái 0) như đã trình bày ở phần 2, từ đó sẽ lấy (chọn) hạng mục tiếp theo cho đến khi nào kết thúc sự ràng buộc về thời gian T của bài toán. Do vậy, khi xét trong trường hợp hạng mục thứ n xem xét được chọn hay không thì sẽ có 2 trường hợp xảy ra:

(a) Trường hợp $t_n > T$: có nghĩa là hạng mục thứ n có thời gian thi công nhiều hơn ràng buộc T cho phép, do vậy sẽ không được chọn nên có thể viết phương trình như sau:

$$v_n(T) = v_{n-1}(T) \quad (12)$$

với điều kiện: $t_n > T$ và $t_{n-1} + \dots + t_1 + t_0 \leq T$

(b) Trường hợp $t_n \leq T$: có nghĩa là hạng mục thứ n có thời gian thi công thỏa mãn điều kiện ràng buộc T cho phép, khi trường hợp này xảy ra thì có 2 khả năng như sau:

$$(T) = v_{n-1}(T) \quad (13)$$

với điều kiện: $t_{n-1} + \dots + t_1 + t_0 \leq T$ và $t_n + t_{n-1} + \dots + t_1 + t_0 > T$

hoặc

$$v_n(T) = v_{n-1}(T - t_n) + f_n(C_n, t_n) \quad (14)$$

với điều kiện: $t_n + t_{n-1} + \dots + t_1 + t_0 \leq T$

Như vậy tổng giá trị lớn nhất của n hạng mục sẽ được tính là:

$$v_n(T) = v_{n-1}(T) \quad (15)$$

với điều kiện: $t_n > T$

$$v_n(T) = \text{Max}\{v_{n-1}(T), v_{n-1}(T - t_n) + f_n(C_n, t_n)\}$$

với điều kiện: $t_n \leq T$

Đối chiếu với bảng dữ liệu số 2, thì phương trình (12) không thể xảy ra, vì xem xét thời gian thi công từng hạng mục luôn nhỏ hơn thời gian T . Phương trình (13) giải thích trường hợp khi xem xét chọn hạng mục tiếp theo thì tổng thời gian thi công đã vượt quá T , do vậy hạng mục đang xét không được chọn. Nếu hạng mục tiếp theo được chọn khi tổng thời gian thi công của các hạng mục trước đó và hạng mục đang xem xét nhỏ hơn hoặc bằng T , lúc này phương trình (14) sẽ đúng. Phương trình (15) là phương trình tổng quát cho các trường hợp xét tối ưu việc lựa chọn các hạng mục thi công nhằm thỏa mãn điều kiện ràng buộc và đạt được lợi nhuận tốt nhất. Trong quá trình lập trình tính toán, chúng tôi luôn xem xét đưa các trường hợp này vào để thuận lợi cho các bài toán mà doanh nghiệp sẽ gặp phải trong tương lai.

Sau khi thực hiện lập trình tính toán theo lý thuyết ở trên, tương ứng với dữ liệu bài toán ở bảng 2, thì kết quả giá trị thu được lớn nhất nhận được là 3,2 tỷ đồng với tổng số ngày thi công là 363 ngày, tương ứng các hạng mục được chọn là

1, 2, 7, 8, 10. Tỷ số giá thành trên một ngày thi công lúc này đạt khoảng 8,815 triệu đồng cho cả tổ đội thi công. Tạm gọi là phương án 1.

Xem xét trường hợp khi tiếp nhận các hạng mục số 5, 7, 8, 9 thì tổng số tiền là 3,1 tỷ đồng, với tổng thời gian thi công là 362 ngày. Tạm gọi đây là phương án 2. Thực tế tại doanh nghiệp thì xét tỷ số giá thành với thời gian, sau đó sắp xếp tỷ số này từ lớn đến nhỏ rồi lấy (tiếp nhận) hạng mục theo thứ tự sao cho không vượt quá điều kiện 365 ngày. Phương án này tạm gọi là phương án 3. Như phương án 3, nhà thầu sẽ lần lượt lựa chọn hạng mục 2, 5, 10, 1, 7, 3, 4, thì tổng số tiền là 2,85 tỷ đồng, với tổng thời gian thi công là 323 ngày. Dễ dàng thấy rằng, tỷ số tổng giá thành và tổng số ngày thi công có sự chênh lệch nhau cụ thể là 8,815 triệu đồng/ngày, 8,563 triệu đồng/ngày, 8,824 triệu đồng/ngày lần lượt của phương án 1, 2 và 3. Chúng ta có thể nhận thấy, phương án 3 không chọn vì phương án này có giá trị thu được rất thấp, do vậy xem xét phương án 1 và 2 khi tổng số lượng hạng mục chọn của phương án 2 (5 hạng mục) lớn hơn phương án 1 (4 hạng mục). Tuy rằng phương án 2 không phải là phương án chọn vì giá trị thu được nhỏ hơn phương án 1, tuy nhiên, khi xét đến điều kiện thực tế các vấn đề được quan tâm khác như là tính ổn định trong thi công; sự dịch chuyển của nhân công, máy thi công; điều kiện lán trại; ván khuôn thi công... thì phương án 2 cũng sẽ được nhà thầu nên xem xét. Như vậy, để xem xét được một bài toán tối ưu tốt hơn, thì trong xây dựng hiện nay có 1 số vấn đề khi số lượng của mỗi hạng mục nhiều hơn 1 lần chọn.

Thông thường, nhà thầu luôn mong muốn sẽ tối đa hoá lợi nhuận nhất có thể, trong điều kiện chỉ xét 1 tổ đội thi công (20 người), có nghĩa là nhà thầu mong muốn nhận được nhiều n hạng mục để thực hiện, mà các hạng mục này có tính chất giống nhau hoặc tương đồng nhau. Lúc này sẽ đặt ra bài toán như sau: Trong vòng một năm (365 ngày), Nhà thầu mong muốn nhận được số lượng công việc mà doanh thu nhiều nhất? Khi mỗi hạng mục ở bảng 2 cho phép chọn nhiều hơn 1 lần. Có thể hiểu bài toán trên như là, nhà thầu xét thấy đủ khả năng sẽ nhận nhiều hạng mục thứ i , khi số lượng của hạng mục thứ i không giới hạn. Gọi k là tổng số lượng (số lần) chọn một hạng mục, với $k \geq 1$ và luôn nguyên dương. Như vậy, bài toán này nâng cao chất lượng chuyên môn hóa trong thi công của từng tổ đội, cũng như hạn chế các vấn đề nêu ở bài toán trên như là: tính ổn định thi công; giảm bớt chi phí đầu tư máy móc, thiết bị thi công, cũng như sẽ nâng cao tay nghề của người thợ.

Bài toán sẽ lần lượt xem xét từng hạng mục, tại giai đoạn đầu cũng chọn 1 hạng mục bất kỳ với số lượng k bằng 1 hoặc có thể lớn hơn, sau đó xét tiếp việc lựa chọn hạng mục tiếp theo. Khi xem xét hạng mục i tiếp theo, thì phải đảm

bảo điều kiện ràng buộc về tổng thời gian thi công phải nhỏ hơn hoặc bằng T . Phương trình (12) đúng khi hạng mục thứ i không được chọn vì thời gian thi công của hạng mục i là $t_i > T$. Ngược lại khi hạng mục thứ i được chọn thì phương trình (14) được viết lại như sau:

$$v_i(T) = v_{i-1}(T - t_i * k) + f_i(C_i, t_i) * k \quad (16)$$

$$\text{với điều kiện: } t_i \leq T \text{ và } 1 \leq k \leq \left\lfloor \frac{T}{t_i} \right\rfloor$$

Lúc này giá trị thu được lớn nhất của nhà thầu khi nhận n hạng mục thỏa mãn điều kiện tổng thời gian thực hiện trong phạm vi quy định T được tính là:

$$v_n(T) = \text{Max}\{v_{i-1}(T - t_i * k) + f_i(C_i, t_i) * k\} \quad (17)$$

$$\text{với điều kiện: } i = [0, n] \text{ và } k = \left\lfloor \frac{T}{t_i} \right\rfloor$$

Kết quả từ lập trình tính toán cho bài toán tối ưu này là nhà thầu sẽ đưa ra lựa chọn tốt nhất với 11 hạng mục 5 và 1 hạng mục 3, khi đó tổng giá trị thu được là 3.400 triệu đồng. Xét theo phương án của tỷ số giá và thời gian thi công doanh nghiệp sẽ có thể chọn 6 hạng mục 2, sau đó chọn 1 hạng mục 5 và tiếp là hạng mục 3, thì tổng giá trị thu được là 3.400 triệu đồng, tương ứng 363 ngày. Tuy nhiên, như đề cập, phân tích bài toán ở trên, trong điều kiện cho phép, khi số lượng hạng mục không giới hạn thì ưu tiên chọn phương án 11 hạng mục 5 và 1 hạng mục 3. Như vậy, chúng ta thấy được rằng, khi số lượng không giới hạn của các hạng mục thì nhà thầu có thể có những lựa chọn tốt hơn trong cùng điều kiện thời gian thi công là 365 ngày cho một tổ đội thi công 20 người. Trong trường hợp này, rõ ràng điều kiện ổn định trong thi công; lán trại; tính chất ổn định công việc của mỗi người thợ; hay là hạn chế tối đa việc di chuyển vị trí, máy móc, nhân công; không thay thế ván khuôn... sẽ giúp giảm chi phí, nhờ vậy phát huy tối đa hiệu quả kinh tế cho nhà thầu và các bên liên quan.

4. Kết luận và kiến nghị

Trên thế giới, phương pháp sử dụng thuật toán QHĐ đã được áp dụng rộng rãi và đa dạng tất cả các lĩnh vực của cuộc sống cũng như cả trong lĩnh vực xây dựng. Trong bài báo này, chúng tôi nghiên cứu một số bài toán điển hình trong quá trình tính toán lựa chọn tối ưu các hạng mục xây dựng, nhằm tối đa hoá lợi nhuận khi sử dụng thuật toán QHĐ. Xét lần lượt các bài toán đơn điều kiện đến đa điều kiện để tối ưu tìm được kết quả tốt nhất trong điều kiện xây dựng cho phép của một tổ đội thi công (20 người).

Trong bài toán đơn điều kiện, khi các hạng mục công trình có thời gian thi công chồng chéo nhau, yêu cầu nhà thầu lựa chọn để có thể nhận tối đa các hạng mục đem lại lợi nhuận tốt nhất. Với bài toán chỉ có 1 điều kiện ràng buộc về thời gian, chúng tôi đã xem các thời gian bắt đầu và kết thúc

của mỗi hạng mục là tham số, sau đó sử dụng phương trình quy đổi với điều kiện là hạng mục có thể nhận được khi thời gian kết thúc của hạng mục trước trùng, hoặc sớm hơn hạng mục tiếp theo. Khi xét bài toán hai biến gồm tổng giá trị thu được và thời gian hoàn thành, chúng tôi đã sử dụng phương trình quy đổi mở rộng của thuật toán QHD với ràng buộc về thời gian và giá trị thu được cao nhất. Thuật toán QHD đã chỉ rõ được kết quả tốt nhất cho đề bài đặt ra là 3,2 tỷ đồng cho số hạng mục được chọn là 5. Tuy nhiên, chúng tôi cũng mở rộng xem xét thêm một trường hợp khi tổng giá thành thu được ít hơn, cũng gợi ý nhà thầu xem xét trong quá trình lựa chọn sao cho thuận lợi nhất trong mọi trường hợp mà thuộc phạm vi nghiên cứu này. Sau cùng, trong điều kiện cho phép, khi các hạng mục có thể có số lượng nhiều hơn một, nhà thầu rõ ràng sẽ phải có cái nhìn tổng quan hơn để nhận được lợi nhuận tốt nhất. Chúng ta thấy rằng, khi số lượng của một hạng mục nhiều hơn một, việc thi công, nhân công, máy móc sẽ thuận lợi hơn... Bài báo cũng phân tích, làm rõ quan điểm tính toán thực tế tại doanh nghiệp khi chỉ xét tỷ số giá thành với thời gian, sau đó sắp xếp từ lớn đến nhỏ rồi chọn sao cho thỏa mãn điều kiện. Qua các phân tích ở trong bài báo, cũng chỉ rõ tính ưu điểm của thuật toán QHD cho kết quả tốt hơn. Do vậy, việc sử dụng thuật toán QHD vào xây dựng là cần thiết để mang lại hiệu quả tối ưu nhất và rút ngắn thời gian phân tích cũng như dễ dàng tối đa hoá lợi nhuận trong kinh doanh. Ngay cả việc tối ưu lựa chọn nhỏ nhất như quãng đường vận chuyển, tiến độ thi công... như đã được giới thiệu ở phần 2.

Với các điều kiện cho trước, trong khuôn khổ bài báo này, chỉ mới xét đến ràng buộc về thời gian và giá trị thu về lớn nhất. Tuy nhiên trên thực tế, việc lựa chọn các hạng mục tối ưu còn phụ thuộc vào nhiều điều kiện ràng buộc khác, như đơn giá ngày công từng khu vực có sự khác nhau; chi phí vận chuyển hoặc di chuyển thiết bị từ công trình, gói thầu, hạng mục này sang vị trí khác chưa được xét đến. Nên có thể có thêm điều kiện ưu tiên lựa chọn công trình có thời gian thi công cần thiết dài ngày hơn; hoặc là yêu cầu chọn những hạng mục, công trình có tính gói đầu nhau nhiều hơn, giảm thiểu thời gian trống giữa các gói thầu để tiện cho công việc quản lý thiết bị; lựa chọn các hạng mục có tính chất giống nhau; xem xét tính đồng đều tay nghề người thợ.

Trong tương lai, việc ứng dụng thuật toán QHD nhằm tối ưu hóa các bài toán trong xây dựng cần được triển khai sâu rộng hơn vào quá trình thiết kế mô phỏng, tính toán các kết cấu, công trình tại Việt Nam. Điều này giúp nâng cao độ chính xác, tối ưu hóa kết quả đạt được, tăng hiệu suất, hiệu quả công việc, giảm thiểu rủi ro phát sinh và tối đa hóa lợi ích cho các bên liên quan.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Bellman (1972), *Dynamic Programming*, Princeton University Press, 382pp.
- [2] T.J. Böhme, B. Frank (2017), *Dynamic Programming*, Springer, pp.199-214.
- [3] R. Sedgewick, P. Flajolet (2013), *An Introduction to The Analysis of Algorithms*, Addison-Wesley, 593pp.
- [4] S.S. Skiena (2008), *The Algorithm Design Manual*, Second Edition, Springer, 739pp.
- [5] D.R. Robinson (1975), "Dynamic programming solution to cost-time tradeoff for CPM", *Manage. Sci.*, **22**(2), pp.158-166, DOI: 10.1287/mnsc.22.2.158.
- [6] E.G. Anderson (1984), "Applications of dynamic programming in survey engineering", *Civ. Eng. Syst.*, **1**(5), pp.274-281.
- [7] P.O. Nowak (2019), "Chosen aspects of dynamic programming use within construction waste management", *9th International Conference: Modern Building Materials, Structures and Techniques*, **2**, pp.1-5.
- [8] K.J. Feighan, M.Y. Shahin, K.C. Sinha, et al. (1988), "Application of dynamic programming and other mathematical techniques to pavement management systems", *Transp. Res. Rec.*, **1200**, pp.90-98.
- [9] H. Adeli, Y. Ge (1989), "A dynamic programming method for analysis of bridges under multiple moving loads", *Int. J. Numer. Methods Eng.*, **28**(6), pp.1265-1282.
- [10] M.D. Fredlund, D.G. Fredlund, G.D.F.N. Gitirana (2019), "Developments in landslide analysis methodologies", *Adv. Soil Mech. Geotech. Eng.*, **7**, pp.292-326, DOI: 10.3233/ASMGE190026.
- [11] M. Jamshidi, M. Heidari (1977), "Application of dynamic programming to control Khuzestan water resources system", *Automatica*, **13**(3), pp.287-293.
- [12] P.T.T. Phuong, D.T.N. Han, H.V. Lai, et al. (2017), "Reservoirs optimization with dynamic programming", *Vietnam J. Mech.*, **39**(3), pp.191-202, DOI: 10.15625/0866-7136/8334.
- [13] Z. Li, X. Yu (2015), "Software project management based on dynamic programming algorithm", *Proc. First Int. Conf. Inf. Sci. Mach. Mater. Energy*, **126**, pp.883-887, DOI: 10.2991/icismme-15.2015.185.

Nâng cao chất lượng hình ảnh và video chụp trong điều kiện thời tiết sương mù, sử dụng bộ lọc dẫn hướng đa lớp

Nguyễn Văn Thương*, Nguyễn Ngọc Tú

Trung tâm Quang điện tử, Viện Ứng dụng Công nghệ, C6 Thanh Xuân Bắc, phường Thanh Xuân Bắc, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 4/5/2023; ngày chuyển phân biện 8/5/2023; ngày nhận phân biện 30/5/2023; ngày chấp nhận đăng 2/6/2023

Tóm tắt:

Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một thuật toán nhằm nâng cao chất lượng ảnh và video chụp trong điều kiện thời tiết sương mù. Đầu tiên, hình ảnh sương mù đầu vào được giảm tỷ lệ để tạo thành một kim tự tháp hình ảnh. Sau đó, chúng tôi thực hiện ước tính bản đồ truyền sáng và ánh sáng khí quyển tại lớp ảnh thô nhất của kim tự tháp. Tiếp theo, chúng tôi thu được bản đồ truyền ánh sáng ở hình ảnh tại lớp cao nhất, bằng cách sử dụng bộ lọc ảnh dẫn hướng thực hiện lần lượt trên các lớp hình ảnh của kim tự tháp. Dựa trên những thông tin thu thập được, chúng tôi tinh chỉnh bản đồ truyền sáng cho các lớp có độ phân giải cao hơn, bằng cách áp dụng bộ lọc ảnh dẫn hướng một cách tuần tự qua kim tự tháp. Cách tiếp cận phân cấp này đảm bảo tính toán hiệu quả, đồng thời bảo toàn các đặc trưng quan trọng của hình ảnh. Bằng cách tích hợp các kỹ thuật xử lý thời gian thực, phương pháp đề xuất giúp giảm đáng kể hiện tượng nhấp nháy, vốn thường làm suy giảm chất lượng hình ảnh của video đã khử sương mù. Kết quả thực nghiệm cho thấy, thuật toán đề xuất có thể áp dụng trong các ứng dụng thời gian thực, đồng thời mang lại hiệu suất tương đương hoặc thậm chí tốt hơn so với các thuật toán khử sương mù hiện nay. Điều này khiến phương pháp này trở nên đặc biệt hữu ích trong các tình huống yêu cầu cải thiện tầm nhìn.

Từ khóa: bộ lọc ảnh dẫn hướng, khôi phục ảnh, khử sương mù, xử lý ảnh, xử lý video.

Chỉ số phân loại: 1.8, 2.2

Hazy image and video enhancement using multi-scale guided filtering

Van Thuong Nguyen*, Ngoc Tu Nguyen

Center for Optoelectronics, National Center for Technological Progress, C6 Thanh Xuan Bac, Thanh Xuan Bac Ward, Thanh Xuan District, Hanoi, Vietnam

Received 4 May 2023; revised 30 May 2023; accepted 2 June 2023

Abstract:

In this article, we propose an algorithm for enhancing the quality of images and videos captured under foggy weather conditions. First, the input foggy image is downsampled to construct an image pyramid. After that, we estimate the transmission map and atmospheric light at the coarsest layer of the pyramid. Next, the transmission map at the finest layer is obtained by sequentially applying the guided image filter across the pyramid's image layers. Based on the collected information, we refine the transmission map for higher-resolution layers by applying a guided image filter progressively through the pyramid. This hierarchical approach ensures efficient computation while preserving essential image features. By incorporating real-time processing techniques, the proposed method significantly reduces flickering artefacts, which often degrade the visual quality of defogged videos. Experimental evaluations demonstrate that it can be implemented in real-time applications while achieving performance comparable to or superior to state-of-the-art defogging methods. This makes the approach highly practical for scenarios requiring visibility enhancement.

Keywords: dehazing, guided image filtering, image processing, image restoration, video processing.

Classification numbers: 1.8, 2.2

*Tác giả liên hệ: Email: thuongbkhn94@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Hình ảnh và video ngoài trời chụp trong điều kiện thời tiết xấu, chẳng hạn như sương mù, thường mang lại độ tương phản thấp do sự tán xạ của các hạt khí quyển. Hình ảnh và video có chất lượng kém làm giảm hiệu suất của các hệ thống thị giác máy và ứng dụng xử lý ảnh. Vì vậy, việc phát triển một thuật toán hiệu quả để khôi phục khung cảnh gốc từ hình ảnh và video sương mù đầu vào là rất quan trọng trong lĩnh vực xử lý ảnh và thị giác máy. Gần đây, nhiều thuật toán đã được đề xuất để loại bỏ sương mù khỏi một hình ảnh. Hầu hết các thuật toán có thể đạt được kết quả chất lượng cao bằng cách sử dụng các điều kiện biết trước hoặc giả định khác nhau. Ví dụ, K. He và cs (2011) [1] đã phát triển một thuật toán hiệu quả dựa trên giả thiết kênh màu tối. T.M. Bui và cs (2018) [2] đã xây dựng các mô hình elip cho các cụm điểm ảnh sương mù trong không gian. T.V. Nguyen và cs (2021) [3] phát triển thuật toán khử sương mù cho ảnh chụp trên mặt biển dựa vào hàm phân rã ánh sáng. Gần đây, các thuật toán dựa trên học sâu đang được phát triển mạnh mẽ. Một là xuất trực tiếp ảnh không có sương mù theo cách từ đầu đến cuối [4, 5] và cách khác [6, 7] là tạo ra hình ảnh không có sương mù bằng cách ước tính hệ số truyền và ánh sáng xung quanh. Y. Shao và cs (2020) [6] sử dụng mạng nơ-ron tích chập (CNN) để trực tiếp ước tính bản đồ truyền dẫn ánh sáng và ánh sáng khí quyển từ tập dữ liệu ảnh sương mù và ảnh gốc. S.A. Hovhannisyan và cs (2022) [8] đề xuất một mạng tăng cường đầu cuối (AED-Net) để khôi phục các cảnh gốc từ các hình ảnh sương mù. Mặc dù các phương pháp kể trên loại bỏ hiệu quả sương mù trong ảnh, nhưng độ tính toán phức tạp của chúng quá cao để có thể áp dụng trong các ứng dụng thực tế, chẳng hạn như khi làm việc với các bộ dữ liệu đầy thách thức như NTIRE [9].

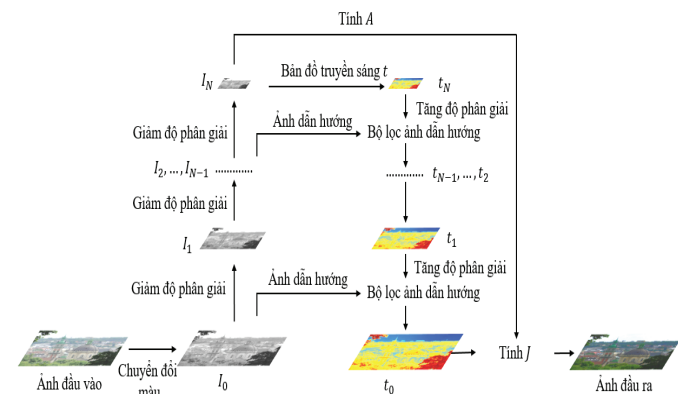
Các thuật toán loại bỏ sương mù trong hình ảnh cũng được mở rộng để khử sương mù trong video khi xem xét đến sự gắn kết về thời gian và tính nhất quán về không gian của các khung hình trong video. Ví dụ, J.H. Kim và cs (2013) [10] đã phát triển một thuật toán hiệu quả dựa trên sơ đồ tăng cường độ tương phản. W. Wang và cs (2017) [11] đề xuất hàm tối thiểu dư độ dốc (gradient residual minimization) để giảm tối đa các hiệu ứng xảy ra trong hình ảnh đã khử sương mù. Thuật toán của họ giữ lại hiệu quả độ mạch lạc và loại bỏ các hiện tượng nhấp nháy do liên kết độ sáng của các khung hình bị phá vỡ, nhưng nó đòi hỏi độ phức tạp tính toán cao để xử lý video có độ phân giải cao. Để giải quyết hạn chế này, chúng tôi đề xuất một thuật toán khử sương mù cho hình ảnh và video đáp ứng thời gian thực dựa trên bộ lọc dẫn hướng đa lớp. Đầu tiên, hình ảnh sương mù đầu vào sẽ được giảm tỷ lệ để tạo thành một kim tự tháp hình ảnh. Sau đó, chúng tôi thực hiện ước tính bản đồ truyền sáng và ánh sáng khí quyển tại lớp ảnh thô nhất của kim tự tháp. Tiếp theo, chúng tôi thu được bản đồ truyền ánh sáng ở hình ảnh tại lớp cao nhất bằng cách sử dụng bộ lọc ảnh dẫn hướng, thực hiện lần lượt trên các lớp hình ảnh của kim tự

tháp. Để loại bỏ sương mù trong video, chúng tôi mở rộng thuật toán khử sương mù hình ảnh theo thời gian thực, để giảm hiện tượng nhấp nháy gây ra bởi sự không đồng nhất trong ánh sáng truyền giữa các khung hình. Kết quả thực nghiệm cho thấy, thuật toán đề xuất có thể áp dụng trong các ứng dụng thời gian thực, đồng thời mang lại hiệu suất tương đương hoặc thậm chí tốt hơn so với các thuật toán khử sương mù hiện nay.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phương pháp loại bỏ sương mù trong hình ảnh

Phương pháp loại bỏ sương mù do nhóm nghiên cứu đề xuất có sơ đồ thuật toán được thể hiện tại hình 1.



Hình 1. Sơ đồ thuật toán đề xuất.

2.2. Mô hình ảnh sương mù

Trong bài toán khử sương mù, màu sắc quan sát được $I^c(x)$ của kênh màu c_{th} tại điểm ảnh x được diễn giải như sau:

$$I^c(x) = J^c(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (1)$$

trong đó, $J^c(x)$ biểu diễn màu sắc của ảnh không có sương mù, $t(x)$ và A lần lượt là bản đồ truyền sáng và ánh sáng khí quyển. Vì khí quyển được coi là đồng nhất, bản đồ truyền sáng $t(x)$ phụ thuộc vào khoảng cách và được mô hình hóa bởi $t(x) = e^{-\beta d(x)}$, với β là hệ số tán xạ khí quyển và $d(.)$ biểu thị khoảng cách từ vật thể tới hệ quang. Trong phương trình 1, khó khăn lớn nhất trong khôi phục ảnh không sương mù $J^c(x)$ là ước tính A và $t(x)$ chỉ từ một ảnh sương mù đầu vào $I^c(x)$.

2.3. Tính toán ánh sáng khí quyển

Trong hầu hết các thuật toán khử mờ thông thường, ánh sáng khí quyển A được chọn là điểm ảnh có cường độ sáng lớn nhất trong hình ảnh sương mù, với giả thiết rằng sương mù làm cho hình ảnh sáng hơn. Tuy nhiên, phương pháp đơn giản như vậy có thể không ước tính được giá trị chính xác của A (theo công thức 1) nếu hình ảnh chứa các đối tượng màu trắng, như minh họa trong hình 2B. Để giải quyết vấn đề này, chúng tôi sử dụng sơ đồ tìm kiếm phân



Hình 2. So sánh kết quả tính toán ánh sáng khí quyển. (A) Ảnh đầu vào, (B) Thuật toán truyền thống, (C) Thuật toán đề xuất.

cấp dựa trên cây phân chia phân tử [10] để thu được độ lớn ánh sáng khí quyển chính xác và hiệu quả hơn. Dựa trên quan sát rằng các vùng sương mù tồn tại ở nửa trên của hình ảnh, chúng tôi chỉ xem xét nửa trên của hình ảnh đầu vào. Sau đó, chúng tôi chia nửa trên của hình ảnh thành hai khối và tính giá trị cường độ trung bình của mỗi khối. Chúng tôi chỉ áp dụng cây phân chia cho khối có giá trị cường độ trung bình cao hơn như hình 2C. Chúng tôi dừng quá trình tìm kiếm phân cấp nếu chênh lệch giữa hai khối cường độ trung bình cao nhất nhỏ hơn ngưỡng. Cuối cùng, ánh sáng khí quyển được tính là giá trị cường độ trung bình của 10% điểm ảnh sáng nhất trong khối cuối cùng. Hình 2 cho thấy, sơ đồ được đề xuất ước tính ánh sáng khí quyển chính xác hơn so với các thuật toán thông thường.

2.4. Tính toán bản đồ truyền sáng

Để ước tính hiệu quả bản đồ truyền sáng t , chúng tôi xây dựng một kim tự tháp hình ảnh từ hình ảnh sương mù đầu vào I , sau đó chỉ ước tính t ở lớp hình ảnh thô nhất. Cụ thể, ảnh đầu vào được chuyển thành ảnh xám I_0 sau đó được giảm kích thước theo hệ số 2^N lần để thu được kim tự tháp hình ảnh $I_0, I_1, \dots, I_N$. Trong đó, N được chọn sao cho $\max(W_N, H_N) \leq 320$, trong đó W_N và H_N lần lượt biểu thị chiều rộng và chiều cao của ảnh ở mức thô nhất N .

Sau đó, chúng tôi ước tính bản đồ truyền sáng ban đầu t_N ở lớp ảnh thô nhất N bằng cách sử dụng phép biến đổi tuyến tính [11]. Lưu ý rằng, do bản đồ truyền của các kênh màu giống nhau nên mô hình ảnh sương mù trong phương trình 1 có thể được viết lại là:

$$I(x) = J(x)t(x) + A(1 - t(x)) \quad (2)$$

trong đó: $I(x)$ và $J(x)$ lần lượt biểu thị cường độ ảnh quan sát được và cường độ ảnh không có sương mù của ảnh đầu vào trong kênh màu xám. Sau đó, từ phương trình 2, bản đồ truyền sáng được tính bởi:

$$t(x) = \frac{A - I(x)}{A - J(x)} \quad (3)$$

Lưu ý rằng, trong phương trình 3, $J(x)$ phải được ước tính trước để tính $t(x)$. Theo đó, W. Wang và cs (2017) [11] đã giả định một mối quan hệ tuyến tính giữa các giá trị cường độ của $I(x)$ và $J(x)$. Cụ thể hơn, trong điều kiện thời tiết nhiều sương mù, cường độ điểm ảnh của ảnh gốc được

coi là tỷ lệ thuận với cường độ điểm ảnh của hình ảnh sương mù, nghĩa là:

$$J(x) = \alpha \times I(x) + \beta \quad (4)$$

trong đó: α và β là các tham số. Tuy nhiên, trong thực tế, thật khó để tìm ra giá trị chính xác cho hai tham số này chỉ từ một hình ảnh đầu vào duy nhất. Để giải quyết vấn đề này, W. Wang và cs (2017) [11] đã phát triển một phép tính gần đúng sử dụng hàm bậc hai, được cho bởi:

$$J(x) = \delta \frac{I(x) - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} \times I(x) + \epsilon \quad (5)$$

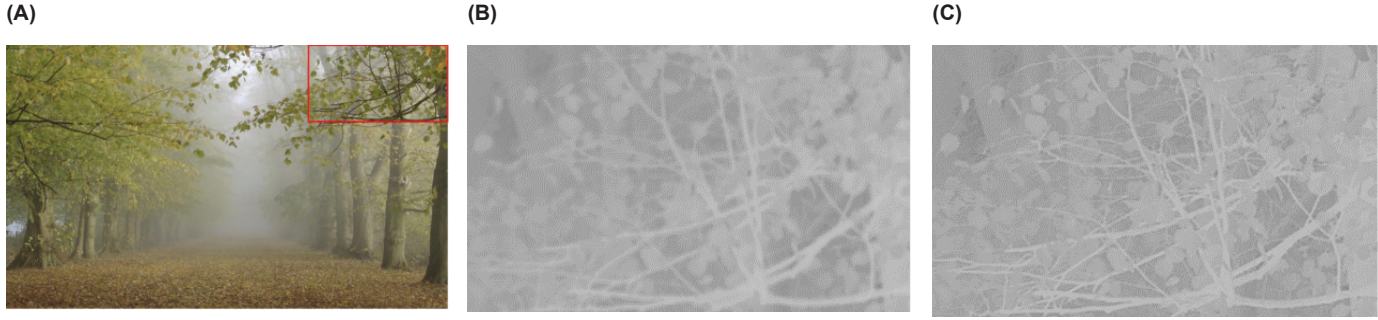
với Max và Min lần lượt là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của $I(x)$, và δ là tham số điều chỉnh lượng sương mù được loại bỏ. Lưu ý rằng, trong khi W. Wang và cs (2017) [11] phát triển quan hệ bậc hai trong (6) giữa $J(x)$ và $I(x)$ đối với ảnh màu, chúng tôi sử dụng mối quan hệ này đối với ảnh thang độ xám. Trong phương trình 5, nếu $I(x) = \text{Max}$, $J(x)$ có thể lớn hơn $I(x)$. Để tránh trường hợp này, chúng tôi giới hạn giá trị của $J(x)$ bởi $J(x) = \min(J(x), \text{Max})$. Cuối cùng, bằng cách thay $J(x)$ ở phương trình 5 vào phương trình 3, chúng ta thu được bản đồ truyền sáng ban đầu ở lớp N là:

$$t(x) = \delta \frac{A - I(x)}{A - (\delta \frac{I(x) - \text{Min}}{\text{Max} - \text{Min}} \times I(x) + \epsilon)} \quad (6)$$

Lưu ý rằng, trong phương trình 6, chúng tôi ước tính bản đồ truyền ban đầu $t_N(x)$ ở lớp ảnh thô nhất N . Do đó, chúng tôi tăng độ phân giải bản đồ $t_N(x)$ lên độ phân giải ban đầu $t_0(x)$, trong khi vẫn giữ được chi tiết hình ảnh. Để làm được điều này, chúng tôi sử dụng bộ lọc hình ảnh dẫn hướng [12]. Cụ thể, đặt t_k biểu thị bản đồ truyền sáng cho hình ảnh I_k tại lớp hình ảnh thứ k trong kim tự tháp hình ảnh. Sau đó, bản đồ truyền sáng $t_{(k-1)}$ cho ảnh $I_{(k-1)}$ ở lớp $(k-1)$ được tính như sau:

$$t_{k-1} = G(B_{up}(t_k); I_{k-1}) \quad (7)$$

với B_{up} biểu thị toán tử tăng độ phân giải bằng nội suy song tuyến tính và G là bộ lọc ảnh dẫn hướng sử dụng ảnh $I_{(k-1)}$ làm ảnh hướng dẫn. Chúng tôi tiếp tục quy trình này cho đến khi độ phân giải của bản đồ truyền sáng trở nên giống



Hình 3. Tinh chỉnh bản đồ truyền sáng. (A) Ảnh đầu vào, bản đồ truyền sáng trong vùng đỏ, (B) Bản đồ truyền sáng thô, (C) Bản đồ truyền sáng sau khi tinh chỉnh.

như hình ảnh đầu vào. Hình 3 cho thấy bản đồ truyền sáng sau khi tinh chỉnh sử dụng bộ lọc dẫn hướng giữ lại hiệu quả các chi tiết hình ảnh.

2.5. Loại bỏ sương mù trong ảnh

Cuối cùng, với độ lớn ánh sáng khí quyển A và bản đồ truyền sáng $t_0(x)$, chúng tôi thu được ảnh đã khử sương mù dựa trên công thức (1), được cho như sau:

$$J^c(x) = \frac{I^c(x) - A}{\max(t_0(x), \gamma)} + A \quad (8)$$

trong đó: γ là giới hạn dưới nhằm giúp $J^c(x)$ tránh bị tiến tới vô cực khi $t_0(x)$ quá nhỏ.

2.6. Phương pháp loại bỏ sương mù trong video

Nếu thuật toán khử sương mù cho hình ảnh đơn lẻ trong phần trước được áp dụng độc lập cho từng khung hình của video, thì kết quả video sẽ xảy ra hiện tượng nhấp nháy do tính nhất quán tạm thời giữa các khung hình bị phá vỡ. Do đó, trong nghiên cứu này, chúng tôi phát triển một thuật toán mới để duy trì sự gắn kết độ sáng giữa các khung hình trong video đầu vào.

Chúng tôi chọn khung hình đầu tiên I^1 làm hệ quy chiếu I^{ref} . Trước tiên, chúng tôi loại bỏ sương mù trong I^{ref} bằng cách sử dụng thuật toán khử sương mù trong ảnh như trình bày trong phần trước. Tiếp theo, đặt I^k và $I^{(k-1)}$ biểu thị hai khung hình liên tiếp thứ k và $(k-1)$ của video đầu vào. Sau đó, chúng tôi sử dụng kỹ thuật luồng quang học [9] để thu được khung hình dự kiến $\hat{I}^k$ từ khung trước đó $I^{(k-1)}$. Tiếp theo, chúng tôi tính toán hệ số liên kết độ sáng tạm thời giữa các khung hình hiện tại I^k và khung hình trước đó $I^{(k-1)}$ là:

$$\tau = \exp\left[-\frac{\|\hat{I}^k - I^k\|^2}{\sigma^2 \times N}\right] \quad (9)$$

trong đó: N là số điểm ảnh trong I và tham số σ kiểm soát phương sai của mô hình xác suất. Trong thực nghiệm của chúng tôi, σ được chọn theo kinh nghiệm là 10. Nếu $\tau \geq 0,5$, qua thực nghiệm chúng tôi nhận thấy sự khác biệt khung cảnh giữa I^k và I^{ref} nhỏ thì bản đồ truyền sáng t_N^{ref} của khung hình I^{ref} được sử dụng cho bản đồ truyền sáng t_N^k của khung I^k . Tương tự, ánh sáng khí quyển của khung hình I^{ref} cũng

được sử dụng cho khung hình I^k . Lưu ý rằng t_N^{ref} là bản đồ truyền ban đầu ở lớp ảnh thấp nhất của kim tự tháp hình ảnh, có thể có sự không khớp về chi tiết giữa t_N^{ref} và t_N^k . Tuy nhiên, bằng cách sử dụng bộ lọc ảnh dẫn hướng để tinh chỉnh bản đồ truyền, với hình ảnh dẫn hướng là I^k , các chi tiết không khớp giữa khung hình I^k và bản đồ truyền t_N^{ref} được giải quyết.

Mặt khác, khi hệ số tương đồng $\tau < 0,5$, cảnh trong khung hình I^k bị thay đổi đáng kể so với khung tham chiếu. Do đó, khung hình I^k sẽ được loại bỏ bằng thuật toán khử sương mù trong ảnh. Sau đó, I^k sẽ được chọn làm khung hình quy chiếu mới.

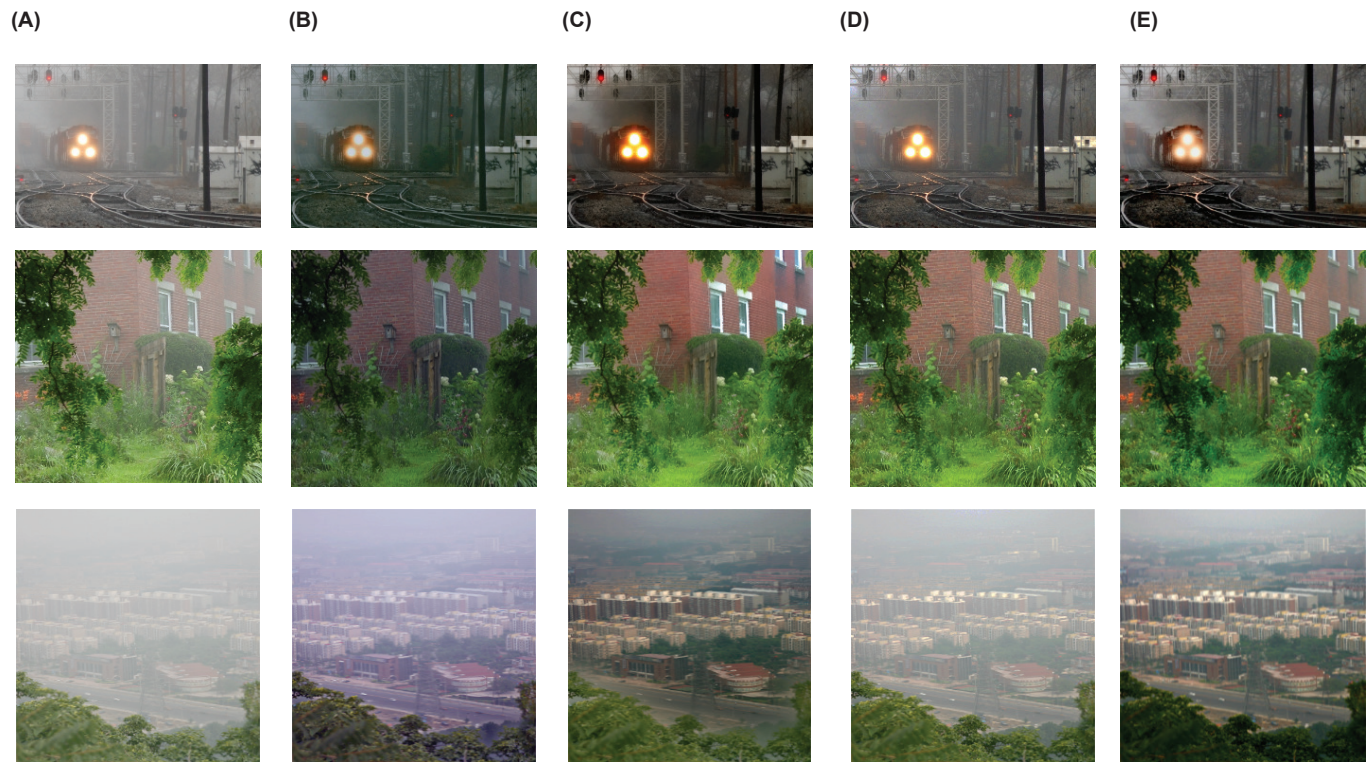
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Phương pháp, công cụ mô phỏng

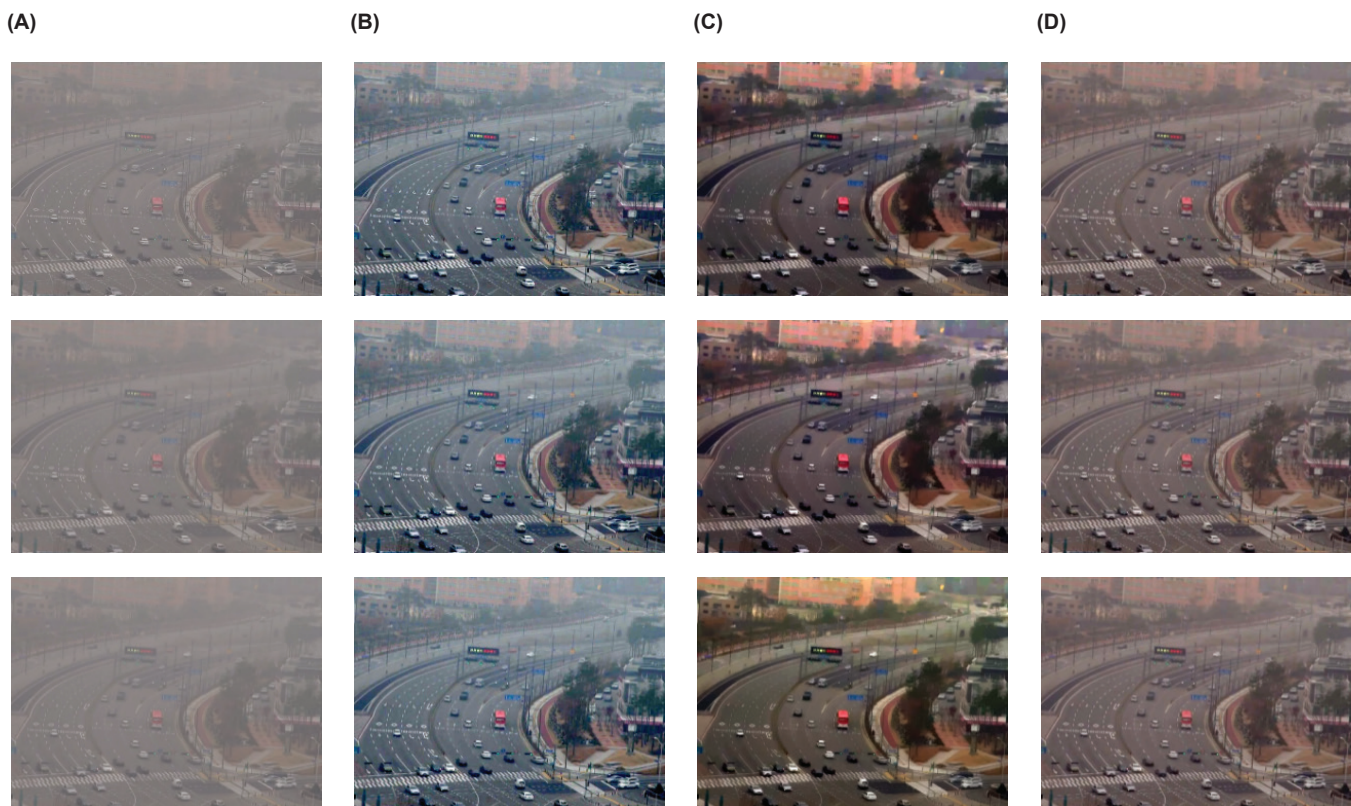
Chúng tôi đánh giá hiệu quả của thuật toán khử sương mù được đề xuất với các thuật toán hiện nay bao gồm: thuật toán của J.H. Kim và cs (2013) [10] (OCE), C. Chen và cs (2016) [13] (GRM) và thuật toán của W. Wang và cs (2017) [11] (LT). Trong tất cả các thử nghiệm, chúng tôi đặt $\delta=0,95$ trong phương trình 6, $\gamma=0,05$ trong phương trình 8 để mang lại chất lượng hình ảnh chủ quan tốt nhất. Kết quả của OCE [10] và GRM [13] thu được bằng cách thực thi mã nguồn do các tác giả tương ứng cung cấp, trong khi kết quả nghiên cứu thuật toán LT của W. Wang và cs (2017) [11] thu được bằng mã nguồn triển khai bởi chính chúng tôi. Ngoài những đánh giá chủ quan, chúng tôi so sánh thuật toán đề xuất với các thuật toán thông thường về độ phức tạp tính toán. Dữ liệu 50 hình ảnh sương mù có độ phân giải 1280×720 điểm ảnh được xử lý trên PC có CPU Core i7-9700 3,00 GHz và RAM 16 GB. Tất cả các thuật toán được thực hiện trong MATLAB, nhưng chưa tối ưu hóa.

3.2. Kết quả loại bỏ sương mù trong ảnh

Hình 4 cho thấy, kết quả khử sương mù của các thuật toán. Phương pháp OCE [10] trong hình 4C tạo ra kết quả với sự biến dạng màu sắc. Ví dụ, màu của kết quả ở hàng 1 và hàng 3 khác với màu trong cảnh thực. GRM đạt được hiệu quả tốt trên ảnh ở hàng 2 và 3, nhưng màu sắc trong kết quả ở hàng 1 là không được thực tế [13]. Thuật toán LT [11]



Hình 4. Kết quả các thuật toán. (A) Ảnh đầu vào; (B) Ảnh sau khi được khử sương mù bởi thuật toán OCE [10]; (C) GRM [13]; (D) LT [11]; (E) thuật toán đề xuất.



Hình 5. Kết quả khử sương mù trong video. (A) Ảnh gốc và kết quả của chuỗi khung hình được xử lý bởi (B) OCE [10], (C) GRM [13] và (D) Thuật toán đề xuất.

trong hình 4D không loại bỏ được sương mù một cách hiệu quả. Ngược lại, như đã thấy trong hình 4E, thuật toán được đề xuất tạo ra kết quả tốt nhất với ít tạo ra các hiệu ứng hơn, loại bỏ hiệu quả các thành phần sương mù so với với các thuật toán còn lại.

3.3. Kết quả loại bỏ sương mù trong video

Hình 5 so sánh kết quả khử sương mù trong video của các thuật toán. Trong hình 5B và 5C, thuật toán của OCE [10] và GRM [13] tạo ra sự khác biệt màu sắc trong cùng một khu vực, trong hai khung hình liên tiếp bởi vì sự khác biệt trong ánh sáng khí quyển mà các thuật toán ước tính cho từng khung hình. Những khác biệt này gây ra hiện tượng nhấp nháy trong video kết quả đầu ra. Ngược lại, chúng ta thấy rằng, trong hình 5D, thuật toán được đề xuất loại bỏ hiệu quả các thành phần sương mù, đồng thời duy trì tính nhất quán về độ sáng và màu sắc giữa các khung hình.

Ngoài những kết quả đánh giá chủ quan, chúng tôi so sánh thuật toán đề xuất với các thuật toán thông thường xét về độ phức tạp tính toán. Bảng 1 thể hiện thời gian thực hiện trung bình của các thuật toán. Thuật toán được đề xuất nhanh hơn nhiều lần so với thuật toán của OCE [10], GRM [13] và nhanh hơn 1,5 lần so với thuật toán LT của W. Wang và cs (2017) [11]. Chúng tôi cũng thấy rằng, thuật toán được đề xuất đạt tốc độ 30 khung hình/giây, thỏa mãn điều kiện thời gian của các ứng dụng thời gian thực.

Bảng 1. Bảng thời gian tính toán của các thuật toán OCE [10], GRM [13], LT [11] và thuật toán đề xuất.

OCE [10]	GRM [13]	LT [11]	Đề xuất
0,35(s)	50(s)	0,034(s)	0,025(s)

4. Kết luận

Chúng tôi đã đề xuất một thuật toán khử sương mù trong hình ảnh và video theo thời gian thực dựa trên bộ lọc hình ảnh dẫn hướng đa lớp. Đầu tiên, chúng tôi xây dựng một kim tự tháp hình ảnh từ một hình ảnh sương mù đầu vào. Sau đó, chúng tôi ước tính ánh sáng khí quyển và bản đồ truyền chỉ ở lớp ảnh thấp nhất để giảm độ phức tạp tính toán. Cuối cùng, chúng tôi thu được bản đồ truyền sáng tại lớp ảnh tốt nhất bằng cách tăng tỷ lệ và sử dụng bộ lọc ảnh dẫn hướng. Chúng tôi cũng mở rộng thuật toán khử sương mù trong hình ảnh sang khử sương mù trong video, bằng cách sử dụng luồng quang học. Kết quả thử nghiệm cho thấy thuật toán đề xuất xử lý nhanh hơn đáng kể so với các thuật toán hiện nay, đồng thời cung cấp kết quả tương đương hoặc tốt hơn trong một số trường hợp.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện thông qua đề tài cấp bộ 2021-2023: “Nghiên cứu phát triển hệ thống kiểm tra quang học bằng công nghệ xử lý ảnh 2D trong dây chuyền công nghiệp”. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K. He, J. Sun, X. Tang (2011), “Single image haze removal using dark channel prior”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **33**(12), pp.2341-2353, DOI: 10.1109/TPAMI.2010.168.
- [2] T.M. Bui, W. Kim (2018), “Single image dehazing using color ellipsoid prior”, *IEEE Transactions on Image Processing*, **27**(2), pp.999-1009, DOI: 10.1109/TIP.2017.2771158.
- [3] T.V. Nguyen, T.T.N. Mai, C. Lee (2021), “Single maritime image defogging based on illumination decomposition using texture and structure priors”, *IEEE Access*, **9**, pp.34590-34603, DOI: 10.1109/ACCESS.2021.3062030.
- [4] X. Qin, Z. Wang, Y. Bai, et al. (2020), “FFA-Net: Feature fusion attention network for single image dehazing” *Proceedings of The AAAI Conference on Artificial Intelligence*, **34**(7), pp.11908-11915, DOI: 10.1609/aaai.v34i07.6850.
- [5] M. Hong, Y. Xie, C. Li, et al. (2020), “Distilling image dehazing with heterogeneous task imitation”, *Proceedings of The IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp.3462-3471, DOI: 10.1109/CVPR42600.2020.00352.
- [6] Y. Shao, L. Li, W. Ren, et al. (2020), “Domain adaptation for image dehazing”, *Proceedings of The IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, pp.2808-2817, DOI: 10.1109/CVPR42600.2020.00287.
- [7] L.A. Tran, S. Moon, D.C. Park (2022), *A Novel Encoder-Decoder Network With Guided Transmission Map For Single Image Dehazing*, arXiv preprint arXiv:2202.04757.
- [8] S.A. Hovhannisyan, H.A. Gasparyan, S.S. Agaian, et al. (2022), “AED-Net: A single image dehazing”, *IEEE Access*, **10**, pp.12465-12474, DOI: 10.1109/ACCESS.2022.3146610.
- [9] C.O. Ancuti (2021), “NTIRE 2021 nonhomogeneous dehazing challenge report”, *Proceedings of The IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, pp.627-646, DOI: 10.1109/CVPRW53098.2021.00710.
- [10] J.H. Kim, W.D. Jang, J.Y. Sim, et al. (2013), “Optimized contrast enhancement for real-time image and video dehazing”, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, **24**(3), pp.410-425, DOI: 10.1016/j.jvcir.2013.01.017.
- [11] W. Wang, X. Yuan, X. Wu, et al. (2017), “Fast image dehazing method based on linear transformation”, *IEEE Transactions on Multimedia*, **19**(6), pp.1142-1155, DOI: 10.1109/TMM.2017.2654359.
- [12] F. Kou, W. Chen, C. Wen, et al. (2015), “Gradient-domain guided image filtering”, *IEEE Transactions on Image Processing*, **24**(11), pp.4528-4539, DOI: 10.1109/TIP.2015.2466080.
- [13] C. Chen, M. Do, J. Wang (2016), “Robust image and video dehazing with visual artifact suppression via gradient residual minimization”, *Proceedings of The European Conference on Computer Vision (ECCV)*, pp.576-591, DOI: 10.1007/978-3-319-46454-1_35.

Ảnh hưởng của nồng độ HF và thời gian siêu âm đến tính chất của vật liệu 2D-MXene-Ti₃C₂ tổng hợp bằng phương pháp hóa học ướt

Cao Thị Hồng^{1,2}, Nguyễn Thị Thơm^{1*}, Phạm Thị Năm¹, Nguyễn Thu Phương¹,
Vũ Thị Thu³, Đinh Thị Mai Thanh³, Ngô Văn Hoành⁴, Trần Đại Lâm¹

¹Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

⁴Viện Hóa học - Vật liệu, 17 Hoàng Sâm, phường Nghĩa Đô, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 21/7/2023; ngày chuyển phản biện 23/7/2023; ngày nhận phản biện 4/8/2023; ngày chấp nhận đăng 9/8/2023

Tóm tắt:

Gần đây, một họ vật liệu mới cấu trúc hai chiều gọi là MXene, bao gồm các carbides/nitrides/carbonitrides kim loại chuyển tiếp đang nhận được sự quan tâm của các nhà khoa học. MXene có cấu trúc lớp 2D độc đáo nên chúng có thể dễ dàng kết hợp với các vật liệu khác để tăng cường thuộc tính cho vật liệu tổ hợp được tạo ra. Vật liệu này đang được nghiên cứu cho những ứng dụng rộng rãi, bao gồm tích trữ năng lượng, siêu tụ điện, xúc tác, màng dẫn điện, vật liệu gia cường và hấp phụ. MXene có thể được tổng hợp thông qua quá trình ăn mòn chọn lọc từ tiền chất MAXene bằng cách sử dụng dung dịch ăn mòn HF. Nghiên cứu này báo cáo ảnh hưởng của nồng độ HF và thời gian siêu âm tách lớp đến hình thái, thành phần của vật liệu 2D-MXene-Ti₃C₂ tổng hợp được bằng phương pháp kính hiển vi điện tử quét và phân tích quang phổ tán xạ năng lượng tia X. Các kết quả cho thấy, ở hàm lượng HF 48% và thời gian siêu âm 90 phút, vật liệu 2D-MXene-Ti₃C₂ có sự tách lớp tốt với hàm lượng nhôm trong phân tử còn khoảng 1,5%. Vật liệu 2D-MXene-Ti₃C₂ tổng hợp được có diện tích bề mặt tăng gấp 5,8 lần so với vật liệu MAX-Ti₃AlC₂ ban đầu.

Từ khóa: ăn mòn chọn lọc, MAX-Ti₃AlC₂, nồng độ HF, thời gian siêu âm, 2D-MXene-Ti₃C₂.

Chỉ số phân loại: 2.4, 2.5

The effect of HF concentration and ultrasound time on 2D-MXene-Ti₃C₂ material synthesised by wet chemical method

Thi Hong Cao^{1,2}, Thi Thom Nguyen^{1*}, Thi Nam Pham¹, Thu Phuong Nguyen¹, Thi Thu Vu³,
Thi Mai Thanh Dinh³, Van Hoanh Ngo⁴, Dai Lam Tran¹

¹Institute for Tropical Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

²Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Cau Giay District, Hanoi Vietnam

³University of Science and Technology of Hanoi, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

⁴Institute of Chemistry - Material, 17 Hoang Sam Street, Nghia Do Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

Received 21 July 2023; revised 4 August 2023; accepted 9 August 2023

Abstract:

Recently, a new family of two-dimensional materials, called MXenes, which are layered structure materials of carbides/nitrides/carbonitrides of transition metal, are receiving the attention of scientists. MXene, with its unique 2D layered structure, can easily combine with other materials to enhance the properties of the resulting composite material. The materials are being investigated for wide applications including energy storage, supercapacitors, catalysis, conductive films, reinforcement and adsorbents. MXene can be synthesised through selective etching from the MAXene precursor using HF etching solution. This study reports the effect of HF concentration and ultrasonication time on the morphology and composition of the synthesised 2D-MXene-Ti₃C₂ materials. These characterisations were evaluated by scanning electron microscopy and X-ray energy-dispersive spectroscopy analysis. The results showed that at 48% HF and 90 min of ultrasonication time, 2D-MXene-Ti₃C₂ material has good delamination with the aluminum content in the molecule remaining about 1.5%. The material has an approximately 5.8-fold increase in surface area compared to the original MAX-Ti₃AlC₂ material.

Keywords: HF concentration, MAX-Ti₃AlC₂, selective etching, ultrasonication time, 2D-MXene-Ti₃C₂.

Classification numbers: 2.4, 2.5

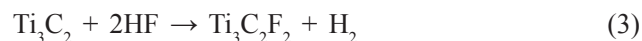
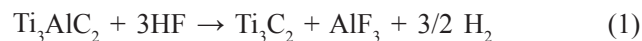
*Tác giả liên hệ: Email: nguyenthithomsp@gmail.com

1. Đặt vấn đề

MXenes là họ vật liệu cacbua và nitrua kim loại chuyển tiếp hai chiều (2D) có công thức hóa học chung là $M_{n+1}X_n$ ($n=1,2,3$), trong đó, M là kim loại chuyển tiếp (Ti, Ta, Nb, V, Mo) và X có thể là C và/hoặc N [1]. MXenes thường được tổng hợp thông qua quá trình ăn mòn hóa học ướt từ pha MAX [2]. Các quá trình ăn mòn hóa học này dẫn đến các bề mặt thường được chức năng hóa với các nhóm -O, -F hoặc -OH [1, 3] và ký hiệu là T_x [1].

MXene đầu tiên (Ti_3C_2) có nguồn gốc từ Ti_3AlC_2 được phát hiện ra năm 2011, sau đó các MXene khác nhau đã được tổng hợp cho các ứng dụng bao gồm lưu trữ năng lượng, sàng lọc ion và khí, che chắn nhiễu điện từ, quang điện tử và y học [4-6]. Trong số đó, các MXene dựa trên titan (như $Ti_3C_2T_x$ và Ti_2CT_x) được sử dụng rộng rãi cho các ứng dụng môi trường [1, 7]. Bên cạnh cacbua, các cấu trúc MXene khác với nitride và carbonitride được sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau [8]. MXene có cấu trúc lớp 2D độc đáo nên chúng có thể dễ dàng kết hợp với các vật liệu khác để tăng cường thuộc tính cho vật liệu tổ hợp được tạo ra [9, 10]. Ngoài ra, MXene có tính tương thích sinh học, dễ chức năng hóa, tính dẫn kim loại cao và tính ưa nước làm cho chúng trở thành một ứng cử viên lý tưởng cho các ứng dụng khác nhau như xử lý môi trường, lưu trữ năng lượng, điện tử, cảm biến, tách nước và xúc tác [11, 12]. Gần đây, MXenes được quan tâm nghiên cứu cho những ứng dụng trong lọc nước theo công nghệ khử ion bằng điện dung và hấp phụ [13, 14].

Do MXene có thể được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau nên gần đây các nhà khoa học đã và đang nghiên cứu để đưa ra quy trình công nghệ mới tổng hợp các vật liệu MXene từ các loại tiền chất ban đầu khác nhau. MXenes thể hiện các tính chất khác nhau tùy thuộc vào điều kiện tổng hợp như bản chất của chất ăn mòn, nồng độ chất ăn mòn, bản chất của dung môi và thời gian siêu âm. Thông thường, MXene được tạo ra bằng cách loại bỏ lớp A khỏi pha MAX thông qua quá trình ăn mòn chọn lọc bằng cách sử dụng HF làm chất ăn mòn. Dung dịch HF làm suy yếu các liên kết hóa học mạnh giữa các phần tử A và M trong pha MAX. Quá trình tổng hợp MXenes đã được báo cáo bởi M. Naguib và cs (2011) [1], trong báo cáo này các tác giả đề cập đến phản ứng hóa học giữa pha MAX và môi trường nước giàu flo. Nguyên tử Al bị loại bỏ theo phản ứng 1 và các MXene tổng hợp được có các nhóm -OH, -F (tương ứng với phản ứng 2 và 3). Nói cách khác, liên kết Ti-Al đã được thay thế bởi Ti-F hoặc Ti-OH.



Bài báo này báo cáo một kỹ thuật đơn giản để tổng hợp vật liệu 2D-MXene- Ti_3C_2 từ tiền chất MAX- Ti_3AlC_2 ; đồng thời, nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ chất ăn mòn HF, thời gian siêu âm đến hình thái học và thành phần các nguyên tố trong vật liệu thu được. Vật liệu 2D-MXene- Ti_3C_2 tổng hợp được định hướng ứng dụng trong chế tạo điện cực composite xốp dẫn điện trên cơ sở carbon hoạt tính gáo dừa để xử lý nước nhiễm mặn tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long theo công nghệ điện dung khử ion (Capacitive deionisation - HCDI). Đây là một hướng nghiên cứu mới và tiềm năng để có thể ứng dụng trong thực tiễn.

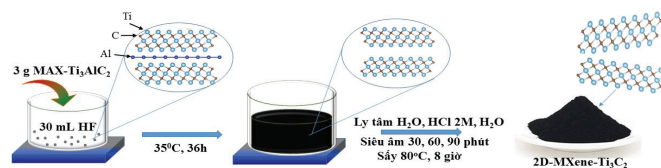
2. Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

2.1. Hóa chất, thiết bị

Hóa chất MAX- Ti_3AlC_2 (độ tinh khiết 98%, <200 μm), HF nồng độ 48% và HCl nồng độ 37% là sản phẩm của hãng Sigma Aldrich. Các thiết bị sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: cân phân tích 5 số Mettler Toledo (Đức), máy khuấy từ gia nhiệt VELP (Ý), máy siêu âm S60H Elmasonic (Đức) và máy ly tâm Hermle Z366K (Đức).

2.2. Tổng hợp 2D-MXene- Ti_3C_2

2D-MXene- Ti_3C_2 được tổng hợp bằng phương pháp ăn mòn chọn lọc “etching” từ tiền chất MAX- Ti_3AlC_2 trong dung dịch HF (hình 1). 3 g bột MAX- Ti_3AlC_2 được thêm vào 30 ml HF với nồng độ HF thay đổi 20, 30 và 48%. Hỗn hợp được đựng trong bình Teflon dung tích 50 ml có nắp đậy và được đun cách thủy trên máy khuấy từ gia nhiệt với tốc độ khuấy 250 vòng/phút, ở nhiệt độ 35°C trong thời gian 36 giờ. Hỗn hợp được ly tâm rửa bằng nước cất với tốc độ 9.000 vòng/phút trong 5 phút (3 lần), bằng dung dịch axit HCl 2M (thực hiện 3 lần), sau đó ly tâm rửa bằng nước cất đến pH trung tính. Tiếp theo, hỗn hợp được siêu âm ở nhiệt độ phòng với thời gian khác nhau 30, 60 và 90 phút sử dụng bể siêu âm. Cuối cùng, ly tâm thu lấy chất rắn và sấy chân không ở 80°C trong 8 giờ, nghiền bằng cối mã não thu được 2D-MXene- Ti_3C_2 dạng bột mịn màu đen.



Hình 1. Tổng hợp 2D-MXene- Ti_3C_2 bằng phương pháp hóa học ướt trong HF.

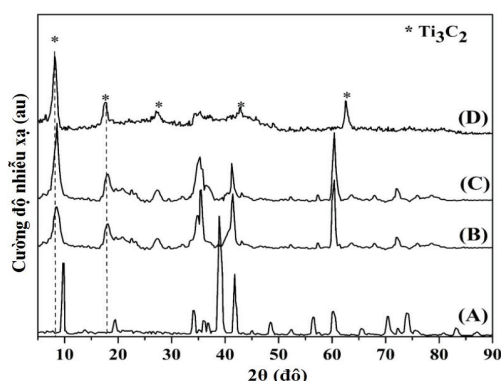
2.3. Phân tích đặc trưng tính chất của MAX-Ti₃AlC₂ và 2D-MXene-Ti₃C₂

Hình thái học bề mặt của các vật liệu MAX-Ti₃AlC₂ và 2D-MXene-Ti₃C₂ được phân tích bằng phương pháp kính hiển vi điện tử quét (SEM) sử dụng thiết bị Jeol 6490 JED 2300 (Jeol, Nhật Bản). Thành phần các nguyên tố của các vật liệu được đánh giá bằng phương pháp tán xạ năng lượng tia X (EDX) trên thiết bị Jeol 6490 JED 2300 (Jeol, Nhật Bản).

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của nồng độ HF

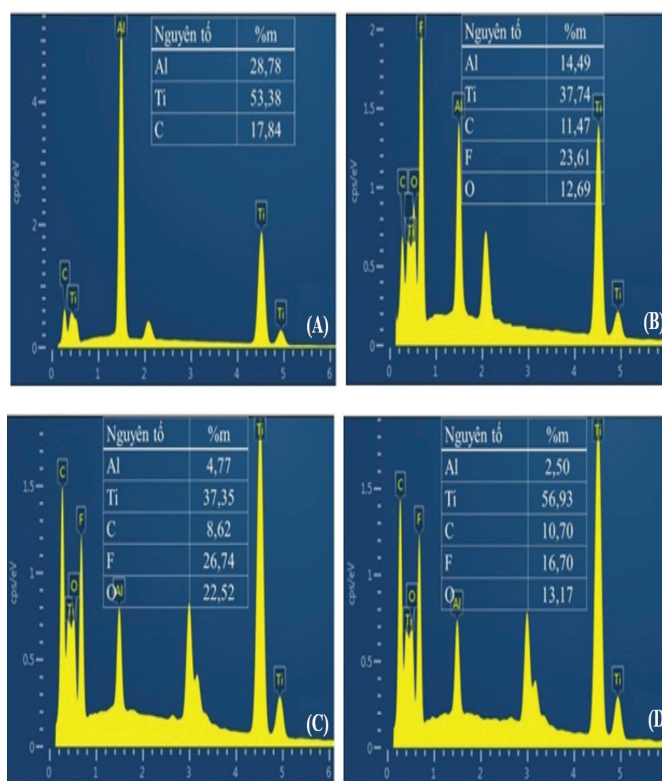
Giản đồ XRD của mẫu MAX-Ti₃AlC₂ và MXene-Ti₃C₂ tổng hợp ở nồng độ HF khác nhau đã được ghi lại để cung cấp thêm thông tin về cấu trúc tinh thể của chúng. Như được thấy trong hình 2, giản đồ XRD của MAX-Ti₃AlC₂ thể hiện hai pic điển hình ở 9,7 và 19,3° tương ứng với các mặt phẳng phản xạ (002) và (004).



Hình 2. Giản đồ XRD của MAX-Ti₃AlC₂ (A) và MXene-Ti₃C₂ tổng hợp trong dung dịch HF có nồng độ khác nhau 20% (B), 30% (C) và 40% (D).

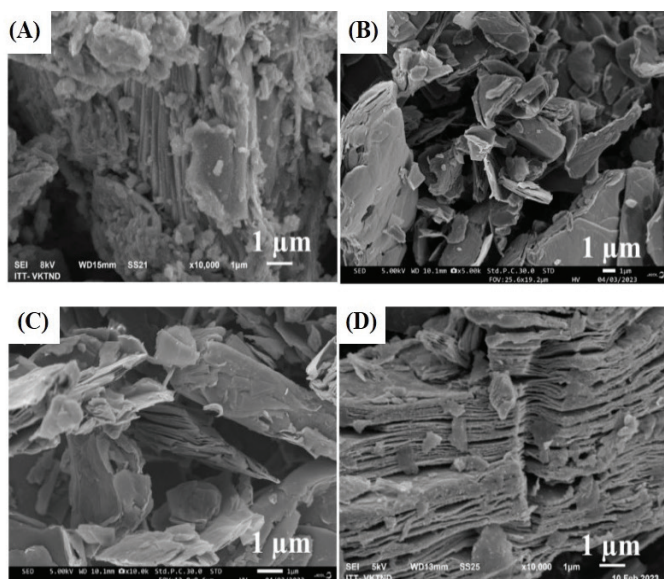
Sau khi ăn mòn trong các dung dịch HF có nồng độ khác nhau, hai pic này được dịch chuyển sang các góc nhỏ hơn (8,4 và 17,4°) và độ rộng của pic cũng được mở rộng (hình 2B, 2C và 2D). Nguyên nhân do sự xen kẽ của các nhóm hydroxyl và các phân tử nước vào các mặt phẳng cơ bản của vật liệu đã làm tăng tham số mạng c, dẫn đến sự dịch chuyển và mở rộng các pic nhiễu xạ. Khi được tổng hợp trong dung dịch HF có nồng độ 20 và 30% MAX-Ti₃AlC₂ không chuyển hóa hoàn toàn thành MXene-Ti₃C₂ và vẫn còn hiện diện trong các mẫu (hình 2B và 2C). Vật liệu thu được là đơn pha của MXene-Ti₃C₂ khi được tổng hợp trong dung dịch HF nồng độ 48% (hình 2D). Các pic đặc trưng của MXene-Ti₃C₂ quan sát được ở 2θ là 8,4, 17,6, 27,3, 42,4 và 62,6° tương ứng với các mặt phẳng phản xạ (002), (004), (008), (105) và (110) mặt phẳng. Kết quả khẳng định MXene-Ti₃C₂ đã tổng hợp thành công và đề xuất chọn dung dịch HF có nồng độ 48% để tổng hợp MXene-Ti₃C₂.

Thành phần các nguyên tố và ảnh SEM của MAX-Ti₃AlC₂ và MXene-Ti₃C₂ tổng hợp với nồng độ chất ăn mòn HF khác nhau được thể hiện trên hình 3 và 4. Phổ EDX của MAX-Ti₃AlC₂ quan sát thấy các pic đặc trưng cho nguyên tố Ti, C và Al với hàm lượng Al chiếm 28,78% theo khối lượng (%m). Sau khi phản ứng trong dung dịch HF hàm lượng Al giảm do sự ăn mòn chọn lọc nguyên tố Al, đồng thời xuất hiện pic đặc trưng cho O và F (hình 3B, 3C, 3D). Hàm lượng Al giảm 50% (còn 14,49% m) sau 36 giờ phản ứng trong dung dịch HF nồng độ 20% nhưng trên ảnh SEM sự tách lớp của MXene chưa được quan sát (hình 4B). Khi nồng độ HF tăng lên 30 và 48%, hàm lượng Al còn lại là 4,77 m và 2,50% m tương ứng.



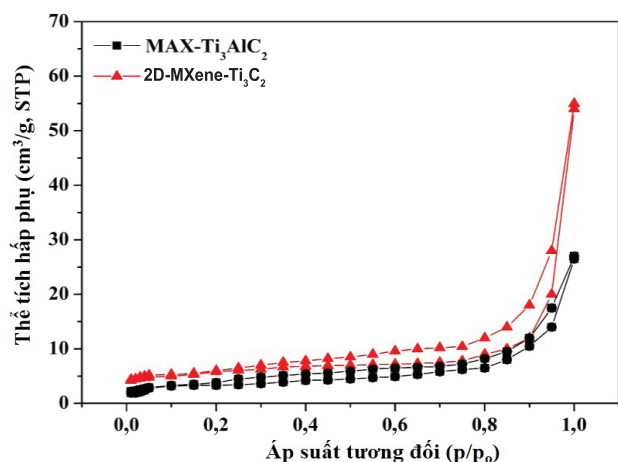
Hình 3. Phổ EDX của MAX-Ti₃AlC₂ (A) và 2D-MXene-Ti₃C₂ tổng hợp ở nồng độ HF khác nhau: 20% (B), 30% (C) và 48% (D).

Như đã trình bày trong phần đặt vấn đề, sự ăn mòn có chọn lọc nguyên tố Al sẽ tạo ra sự tách lớp trong cấu trúc của vật liệu MXene. Ảnh SEM của MAX-Ti₃AlC₂ có dạng hình tấm, với cấu trúc có thể được phân lớp (hình 4A). Sau khi ăn mòn trong dung dịch HF cấu trúc lớp được quan sát rất rõ, đặc biệt sau khi được ăn mòn trong HF 48%. Từ kết quả EDX, SEM và XRD cho phép kết luận đã tổng hợp thành công vật liệu 2D-MXene-Ti₃C₂ từ MAX-Ti₃AlC₂ bằng phương pháp etching. Trong nghiên cứu này, nhóm chúng tôi lựa chọn nồng độ HF 48% làm dung môi ăn mòn để tổng hợp 2D-MXene-Ti₃C₂.



Hình 4. Ảnh SEM của MAX-Ti₃AlC₂ (A) và 2D-MXene-Ti₃C₂ tổng hợp ở nồng độ HF khác nhau: 20% (B), 30% (C) và 48% (D).

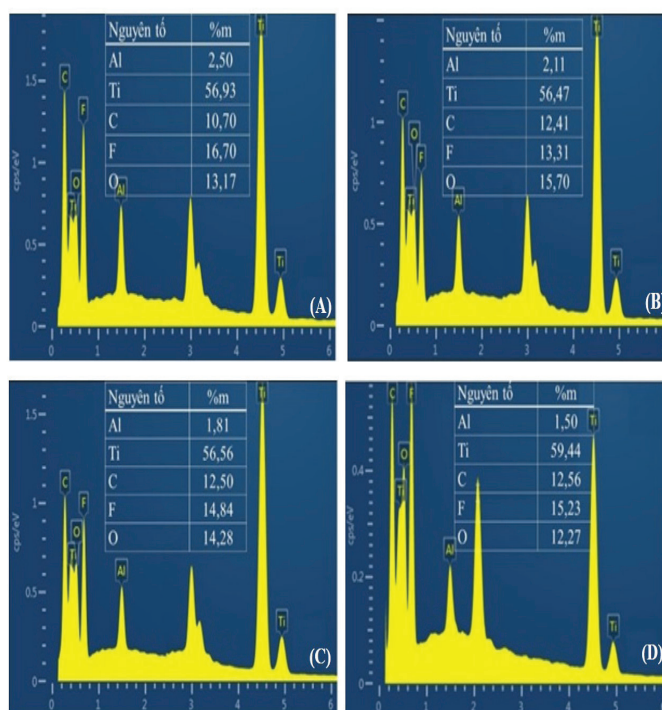
Để minh chứng cho kết luận về sự tách lớp trong cấu trúc của vật liệu MXene do sự ăn mòn có chọn lọc lớp nhôm trong tiền chất MAX, phương pháp đẳng nhiệt hấp phụ N₂ (BET) được sử dụng để xác định diện tích bề mặt riêng của vật liệu (hình 5). Diện tích bề mặt riêng của vật liệu MAX-Ti₃AlC₂ là khoảng 1,6 m²/g, sau khi được etching trong dung dịch HF 48%, diện tích bề mặt riêng của 2D-MXene-Ti₃C₂ đạt 10,56 m²/g (tăng 5,6 lần so với vật liệu MAX).



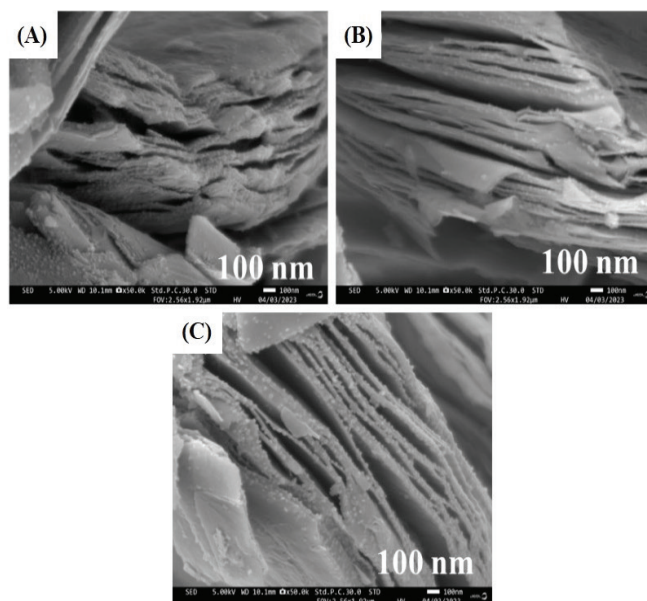
Hình 5. Đường đẳng nhiệt hấp phụ N₂ của MAX-Ti₃AlC₂ và 2D-MXene-Ti₃C₂.

3.2. Ảnh hưởng của thời gian siêu âm

Trong phần này, chúng tôi khảo sát ảnh hưởng của thời gian siêu âm đến sự tách lớp vật liệu 2D-MXene-Ti₃C₂. Mẫu 2D-MXene-Ti₃C₂ sau khi được tổng hợp trong dung môi HF nồng độ 48% trong 36 giờ ở nhiệt độ 35°C sẽ được ly tâm lọc rửa về pH trung tính. Sau đó, thêm nước cất và siêu âm mẫu ở nhiệt độ phòng với thời gian khác nhau: 30 phút, 60 phút và 90 phút. Cuối cùng ly tâm lọc rửa bằng nước cất



Hình 6. Phổ EDX của các mẫu 2D-MXene-Ti₃C₂ tổng hợp ở HF nồng độ 48% và siêu âm với thời gian khác nhau: 0 phút (A), 30 phút (B), 60 phút (C) và 90 phút (D).



Hình 7. Ảnh SEM của 2D-MXene-Ti₃C₂ tổng hợp ở HF nồng độ 48% và siêu âm với thời gian khác nhau 30 phút (A), 60 phút (B) và 90 phút (C).

(3 lần) để thu lấy vật liệu 2D-MXene-Ti₃C₂. Các đặc trưng về thành phần các nguyên tố và hình thái học bề mặt của vật liệu được phân tích bằng phép đo EDX và SEM (hình 6 và 7). Dựa trên kết quả EDX có thể thấy, quá trình siêu âm và rửa sau siêu âm còn tiếp tục làm giảm hàm lượng nguyên tố Al trong mẫu 2D-MXene-Ti₃C₂. Khi tăng thời gian siêu

âm từ 30 phút đến 90 phút, hàm lượng Al trong mẫu còn khoảng 1,5%_m. Ảnh SEM cho thấy, quá trình siêu âm đã làm tách các lớp MXene (hình 7) và thời gian siêu âm tăng, sự tách lớp quan sát được rõ hơn. Từ các kết quả EDX và SEM, chúng tôi lựa chọn thời gian siêu âm 90 phút để thu được vật liệu 2D-MXene-Ti₃C₂ có sự tách lớp tốt. Các kết quả về sự tách lớp tốt cho thấy đã tổng hợp thành công vật liệu 2D-MXene-Ti₃C₂ tương tự như trong báo cáo của F. Liu và cs (2017) [15].

4. Kết luận

Vật liệu 2D-MXene-Ti₃C₂ đã được tổng hợp thành công bằng phương pháp ăn mòn hóa học ướt từ tiền chất MAX-Ti₃AlC₂. Để khám phá hiệu quả của quá trình ăn mòn chọn lọc nguyên tố Al trong pha MAX, ảnh hưởng của nồng độ chất ăn mòn HF và thời gian thời gian siêu âm đã được nghiên cứu. Bằng cách so sánh các đặc trưng về thành phần pha, thành phần nguyên tố và hình thái học bề mặt của vật liệu tổng hợp được, chúng tôi kết luận rằng, MXene-Ti₃C₂ được tổng hợp trong HF nồng độ 48% và siêu âm 90 phút cho thấy sự tách lớp tốt. Vật liệu 2D-MXene-Ti₃C₂ tổng hợp được có diện tích tăng khoảng 5,8 lần so với vật liệu MAX-Ti₃AlC₂ ban đầu. Những nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của dung môi đến sự tách lớp của vật liệu MXene và nghiên cứu chế tạo điện cực trên cơ sở vật liệu MXene ứng dụng trong xử lý nước lọc theo công nghệ điện dung khử ion (CDI) sẽ được chúng tôi báo cáo trong các công bố tiếp theo.

LỜI CẢM ƠN

Nguyễn Thị Thơm được tài trợ bởi Chương trình Học bổng sau tiến sỹ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số: VINIF.2022.STS.44 và được hỗ trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ thông qua đề tài mã số ĐTĐLCN.66/22. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Naguib, M. Kurtoglu, V. Presser, et al. (2011), "Two-dimensional nanocrystals produced by exfoliation of Ti₃AlC₂", *Advanced Materials*, **23**, pp.4248-4253, DOI: 10.1002/adma.201102306.
- [2] M.W. Barsoum (2013), *MAX Phases: Properties of Machinable Ternary Carbides and Nitrides*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 436pp.
- [3] M.A. Hope, A.C. Forse, K.J. Griffith, et al. (2016), "NMR reveals the surface functionalisation of Ti₃C₂ MXene", *Physical Chemistry Chemical Physics*, **18**, pp.5099-5102, DOI: 10.1039/C6CP00330C.
- [4] U.U. Rahman, M. Humayun, U. Ghani, et al. (2022), "MXenes as emerging materials: Synthesis, properties, and applications", *Molecules*, **27**, pp.4909-4945, DOI: 10.3390/molecules27154909.
- [5] Z.U.D. Babar, B.D. Ventura, R. Velotta, et al. (2022), "Advances and emerging challenges in MXenes and their nanocomposites for biosensing applications", *RSC Advances*, **12**(30), pp.19590-19610, DOI: 10.1039/D2RA02985E.
- [6] L. Jiang, D. Zhou, J. Yang, et al. (2022), "2D-single-and few-layered MXene: Synthesis, applications and perspectives", *Journal of Materials Chemistry A*, **10**, pp.13651-13672, DOI: 10.1039/D2TA01572B.
- [7] K. Rasool, R.P. Pandey, P.A. Rasheed, et al. (2019), "Water treatment and environmental remediation applications of two-dimensional metal carbides (MXenes)", *Materials Today*, **30**, pp.80-102, DOI: 10.1016/j.mattod.2019.05.017.
- [8] K. Hantanasirisakul, M. Alhabeab, A. Lipatov, et al. (2019), "Effects of synthesis and processing on optoelectronic properties of titanium carbonitride MXene", *Chemistry of Materials*, **31**, pp.2941-2951, DOI: 10.1021/acs.chemmater.9b00401.
- [9] K. Huang, Z. Li, J. Lin, et al. (2018), "Two-dimensional transition metal carbides and nitrides (MXenes) for biomedical applications", *Chemical Society Reviews journal*, **47**, pp.5109-5124, DOI: 10.1039/C7CS00838D.
- [10] X. Zhan, C. Si, J. Zhou, et al. (2020), "MXene and MXene-based composites: Synthesis, properties and environment-related applications", *Nanoscale Horizons*, **5**, pp.235-258, DOI: 10.1039/C9NH00571D.
- [11] N.N. Wang, H. Wang, Y.Y. Wang, et al. (2019), "Robust, lightweight, hydrophobic, and fire-retarded polyimide/MXene aerogels for effective oil/water separation", *ACS Applied Materials & Interfaces*, **11**, pp.40512-40523, DOI: 10.1021/acsami.9b14265.
- [12] C.J. Zhang, V. Nicolosi (2019), "Graphene and MXene-based transparent conductive electrodes and supercapacitors", *Energy Storage Materials*, **16**, pp.102-125, DOI: 10.1016/j.ensm.2018.05.003.
- [13] J. Lei, F. Yu, H. Xie, et al. (2023), "Ti₃C₂T_x MXene/carbon nanofiber multifunctional electrode for electrode ionization with antifouling activity", *Chemical Science*, **14**, pp.3610-3621, DOI: 10.1039/d2sc06946f.
- [14] A.A.P.R. Perera, K.A.U. Madhushani, B.T. Punchihewa, et al. (2023), "MXene-based nanomaterials for multifunctional applications", *Materials*, **16**, pp.1138-1162, DOI: 10.3390/ma16031138.
- [15] F. Liu, A. Zhou, J. Chen, et al. (2017), "Preparation of Ti₃C₂ and Ti₂C MXenes by fluoride salts etching and methane adsorptive properties", *Applied Surface Science*, **416**, pp.781-789, DOI: 10.1016/j.apsusc.2017.04.239.

Đánh giá hoạt tính chống oxy hóa và chất lượng cảm quan của kẹo dẻo bổ sung bột vỏ bưởi và nước bưởi

Hoàng Quang Bình¹, Huỳnh Đắc Danh², Lê Trung Thiên^{2*}

¹Trường Đại học Quy Nhơn, 170 An Dương Vương, phường Nguyễn Văn Cừ, TP Quy Nhơn, tỉnh Bình Định, Việt Nam

²Trường Đại học Nông Lâm TP Hồ Chí Minh, khu phố 6, phường Linh Trung, TP Thủ Đức, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 3/4/2023; ngày chuyển phản biện 5/4/2023; ngày nhận phản biện 20/4/2023; ngày chấp nhận đăng 28/4/2023

Tóm tắt:

Người tiêu dùng ngày càng có nhu cầu cao trong sử dụng các thực phẩm có lợi cho sức khỏe. Kẹo dẻo là sản phẩm được nhiều người tiêu dùng ưa thích, tuy nhiên sản phẩm chứa ít hợp chất có lợi. Mục đích của nghiên cứu này nhằm đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ bổ sung bột vỏ bưởi (0,5-2%) và nước ép bưởi (0-30%) đến chất lượng kẹo dẻo. Bên cạnh đó, các chỉ tiêu như màu sắc, cấu trúc và cảm quan của mẫu sản phẩm cũng được đánh giá. Kết quả nghiên cứu cho thấy, bổ sung các nguyên liệu này giúp cải thiện hàm lượng polyphenol, hoạt tính chống oxy hóa của sản phẩm. Ngược lại, nó làm giảm chỉ số L*, b* của sản phẩm. Ứng dụng hai nguyên liệu này giúp tạo mùi bưởi thơm tự nhiên cho sản phẩm, vị đắng nhẹ cân bằng vị ngọt của kẹo. Tuy nhiên, khi bổ sung hàm lượng bột vỏ bưởi càng cao, sản phẩm càng giảm dần độ dẻo dai. Công thức bổ sung tốt nhất đã được xác định là tỷ lệ bột vỏ bưởi chiếm 1% và dịch ép bưởi chiếm 20% giúp cải thiện hàm lượng polyphenol (110,48 mg/100 g vật chất khô (vck)), và hoạt tính chống oxy hóa của kẹo dẻo bưởi (84,78 mg/100 g vck). Tại công thức này, kẹo dẻo có kết quả đánh giá cảm quan đạt chất lượng tốt (6/9 điểm). Trong các nghiên cứu tiếp theo cần tiếp tục khảo sát tỷ lệ phối trộn chất tạo cấu trúc và chất điều vị, giúp nâng cao hơn nữa chất lượng sản phẩm kẹo dẻo bưởi.

Từ khóa: bưởi, hoạt tính chống oxy hóa, kẹo dẻo, polyphenol.

Chỉ số phân loại: 2.10

Assessment of antioxidant activities and sensory quality of gummy candy added pomelo peel powder and pomelo juice

Quang Binh Hoang¹, Dac Danh Huynh², Trung Thien Le^{2*}

¹Quy Nhon University, 170 An Duong Vuong Street, Nguyen Van Cu Ward, Quy Nhon City, Binh Dinh Province, Vietnam

²Nong Lam University, Quarter 6, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 3 April 2023; revised 20 April 2023; accepted 28 April 2023

Abstract:

Nowadays, consumers are increasingly demanding the use of healthy foods. Gummy candy is a product that many consumers like to use, but this foodstuff contains few beneficial compounds. The objective of this study was to evaluate the effect of the addition of different levels of pomelo peel powder (0.5-2%) and pomelo juice levels (0-30%) on improving antioxidant activity in gummy candy. Furthermore, the attributes such as colour properties, texture profile, and organoleptic characteristics of all products were also determined in the present study. The results showed that both ingredients improved the total phenolic compounds and antioxidant activity of the product while reducing its L* and b* values. The addition of two constituents also created a great pomelo smell and a slightly bitter taste in harmony with the natural sweetness of the product. However, the increase in the amount of fruit peel powder caused a substantial reduction in the hardness and cohesiveness properties of gummy candy. The best formulation, which contains pomelo peel powder and fruit juice concentrations of 1 and 20%, respectively, helped improve the phenolic content (110.48 mg/100 g dry matter (DM)) and antioxidant activity (84.78 mg/100 g DM) of the product. In this formulation, the sample reached a sensory acceptance score of 6/9. Further studies should investigate the concentration of stabiliser agents, as well as food flavouring agents.

Keywords: antioxidant activity, gummy candy, polyphenol, pomelo.

Classification number: 2.10

*Tác giả liên hệ: Email: le.trungthien@hcmuaf.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Kẹo dẻo có thành phần chủ yếu là đường (sucrose và/hoặc glucose), kết hợp với chất tạo cấu trúc (gelatin, pectin, gum), chất hiệu chỉnh acid, hương liệu và chất tạo màu; do đó sản phẩm ít chứa các hợp chất có lợi cho sức khỏe. Trong xã hội hiện nay, các sản phẩm có giá trị tốt cho sức khỏe đang ngày càng nhận được sự quan tâm chú ý của người tiêu dùng. Trong nhiều nghiên cứu trước đó, bột vỏ dừa [1], bột vỏ dứa, vỏ đu đủ [2] và puree thanh long [3] đã được ứng dụng, giúp cải thiện hoạt tính chống oxy hóa cũng như chất lượng cảm quan cho kẹo dẻo. Các phân tích hóa-lý đã cho thấy, dịch ép bưởi và vỏ bưởi có chứa nhiều hợp chất chống oxy hóa có lợi cho sức khỏe như polyphenol, vitamin C và flavonoid [4-6]. Trong một báo cáo tổng hợp đã cho thấy, vỏ bưởi có thể được sử dụng như là nguyên liệu trong trích ly pectin, tinh dầu, polyphenol hoặc sử dụng như một thành phần trong chế biến vỏ bưởi ngâm nước đường, mứt nhuyển, trà, bánh mì, bún [7]. Tuy nhiên, việc ứng dụng các nguồn nguyên liệu này trong chế biến kẹo dẻo vẫn còn khá hạn chế. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm mục đích ứng dụng vỏ bưởi và dịch ép bưởi trong nâng cao hoạt tính chống oxy hóa của kẹo dẻo, song song đó nghiên cứu cũng đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố này đến chất lượng cảm quan của kẹo dẻo.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên liệu và hóa chất

Nguyên liệu: Dịch ép bưởi và vỏ bưởi đã xử lý giảm đắng được cung cấp từ Công ty TNHH Lê Trung Thiên, 450 Nguyễn Xiển, TP Thủ Đức, TP Hồ Chí Minh.

Đường mạch nha (maltose syrup), DE=26-50, được cung cấp bởi Công ty Cổ phần hữu hạn Vedan Việt Nam, tỉnh Đồng Nai, Việt Nam. Các phụ gia gelatin (độ Bloom = 200), pectin high methoxyl, citric acid, malic acid được mua tại Công ty Hướng Di, quận Tân Bình, TP Hồ Chí Minh.

Hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu gồm: Folin Ciocalteu 99,5%, DPPH (Merck, Đức), ethanol 99,6% (Chemsol, Việt Nam). Methanol 99,5%, NaOH 96%, Na₂CO₃ 99,5%, thiourea, ascorbic acid 99,5%, gallic acid 99,5%, metaphosphoric acid, acetic acid, brom 3%, 2,4-DNPH, H₂SO₄ 98%, trichloroacetic acid, HCl 35-38% (Xilong, Trung Quốc).

2.2. Quy trình chế biến kẹo dẻo

Đầu tiên, các nguyên liệu gồm gelatin, pectin và nước nóng 60° được trộn đều. Hỗn hợp được giữ ổn định ở nhiệt độ 60° trong 20 phút, giúp hòa tan hoàn toàn nguyên liệu.

Sau đó, hỗn hợp được trộn đều với đường sucrose, đường mạch nha, dầu thực vật, citric acid và malic acid. Tỷ lệ các nguyên liệu trong công thức phối trộn được trình bày trong bảng 1. Hỗn hợp được gia nhiệt tại 90±2°C đến khi đạt hàm lượng tổng chất rắn hòa tan là 75%. Độ Brix được kiểm tra bằng khúc xạ kế (HR25/800, Kruss-Đức). Sau đó, mẫu được rót vào khuôn có kích thước là 1x1,5x1,5 cm và để ổn định ở nhiệt độ 29-31°C trong 48 giờ. Sau khi ổn định kẹo được tách khỏi khuôn và phân tích các chỉ tiêu đánh giá.

Bảng 1. Công thức nguyên liệu phối trộn chế biến kẹo dẻo.

Nguyên liệu	Tỷ lệ (%)
Gelatin	6,00
Pectin	0,40
Đường sucrose	10,00
Đường mạch nha	10,00
Dầu thực vật	0,30
Citric acid	0,15
Malic acid	0,15
Nước	73,00
Tổng	100

2.3. Bố trí thí nghiệm

Ảnh hưởng của hàm lượng bột vỏ bưởi:

Chuẩn bị bột vỏ bưởi: Vỏ bưởi sau khi mang về phòng thí nghiệm được sấy ở 60°C đến khi đạt hàm lượng ẩm từ 8 đến 10%. Tiếp theo, nguyên liệu được xay nhỏ và rây qua sàng lọc có kích cỡ lỗ 0,106 mm. Sau đó, bột vỏ bưởi được bổ sung vào công thức chế biến kẹo với các tỷ lệ khác nhau gồm 0,5; 1; 1,5 và 2% (g/100 g công thức phối trộn). Lượng nước sử dụng trong mỗi công thức phối trộn được thay đổi sao cho tổng khối lượng công thức luôn đạt 100%. Kẹo sau khi chế biến được phân tích hàm lượng polyphenol tổng, hoạt tính chống oxy hóa và đánh giá cảm quan. Thí nghiệm được lặp lại 3 lần.

Ảnh hưởng của hàm lượng dịch quả:

Trong thí nghiệm này, dịch ép bưởi được bổ sung vào công thức chế biến kẹo với các tỷ lệ khác nhau gồm 0, 10, 20 và 30% (g/100 g công thức phối trộn), trong đó hàm lượng bột vỏ bưởi được sử dụng là kết quả thí nghiệm mục 2.3.1, và hàm lượng nước sử dụng trong mỗi công thức được thay đổi sao cho tổng khối lượng công thức phối trộn luôn đạt 100%. Kẹo sau khi chế biến được phân tích hàm lượng polyphenol tổng, hoạt tính chống oxy hóa và đánh giá cảm quan. Thí nghiệm được lặp lại 3 lần.

2.4. Phương pháp phân tích

Xác định hàm lượng các hợp chất chống oxy hóa:

Hàm lượng polyphenol tổng: Phương pháp phân tích được tham chiếu theo N.N.M. Phuong và cs (2020) [8]. Hút 0,5 ml dịch mẫu cho vào ống nghiệm, thêm 2,5 ml Folin 10% lắc đều và để yên trong tối khoảng 5 phút. Sau đó, cho thêm 2 ml Na_2CO_3 7,5% vào ống nghiệm và lắc đều, để tối trong 60 phút rồi đem đi đo độ hấp thụ quang phổ ở bước sóng 765 nm bằng máy đo quang phổ UV-Vis (Jasco, V770, Nhật Bản). Dựa vào phương trình đường chuẩn gallic acid (10-50 $\mu\text{g/ml}$; $y=0,0249x-0,6363$; $R^2=0,99$), hàm lượng polyphenol tổng được thể hiện theo đương lượng gallic acid/100 g vck (mg GAE/100 g vck).

Hoạt tính chống oxy hóa: Phương pháp phân tích được tham chiếu theo K. Thaipong và cs (2006) [9]. Hút 0,2 ml mẫu đã được pha loãng vào ống nghiệm, sau đó cho 4 ml dung dịch DPPH 0,1 mM vào lắc đều, để yên cho phản ứng trong bóng tối 30 phút. Sau đó mẫu được đo độ hấp thụ quang phổ ở bước sóng 517 nm bằng máy đo quang phổ UV-Vis (Jasco, V770, Nhật Bản). Dựa vào phương trình đường chuẩn ascorbic acid (0,1-100 $\mu\text{g/ml}$; $y=-0,0053+0,9192$; $R^2=0,99$) hoạt tính chống oxy hóa được thể hiện theo đương lượng ascorbic acid/100 g vck (mg AAE/100 g vck).

Xác định chỉ số màu sắc và cấu trúc sản phẩm:

Màu sắc: Các chỉ số L^* , a^* , b^* được xác định bằng máy đo màu Konica Minolta CR-400 (Nhật Bản), với L^* thể hiện độ sáng chạy từ 0-100; a^* thể hiện sắc đỏ chạy từ -60 đến +60, b^* thể hiện sắc vàng chạy từ -60 đến +60.

Cấu trúc của kẹo được phân tích bằng máy đo Zwick/Roell Z1.0 (Đức) bằng phương pháp TPA (Texture Profile Analysis) và phương pháp đâm xuyên. Cụ thể, phương pháp TPA sử dụng đầu đo dạng đĩa đường kính 30 mm với tốc độ của đầu đo là 30 mm/phút. Mẫu được nén đến độ biến dạng 49%. Phân tích TPA cho kết quả về độ đàn hồi, độ nhai, độ dính và độ dính kết của mẫu kẹo buri. Phương pháp đâm xuyên sử dụng đầu đo dạng trụ đường kính 6 mm, đâm xuyên đến 90% chiều cao mẫu. Phân tích đâm xuyên cho kết quả về độ cứng của mẫu (lực lớn nhất làm “gãy vỡ” cấu trúc mẫu). Mẫu phân tích có kích cỡ đồng nhất là 1x1,5x1,5 cm.

Đánh giá chất lượng cảm quan:

Phương pháp đánh giá cảm quan được thực hiện bằng phép thử cho điểm thị hiếu với thang điểm 9; trong đó 1 điểm là cực kỳ không thích và 9 điểm là cực kỳ thích [10].

2.5. Phương pháp xử lý số liệu

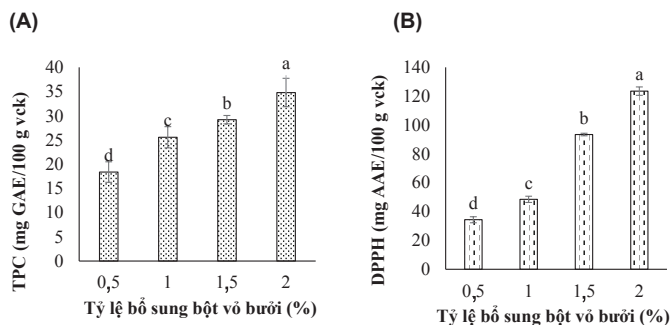
Các số liệu trong nghiên cứu được tính toán, vẽ biểu đồ bằng phần mềm Excel 2013. Phân tích phương sai 1 yếu tố (ANOVA) và phân tích T-test được xử lý bằng phần mềm JMP 13.0 tại mức ý nghĩa $\alpha=0,05$.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng bột vỏ buri đến chất lượng sản phẩm

Hoạt tính chống oxy hóa:

Kết quả thể hiện trong hình 1A cho thấy, bổ sung bột vỏ buri đã làm tăng hàm lượng polyphenol có trong kẹo dẻo; trong đó, mẫu 2% có hàm lượng cao nhất là 4,93 mg GAE/100 g vck và mẫu 0,5% có hàm lượng thấp nhất là 2,06 mg GAE/100 g vck. Sự biến đổi về hoạt tính chống oxy hóa của mẫu cũng diễn biến tương tự như polyphenol (hình 1B). Hoạt tính chống oxy hóa của các mẫu 0,5; 1; 1,5 và 2% có giá trị tương ứng lần lượt là 1,84; 2,50; 5,33 và 7,29 mg AAE/100 g vck. Trong nghiên cứu trước đó đã cho thấy, dịch chiết vỏ buri Năm Roi có chứa các hợp chất chống oxy hóa thuộc nhóm polyphenol như flavonoid (0,93 mg/g), naringin (0,62 mg/g) và hesperidin (0,13 mg/g) [6]. Hoạt tính chống oxy hóa là một trong những công dụng chính của polyphenol [11]. Các nguyên nhân này đã giúp giải thích sự gia tăng của polyphenol và hoạt tính chống oxy hóa của kẹo dẻo có bổ sung vỏ buri.



Hình 1. Ảnh hưởng của hàm lượng bột vỏ buri đến chất lượng kẹo buri. (A) Hàm lượng polyphenol tổng (TPC), (B) Khả năng kháng oxy hoá (DPPH). Các ký tự khác nhau (a, b, c, d) trên cùng một hình thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ở độ tin cậy 95%.

Kết quả L^ , a^* và b^* :*

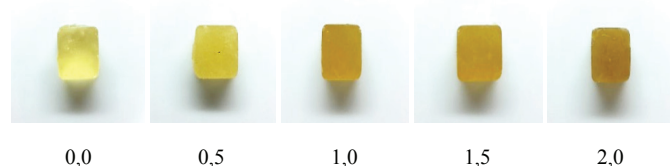
Kết quả bảng 2 cho thấy, bổ sung bột vỏ buri ở các hàm lượng khác nhau đã dẫn đến sự khác biệt về màu sắc của kẹo dẻo. Kẹo dẻo có chỉ số L^* giảm dần từ 51,6 xuống 37,93; chỉ số b^* giảm dần từ 21,36 xuống 4,2; chỉ số a^* tăng dần từ 1,33 lên 3,99; khi hàm lượng bột vỏ buri tăng từ 0,5 lên 2%. Quan sát bằng mắt thường, độ sáng của kẹo tỷ lệ nghịch với

hàm lượng bột vỏ bưởi, màu kẹo sậm dần (hình 2). Trong nghiên cứu trước, chỉ số L^* của kẹo dẻo tăng khi công thức chế biến có bổ sung bột vỏ bưởi [1], ngược lại chỉ số này không thay đổi trong trường hợp bổ sung bột vỏ bưởi [2]. Hiện tượng này có thể là do sự khác nhau về màu sắc và thành phần hóa học của các loại bột vỏ trái cây.

Bảng 2. Ảnh hưởng của hàm lượng bột vỏ bưởi đến màu sắc kẹo bưởi.

Hàm lượng bột vỏ bưởi (%)	L^*	a^*	b^*
0,0	51,60 $\pm$ 2,00	1,33 $\pm$ 0,29	21,36 $\pm$ 1,32
0,5	45,66 $\pm$ 2,14	1,92 $\pm$ 0,69	14,85 $\pm$ 1,74
1,0	42,84 $\pm$ 1,30	2,91 $\pm$ 1,18	12,76 $\pm$ 0,90
1,5	41,63 $\pm$ 2,55	3,13 $\pm$ 0,31	7,46 $\pm$ 1,32
2,0	37,93 $\pm$ 1,52	3,99 $\pm$ 0,58	4,20 $\pm$ 0,26

L^* thể hiện độ sáng chạy từ 0 đến 100; a^* thể hiện sắc đỏ chạy từ -60 đến +60, b^* thể hiện sắc vàng chạy từ -60 đến +60. Các ký tự khác nhau (a, b, c, d, e) trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa giữa các nghiệm thức ở độ tin cậy 95%.



Hình 2. Hình minh họa kẹo dẻo tại các hàm lượng bột vỏ bưởi bổ sung khác nhau.

Đánh giá cảm quan:

Về màu sắc, sản phẩm có hàm lượng bột vỏ bưởi nhỏ hơn 1,5% có điểm cảm quan nằm trong khoảng 5,65-6,15; tuy nhiên tiếp tục tăng hàm lượng bột vỏ bưởi thì mức độ yêu thích giảm còn 4,7 điểm, do làm giảm độ sáng của kẹo (bảng 3). Về trạng thái (kết cấu dẻo dai của kẹo), tỷ lệ bột vỏ bưởi tăng từ 0 đến 1,5% làm điểm đánh giá cảm quan của sản phẩm giảm từ 5,65 đến 5,15 điểm, tuy nhiên sự khác biệt này giữa các mẫu khảo sát không mang ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Trong khi đó, tại tỷ lệ 2%, các cảm quan viên cảm nhận rõ kẹo có kết cấu giòn và cảm giác “nhám” khó chịu khi nhai, do đó mẫu thí nghiệm này đạt điểm cảm quan thấp nhất là 4,15/9 điểm.

Ngoài ra, nghiên cứu cũng ghi nhận, bổ sung bột vỏ bưởi giúp cải thiện mùi vị cho kẹo. Tại tỷ lệ bổ sung từ 0,5 đến 1%, kẹo có mùi thơm nhẹ của vỏ bưởi cũng như vị the đắng dễ chịu, giúp cân bằng vị ngọt của kẹo dẻo. Kẹo có điểm cảm quan (6,05-5,80 điểm) cao hơn so với mẫu không bổ sung (5,05 điểm). Tuy nhiên, khi tỷ lệ sử dụng vỏ bưởi càng cao, vị đắng trong kẹo càng rõ, dẫn đến làm giảm chất lượng cảm quan của sản phẩm, điểm cảm quan của mẫu 2% là 5,05. Như đã đề cập, dịch chiết vỏ bưởi có naringin,

đây là hợp chất có khả năng tạo vị đắng, do đó sự gia tăng hàm lượng bột vỏ bưởi trong kẹo có thể đã làm gia tăng hàm lượng naringin, gây tác động bất lợi đến mùi vị của sản phẩm.

Đánh giá chung về cảm quan, các mẫu có hàm lượng bổ sung bột vỏ bưởi là 0,5 và 1,0% có điểm đánh giá là 6,1 và 5,75 điểm, và các mẫu này có mức độ yêu thích cao hơn so với các mẫu còn lại (điểm cảm quan nằm trong khoảng 4,60-5,50). Từ các kết quả phân tích, mẫu bổ sung bột vỏ bưởi 1% cho kẹo có các kết quả tốt về cảm quan, và hoạt tính chống oxy hóa tốt hơn so với các công thức khảo sát còn lại. Do đó, tỷ lệ này được chọn là kết quả cho các phân tích tiếp theo.

Bảng 3. Ảnh hưởng của hàm lượng bột vỏ bưởi đến cảm quan kẹo bưởi.

Hàm lượng bột vỏ bưởi (%)	Mùi vị	Trạng thái	Màu sắc	Đánh giá chung
0,0	5,05 $\pm$ 1,15	5,65 $\pm$ 1,49	5,80 $\pm$ 0,83	5,30 $\pm$ 1,03
0,5	6,05 $\pm$ 0,94	5,75 $\pm$ 1,02	6,15 $\pm$ 0,75	6,10 $\pm$ 0,85
1,0	5,80 $\pm$ 1,11	5,50 $\pm$ 1,24	5,80 $\pm$ 0,95	5,75 $\pm$ 0,85
1,5	5,50 $\pm$ 1,32	5,15 $\pm$ 1,39	5,65 $\pm$ 1,31	5,50 $\pm$ 1,27
2,0	5,05 $\pm$ 1,54	4,15 $\pm$ 1,35	4,70 $\pm$ 1,45	4,60 $\pm$ 1,50

Các ký tự khác nhau (a, b, c) trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa giữa các nghiệm thức ở độ tin cậy 95%. Thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Điểm cảm quan được đánh giá dựa trên thang 9 điểm. Điểm trung bình càng lớn tương đương với mức độ yêu thích càng cao.

Cấu trúc của sản phẩm:

Cấu trúc là một chỉ số quan trọng đối với sản phẩm kẹo dẻo. Trong đó, các thuật ngữ được sử dụng để mô tả cấu trúc sản phẩm thực phẩm gồm: i) độ cứng được định nghĩa là lực cần thiết để làm phá vỡ sản phẩm, ii) độ dính kết mức độ sản phẩm có thể biến dạng trước khi vỡ, phản ánh khả năng liên kết bên trong sản phẩm, iii) độ nhai liên quan đến lực cần thiết để nhai sản phẩm bán rắn sẵn sàng cho việc nuốt; iv) độ dính lực cần thiết để phá vỡ sản phẩm rắn thành mảnh vụn sẵn sàng cho việc nuốt và v) độ đàn hồi thể hiện mức độ phục hồi lại cấu trúc ban đầu của sản phẩm sau khi dừng tác động của lực nén [1, 12].

Các kết quả trong bảng 4 cho thấy, có sự khác biệt rõ về đặc tính cấu trúc giữa hai mẫu 0% (kẹo không bổ sung bột vỏ bưởi) và mẫu bổ sung 1% bột vỏ bưởi. Trong đó, độ dính và độ nhai ở mẫu 1% có giá trị cao hơn mẫu không bổ sung. Ngược lại, độ kết dính và độ cứng của mẫu không bổ sung bột vỏ bưởi có giá trị cao hơn. Trong khi đó, độ đàn hồi không có sự khác biệt rõ giữa hai mẫu. Theo kết quả đánh giá cảm quan trong bảng 3, hai mẫu kẹo này không có sự khác biệt thống kê về kết cấu.

Bảng 4. Ảnh hưởng của hàm lượng bột vỏ bưởi đến đặc tính cấu trúc của kẹo dẻo.

Hàm lượng bột vỏ bưởi (%)	Độ cứng (N)	Độ đàn hồi (mm)	Độ nhai (N)	Độ dính (N)	Độ dính kết
0	62,57 $\pm$ 10,76	0,89 $\pm$ 0,12	20,68 $\pm$ 1,20	18,51 $\pm$ 1,29	0,74 $\pm$ 0,16
1	43,70 $\pm$ 10,24	0,87 $\pm$ 0,02	26,22 $\pm$ 1,16	22,80 $\pm$ 0,52	0,50 $\pm$ 0,03

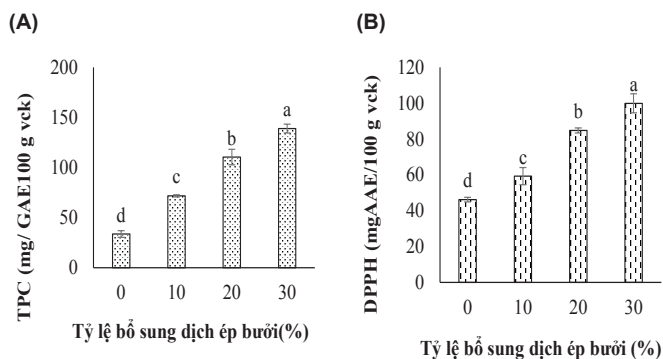
Các ký tự khác nhau (a, b) trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa giữa các nghiệm thức ở độ tin cậy 95%.

Trong nghiên cứu của J. Gan và cs (2020) [13] cho thấy, dịch chiết xuất vỏ bưởi có hàm lượng xơ không hòa tan là 59,77 g/100 g, và xơ hòa tan là 3,62 g/100 g; điều này phần nào cho thấy chất xơ của vỏ bưởi chiếm chủ yếu là xơ không tan. Nhận xét này cũng được ghi nhận trong nghiên cứu J. Sang và cs (2022) [14], trong đó cellulose chiếm tỷ lệ nhiều nhất trong thành phần chất xơ không hòa tan của vỏ bưởi, tiếp đến là hemicullose và lignin. Điều này có thể dẫn đến bột vỏ bưởi đã làm hạn chế sự liên kết giữa gelatin và pectin trong pha liên tục, làm giảm độ cứng của kẹo dẻo. Đây có thể là nguyên nhân giải thích cho sự thay đổi về cấu trúc của kẹo dẻo có và không có bổ sung bột vỏ bưởi.

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng dịch bưởi

Hoạt tính chống oxy hóa:

Bổ sung dịch bưởi từ 0 đến 30% vào công thức chế biến đã cải thiện đáng kể các hợp chất chống oxy hóa có trong kẹo. Cụ thể, hàm lượng polyphenol tổng tăng dần từ 33,73 đến 138,89 mg GAE/100 g vck, hoạt tính chống oxy hóa tăng dần từ 46,25 đến 99,90 mg AAE/100 g vck. Các hợp chất như flavonoid, vitamin C đã được phát hiện trong dịch ép nước bưởi là nguyên nhân làm gia tăng hàm lượng polyphenol cũng như hoạt tính kháng oxy trong kẹo dẻo bổ sung dịch ép bưởi (hình 3) [4, 5].



Hình 3. Ảnh hưởng của hàm lượng dịch ép bưởi đến chất lượng kẹo dẻo bưởi. (A) Hàm lượng polyphenol tổng (TPC) và (B) Khả năng kháng oxy hóa (DPPH). Các ký tự khác nhau trên cùng một hình thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa giữa các nghiệm thức ở độ tin cậy 95%.

Kết quả L^* , a^* và b^* :

Sự biến đổi màu sắc của mẫu khi tăng hàm lượng dịch bưởi được thể hiện thông qua các chỉ số L^* , a^* , b^* được trình bày trong bảng 5. Các chỉ số này giữa các nghiệm thức là có sự khác biệt về thống kê ở mức ý nghĩa 5%. Tỷ lệ dịch bưởi tăng từ 0 lên 30% đã làm giảm chỉ số độ sáng (L^*) của mẫu từ 44,41 xuống 40,61; a^* tăng từ 2,58 lên 5,11 và độ vàng (b^*) giảm từ 14,34 xuống 7,4.

Bảng 5. Ảnh hưởng của hàm lượng dịch bưởi đến chỉ số L^* , a^* , b^* của kẹo bưởi.

Hàm lượng dịch bưởi (%)	L^*	a^*	b^*
0	44,41 $\pm$ 1,39	2,58 $\pm$ 1,09	14,34 $\pm$ 2,35
10	42,78 $\pm$ 1,67	4,08 $\pm$ 1,64	14,39 $\pm$ 5,22
20	41,31 $\pm$ 1,08	5,47 $\pm$ 1,65	12,51 $\pm$ 2,00
30	40,61 $\pm$ 1,66	5,11 $\pm$ 0,45	7,46 $\pm$ 1,86

Các ký tự khác nhau (a, b, c) trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa giữa các nghiệm thức ở độ tin cậy 95%.

Đánh giá cảm quan:

Mức độ yêu thích về tính chất cảm quan của các mẫu đã được cụ thể hóa dưới dạng số liệu và được trình bày trong bảng 6. Các thuộc tính như mùi vị, kết cấu, màu sắc và yêu thích chung không có sự khác biệt mang ý nghĩa thống kê ($p>0,05$) ở các mẫu kẹo có tỷ lệ bổ sung từ 0 đến 20%. Các thuộc tính này lần lượt có điểm cảm quan nằm trong khoảng 5,70-6,20 điểm, 6,00-6,05 điểm, 5,95-6,05 điểm và 5,95-6,25 điểm. Tuy nhiên, tỷ lệ dịch bưởi trong công thức chế biến đạt 30% đã làm giảm điểm cảm quan mùi vị (4,65 điểm) và kết cấu (4,95 điểm) của sản phẩm. Theo các cảm quan viên, tại tỷ lệ này, kẹo có vị đắng khó chịu và kết cấu hơi dai. Trong nghiên cứu trước đã đề cập trong dịch ép bưởi có chứa hợp chất naringin, hợp chất tạo vị đắng [4]. Điều này giúp giải thích cho sự xuất hiện vị đắng của mẫu.

Bảng 6. Ảnh hưởng của hàm lượng dịch bưởi đến cảm quan kẹo bưởi.

Hàm lượng dịch bưởi (%)	Mùi vị	Kết cấu	Màu sắc	Đánh giá chung
0	5,70 $\pm$ 1,03	6,00 $\pm$ 0,97	6,00 $\pm$ 0,92	5,95 $\pm$ 0,89
10	6,20 $\pm$ 1,15	6,05 $\pm$ 1,15	6,05 $\pm$ 1,10	6,25 $\pm$ 1,07
20	5,80 $\pm$ 1,36	6,00 $\pm$ 1,30	5,95 $\pm$ 1,10	5,95 $\pm$ 1,28
30	4,65 $\pm$ 1,63	4,95 $\pm$ 1,50	5,30 $\pm$ 1,59	4,90 $\pm$ 1,48

Các ký tự khác nhau (a, b) trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa giữa các nghiệm thức ở độ tin cậy 95%. Thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Điểm cảm quan được đánh giá dựa trên thang 9 điểm. Điểm trung bình càng lớn tương đương với mức độ yêu thích càng cao.

kẹo dẻo bổ sung 30% dịch ép bưởi. Từ các kết quả đã ghi nhận, mẫu kẹo có bổ sung dịch ép bưởi là 20% cho sản phẩm có hoạt tính chống oxy hóa cao cũng như chất lượng cảm quan, do đó tỷ lệ này được chọn là kết quả thí nghiệm.

Cấu trúc của sản phẩm:

Các kết quả trong bảng 7 thể hiện không có sự khác biệt mang ý nghĩa thống kê về độ cứng, độ đàn hồi, độ nhai, độ dính và độ dính kết giữa mẫu kẹo có bổ sung 20% dịch ép bưởi và mẫu kẹo không bổ sung.

Bảng 7. Ảnh hưởng của hàm lượng dịch ép bưởi đến đặc tính cấu trúc của kẹo dẻo.

Hàm lượng dịch ép bưởi (%)	Độ cứng (N)	Độ đàn hồi (mm)	Độ nhai (N)	Độ dính (N)	Độ dính kết
20	42,25 $\pm$ 5,20	0,85 $\pm$ 0,01	25,55 $\pm$ 1,16	22,27 $\pm$ 0,92	0,51 $\pm$ 0,04
0	43,70 $\pm$ 10,24	0,87 $\pm$ 0,02	26,22 $\pm$ 1,16	22,80 $\pm$ 0,52	0,50 $\pm$ 0,03

Các ký tự khác nhau (a, b) trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa giữa các nghiệm thức ở độ tin cậy 95%.

4. Kết luận

Vỏ bưởi và nước ép bưởi đã giúp cải thiện hàm lượng polyphenol và hoạt tính chống oxy hóa của kẹo dẻo bưởi. Thay đổi tỷ lệ bổ sung bột vỏ bưởi đã làm thay đổi chỉ số màu sắc L*, a*, b* và đặc tính cấu trúc (độ cứng, độ đàn hồi, độ nhai, độ dính và độ dính kết) của sản phẩm. Trong khi đó, thay đổi tỷ lệ dịch ép bưởi chỉ làm thay đổi chỉ số màu sắc, nhưng không làm thay đổi đặc tính cấu trúc của kẹo dẻo. Phụ phẩm nông nghiệp như vỏ trái cây có thể là nguồn nguyên liệu giúp nâng cao công dụng sức khỏe của thực phẩm truyền thống.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ kinh phí từ Sở Khoa học và Công nghệ TP Hồ Chí Minh. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] M. Tarahi, M.F. Mohamadzade, S. Ghaedrahmati, et al. (2023), “Physicochemical and sensory properties of vegan gummy candies enriched with high-fiber Jaban watermelon exocarp powder”, *Foods*, **12**(7), DOI: 10.3390/foods12071478.

[2] K.F.R. Zamarrón, L.E.P. Cabrera, A. Tecante (2019), “Physicochemical and sensory properties of gummy candies enriched with pineapple and papaya peel powders”, *Food and Nutrition Sciences*, **10**(11), pp.1300-1312, DOI: 10.4236/fns.2019.1011094.

[3] N.M. Hani, S.R. Romli, M. Ahmad (2014), “Influences of red pitaya fruit puree and gelling agents on the physico-mechanical properties and quality changes of gummy confections”, *International Journal of Food Science & Technology*, **50**(2), pp.331-339, DOI: 10.1111/ijfs.12638.

[4] N.K. Doan, Q.D. Lai, T.K. Le, et al. (2021), “Influences of AC frequency and electric field strength on changes in bioactive compounds in Ohmic heating of pomelo juice”, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **72**, DOI: 10.1016/j.ifset.2021.102754.

[5] N.T.K. Tuoi, N.H.K. Nguyen, T.T. Truc (2021), “Physicochemical properties of green-skinned grapefruit and Nam Roi grapefruit grown in the Mekong delta”, *Can Tho University Journal of Science*, **57**, pp.118-126, DOI: 10.22144/ctu.jsi.2021.013 (in Vietnamese).

[6] P.V. Hung, N.H.Y. Nhi, L.Y. Ting, et al. (2020), “Chemical composition and biological activities of extracts from pomelo peel by-products under enzyme and ultrasound-assisted extractions”, *Journal of Chemistry*, **1**, DOI: 10.1155/2020/1043251.

[7] L. Xiao, F. Ye, Y. Zhou, et al. (2021), “Utilization of pomelo peels to manufacture value-added products: A review”, *Food Chemistry*, **351**, DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.129247.

[8] N.N.M. Phuong, T.T. Le, M.Q. Dang, et al. (2020), “Selection of extraction conditions of phenolic compounds from rambutan (*Nephelium lappaceum* L.) peel”, *Food and Bioproducts Processing*, **122**(2), pp.222-229, DOI: 10.1016/j.fbp.2020.05.008.

[9] K. Thaipong, U. Boonprakob, K. Crosby, et al. (2006), “Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts”, *Journal of Food Composition and Analysis*, **19**(6-7), pp.669-675, DOI: 10.1016/j.jfca.2006.01.003.

[10] H.D. Tu (2016), *Food Sensory Analysis Techniques, Chapter 3 - Sensory Testing*, Science and Technics Publishing House (in Vietnamese).

[11] N.R. Perron, J.L. Brumaghim (2009), “A review of the antioxidant mechanisms of polyphenol compounds related to iron binding”, *Cell Biochemistry and Biophysics*, **53**, pp.75-100, DOI: 10.1007/s12013-009-9043-x.

[12] Ministry of Science and Technology (2015), *TCVN 11182:2015 (ISO 5492:2008) Sensory Analysis - Terms and Definitions* (in Vietnamese).

[13] J. Gan, Z. Huang, Q. Yu, et al. (2020), “Microwave-assisted extraction with three modifications on structural and functional properties of soluble dietary fibers from grapefruit peel”, *Food Hydrocolloids*, **101**, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105549.

[14] J. Sang, L. Li, J. Wen, et al. (2022), “Chemical composition, structural and functional properties of insoluble dietary fiber obtained from the Shatian pomelo peel sponge layer using different modification methods”, *Lwt*, **165**, DOI: 10.1016/j.lwt.2022.113737.

Nghiên cứu phát triển sản phẩm và đánh giá thành phần hóa lý thạch sơ ri

Hồ Trần Phương Uyên¹, Hoàng Quang Bình², Dương Thị Ngọc Diệp^{1*}

¹Khoa Công nghệ Hóa học và Thực phẩm, Trường Đại học Nông Lâm TP Hồ Chí Minh, khu phố 6, phường Linh Trung, TP Thủ Đức, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Viện Công nghệ Sinh học và Môi Trường, Trường Đại học Nông Lâm TP Hồ Chí Minh, khu phố 6, phường Linh Trung, TP Thủ Đức, TP Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 8/6/2023; ngày chuyển phản biện 10/6/2023; ngày nhận phản biện 19/7/2023; ngày chấp nhận đăng 22/7/2023

Tóm tắt:

Quả sơ ri là nguồn cung cấp dồi dào các hợp chất có lợi cho sức khỏe như vitamin C và các hợp chất phenolic. Tuy nhiên, loại quả này có hạn sử dụng ngắn do tốc độ chín nhanh. Do đó, mục đích của nghiên cứu này là phát triển sản phẩm thạch từ quả sơ ri giúp kéo dài thời gian sử dụng cho quả sơ ri, cũng như tạo ra sản phẩm tốt cho sức khỏe người tiêu dùng và có giá trị cảm quan tốt. Nghiên cứu đã đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn dịch quả, hàm lượng tổng chất rắn hòa tan, hàm lượng axit và chất ổn định cấu trúc đến chất lượng thạch sơ ri. Kết quả nghiên cứu cho thấy, công thức chế biến gồm 20% dịch quả sơ ri, 1,5% chất tạo cấu trúc aquagel gum, hàm lượng chất hòa tan tổng số 23% và hàm lượng axit tổng số 0,35% cho sản phẩm thạch có chất lượng cảm quan tốt, đạt 5,15/7,00 điểm, hàm lượng phenolic tổng số và vitamin C lần lượt đạt 92,21 mg GAE/100 g vck và 265,96 mg/100 g, hàm lượng năng lượng thấp 58 Kcal/100 g. Sản phẩm có nhiều tiềm năng trong ứng dụng thương mại.

Từ khóa: hợp chất phenolic, sơ ri, thạch trái cây, vitamin C.

Chỉ số phân loại: 2.10

Development and evaluation of physiochemical properties of acerola jelly

Tran Uyen Phuong Ho¹, Quang Binh Hoang², Thi Ngoc Diep Duong^{1*}

¹Faculty of Chemical Engineering and Food Technology, Nong Lam University, Quarter 6, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Research Institute for Biotechnology and Environment, Nong Lam University, Quarter 6, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 8 June 2023; revised 19 July 2023; accepted 22 July 2023

Abstract:

Acerola is a rich source of health-promoting compounds such as vitamin C and phenolic compounds. However, this fruit has a short shelf life due to its rapid ripening rate. Thus, the purpose of this study was to develop a jelly product from acerola that would extend the shelf life of acerola fruit, as well as create a product that is beneficial for consumers' health with good organoleptic value. The study evaluated the effects of acerola fruit juice blending ratio, total soluble solid content, total acid content, and stabilising texture agent on the quality of acerola jelly. The research results showed that the processing formula including 20% acerola juice, 1.5% aquagel gum, total soluble solid content of 23%, and total acid content of 0.35%, resulted in a jelly product that had good organoleptic quality with 5.15/7.00 points, total phenolic content and vitamin C content reaching 92.21 mg GAE/100 g DM and 265.96 mg/100 g, with low energy index of 58 Kcal/100 g. The processing of this product demonstrated great potential in commercial applications.

Keywords: acerola, jelly, phenolic compounds, vitamin C.

Classification number: 2.10

*Tác giả liên hệ: Email: duongngocdiep@hcmuaf.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Sơ ri được biết đến là một loại nông sản có hàm lượng vitamin C dồi dào, chiếm từ 695 đến 4827 mg/100 g [1], cao hơn so với cam (46 mg/100 g), bưởi (52 mg/100 g), dâu tây (61 mg/100 g) [2]. Tuy nhiên, thực tế cho thấy trái sơ ri dễ bị hư hỏng sau khi thu hoạch, do tốc độ chín nhanh; khi chín quả có đặc điểm quả mọng, vỏ mỏng, bóng và mềm, nên dễ bị hư dập trong quá trình vận chuyển, đặc biệt đối với các thị trường xa, từ đó giới hạn giá trị kinh tế của loại nông sản này. Do đó, việc đa dạng hóa các sản phẩm từ quả sơ ri sẽ mang lại hiệu quả kinh tế cao, nâng cao giá trị của loại trái cây giàu hợp chất sinh học này. Trong các nghiên cứu trước, nước ép từ quả sơ ri có thể dùng trong chế biến nước giải khát đóng chai, siro, mứt, kem [3]. Các sản phẩm mang hương vị độc đáo của quả sơ ri nhận được sự yêu thích khá cao từ người tiêu dùng.

Trên thị trường hiện nay, nhu cầu tiêu thụ những sản phẩm tráng miệng hoặc món ăn vặt có nguồn gốc từ tự nhiên, bổ dưỡng, tiện lợi ngày càng tăng cao. Sản phẩm thạch trái cây là một loại thực phẩm ở trạng thái bán rắn và được chế biến bằng cách trộn nước ép trái cây với đường và/hoặc axit hữu cơ cùng các chất tạo gel. Các nghiên cứu trước đó đã cho thấy, việc kết hợp puree bắp [4], nước ép mơ [5], nước ép trái anh đào dại [6] trong chế biến thạch có thể giúp thay thế việc sử dụng phẩm màu tổng hợp, nâng cao giá trị dinh dưỡng và các hợp chất sinh học có lợi cho sức khỏe người tiêu dùng. Tuy nhiên, hiện nay các nghiên cứu về xây dựng công thức chế biến thạch sơ ri vẫn còn khá hạn chế. Vì thế, mục đích của nghiên cứu này là xác định công thức chế biến thạch sơ ri, sản phẩm tạo thành có chất lượng cảm quan tốt, hàm lượng vitamin C và hàm lượng các hợp chất phenolic cao.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Nguyên liệu và hóa chất

Nguyên liệu: Trái sơ ri (*Malpighia glabra*) thuộc giống sơ ri chua được thu mua tại vườn trái cây ở Gò Công, tỉnh Tiền Giang. Những quả đạt độ chín đỏ cam, cuống còn xanh, không có hiện tượng hư hỏng về mặt vật lý lẫn vi sinh vật (trái có màu nâu sẫm do đã bị oxy hóa, bề mặt xuất hiện mốc, mùi lên men hoặc mùi lạ) được lựa chọn làm nguyên liệu trong nghiên cứu (hình 1). Nguyên liệu sau khi rửa sạch và loại bỏ những quả bị dập nát, sâu bệnh, được tiến hành bảo quản ở nhiệt độ -18°C .



Hình 1. Trái sơ ri được sử dụng trong nghiên cứu.

Phụ gia tạo cấu trúc: Aquagel gum WD-7183 là phụ gia thường được sử dụng trong chế biến các sản phẩm thạch trái cây có thành phần chính bao gồm: carrageenan, natri dihydro citrate, konjac gum, kali chloride (thông tin cung cấp từ đơn vị phân phối sản phẩm). Nguyên liệu được mua tại Công ty Hướng Đi (476/234 A3/12 Âu Cơ, phường 10, quận Tân Bình, TP Hồ Chí Minh), xuất xứ: Philippines, nhà sản xuất: Marcel Carrageenan.

Hóa chất: Các hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm NaOH 0,1N, methanol 99% (Cemaco, Việt Nam), thuốc thử folin-ciocalteu, axit gallic (Merck, Đức), NaCl, HCl, I_2 , KI, Na_2CO_3 , tinh bột hòa tan (Xilong, Trung Quốc) và môi trường vi sinh PCA, PDA (Himedia, Ấn Độ).

2.2. Quy trình chế biến thạch sơ ri

Sơ ri sau khi rửa đồng được ép bằng máy ép trái cây Philips (Trung Quốc) để thu dịch quả. Sau đó, dịch quả được phối trộn cùng với đường, axit citric, 1,5% aquagel gum và nước cho vừa đủ 100%. Trong đó, hàm lượng đường và axit citric được bổ sung đến khi sản phẩm đạt hàm lượng tổng chất rắn hòa tan (TSS) là 17% và hàm lượng axit tổng số (TA) đạt 0,35%. Tiếp theo, hỗn hợp được khuấy đều và đem đi gia nhiệt ở 85°C trong 5 phút, giúp các nguyên liệu hòa tan hoàn toàn. Kế tiếp, hỗn hợp được rót vào túi nhôm, ghép mí và thanh trùng ở 85°C trong 10 phút bằng máy thanh trùng

(ALP Model MCY-40L, Nhật Bản). Sau đó, sản phẩm được để nguội hoàn toàn ở nhiệt độ phòng và đem đi bảo quản trong tủ mát ở 8-10°C. Mỗi túi sản phẩm chứa 30 g thạch.

2.3. Bố trí thí nghiệm

Các thí nghiệm được bố trí theo phương pháp thay đổi một hoặc hai yếu tố, các yếu tố còn lại được giữ cố định. Kết quả thí nghiệm trước là thông số cố định cho thí nghiệm tiếp theo. Các nghiệm thức cho sản phẩm có mức độ yêu thích cao về cảm quan, cũng như có hàm lượng vitamin C và hàm lượng các hợp chất phenolic cao được chọn là kết quả thí nghiệm. Mỗi thí nghiệm được lặp lại 3 lần.

Ảnh hưởng của tỷ lệ dịch ép sơ ri đến chất lượng sản phẩm: Trong thí nghiệm này, thông số được khảo sát là tỷ lệ dịch ép sơ ri được bố trí theo mô hình một yếu tố, với 4 nghiệm thức được khảo sát lần lượt là 15, 20, 25 và 30% (g/g). Thí nghiệm được lặp lại ba lần. Mẫu thí nghiệm được chuẩn bị tương tự như quy trình ở trên. Sản phẩm thạch sơ ri được phân tích các chỉ tiêu hóa lý bao gồm hàm lượng vitamin C, hàm lượng phenolic tổng số (TPC) và giá trị cảm quan (màu, mùi, vị, kết cấu, độ yêu thích chung) dựa trên phép thử cho điểm thị hiếu thang điểm 7.

Ảnh hưởng của sự thay đổi TSS và TA đến chất lượng sản phẩm: Thí nghiệm này được bố trí theo mô hình hai yếu tố. Quy trình chế biến thạch sơ ri được thực hiện tương tự ở trên, tuy nhiên, giá trị TSS của sản phẩm được thay đổi với 4 mức độ lần lượt là 17, 19, 21 và 23%; giá trị TA được thay đổi là 0,3 và 0,35%. Sản phẩm thạch sơ ri được phân tích mức độ yêu thích về vị dựa trên phép thử cho điểm thị hiếu thang điểm 7.

Ảnh hưởng của hàm lượng aquagel đến chất lượng sản phẩm: Thí nghiệm này được bố trí theo mô hình một yếu tố. Quy trình chế biến thạch sơ ri được thực hiện tương tự ở trên, nhưng với 4 tỷ lệ aquagel gum lần lượt là 1,3, 1,5, 1,7 và 1,9%. Sản phẩm thạch sơ ri được xác định chất lượng cảm quan (màu, mùi, vị, kết cấu, độ yêu thích chung) dựa trên phép thử cho điểm thị hiếu thang điểm 7.

Phân tích chất lượng thạch sơ ri thành phẩm: Thạch sơ ri được chế biến theo quy trình ở trên. Sản phẩm sau đó được phân tích các chỉ số gồm TA, TSS, pH, khả năng giữ nước, polyphenol, vitamin C, mật độ tổng vi khuẩn hiếu khí, mật độ bào tử men mốc. Ngoài ra, sản phẩm cũng được gửi đến Trung tâm Phân tích sắc ký Hải Đăng để kiểm tra hàm lượng protein, carbohydrate, lipid, chỉ số năng lượng theo TCVN 5483:2007 [7].

2.4. Phương pháp phân tích

TSS, TA và pH: Đầu tiên thạch sơ ri được nghiền với nước cất theo tỷ lệ 1:5 (g/g), dịch lọc thu được, được phân tích tổng hàm lượng chất rắn hòa tan bằng khúc xạ kế Atago (0-32°Bx, Nhật Bản), giá trị pH bằng máy đo pH để bàn (Hanna 211, Mỹ). Hàm lượng axit tổng số (TA) của thạch sơ ri được xác định bằng phương pháp, hàm lượng phenolic tổng số và vitamin C.

Hàm lượng phenolic tổng: Đầu tiên, polyphenol trong thạch sơ ri được trích ly theo phương pháp của G. Xu và cs (2008) [8]. Trong ống ly tâm 50 ml, 1 g mẫu đã nghiền nhuyễn được trích ly cùng với 9 ml dung môi methanol 80% trong 30 phút tại nhiệt độ phòng, điều kiện chắn sáng. Tiếp theo mẫu được ly tâm tại 5000 vòng/phút trong 10 phút thu dịch trích. Phần dịch trích tiếp tục được xác định hàm lượng polyphenol tổng theo phương pháp của Y.Y. Lim và cs (2007) [9]. Trong một ống nghiệm, lắc đều hỗn hợp gồm 0,3 ml dịch trích đã pha loãng, 1,5 ml Folin 10%. Mẫu được để yên trong 5 phút, điều kiện chắn sáng. Sau đó, 1,2 ml Na_2CO_3 7,5% được thêm vào hỗn hợp và lắc đều. Sau 30 phút phản ứng tại nhiệt độ phòng 29-31°C, điều kiện chắn sáng, mẫu được phân tích mật độ quang ở bước sóng 765 nm bằng máy đo quang phổ UV-vis (UV-1800, Shimadzu, Nhật Bản). Hàm lượng polyphenol tổng số được tính theo công thức:

$$\text{TPC (mg GAE/100 g vck)} = \frac{(y-b) \times V \times \text{DF} \times 100}{a \times m \times (100\% - \text{hàm lượng ẩm}) \times 1000}$$

trong đó: y là giá trị OD của mẫu phân tích; a và b là hệ số trong phương trình đường chuẩn axit gallic (10-70 $\mu\text{g/ml}$); V là thể tích dịch trích ly; DF là độ pha loãng; m là khối lượng của mẫu; 100/1000: hệ số chuyển đổi từ $\mu\text{g/g}$ sang mg/100g .

Vitamin C: Phương pháp phân tích được tham chiếu theo K. Pathy và cs (2018) [10]. Đầu tiên, 0,1 g thạch sơ ri đã nghiền nhỏ được cho vào bình định mức 100 ml, sau đó lần lượt 50 ml nước cất, 2 giọt HCl 2% được cho vào bình định mức và lắc đều. Tiếp tục, nước cất được bổ sung cho đến vạch và lắc đều. Mẫu sau đó được lọc với giấy lọc để thu dịch trích. Kế tiếp, 10 ml dịch trích được cho vào bình tam giác và lắc đều với 2 giọt hồ tinh bột 0,5%. Mẫu sau đó được chuẩn độ với dung dịch Iod 0,01 N đến khi xuất hiện màu xanh bền. Hàm lượng vitamin C được tính theo kết quả:

$$X \text{ (mg/100 g)} = \frac{V \times V_1 \times 0,88 \times 100}{V_2 \times m}$$

trong đó: V là số ml dung dịch I_2 0,01 N dùng để chuẩn độ; V_1 là thể tích dịch mẫu thí nghiệm; V_2 là thể tích dịch mẫu lấy để xác định; 0,88 là số gam vitamin C ứng với 1 ml dung dịch I_2 0,01 N.

Xác định khả năng giữ nước (WHC): Phương pháp được tham chiếu theo M. Khemakhem và cs (2019) [11]. Cân 5 g mẫu vào giấy lọc, bọc kín và cho vào ống ly tâm 50 ml. Tiến hành ly tâm mẫu bằng máy ly tâm (Hermel Z206a, Đức) ở điều kiện 3000 vòng trong 10 phút. Mẫu sau khi ly tâm, đem cân lại và ghi chép kết quả. Tính toán kết quả:

$$WHC (\%) = \frac{W}{Y} \times 100$$

trong đó: W là khối lượng sau ly tâm; Y là khối lượng mẫu ban đầu.

Phân tích mật độ tổng vi khuẩn hiếu khí, mật độ bào tử men mốc: Phương pháp định lượng được thực hiện theo TCVN 5165 và TCVN 5166 [12, 13]. Đầu tiên thạch sơ ri được pha loãng với nước muối 0,85% vô trùng đến mật độ thích hợp. Sau đó, dịch mẫu (0,1 ml) được cho lên bề mặt thạch PCA (trường hợp phân tích tổng vi khuẩn hiếu khí), hoặc thạch PDA (trường hợp phân tích tổng bào tử men mốc). Dịch mẫu sau đó được dàn đều lên bề mặt thạch. Sau 15 phút để ổn định tại nhiệt độ phòng, các đĩa mẫu được lật úp và đặt vào tủ ẩm ở 30°C và ủ trong khoảng 72 giờ. Mật độ vi sinh vật được tính theo công thức:

$$X \text{ (CFU/g)} = \frac{N}{n_1 \times V_1 \times d_1 + \dots + n_i \times V_i \times d_i}$$

trong đó: N là tổng số khuẩn lạc tính được; n là số lượng đĩa ở mỗi nồng độ; V là thể tích dung dịch nuôi cấy trong đĩa (ml); D là nồng độ pha loãng.

Đánh giá chất lượng cảm quan: Các sản phẩm được đánh giá mức độ yêu thích về cảm quan, với số lượng cảm quan viên là 20 người, có độ tuổi 20-22. Mẫu được giữ trong tủ mát cho đến khi được phục vụ cho các cảm quan viên. Mỗi mẫu phân tích (30 g) đã được mã hóa bằng 3 chữ số, được đựng trong đĩa sứ trắng, thứ tự trình bày mẫu được sắp xếp một cách ngẫu nhiên. Trong quá trình đánh giá, người thử mẫu sử dụng nước lọc để thanh vị giữa các lần thử mẫu.

Các mẫu thạch sơ ri được đánh giá mức độ yêu thích dựa trên thang điểm 7, trong đó 1: kém yêu thích nhất, 4; không thích và không ghét và 7: yêu thích nhất [14].

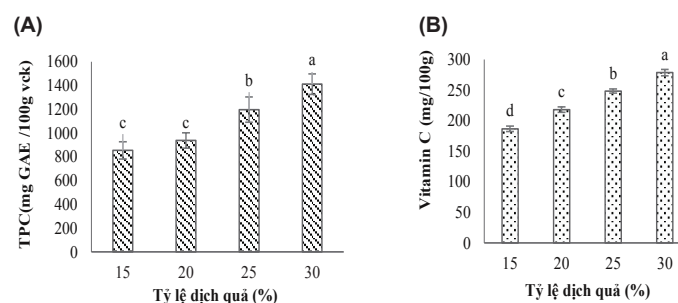
2.5. Phương pháp xử lý số liệu

Các số liệu trong nghiên cứu được tính toán, vẽ biểu đồ bằng phần mềm Excel 2013. Phân tích một yếu tố, hai yếu tố (ANOVA) và phân tích sai khác nhỏ nhất (LSD) được xử lý thống kê bằng phần mềm JMP 13.0 tại mức ý nghĩa = 0,05.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ dịch ép sơ ri đến chất lượng sản phẩm

Hình 2A cho thấy, hàm lượng phenolic tổng số của sản phẩm có xu hướng tăng dần từ 854,10 đến 1410,22 mg GAE/100 g vck, khi tỷ lệ dịch quả tăng từ 15 đến 30%. Kết quả phân tích phương sai cho thấy, có sự khác biệt về ý nghĩa thống kê giữa các mẫu khảo sát ($p < 0,05$). Trong cùng tỷ lệ bổ sung dịch quả này, hình 2B cho thấy hàm lượng vitamin C trong sản phẩm cũng có xu hướng tăng dần và nằm trong khoảng 186,76 đến 278,67 mg/100 g. Trong dịch quả sơ ri có chứa axit gallic, axit syringic, axit ferulic, anthocyanins, flavonoids, axit ascorbic [14], vì vậy việc gia tăng hàm lượng dịch quả đã góp phần làm tăng lượng phenolic tổng số và vitamin C trong thạch sơ ri. Kết quả phân tích này có xu hướng tương đồng với kết quả của một số nghiên cứu về thạch bổ sung puree bắp [4], nước ép mơ [5], nước ép trái anh đào dại [6].



Hình 2. Ảnh hưởng của tỷ lệ dịch quả sơ ri đến hàm lượng phenolic tổng số (A) và hàm lượng vitamin C trong sản phẩm (B). Trong cùng 1 hình, các cột có các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các mẫu thí nghiệm về mặt thống kê ($p < 0,05$).

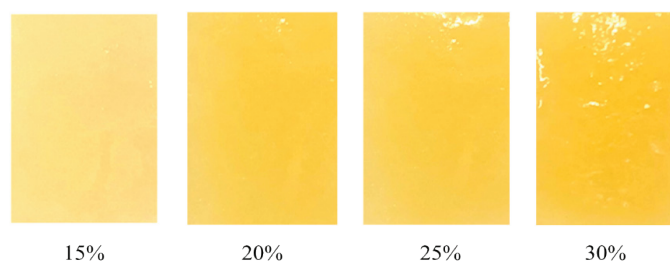
Sự gia tăng tỷ lệ dịch quả từ 15 đến 30% đã ảnh hưởng lớn đến sự yêu thích của người đánh giá đối với chất lượng cảm quan của sản phẩm (bảng 1). Về màu sắc, thạch thay đổi từ vàng nhạt kém hấp dẫn sang vàng đậm, điểm cảm

quan tăng từ 3,70 đến 5,90/7,00 điểm (hình 3). Tương tự, mức độ ưa thích của các cảm quan viên đối với mùi vị của sản phẩm cũng tăng dần từ 3,30 đến 5,60/7,00 điểm; tuy nhiên sự yêu thích của các cảm quan viên đối với các mẫu có tỷ lệ dịch quả >20%, là khác biệt không có ý nghĩa thống kê ($p>0,05$). Các cảm quan viên đều đánh giá rằng, các mẫu có dịch quả >20% tạo nên mùi thơm đặc trưng cho sản phẩm và vị chua ngọt ngon miệng. Trong một báo cáo tổng hợp cho thấy, quả sơ ri có chứa các hợp chất sắc tố như carotenoid, anthocyanin; đây là các chất tạo nên màu vàng, đỏ đặc trưng cho quả sơ ri chín. Bên cạnh đó, các hợp chất bay hơi thuộc các nhóm esters, terpenoids, aldehydes, ketones, alcohols và axit hữu cơ cũng đã được phát hiện trong dịch ép quả sơ ri [15]. Do đó, tỷ lệ dịch ép sơ ri trong công thức chế biến càng cao, thạch càng có màu sắc vàng sáng, mùi thơm sơ ri đặc trưng.

Bảng 1. Ảnh hưởng của tỷ lệ dịch quả sơ ri đến chất lượng cảm quan của sản phẩm.

Thuộc tính cảm quan	Tỷ lệ dịch quả (%)			
	15	20	25	30
Màu sắc	3,70 ^a ±1,15	5,03 ^b ±1,53	5,40 ^{ab} ±1,00	5,90 ^a ±1,53
Mùi vị	3,30 ^b ±1,73	5,43 ^a ±1,15	5,37 ^a ±1,00	5,60 ^a ±1,53
Kết cấu	6,00 ^a ±0,25	5,53 ^b ±0,30	5,30 ^{bc} ±0,06	4,97 ^c ±0,45
Độ yêu thích chung	3,97 ^b ±1,00	5,33 ^a ±1,15	5,10 ^a ±0,58	5,07 ^a ±0,58

Số liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn của 20 cảm quan viên. Trong cùng 1 hàng, các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các mẫu về mặt thống kê ($p<0,05$). Điểm cảm quan: 1 = rất không thích, 7 = rất thích.



Hình 3. Hình ảnh minh họa sản phẩm thạch sơ ri được chế biến ở các tỷ lệ dịch quả khác nhau.

Trái ngược với màu sắc và mùi vị, sự gia tăng tỷ lệ dịch ép sơ ri làm giảm mức độ yêu thích của cảm quan viên. Mẫu chứa 15% dịch quả được yêu thích nhất là 6,00/7,00 điểm. Cảm quan viên nhận xét tại tỷ lệ này, thạch đạt được độ dai thích hợp, tạo cảm giác yêu thích khi nhai. Trong khi đó, các mẫu >20% được đánh giá rằng dai hơn. Việc này có thể do quả sơ ri có chứa nhiều pectin [3], chất tạo đông tự nhiên trong trái cây. Vì vậy khi tăng hàm lượng dịch quả sơ ri đã

làm gia tăng độ dai trong sản phẩm. Như vậy, kết hợp giữa kết quả đánh giá cảm quan và phân tích hóa lý, tỷ lệ dịch quả sơ ri 20% được ưa thích nhất do đạt kết cấu đồng nhất, mùi thơm đặc trưng, vị hài hòa, màu sắc đẹp, sáng đặc trưng cho sản phẩm; cũng như có hàm lượng cao các hợp chất kháng oxy hóa. Vì vậy, mẫu có tỷ lệ dịch sơ ri là 20% được chọn làm thông số cố định cho thí nghiệm tiếp theo.

3.2. Ảnh hưởng của sự thay đổi tổng chất rắn hòa tan và axit tổng số đến chất lượng sản phẩm

Kết quả phân tích trong bảng 2 cho thấy, điểm trung bình về vị của các sản phẩm nằm trong khoảng 4,07 đến 5,73. Dựa trên thang điểm 7 thì điểm từ 4,00 đến 5,00 ở mức cảm quan viên không thích cũng không ghét sản phẩm, có nghĩa là sản phẩm nằm ở mức người tiêu dùng có thể chấp nhận sử dụng sản phẩm. Theo nhận xét của cảm quan viên, mẫu TSS 23% và TA 0,35% cho thạch có vị chua ngọt hài hòa, tạo cảm giác ngon miệng khi ăn. Ngược lại, TSS trong khoảng 17-21% cho sản phẩm có vị chua cao, TA 0,3% cho sản phẩm có vị hơi ngọt. Do đó, thông số TSS 23% và TA 0,35% đã được chọn làm kết quả thí nghiệm.

Bảng 2. Ảnh hưởng của sự thay đổi tổng chất rắn hòa tan và axit tổng số đến chất lượng cảm quan của sản phẩm.

Tổng chất rắn hòa tan (%)	Axit tổng số (%)	Điểm cảm quan vị
17	0,3	4,07 ^d ±0,15
19		4,63 ^c ±0,12
21		5,43 ^{ab} ±0,15
23		5,13 ^b ±0,15
17	0,35	4,63 ^c ±0,15
19		4,63 ^c ±0,31
21		5,13 ^b ±0,15
23		5,73 ^a ±0,29

Số liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn của 20 cảm quan viên. Trong cùng 1 cột, các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa giữa các mẫu về mặt thống kê ($p<0,05$). Điểm cảm quan: 1 = rất không thích, 7 = rất thích.

3.3. Ảnh hưởng của hàm lượng aquagel đến chất lượng sản phẩm

Kết quả phân tích cảm quan (bảng 3) về tất cả các chỉ tiêu đều cho thấy, sự thay đổi về tỷ lệ aquagel gum trong công thức chế biến đã ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến mức độ yêu thích của cảm quan viên đối với thạch sơ ri ($p<0,05$). Cụ thể, mẫu chứa 1,5% aquagel gum được điểm cao nhất về kết cấu (5,90/7,00 điểm), mùi vị (5,30/7,00 điểm) và màu sắc

(5,60/7,00 điểm). Ngược lại, khi tỷ lệ aquagel gum >1,7% thạch có đặc tính hơi dai, màu vàng hơi đục, không tươi sáng, khi ăn không cảm nhận rõ mùi thơm của sơ ri. Trong khi đó, mẫu 1,3% có đặc tính thạch hơi mềm. Đây là các đặc tính cảm quan viên không yêu thích. Nguyên nhân này có thể là do aquagel gum có chứa carrageenan và knojac gum. Khi hòa tan với dịch ép sơ ri, các chất này có thể đã liên kết với các phân tử nước hoặc với chính nó thông qua liên kết hydro, tạo nên hệ gel với mạng lưới 3 chiều trong sản phẩm. Khi nồng độ aquagel gum tăng thì khả năng gel hoá tăng. Kết quả là các hợp chất bay hơi, axit hữu cơ, đường có thể đã được “nhốt” chặt trong các nút mạng, làm hạn chế khả năng phóng thích của các chất này trong quá trình nhai, làm giảm mùi vị của sản phẩm, do đó giảm độ yêu thích của cảm quan viên đối với sản phẩm thạch sơ ri. Từ các kết quả đã được ghi nhận, mẫu có tỷ lệ aquagel gum là 1,5% cho sản phẩm có chất lượng cảm quan tốt và được chọn làm kết quả thí nghiệm. Trong một nghiên cứu về thạch cà rốt, tỷ lệ carageenan trong công thức phối trộn là 1,5% cho sản phẩm có điểm đánh giá cảm quan về độ giòn dai cao hơn so với tỷ lệ 1% [16].

Bảng 3. Kết quả đánh giá cảm quan của mẫu thạch sơ ri ở các tỷ lệ aquagel gum khác nhau.

Thuộc tính cảm quan	Tỷ lệ aquagel gum (%)			
	1,3	1,5	1,7	1,9
Màu sắc	5,10 ^{ab} ±0,97	5,60 ^a ±1,14	4,40 ^c ±1,19	4,65 ^{bc} ±0,93
Mùi vị	4,85 ^{ab} ±1,09	5,30 ^a ±1,34	4,50 ^b ±1,14	5,00 ^{ab} ±1,17
Kết cấu	5,10 ^b ±0,97	5,90 ^a ±0,91	4,90 ^b ±1,37	5,25 ^{ab} ±0,97
Độ yêu thích chung	5,30 ^{ab} ±1,30	5,35 ^a ±0,88	4,65 ^b ±1,04	5,15 ^{ab} ±1,04

Số liệu là giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn của 20 cảm quan viên. Trong cùng 1 hàng, các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa giữa các mẫu về mặt thống kê ($p < 0,05$). Điểm cảm quan: 1 = rất không thích, 7 = rất thích.

3.4. Phân tích chất lượng thạch sơ ri thành phẩm

Thạch sơ ri có hàm lượng nước cao khoảng 74%, chỉ số năng lượng (58 KCal/100 g) thấp hơn so với một số món ăn vặt như bánh quy (376 KCal/100 g), bánh kem xốp (492 KCal/100 g), kẹo bơ cứng (448 KCal/100 g), kẹo ngậm (356 KCal/100 g) [17]. Ngoài ra, kết quả bảng 4 cho thấy, hàm lượng vitamin C trong thạch sơ ri là 265,96 mg/100 g; trong khi đó nhu cầu vitamin C theo khuyến nghị của Viện Dinh dưỡng Quốc gia dành cho người trưởng thành >18 tuổi là 70-75 mg/ngày, và dành cho đối tượng 10-18 tuổi là 65-80 mg/ngày. Như vậy, thạch sơ ri có thể xem là một thực phẩm cung cấp tốt vitamin C cho người tiêu dùng. Về hàm lượng các hợp chất phenolic, hiện vẫn chưa có tài liệu đề cập đến lượng nhu cầu tối thiểu cần dung nạp mỗi ngày.

Tỷ lệ TSS/TA (tỷ lệ giữa tổng chất rắn hòa tan và tổng hàm lượng axit), phần nào phản ánh vị chua ngọt của sản phẩm. Mẫu thạch sơ ri với TSS 23% và TA 0,35% có tỷ lệ TSS/TA là 65,71; khá tương đồng với tỷ lệ TSS/TA của một số mẫu thạch trái cây trên thị trường (49,22-77,31). Điều này cho thấy, khi áp dụng vào trong thực tiễn, vị của sản phẩm dễ dàng đón nhận bởi người tiêu dùng. Bên cạnh đó, nghiên cứu này cũng đã xác định khả năng giữ nước của sản phẩm. Chỉ số này phần nào phản ánh độ ổn định của thạch, thể hiện khả năng bị tách nước ra khỏi thạch trong quá trình bảo quản. Mẫu thạch sơ ri có chỉ số WHC 77,20% khá tương đồng với các mẫu thạch thương mại (68,20 đến 74,2%). Điều này phần nào phản ánh tính ổn định trong cấu trúc của thạch sơ ri, sản phẩm ít bị tách nước trong quá trình bảo quản.

Tham khảo tiêu chuẩn QCVN 6-2:2010/BYT dành cho nước giải khát không cồn, sản phẩm phải có hàm lượng tổng vi khuẩn hiếu khí <10² CFU/g, tổng bào tử men mốc <10² CFU/g [18]. Kết quả trong bảng 4 cho thấy, thạch sơ ri đã đáp ứng yêu cầu đối với cả hai chỉ tiêu vi sinh vật này. Như vậy, nhìn chung thạch sơ ri có thể được dùng như một món ăn vặt tốt cho sức khỏe và an toàn cho người tiêu dùng.

Bảng 4. Thành phần dinh dưỡng và thông số hóa lý của thạch sơ ri.

Chỉ tiêu	Kết quả
Carbohydrate (%)*	14,3
Béo (%)*	Không phát hiện (LOD=0,1)
Đạm (%)*	Phát hiện vết (<0,3)
Độ ẩm (%)*	85,2
Tro tổng (%)*	0,35
Năng lượng (kcal/100 g)*	58
Hàm lượng nước (%)	74,83±1,04
TSS (%)	22,93±0,21
TA (%)	0,29±0,01
TSS/TA	65,71
pH	4,35±0,06
Khả năng giữ nước (%)	77,20±2,03
Hàm lượng phenolic tổng số (mg GAE/100 g vck)	92,21±6,19
Hàm lượng vitamin C (mg/100 g)	265,96±3,39
Tổng số bào tử nấm men và nấm mốc (CFU/g)	Không phát hiện
Tổng số vi khuẩn hiếu khí (CFU/g)	Không phát hiện

*Kết quả gửi mẫu phân tích tại Trung tâm Phân tích Sắc ký Hải Đăng (TP Hồ Chí Minh).

4. Kết luận

Sơ ri là loại nguyên liệu chứa nhiều vitamin C. Sự thay đổi về tỷ lệ dịch ép sơ ri, tỷ lệ đường, axit citric, chất tạo cấu trúc aquagel có ảnh hưởng đến chất lượng cảm quan và hàm lượng các hợp chất sinh học có trong thạch sơ ri. Sản phẩm thu được trong đề tài có chất lượng cảm quan tốt, hàm lượng vitamin C đáp ứng theo khuyến nghị của Viện Dinh dưỡng Quốc gia, cũng như đáp ứng yêu cầu về chỉ tiêu vi sinh vật hiếu khí, bào tử men mốc, tham chiếu theo tiêu chuẩn QCVN 6-2:2010/BYT. Trong các nghiên cứu tiếp theo cần tiếp tục khảo sát điều kiện bảo quản sản phẩm thạch sơ ri.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ kinh phí của Trường Đại học Nông Lâm TP Hồ Chí Minh thông qua dự án CS-CB21-HHTP-08.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L. Delva, R.G. Schneider (2013), “Acerola (*Malpighia emarginata* DC): Production, postharvest handling, nutrition, and biological activity”, *Food Reviews International*, **29(2)**, pp.107-126, DOI: 10.1080/87559129.2012.714433.
- [2] A.R. Progettente, A.S. Pannala, G. Paganga, et al. (2002), “The antioxidant activity of regularly consumed fruit and vegetables reflects their phenolic and vitamin C composition”, *Free Radical Research*, **36(2)**, pp.217-233, DOI: 10.1080/10715760290006484.
- [3] A. Prakash, R. Baskaran (2018), “Acerola, an untapped functional superfruit: A review on latest frontiers”, *Journal of Food Science and Technology*, **55**, pp.3373-3384, DOI: 10.1007/s13197-018-3309-5.
- [4] M.J. Cha, J.H. Lee (2018), “Quality and antioxidant properties of jelly incorporated with corn concentrate”, *Korean Journal of Food Preservation*, **25(4)**, pp.436-440, DOI: 10.11002/kjfp.2018.25.4.436.
- [5] J.H. Lee, S.Y. Kim (2019), “Quality and antioxidant properties of jelly supplemented with apricot juice concentrate”, *Korean Journal of Food Preservation*, **26(4)**, pp.425-430, DOI: 10.11002/kjfp.2019.26.4.425.
- [6] E.S. Hwang, E.M. Shon (2022), “Quality characteristics and antioxidant activity of stick jelly prepared with aronia juice”, *Korean Journal of Food Preservation*, **29(2)**, pp.222-232, DOI: 10.9799/ksfan.2015.28.4.602.
- [7] Ministry of Science and Technology (2007), *Vegetable and Fruit Products - Determination of Titratable Acidity*, TCVN 5483:2007 (ISO 750:1998) (in Vietnamese).
- [8] G. Xu, D. Liu, J. Chen, et al. (2008), “Juice components and antioxidant capacity of citrus varieties cultivated in China”, *Food Chemistry*, **106(2)**, pp.545-551, DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.06.046.
- [9] Y.Y. Lim, T.T. Lim, J.J. Tee (2007), “Antioxidant properties of several tropical fruits: A comparative study”, *Food Chemistry*, **103(3)**, pp.1003-1008, DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.08.038.
- [10] K. Pathy, Krishnasarma (2018), “Process for preparation of vitamin C and method for determination of vitamin C in tablets”, *Surgery & Case Studies: Open Access Journal*, **1(3)**, pp.1-14.
- [11] M. Khemakhem, H. Attia, M.A. Ayadi (2019), “The effect of pH, sucrose, salt and hydrocolloid gums on the gelling properties and water holding capacity of egg white gel”, *Food Hydrocolloids*, **87**, pp.11-19, DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.07.041.
- [12] Ministry of Science and Technology (1990a), *Food Products - Method for Determining The Total Number of Spores, Yeasts, Molds*, TCVN 5166:1990 (in Vietnamese).
- [13] Ministry of Science and Technology (1990b), *Food Products - Method for Determining The Total Number of Aerobic Bacteria*, TCVN 5165:1990 (in Vietnamese).
- [14] H.D. Tu (2016), *Chapter 3-Sensory Testing, Food Sensory Analysis Techniques*, Science and Technics Publishing House, 145pp (in Vietnamese).
- [15] T. Belwal, H.P. Devkota, H.A. Hassan, et al. (2018), “Phytopharmacology of Acerola (*Malpighia* spp.) and its potential as functional food”, *Trends in Food Science & Technology*, **74**, pp.99-106, DOI: 10.1016/j.tifs.2018.01.014.
- [16] J.J. Park, I.F. Olawuyi, G.D. Park, et al. (2021), “Effects of gelling agents and sugar substitutes on the quality characteristics of carrot jelly”, *Korean Journal of Food Preservation*, **28(4)**, pp.469-479, DOI: 10.11002/kjfp.2021.28.4.469.
- [17] N.C. Khan (2007), *Group 12 (Sugar, Cake, Jam, Candy)*, *Vietnamese Food Formulation*, Medical Publishing House, pp.467-487 (in Vietnamese).
- [18] Ministry of Health (2010), *National Technical Regulations For Non-Alcoholic Beverage Products*, QCVN 6-2:2010/BYT (in Vietnamese).

Sàng lọc *in silico* các phân tử nhỏ có khả năng ức chế thụ thể AT₁ để nghiên cứu phát triển thuốc điều trị bệnh tăng huyết áp

Nguyễn Lê Anh Tuấn*, Võ Lê Anh Thư, Đào Chí Tuyên

Khoa Dược, Trường Đại học Lạc Hồng, 10 Huỳnh Văn Nghệ, phường Bửu Long, TP Biên Hòa, tỉnh Đồng Nai, Việt Nam

Ngày nhận bài 14/3/2023; ngày chuyển phản biện 16/3/2023; ngày nhận phản biện 8/4/2023; ngày chấp nhận đăng 14/4/2023

Tóm tắt:

Ức chế thụ thể AT₁ của angiotensin II là một chiến lược phổ biến trong điều trị tăng huyết áp. Nghiên cứu này áp dụng phương pháp sàng lọc *in silico* nhằm tìm ra các chất mới có khả năng ức chế thụ thể AT₁. Dữ liệu cấu trúc của các hợp chất được thu thập từ nhiều thư viện hóa học khác nhau. Mô hình docking phân tử và mô hình 3D-pharmacophore được xây dựng để thực hiện sàng lọc. Quy tắc 5-Lipinski được áp dụng để đánh giá tiềm năng giống thuốc của các hợp chất. Các đặc tính dược động học của các hợp chất tiềm năng được phân tích bằng công cụ pkCSM. Từ 21.994.845 hợp chất ban đầu, có 7.290 hợp chất thỏa mãn mô hình 3D-pharmacophore, 7.103 hợp chất thực hiện docking thành công, 626 hợp chất có ái lực với thụ thể AT₁ cao hơn olmesartan. Trong số đó, 10 hợp chất được xác định là có tiềm năng nhờ tương tác tốt với các acid amin quan trọng và điểm số docking vượt trội so với olmesartan. Tất cả các hợp chất này đều đáp ứng quy tắc 5-Lipinski, đồng thời có đặc tính dược động học tốt, phù hợp với yêu cầu của các hợp chất giống thuốc dùng đường uống.

Từ khóa: angiotensin II, AT₁, docking, *in silico*, tăng huyết áp, 3D-pharmacophore.

Chỉ số phân loại: 3.1, 3.4

In silico screening of small molecules capable of inhibiting AT₁ receptors for research and development of drugs to treat hypertension

Le Anh Tuan Nguyen*, Le Anh Thu Vo, Chi Tuyen Dao

Faculty of Pharmacy, Lac Hong University, 10 Huynh Van Nghe Street, Buu Long Ward, Bien Hoa City, Dong Nai Province, Vietnam

Received 14 March 2023; revised 8 April 2023; accepted 14 April 2023

Abstract:

Inhibition of the AT₁ receptor of angiotensin II is a common strategy in hypertension treatment. This study applied *in silico* screening methods to identify novel compounds with potential AT₁ receptor inhibition. The structural data of compounds were collected from various chemical libraries. Molecular docking models and 3D-pharmacophore models were developed for screening purposes. Lipinski's rule of five was employed to evaluate the drug-like potential of the compounds. The pharmacokinetic properties of potential compounds were analysed using the pkCSM tool. From an initial set of 21,994,845 compounds, 7,290 compounds satisfied the 3D-pharmacophore model, 7,103 compounds were successfully docked, and 626 compounds demonstrated higher affinity for the AT₁ receptor than olmesartan. Among them, 10 compounds were identified as potential candidates due to their strong interactions with key amino acids and higher docking scores than olmesartan. All of these compounds comply with Lipinski's rule of five and exhibit favourable pharmacokinetic properties, making them suitable for oral drug formulation.

Keywords: angiotensin II, AT₁, docking, hypertension, *in silico*, 3D-pharmacophore.

Classification numbers: 3.1, 3.4

*Tác giả liên hệ: Email: tuannnguyen@lhu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Tăng huyết áp là một bệnh lý mạn tính, đặc trưng bởi áp lực máu lên thành động mạch tăng cao [1]. Tình trạng này được xác định khi huyết áp tâm thu lúc nghỉ từ 130 mmHg trở lên hoặc huyết áp tâm trương lúc nghỉ từ 80 mmHg trở lên, hoặc cả hai giá trị đều vượt ngưỡng [2]. Huyết áp cao kéo dài làm tăng gánh nặng cho tim, đồng thời là yếu tố nguy cơ chính dẫn đến các biến chứng tim mạch nghiêm trọng, bao gồm đột quỵ, suy tim, bệnh động mạch vành và nhồi máu cơ tim.

Các nhóm thuốc được sử dụng điều trị tăng huyết áp vẫn đang được nghiên cứu phát triển. Mục tiêu của nghiên cứu này là khám phá các phân tử nhỏ có khả năng phát triển thành thuốc điều trị tăng huyết áp. Do nhận thấy những ưu điểm của thuốc ức chế thụ thể angiotensin II trên AT_1 (ARB) như dùng đầy đủ liều có thể điều trị tăng huyết áp tương tự nhóm thuốc ức chế men chuyển (ACEi) nhưng lại ít gây ho khan hơn, ức chế renin angiotensin aldosterone triệt để hơn ACEi vì đối kháng cạnh tranh với angiotensin II tại thụ thể AT_1 [3]. Ngoài ra, thuốc ức chế thụ thể angiotensin/neprilysin (ARNIs) là sự kết hợp của nhóm ARB và neprilysin trong một số nghiên cứu gần đây cũng cho thấy kết quả an toàn và hiệu quả hơn so với nhóm ACEi [4]. Vì vậy, nghiên cứu này nhằm mục tiêu xác định các hợp chất có tiềm năng ức chế thụ thể AT_1 để sử dụng trong điều trị tăng huyết áp.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

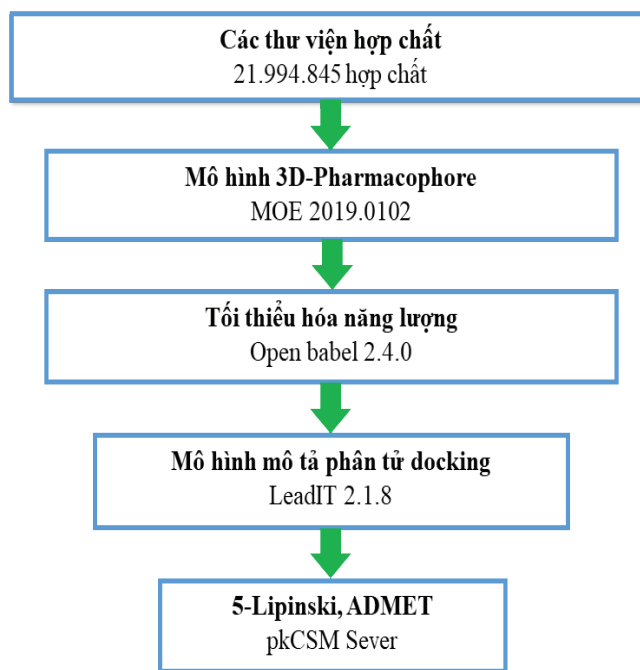
Olmesartan ức chế angiotensin II thông qua việc liên kết với thụ thể AT_1 , điểm số redock -37,6458 kJ/mol và tương tác trực tiếp với bốn acid amin quan trọng: Ser105, Arg167, Trp84 và Tyr35. Các acid amin này đóng vai trò then chốt trong việc xây dựng mô hình 3D-pharmacophore và mô hình mô tả phân tử docking. Nghiên cứu đã sử dụng các mô hình *in silico* để sàng lọc thư viện hợp chất, nhằm tìm ra các chất có ái lực với thụ thể AT_1 vượt trội so với olmesartan.

Cấu trúc thụ thể AT_1 và olmesartan có sẵn với ID 4ZUD trên cơ sở dữ liệu RCSB Protein Data Bank. Sau khi kiểm tra sơ bộ cấu trúc, công cụ QuickPrep trong phần mềm MOE 2019.0102 được sử dụng để sửa chữa cấu trúc protein và thực hiện quá trình proton hóa 3D. Nhóm nghiên cứu đã tạo mô hình 3D-pharmacophore bằng phần mềm MOE

2019.0102 [5, 6]. Các hợp chất phù hợp với mô hình 3D-pharmacophore đã được tối thiểu hóa năng lượng bằng phần mềm Open Babel 2.4.0 để chuẩn bị cho quá trình docking [7]. Phương pháp docking được thực hiện bằng phần mềm LeadIT 2.1.8, cho kết quả là điểm số docking tương ứng theo từng cấu dạng [8]. Kết quả thu được sẽ được phân tích thông qua công cụ Ligand Interactions trong phần mềm MOE 2019.0102, nhằm đánh giá mức độ gắn kết của các hợp chất với thụ thể AT_1 . Trước khi tiến hành quá trình docking, phối tử olmesartan đã được tách ra từ phức hợp 4ZUD và được tái docking vào khoang gắn kết. Kết quả docking được đánh giá là đáng tin cậy nếu độ lệch bình phương trung bình gốc (RMSD) nhỏ hơn 2 Å. Một số hợp chất có khả năng gắn kết tốt (được đánh giá qua điểm số docking) với AT_1 sẽ được đánh giá các đặc tính giống thuốc (drug-like) thông qua quy tắc 5-Lipinski và các chỉ số được động học như hấp thu, phân bố, chuyển hóa, thải trừ, độc tính (ADMET) bằng công cụ pkCSM [9].

Quá trình sàng lọc ảo sử dụng các hợp chất được thu thập từ nhiều thư viện khác nhau, bao gồm: Maybridge (MAY), Drug Bank (DB), ZINC (ZINC) và các hợp chất có nguồn gốc từ y học cổ truyền Trung Quốc [10-14].

Quy trình sàng lọc được mô tả trong hình 1.



Hình 1. Quy trình sàng lọc.

3. Kết quả và bàn luận

Từ các thư viện DB, MAY, TCM, ZINC có tổng cộng 21.994.845 hợp chất được thu thập và tiến hành sàng lọc nhằm tìm kiếm các chất có khả năng ức chế thụ thể AT₁ của angiotensin II. Các chất được chạy cấu dạng trước khi dùng để sàng lọc qua mô hình *in silico*. Kết quả thu thập dữ liệu được trình bày ở bảng 1.

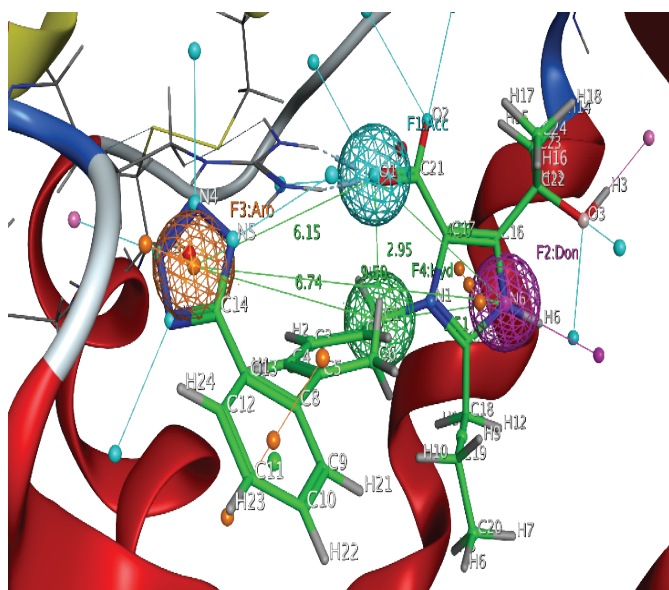
Bảng 1. Kết quả thu thập dữ liệu.

Thư viện	Số lượng hợp chất
DB	8.993
TCM	57.424
MAY	151.335
ZINC	21.777.093
Tổng cộng	21.994.845

DB: Drug Bank, TCM: Traditional Chinese Medicine, MAY: Maybridge, ZINC: ZINC.

3.1. Mô hình 3D-pharmacophore

Dựa trên các tương tác giữa thụ thể AT₁ và thuốc olmesartan, nghiên cứu đã xác định được bốn acid amin đóng vai trò quan trọng trong việc xây dựng mô hình 3D-pharmacophore. Các acid amin này bao gồm: Ser 105, Arg 167, Trp 84 và Tyr 35 (hình 2). Đây là những vị trí thiết



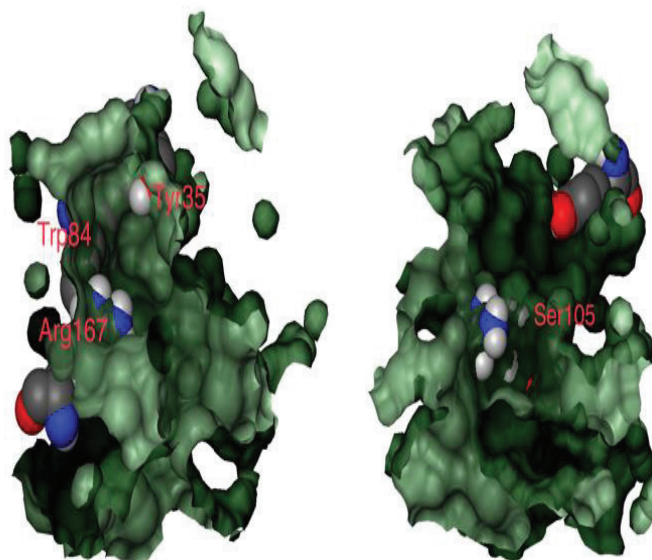
Hình 2. Mô hình 3D-pharmacophore.

yếu để thiết lập mô hình 3D-pharmacophore và mô hình docking phân tử. Trong đó:

- Vị trí N6 liên kết H-donor với Tyr 35
- Vị trí O1 liên kết H-acceptor với Arg 167
- Vị trí C1 liên kết H-pi với Trp 84
- Vị trí Vòng 5 liên kết pi-H với Ser 105

3.2. Mô hình mô tả phân tử docking

Trong nghiên cứu, mô hình protein AT₁ được mở rộng với bán kính 6,5 Å nhằm đảm bảo bao phủ đầy đủ các vùng tương tác quan trọng gồm bốn acid amin chính. Bề mặt tương tác của AT₁ có đặc điểm lõm, với các acid amin này tập trung tại khu vực lõm. Do đó, để gắn kết thành công, các phối tử cần có cấu trúc phù hợp với hình dạng cụ thể của bề mặt này. Mô hình chi tiết về phân tử docking được minh họa trong hình 3.



Hình 3. Mô hình mô tả phân tử docking.

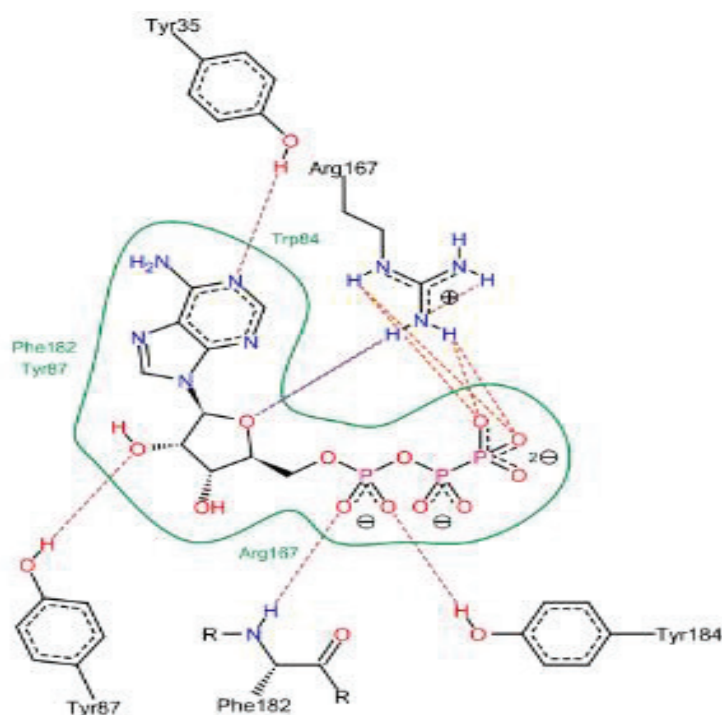
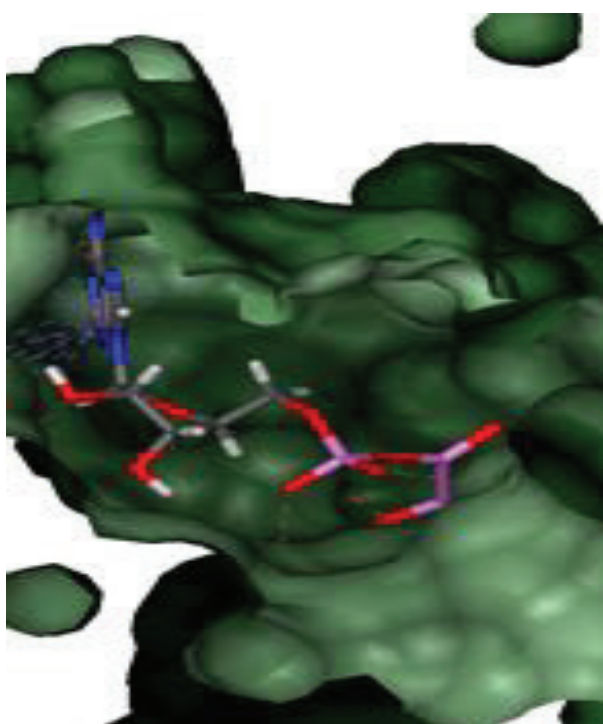
3.3. Kết quả sàng lọc

Nghiên cứu đã sử dụng mô hình 3D-pharmacophore để tiến hành sàng lọc các hợp chất từ nhiều thư viện khác nhau. Kết quả cho thấy, có 7.189 hợp chất phù hợp với tiêu chí của mô hình 3D-pharmacophore, trong đó 7.103 hợp chất đã được thực hiện docking thành công. Thông tin chi tiết về quá trình sàng lọc được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Số liệu tổng hợp quá trình sàng lọc

Thư viện	Thoả mãn mô hình 3D-pharmacophore	Docking thành công
DB	78	71
TCM	2.686	2.537
MAY	101	92
ZINC	4.426	4.403
Tổng	7.190	7.103

DB: Drug Bank, TCM: Traditional Chinese Medicine, MAY: Maybridge, ZINC: ZINC.



Hình 4. Tương tác giữa TCM184 và các acid amin quan trọng trong thụ thể AT₁.

Khi đánh giá sự tương tác giữa các hợp chất và các acid amin quan trọng, kết quả cho thấy tất cả các hợp chất đã docking thành công đều liên kết với ít nhất một acid amin quan trọng. Đặc biệt, có 626 hợp chất thể hiện ái lực với thụ thể AT₁ cao hơn so với olmesartan, với điểm số docking thấp hơn -37,6458 kJ/mol. Có 10 hợp chất có điểm số docking tốt nhất và có liên kết với ít nhất 2 trong 4 acid amin quan trọng, được thể hiện ở bảng 3.

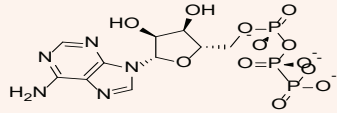
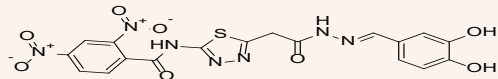
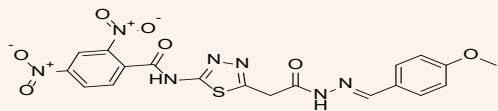
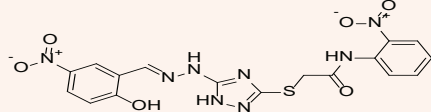
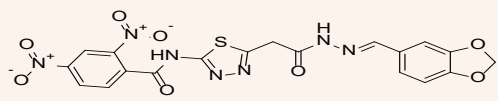
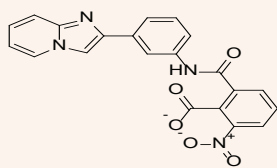
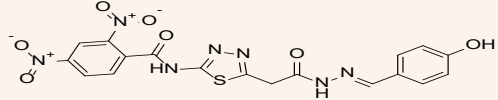
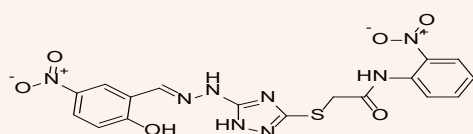
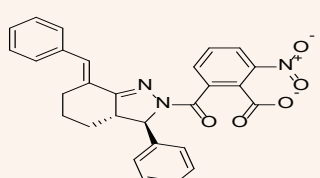
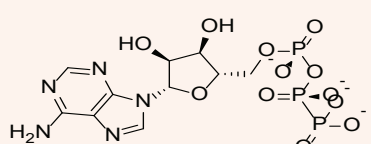
Hợp chất TCM184 đạt điểm số docking ấn tượng nhất (-54,2874 kJ/mol), với khả năng liên kết mạnh mẽ tại nhiều vị trí acid amin quan trọng. Điều này cho thấy tiềm năng cao của TCM184 trong việc ức chế thụ thể AT₁. Kết quả chi tiết được minh họa trong hình 4.

3.4. Đánh giá theo quy tắc 5-Lipinski

Một hợp chất được coi là giống thuốc và có thể sử dụng qua đường uống cần không vi phạm quá 1 trong 4 tiêu chí của quy tắc 5-Lipinski: (1) Khối lượng phân tử không

vượt quá 500 Da; (2) Tính thân dầu cao (LogP không vượt quá 5); (3) Không có quá 5 nhóm cho liên kết hydro; (4) Không có quá 10 nhóm nhận liên kết hydro [15]. Cả 10 chất đều thỏa mãn điều kiện của quy tắc 5-Lipinski, trong đó có ZINC21125103, ZINC12560331, ZINC01187319 thỏa mãn cả 4 điều kiện, còn lại các chất ZINC59498759, ZINC59498761, ZINC59498771, ZINC59498781, ZINC59498790, TCM184, ZINC58997256 thỏa mãn 3 trên 4 điều kiện (bảng 4).

Bảng 3. Một số hợp chất tiềm năng đã docking thành công.

STT	Tên hợp chất/Cấu trúc	Điểm số docking (kJ/mol)	Acid amin tương tác
1	TCM184 	-54.2874	Tyr35, Tyr87, Arg167, Phe182, Tyr184
2	ZINC59498761 	-53.1585	Tyr35, Tyr87, Thr88, Arg167, Cys180, Phe182, Tyr184, Lys199
3	ZINC59498781 	-52.3130	Tyr35, Tyr87, Arg167, Phe182, Tyr184, Lys199
4	ZINC59498759 	-49.6501	Tyr35, Tyr87, Arg167, Cys180, Phe182, Tyr184
5	ZINC59498790 	-48.9353	Tyr35, Tyr87, Arg167, Cys180, Phe182, Tyr184, Lys199
6	ZINC01187319 	-48.5896	Tyr35, Tyr87, Arg167
7	ZINC59498771 	-48.3779	Tyr35, Tyr87, Arg167, Cys180, Phe182, Tyr184, Lys199
8	ZINC58997256 	-48.0929	Tyr35, Arg167
9	ZINC12560331 	-45.1562	Tyr35, Tyr87, Arg167
10	ZIN21125103 	-45.0217	Tyr35, Tyr87, Arg167, Tyr 184

Bảng 4. Kết quả đánh giá theo nguyên tắc 5-Lipinski và đánh giá ADMET.

	TCM184	ZINC 21125103	ZINC 12560331	ZINC 59498759	ZINC 59498761	ZINC 59498771	ZINC 59498781	ZINC 59498790	ZINC 01187319	ZINC 58997256
5-Lipinski										
Khối lượng phân tử	487,151	466,406	480,5	487,41	487,41	471,411	485,438	499,421	401,358	458,416
Tính thân dầu cao	-4,0886	3,7814	4,3951	17.108	17.108	2,0052	2,3082	2,0283	2,5253	2,5035
Nhóm cho liên kết hydrogen (HBD)	3	2	0	4	4	3	2	2	1	4
Nhóm nhận liên kết hydrogen (HBA)	17	8	6	12	12	11	11	12	7	11
Hấp thu										
Tan trong nước (log mol/l)	-2,706	-4,57	-3,477	-3,277	-3,537	-3,841	-4,127	-4,019	-2,908	-2,95
Tính thấm màng CaCO ₂ (log P _{app} trong 10 ⁻⁶ cm/s)	-0,669	0,049	0,883	-0,051	0,127	0,205	0,294	0,234	0,112	-0,793
Hấp thu ở ruột (người) (%)	36,602	93,172	83,7	62,785	62,562	68,808	70,582	76,696	75,199	64,504
Phân bố										
Thể tích phân bố VDss (người) (logL/kg)	0,754	-1,313	-1,828	-3,277	-0,451	-0,659	-0,764	-0,801	-0,791	-0,516
Tỷ lệ hợp chất ở dạng tự do (người)	0,665	0	0	0	0	0	0	0	0,101	0,315
Tính thấm BBB	-2,247	-0,901	-0,729	-1,725	-1,603	-1,43	-1,064	-1,222	-0,919	-2,17
Chuyển hóa										
Cơ chất CYP2D6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ức chế CYP2D6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cơ chất CYP3A4	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓
Ức chế CYP3A4	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	-	-
Thải trừ										
Độ thanh thải toàn phần (log ml/min/kg)	-0,345	0,07	0,461	0,166	0,022	-0,017	0,13	-0,027	0,182	0,308
Cơ chất OCT2 thận	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Độc tính										
AMES	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Gan	-	✓	-	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Da	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

3.5. Đánh giá ADMET

Về khả năng hấp thu, một hợp chất được xem là có tính thấm tốt nếu giá trị thẩm qua màng CaCO_2 lớn hơn 0,9. Kết quả từ bảng 4 chỉ ra rằng, tất cả 10 hợp chất đều có giá trị thẩm nhỏ hơn 0,9, cho thấy khả năng thẩm qua màng thấp. Tuy nhiên, hầu hết các hợp chất này lại có khả năng hấp thu ở ruột người (HIB) khá tốt, với HIB đều lớn hơn 30%. Chất có tỷ lệ hấp thu cao nhất qua ruột là ZIN21125103 với 93,172%, chất có khả năng hấp thu qua ruột thấp nhất là TCM184 với 36,602%. Một phân tử có giá trị $\log BB > 0,3$ được xem là dễ dàng vượt qua hàng rào máu não, ngược lại, phân tử có $\log BB < -1$ được xem là phân bố đến não kém. Qua bảng khảo sát ta thấy, hầu hết 10 chất hầu như không hoặc rất ít qua được hàng rào máu não ($\log BB$ từ -2,247 đến -0,729).

Về chuyển hóa, hầu hết các chất được chuyển hóa qua CYP3A4 ngoại trừ hợp chất TCM184 và ZINC01187319. Kết quả dự đoán cho thấy, tất cả 10 hợp chất đều không phải là chất nền của vận chuyển cation hữu cơ ở thận.

Về độc tính, cả 10 chất đều không gây kích ứng da. Thử nghiệm AMES là một phương pháp dùng để phân tích khả năng gây ra đột biến trong ADN. Hầu hết các chất đều gây độc tính từ thử nghiệm AMES và độc tính trên gan ngoại trừ 2 hợp chất TCM184 và ZINC12560331.

4. Kết luận

Với mục tiêu đề ra, nhóm nghiên cứu đã sàng lọc và tìm kiếm ra những hợp chất tiềm năng có khả năng ức chế thụ thể AT_1 của angiotensin II. Nghiên cứu thu thập tổng cộng có 21.994.845 từ nhiều thư viện hợp chất: DB, TCM, ZINC, MAY. Dựa trên các tương tác giữa thuốc olmesartan và thụ thể AT_1 , nhóm nghiên cứu đã xác định được các acid amin quan trọng gồm: Tyr35, Trp84, Ser105 và Arg167. Các acid amin này đã được sử dụng để xây dựng mô hình 3D-pharmacophore và mô hình docking phân tử cho các hợp chất có khả năng gắn kết với thụ thể AT_1 . Quá trình sàng lọc đã thu được 7.190 hợp chất thỏa mãn mô hình 3D-pharmacophore, trong đó có 7.103 hợp chất docking

thành công. Sau khi phân tích sự tương tác giữa các hợp chất này và các acid amin quan trọng trong thụ thể AT_1 , nhóm nghiên cứu đã chọn ra 10 hợp chất tiềm năng. Tất cả các hợp chất này đều đáp ứng quy tắc 5-Lipinski, đồng thời có đặc tính dược động học tốt, phù hợp với yêu cầu của các hợp chất giống thuốc dùng đường uống. Đặc biệt, hai hợp chất TCM184 và ZINC12560331 được dự đoán không gây độc tính từ thử nghiệm AMES, độc tính trên gan và không gây kích ứng da. Để đạt được những bước tiến lớn hơn trong việc khám phá thuốc ức chế thụ thể AT_1 , cần tiến hành mô phỏng động lực học phân tử, tính toán năng lượng tự do liên kết cho tất cả các chất tiềm năng đã sàng lọc được trong nghiên cứu này và thực hiện các nghiên cứu thực nghiệm *in vitro*, *in vivo*. Từ đó, các chất tiềm năng sẽ được chứng minh hoạt tính một cách chính xác hơn, nhằm tiến tới nghiên cứu, phát triển thuốc mới trong điều trị bệnh tăng huyết áp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] K.T. Mills, J.D. Bundy, T.N. Kelly, et al. (2016), "Global disparities of hypertension prevalence and control: A systematic analysis of population-based studies from 90 countries", *Circulation*, **134**(6), pp.441-450, DOI: 10.1161/CIRCULATIONAHA.115.018912.
- [2] L.D. Colantonio, J.N. Booth, A.P. Bress, et al. (2018), "2017 ACC/AHA blood pressure treatment guideline recommendations and cardiovascular risk", *Journal of The American College of Cardiology*, **72**(11), pp.1187-1197, DOI: 10.1016/j.jacc.2018.05.074.
- [3] F. Contreras, M.A.D.L. Parte, J. Cabrera, et al. (2003), "Role of angiotensin II AT_1 receptor blockers in the treatment of arterial hypertension", *American Journal of Therapeutics*, **10**(6), pp.401-408, DOI: 10.1097/00045391-200311000-00005.
- [4] T.S. Bhat, I. Hafeez, S. Fatima, et al. (2022), "Safety and efficacy of ARNI (valsartan/sacubitril) vs ACEI (enalapril) in acute heart failure - A prospective observational study", *Indian Heart Journal*, **74**(3), pp.178-181, DOI: 10.1016/j.ihj.2022.04.003.
- [5] American Autoimmune Related Diseases Association (2020), "Autoimmune disease statistics, American autoimmune related diseases association", <https://www.aarda.org/>, accessed 13 June 2020.

- [6] P. Li, Y. Zheng, X. Chen, et al. (2017), “Drugs for autoimmune inflammatory diseases: From small molecule compounds to anti-tnf biologics”, *Frontiers in Pharmacology*, **8**, DOI: 10.3389/fphar.2017.00460.
- [7] N.M. O’Boyle, M. Banck, C.A. James, et al. (2011), “Open Babel: An open chemical toolbox”, *Journal of Cheminformatics*, **3**(1), DOI: 10.1186/1758-2946-3-33.
- [8] BioSolveIT-GmbH (2012), “FlexX (protein-ligand docker) - User & technical reference as part of LeadIT 2.1”, <https://www.biosolveit.de>, accessed on 17 September 2019.
- [9] D.E.V. Pires, T.L. Blundell, D.B. Ascher, et al. (2015), “pkCSM: Predicting small-molecule pharmacokinetic and toxicity properties using graph-based signatures”, *Journal of Medicinal Chemistry*, **58**(9), pp.4066-4072, DOI: 10.1021/acs.jmedchem.5b00104.
- [10] K. Reich, M. Gooderham, D. Thaçi, et al. (2019), “Risankizumab compared with adalimumab in patients with moderate-to-severe plaque psoriasis (IMMvent): A randomised, double-blind, active-comparator-controlled phase 3 trial”, *The Lancet*, **394**(10198), pp.576-586, DOI: 10.1016/S0140-6736(19)30952-3.
- [11] F. Atzeni, A. Doria, M. Ghirardello, et al. (2007), “Potential target of infliximab in autoimmune and inflammatory diseases”, *Autoimmunity Reviews*, **6**(8), pp.529-536, DOI: 10.1016/j.autrev.2007.03.009.
- [12] R. Milo, O. Stüve (2016), “Spotlight on daclizumab: Its potential in the treatment of multiple sclerosis”, *Degenerative Neurological and Neuromuscular Disease*, **6**, pp.95-109, DOI: 10.2147/DNND.S85747.
- [13] M. Akdis, A. Aab, C. Altunbulakli, et al. (2016), “Interleukins (from IL-1 to IL-38), interferons, transforming growth factor β , and TNF- α : Receptors, functions, and roles in diseases”, *Journal of Allergy and Clinical Immunology*, **138**(4), pp.984-1010, DOI: 10.1016/j.jaci.2016.06.033.
- [14] Y.C. Lo, C.A. Su, S.B. Calvin, et al. (2022), “TCM database”, <http://tcm.cmu.edu.tw/>, accessed on 12 September 2022.
- [15] R.E. Mahgoub, N. Atatreh, M.A. Ghattas, et al. (2022), “Using filters in virtual screening: A comprehensive guide to minimise errors and maximise efficiency”, *Annual Reports in Medicinal Chemistry*, **58**, pp.99-136, DOI: 10.1016/bs.armc.2022.09.002.

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

Đỗ Thanh Hòa¹, Nguyễn Văn Chính¹, Trần Thị Hằng^{1*}, Dương Đức Hùng^{1,2,3},
Hoàng Minh Anh³, Nguyễn Thị Diễm¹, Nguyễn Sỹ Lánh¹

¹Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức, 40 Tràng Thi, phường Hàng Bông, quận Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Y Hà Nội, 1 Tôn Thất Tùng, phường Trung Tự, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Y Dược, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, phường Dịch Vọng, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 3/12/2024; ngày chuyển phản biện 5/12/2024; ngày nhận phản biện 26/12/2024; ngày chấp nhận đăng 2/1/2025

Tóm tắt:

Mô dây thần kinh đồng loài bảo quản lạnh sâu đang được nghiên cứu và sử dụng trong ghép tái tạo dây thần kinh bị tổn thương, khắc phục những hạn chế của mô ghép tự thân. Nghiên cứu này nhằm mô tả đặc điểm thu hồi, xử lý, bảo quản, phân phối mô dây thần kinh đồng loài bảo quản lạnh sâu tại Ngân hàng Mô, Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức. Nghiên cứu sử dụng phương pháp nghiên cứu mô tả, tiền cứu. Kết quả cho thấy, 32 mô dây thần kinh được thu nhận từ 8 người hiến chết não có độ tuổi trung bình là 34 ± 13 (từ 16 đến 50 tuổi). 100% người hiến mô dây thần kinh đều âm tính với HIV, HBV, HCV. 32/32 (100%) mô dây thần kinh thu nhận có màu sắc trắng ngà và nguyên vẹn, không bị biến sắc hay tura rách, đứt đoạn. Trong đó, có 16 mô (50%) là dây thần kinh hiển với chiều dài từ 210 đến 320 mm và 16 mô (50%) là thần kinh chày với chiều dài từ 100 đến 380 mm. Tất cả mô dây thần kinh có kết quả nuôi cấy vi sinh âm tính. Ba mô dây thần kinh được ghép cho bệnh nhân có cấu trúc sợi bình thường, chưa thoái hóa sau rã đông.

Từ khóa: bảo quản lạnh sâu, mô dây thần kinh, ngân hàng mô.

Chỉ số phân loại: 3.1, 3.5

An initial evaluation of characteristics of cryopreserved allogeneic nerve tissues at Tissue Bank, Viet Duc University Hospital

Thanh Hoa Do¹, Van Chinh Nguyen¹, Thi Hang Tran^{1*}, Duc Hung Duong^{1,2,3},
Minh Anh Hoang³, Thi Diem Nguyen¹, Sy Lanh Nguyen¹

¹Viet Duc University Hospital, 40 Trang Thi Street, Hang Bong Ward, Hoan Kiem District, Hanoi, Vietnam

²Hanoi Medical University, 1 Ton That Tung Street, Trung Tu Ward, Dong Da District, Hanoi, Vietnam

³University of Medical and Pharmacy, Vietnam National University - Hanoi, 144 Xuan Thuy Street, Dich Vong Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

Received 3 December 2024; revised 26 December 2024; accepted 2 January 2025

Abstract:

Cryopreservation of allogeneic nerve tissue has been researched and applied in peripheral nerve reconstruction, overcoming the limitations of autografts. This study aims to describe the characteristics of recovery, processing, cryopreservation and distribution of cryopreserved allogeneic nerve tissue at the Tissue Bank, Viet Duc University Hospital. The study uses a descriptive and prospective study method. The results showed that 32 nerve tissues were harvested from 8 brain-death donors. The average age of donors was 34 ± 13 (range from 16 to 50 years old). All donors tested negative for HIV, HBV, and HCV. 32/32 (100%) nerve tissues were ivory-white in colour, intact, without discolouration, tearing, or breakage. Among these, 16 tissues (50%) were saphenous nerve tissues with lengths ranging from 210 to 320 mm and 16 tissues (50%) were tibial nerves with lengths ranging from 100 to 380 mm. All the microbiological culture tests were negative. Three nerve allografts have been transplanted into patients with the normal nerve fibre structures after thawing.

Keywords: cryopreservation, nerve tissue, tissue bank.

Classification numbers: 3.1, 3.5

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

1. Đặt vấn đề

Chấn thương dây thần kinh ngoại biên là những tổn thương dây thần kinh ngoại biên do bị thâm nhập, nghiền nát, kéo căng hoặc cắt đứt. Bệnh nhân bị chấn thương dây thần kinh ngoại biên, đặc biệt là chấn thương nặng, thường phải đối mặt với tái tạo thần kinh kém và phục hồi chức năng không đầy đủ. Các phương pháp điều trị tổn thương dây thần kinh ngoại biên bao gồm: khâu nối trực tiếp, ống dẫn thần kinh kết hợp liệu pháp tế bào và yếu tố tăng trưởng, ghép thay thế bằng mô thần kinh tự thân hoặc mô đồng loài. Với các tổn thương nghiêm trọng khi mà sửa chữa ban đầu không thể thực hiện được vì sự căng quá mức, ghép dây thần kinh tự thân được coi là kỹ thuật “tiêu chuẩn vàng”. Tuy nhiên, việc sử dụng ghép mô tự thân bị hạn chế đối với các trường hợp đoạn thần kinh cần ghép thay thế có độ dài lớn, kéo dài thời gian phẫu thuật, tỷ lệ mắc bệnh tại chỗ như dị cảm giác quan, u thần kinh hoặc hình thành sẹo, mất chức năng thần kinh, khác biệt về kích thước và cấu trúc mô. Việc sử dụng mô đồng loài từ người hiến chết não hoặc hiến xác đã thu hút nhiều sự quan tâm trong những năm gần đây, như một giải pháp thay thế khắc phục những hạn chế của mô tự thân. Việc tiền xử lý bằng các phương pháp bảo quản lạnh và ức chế miễn dịch đã được nghiên cứu để tối đa hóa sự tái sinh sợi trục và giảm thiểu thải ghép. Mô dây thần kinh đồng loài bảo quản lạnh sâu cung cấp các lợi thế bổ sung như: rút ngắn thời gian phẫu thuật, cho phép bảo tồn khả năng tồn tại của tế bào trong một khoảng thời gian dài tạo điều kiện lập kế hoạch phẫu thuật tốt hơn, cung cấp nguồn mô ghép thần kinh đa dạng và giảm tính sinh miễn dịch thông qua việc bảo quản lạnh [1-3].

Ca ghép dây thần kinh đồng loài đầu tiên được ghi nhận thực hiện bởi Eduard Albert vào năm 1876, tuy nhiên ca ghép đã không thành công trong việc hồi phục chức năng vận động và cảm giác của thần kinh ghép [4]. Đã có nhiều nghiên cứu được tiến hành sau đó về phương pháp ghép dây thần kinh đồng loài để tái tạo thần kinh, nhưng ứng dụng ghép trên bệnh nhân vẫn còn bị hạn chế bởi hiệu quả hồi phục thần kinh liên quan phản ứng miễn dịch và thải ghép. Một số nghiên cứu gần đây về việc tiền xử lý mô dây thần kinh trước ghép bằng phương pháp bảo quản lạnh, giúp làm giảm biểu hiện kháng nguyên HLA, từ đó giảm đáp ứng miễn dịch và nguy cơ thải ghép, tăng khả năng tái tạo sợi trục và hồi phục chức năng thần kinh, mang lại hiệu quả ghép cao hơn. Kết quả này cho thấy, việc sử dụng mô dây

thần kinh đồng loài trong tái tạo thần kinh sẽ là một chiến lược phẫu thuật phù hợp, an toàn và hiệu quả [2, 5, 6]. Tại Việt Nam, hiện chưa có nhiều báo cáo về vấn đề này. Vì vậy, chúng tôi tiến hành nghiên cứu “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” với mục tiêu mô tả đặc điểm thu hồi, xử lý, bảo quản, phân phối mô dây thần kinh đồng loài bảo quản lạnh sâu.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

32 mô dây thần kinh được bảo quản tại Ngân hàng Mô, Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức.

Tiêu chuẩn lựa chọn: Mô dây thần kinh được thu nhận, xử lý và bảo quản tại Ngân hàng Mô, Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức.

Tiêu chuẩn loại trừ: Không đầy đủ hồ sơ bảo quản.

2.2. Thời gian và địa điểm nghiên cứu

Thời gian nghiên cứu: Từ tháng 3/2023 đến tháng 10/2024.

Địa điểm nghiên cứu: Ngân hàng Mô, Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Thiết kế nghiên cứu: Nghiên cứu mô tả, tiền cứu.

Cỡ mẫu và chọn mẫu: Mẫu thuận tiện, tất cả mẫu mô dây thần kinh được bảo quản lạnh sâu tại Ngân hàng Mô, Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức.

Các quy trình kỹ thuật sử dụng trong nghiên cứu:

Quy trình sàng lọc người hiến mô:

+ Tuân thủ các thủ tục pháp lý theo yêu cầu của pháp luật (Luật số 75/2006/QH11 của Quốc hội: Luật hiến, lấy, ghép mô, bộ phận cơ thể người và hiến, lấy xác) [7].

+ Người hiến mô có bệnh sử rõ ràng, không thuộc nhóm người trong tiêu chuẩn loại trừ người hiến mô theo quy định của Bộ Y tế [8].

+ Không mắc các bệnh lý dây thần kinh.

Quy trình thu nhận, xử lý, bảo quản và phân phối mô:

+ Mô dây thần kinh được thu nhận từ người hiến chết não, tại phòng mổ của Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức.

+ Vận chuyển nhanh về Ngân hàng Mô bằng thùng vận chuyển chuyên dụng (2-8°C) và được xử lý ngay.

+ Thời gian thiếu máu nóng: ≤ 15 giờ sau chết/nhiệt độ phòng và ≤ 24 giờ sau chết/phòng lạnh. Thời gian thiếu máu lạnh: ≤ 24 giờ. Tổng thời gian thu hồi: ≤ 48 giờ.

+ Rửa, cắt lọc và ngâm hỗn hợp kháng sinh khử khuẩn (Roswell Park Memorial Institute Medium - RPMI 1640 + hỗn hợp kháng sinh: amikacin 50 $\mu\text{g/ml}$ + vancomycin 100 $\mu\text{g/ml}$ + amphotericin B 20 $\mu\text{g/ml}$) 24 giờ.

+ Thêm dung dịch bảo quản lạnh có chứa chất bảo vệ lạnh: RPMI 1640 + DMSO 10% + human albumin 2%.

+ Hạ nhiệt độ theo chương trình: tốc độ hạ nhiệt $-1^\circ\text{C}/\text{phút}$ cho tới khi đạt nhiệt độ của thiết bị bảo quản.

+ Bảo quản lạnh sâu ở nhiệt độ -86°C .

+ Phân phối mô theo chỉ định, sử dụng phương pháp rã đông nhanh: Đím ngập mô trong bể rã đông duy trì nhiệt độ $37-40^\circ\text{C}$ cho tới khi vừa hết tan đá hoàn toàn.

Biến số và chỉ số nghiên cứu:

- Tuổi, giới người hiến mô;
- Kết quả xét nghiệm huyết thanh học người hiến mô: HIV, HBV, HCV;
- Đặc điểm đại thể mô dây thần kinh thu nhận: màu sắc, độ nguyên vẹn;
- Phân loại và kích thước mô dây thần kinh;
- Kết quả xét nghiệm vi sinh trước và sau xử lý kháng sinh;
- Đặc điểm bệnh nhân ghép mô dây thần kinh: tuổi, giới, vị trí ghép, độ dài đoạn thay thế;
- Đặc điểm mô dây thần kinh được ghép cho bệnh nhân: Loại mô, thời gian bảo quản, kết quả vi sinh sau rã đông, cấu trúc vi thể sau rã đông được đánh giá bởi bác sỹ chuyên khoa giải phẫu bệnh sử dụng phương pháp nhuộm HE.

2.4. Phân tích số liệu

Bằng các thuật toán thống kê y học, sử dụng các chỉ số: trung bình, độ lệch chuẩn, tỷ lệ.

2.5. Đạo đức nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện đúng quy định, mọi số liệu thu thập được chỉ nhằm mục đích phục vụ nghiên cứu khoa

học. Quy trình thực hiện được thông qua và phê duyệt bởi Hội đồng khoa học Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức.

3. Kết quả

Bảng 1. Đặc điểm người hiến mô dây thần kinh (n=8).

Tuổi	Min	16
	Max	50
	$\pm\text{SD}$	34 ± 13
Giới	Nam (n, %)	5 (62,5)
	Nữ (n, %)	3 (37,5)

Kết quả bảng 1 cho thấy, 8 người hiến mô dây thần kinh có độ tuổi từ 16 đến 50. Trong đó, nam giới là chiếm 62,5%, nữ giới chiếm 37,5%.

Bảng 2. Kết quả xét nghiệm huyết thanh học người hiến mô dây thần kinh (n=8).

Xét nghiệm huyết thanh học	Dương tính (n, %)	Âm tính (n, %)
HIV	0 (0)	8 (100)
HBV	0 (0)	8 (100)
HCV	0 (0)	8 (100)

Kết quả bảng 2 cho thấy, 100% người hiến mô dây thần kinh có xét nghiệm huyết thanh học âm tính với HIV, HBV và HCV.

Bảng 3. Đặc điểm đại thể mô dây thần kinh được thu nhận (n=32).

Tiêu chí	Phân loại	Số lượng (n)	Tỷ lệ (%)
Màu sắc	Trắng ngà	32	100
	Biến sắc/máu tụ	0	0
Độ nguyên vẹn	Nguyên vẹn	32	100
	Không nguyên vẹn (tưa, rách, đứt đoạn...)	0	0
Tổng		32	100

Kết quả bảng 3 cho thấy, 32/32 (100%) mô dây thần kinh thu nhận màu sắc trắng ngà và nguyên vẹn, không bị biến sắc hay tưa, rách, đứt đoạn. Hình 1 là hình ảnh đại thể của mô dây thần kinh hiến và mô dây thần kinh chày thu nhận được.

(A)



(B)



Hình 1. Hình ảnh đại thể mô dây thần kinh được thu nhận. (A) Mô dây thần kinh hiển; (B) Mô dây thần kinh chày.

Bảng 4. Đặc điểm phân loại và kích thước các mô dây thần kinh.

Loại mô	Số lượng (n)	Tỷ lệ (%)	Chiều dài (mm)		
			Min	Max	±SD
Thần kinh hiển	16	50	210	320	258±34
Thần kinh chày	16	50	100	380	220±58
Tổng	32	100			

Bảng 5. Kết quả xét nghiệm vi sinh mô dây thần kinh được thu nhận*.

Giai đoạn	Vi khuẩn hiếu khí		Vi khuẩn kỵ khí		Nấm	
	Dương tính	Âm tính	Dương tính	Âm tính	Dương tính	Âm tính
Giai đoạn trước kháng sinh (n, %)	0 (0)	8 (100)	0 (0)	8 (100)	0 (0)	8 (100)
Giai đoạn sau kháng sinh (n, %)	0 (0)	8 (100)	0 (0)	8 (100)	0 (0)	8 (100)

*: 32 mô dây thần kinh thu nhận từ 8 người hiến, được xét nghiệm vi sinh theo lô thu hồi, 1 người hiến là 1 lô thu hồi.

Kết quả bảng 4 cho thấy, 32 mô dây thần kinh thu hồi bao gồm: 16 mô (50%) thần kinh hiển với chiều dài từ 210 đến 320 mm và 16 mô (50%) thần kinh chày với chiều dài từ 100 đến 380 mm.

Kết quả bảng 5 cho thấy, 8/8 (100%) lô dây thần kinh có kết quả nuôi cấy vi sinh giai đoạn trước và sau ngâm kháng sinh đều âm tính.

Kết quả bảng 6 cho thấy, đã sử dụng 1 mô dây thần kinh hiển và 2 mô dây thần kinh chày ghép cho các bệnh nhân, với thời gian bảo quản từ 13 đến 15 tháng, có kết quả vi sinh sau rửa đông đều âm tính với vi khuẩn ái khí, kỵ khí và nấm.

Bảng 6. Đặc điểm mô dây thần kinh đã được sử dụng ghép trên bệnh nhân.

Stt	Loại mô	Thời gian bảo quản	Kết quả vi sinh sau rửa đông	Cấu trúc vi thể sau rửa đông
1	Thần kinh hiển	13 tháng	Âm tính	Cấu trúc sợi bình thường, chưa thoái hóa
2	Thần kinh chày	13 tháng	Âm tính	Cấu trúc sợi bình thường, chưa thoái hóa
3	Thần kinh chày	15 tháng	Âm tính	Cấu trúc sợi bình thường, chưa thoái hóa

Bảng 7. Ca lâm sàng ghép dây thần kinh đồng loài bảo quản lạnh sâu.

Đặc điểm bệnh nhân ghép					Đặc điểm mô dây thần kinh ghép		
Case	Giới	Tuổi	Vị trí thần kinh tổn thương	Thời gian đã ghép	Loại mô	Vị trí thay thế	Độ dài đoạn thay thế
Bệnh nhân 1	Nam	6 tháng	Tổn thương hoàn toàn đám rối thần kinh cánh tay trái	3 tháng	Thần kinh hiển	Chuyển ghép rễ C6 cho rễ C8, T1	3 cm
						Chuyển ghép rễ C5 cho thần kinh trên đám rối cánh tay	3 cm
Bệnh nhân 2	Nam	50 tuổi	Mất đoạn thần kinh giữa, thần kinh trụ do tai nạn lao động lưỡi cưa cặng tay	2 tháng	Thần kinh chày	Thần kinh giữa trái	3,5 cm
						Thần kinh trụ trái	4,2 cm
Bệnh nhân 3	Nam	14 tuổi	Mất đoạn phần chày thần kinh ngồi phải do kính đâm	1 tháng	Thần kinh chày	Phần chày thần kinh ngồi	6,5 cm (2 đoạn)

Tất cả kết quả giải phẫu bệnh đánh giá cấu trúc sợi mô dây thần kinh sau rã đông bình thường, chưa thoái hóa.

Kết quả bảng 7 cho thấy, có 3 bệnh nhân được ghép mô dây thần kinh, có độ tuổi từ 6 tháng đến 50 tuổi, với các tổn thương thần kinh và vị trí ghép tái tạo dây thần kinh khác nhau. 3/3 bệnh nhân không có hiện tượng thải ghép sau 1 đến 3 tháng theo dõi.

4. Bàn luận

4.1. Thu nhận mô dây thần kinh

Ngân hàng Mô, Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức được thành lập từ năm 2018, bảo quản nhiều loại mô tự thân và đồng loài khác nhau. Với nhu cầu thực tiễn và tiềm năng của phương pháp ghép mô dây thần kinh đồng loài trong chấn thương thần kinh, bảo quản mô dây thần kinh được nghiên cứu và triển khai từ năm 2023. Tính đến hiện tại, 100% nguồn hiến mô dây thần kinh ở Ngân hàng Mô, Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức là từ người hiến chết não, nam giới chiếm nhiều hơn nữ giới (bảng 1). Ngoài nguồn hiến từ người cho chết não, trên thế giới, nguồn hiến mô dây thần kinh còn từ người hiến xác hoặc người cho sống [2, 6]. Tất cả người hiến mô đều được sàng lọc bệnh lây truyền, với kết quả 100% người hiến mô dây thần kinh có kết quả xét nghiệm huyết thanh học âm tính với HIV, HBV, HCV (bảng 2). Một trong những rủi ro của ghép mô đồng loài là nhiễm chéo bệnh lây truyền. Việc đảm bảo an toàn tránh lây nhiễm là vô cùng quan trọng và bắt buộc. Xét nghiệm sàng lọc đảm bảo nguồn mô sạch và an toàn cho người được ghép. Mô dây thần kinh được thu hồi bởi các bác sỹ ngoại khoa tại phòng mổ bệnh viện. Mẫu mô đã thu nhận được đựng trong túi kín vô trùng, chứa dung dịch bảo quản và được vận chuyển nhanh trong thùng chuyên dụng 2-8°C về Ngân hàng Mô trong vòng 24 giờ để xử lý.

4.2. Xử lý và bảo quản mô dây thần kinh

Mô dây thần kinh sau khi vận chuyển về ngân hàng mô được rửa, cắt lọc mô liên kết thừa. Đánh giá đại thể ban đầu, 32 mô thu nhận đều đảm bảo màu sắc bình thường (trắng ngà - trắng vàng nhạt) không bị biến sắc hay máu tụ, còn nguyên vẹn trơn láng, không có hiện tượng tưa rách hay đứt đoạn (bảng 3, hình 1). Trong số 32 mô dây thần kinh thu hồi

được, có 16 mô (50%) là thần kinh hiển với chiều dài từ 210 đến 320 mm và 16 mô (50%) là thần kinh chày với chiều dài từ 100 đến 380 mm (bảng 4). Các báo cáo trên thế giới khi thu hồi mô dây thần kinh từ người hiến xác cũng thường lấy dây thần kinh chi dưới và chi trên. Dây thần kinh chày (dây thần kinh hỗn hợp) và thần kinh hiển (dây thần kinh cảm giác) là những dây thần kinh ở vị trí giải phẫu dễ lấy, có thể đáp ứng đa dạng về kích thước mô cho nhu cầu ghép [2, 6].

Để kiểm soát tình trạng vô khuẩn của mẫu mô, chúng tôi đảm bảo điều kiện xử lý mô vô trùng, ngâm khử khuẩn bằng hỗn hợp kháng sinh 24 giờ và xét nghiệm cấy khuẩn vi sinh (vi khuẩn ái khí, kỵ khí và nấm) 3 thời điểm: trước ngâm kháng sinh, sau ngâm kháng sinh và sau rã đông (trước ghép). Kháng sinh đồ phải được thực hiện khi kết quả cấy khuẩn dương tính, để theo dõi và xem xét điều chỉnh kháng sinh phù hợp (nếu cần). Đối với 2 thời điểm trước và sau ngâm kháng sinh, một lô dây thần kinh từ một người hiến có các yếu tố liên quan đến thu hồi và xử lý giống nhau như: thời gian, địa điểm, quy trình, hóa chất vật tư, nhân viên thực hiện, nên xét nghiệm vi sinh được chúng tôi thực hiện theo lô thu hồi. Kết quả bảng 5 cho thấy, 8/8 (100%) lô dây thần kinh có kết quả nuôi cấy vi sinh giai đoạn trước và sau ngâm kháng sinh đều âm tính. Việc thu hồi mô từ người hiến chết não tại phòng mổ bởi các phẫu thuật viên trong điều kiện vô trùng, cùng với sự kiểm soát vô khuẩn trong toàn bộ quá trình xử lý và ngâm khử khuẩn bằng hỗn hợp kháng sinh là những yếu tố đã giúp hạn chế tối đa sự nhiễm khuẩn mô. Hiện chúng tôi chưa tìm được tài liệu báo cáo về tỷ lệ nhiễm khuẩn đối với mô dây thần kinh của các ngân hàng mô khác. Tuy nhiên, so sánh tình trạng nhiễm khuẩn của một số loại mô khác, chúng tôi nhận thấy có một tỷ lệ nhiễm khuẩn khác nhau tùy từng loại mô và ngân hàng mô, dẫn đến việc phải loại bỏ mô. Các nguyên nhân làm tăng nguy cơ nhiễm khuẩn mô là: nguồn hiến, thời gian thu hồi và xử lý, số lượng nhân viên thực hiện. Tại Ngân hàng Mô châu Âu (2013), thống kê trong vòng 20 năm, có 27,2% mô mạch máu bị loại bỏ do nhiễm khuẩn [9]. Tại Ngân hàng Mô Victoria, Úc (2005), có 15,7% mẫu da, 15,1% mẫu van tim và 5,8% mẫu cơ xương khớp có kết quả nuôi cấy dương tính, chủng vi sinh vật phân lập được là khác nhau tùy loại mô nhưng phổ biến nhất là loài *Staphylococcus* [10]. Với

thời điểm sau rã đông (trước ghép), xét nghiệm vi sinh thực hiện cho từng mẫu mô được sử dụng. Đã có 3 mẫu mô dây thần kinh được rã đông để sử dụng ghép cho bệnh nhân, xét nghiệm vi sinh cũng đều cho kết quả âm tính với vi khuẩn ái khí, kỵ khí và nấm (bảng 6). Yêu cầu về kết quả vi sinh cho mô dây thần kinh được bảo quản để phát ghép bệnh nhân là phải âm tính giai đoạn sau kháng sinh. Tuy nhiên, nếu kết quả vi sinh dương tính với một số vi khuẩn độc lực cao vào bất cứ giai đoạn nào của quá trình xử lý và bảo quản cũng đều phải loại bỏ [11]. Với kết quả cấy khuẩn hiện tại, tuy rằng cỡ mẫu còn hạn chế, bước đầu cho thấy quy trình của chúng tôi đã đảm bảo được điều kiện vô khuẩn cho mẫu mô để ghép cho bệnh nhân.

Phương pháp bảo quản mô dây thần kinh hiện tại áp dụng tại Ngân hàng Mô, Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức là phương pháp bảo quản lạnh sâu hạ nhiệt độ theo chương trình và có sử dụng chất bảo vệ lạnh DMSO. Phương pháp này cũng đã được ứng dụng trong bảo quản nhiều mô khác như: van tim, mạch máu, khí quản. Xử lý bằng chất bảo vệ lạnh, tốc độ làm mát thích hợp, điều kiện bảo quản và rã đông phù hợp là yếu tố tiên quyết cần thiết để bảo quản thành công mẫu mô. Bảo quản lạnh sâu mô dây thần kinh đồng loài có thể cung cấp nguồn mô ghép đa dạng về đặc điểm mô, được sử dụng trong tái tạo dây thần kinh ngoại biên và cho phép lưu trữ lâu dài. Vai trò của xử lý mô và bảo quản lạnh trong tính sinh miễn dịch là vấn đề đang còn tranh luận. Một số nghiên cứu trên động vật đã chứng minh rằng, việc bảo quản lạnh và kiểm soát đông lạnh bảo tồn khả năng sống của tế bào Schwann, duy trì màng đáy, làm giảm phản ứng miễn dịch và nguy cơ thải ghép ở người nhận bằng cách giảm sự biểu hiện kháng nguyên HLA, từ đó hỗ trợ tái tạo sợi trục [12, 13]. Nhiều nghiên cứu cũng đã đưa ra kết luận, phương pháp bảo quản lạnh có sử dụng chất bảo vệ lạnh DMSO kết hợp phương pháp rã đông nhanh có thể kéo dài đáng kể thời gian bảo quản mô mà vẫn bảo tồn được cấu trúc, tính chất hóa lý và sinh học của mô để sử dụng cho ghép [2, 14, 15]. Trong nghiên cứu của chúng tôi, mỗi mẫu mô trước khi ghép cho bệnh nhân đều được phẫu thuật viên cắt 1 đoạn gửi giải phẫu bệnh tức thì. Kết quả giải phẫu bệnh đánh giá cấu trúc sợi của các mẫu mô dây thần kinh sau rã đông bình thường, chưa có dấu hiệu thoái hóa (bảng 6).

4.3. Ứng dụng ghép mô dây thần kinh đồng loài cho bệnh nhân

Tại Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức, hiện đã có 3 bệnh nhân được ghép mô dây thần kinh đồng loài. Các bệnh nhân có độ tuổi từ 6 tháng đến 50 tuổi, với các mức độ tổn thương thần kinh và vị trí ghép tái tạo dây thần kinh khác nhau (bảng 7). 3 mẫu mô được rã đông nhanh ở 37°C và sử dụng cho bệnh nhân ghép gồm 1 thần kinh hiển và 2 thần kinh chày, với thời gian bảo quản từ 13 đến 15 tháng. Mô thần kinh hiển được ghép cho bệnh nhân 6 tháng tuổi với tổn thương hoàn toàn đám rối cánh tay trái. Mô thần kinh chày được sử dụng cho 1 bệnh nhân mất đoạn thần kinh giữa, thần kinh trụ do tai nạn lao động lưỡi cưa cặng tay và 1 bệnh nhân mất đoạn phần chày thần kinh ngồi phải do kính đâm. Khoảng cách các đoạn thay thế khác nhau, từ nhỏ nhất là 3 cm và lớn nhất là 6,5 cm. Các bệnh nhân đang được theo dõi sau ghép, với bệnh nhân được ghép sớm nhất là 3 tháng. Hiện không có tình trạng thải ghép ở cả 3 bệnh nhân. Để đánh giá hiệu quả ghép, chúng tôi cần thêm thời gian theo dõi và nghiên cứu. Trên thế giới, có một số báo cáo hiệu quả ghép mô dây thần kinh đồng loài cho bệnh nhân chấn thương thần kinh. Nghiên cứu của G. Squintani và cs (2013) [2] sử dụng các đoạn mô dây thần kinh bảo quản lạnh với thời gian trung bình là 9 tháng, để ghép tái tạo thần kinh cho 10 bệnh nhân với các tổn thương thần kinh khác nhau có các khuyết thần kinh dài tối đa là 10 cm và không sử dụng ức chế miễn dịch. Tất cả bệnh nhân đều có những cải thiện về lâm sàng, sinh lý thần kinh và không có bất kỳ phản ứng thải ghép sau 1 đến 2 năm theo dõi. Nghiên cứu của A.I. Elkwood và cs (2011) [6] trên 8 bệnh nhân chấn thương đám rối cánh tay được ghép mô dây thần kinh từ người hiến xác, hoặc người cho sống cùng huyết thống, có sử dụng ức chế miễn dịch bắt đầu tại thời điểm phẫu thuật và dừng sau 1 năm, hoặc khi có dấu hiệu tái tạo rõ ràng. Kết quả, có 7 bệnh nhân có dấu hiệu tái tạo thần kinh thể hiện qua sự cải thiện chức năng cảm giác hoặc vận động, 1 bệnh nhân không tuân thủ phác đồ điều trị [6]. Bên cạnh kết quả mức độ hồi phục thần kinh khác nhau thì vấn đề sử dụng phác đồ ức chế miễn dịch vẫn đang có nhiều tranh luận và khác nhau giữa các tác giả. Nhưng với các ưu điểm mà mô dây thần kinh đồng loài mang lại, các tác giả đều tin rằng, ghép mô dây thần kinh đồng loài sẽ là một phương pháp điều trị hiệu quả để tái tạo thần kinh.

5. Kết luận

Từ tháng 3/2023 đến tháng 10/2024, Ngân hàng Mô, Bệnh viện Hữu nghị Việt Đức đã bảo quản 32 mô dây thần kinh từ người hiến chết não. Bước đầu nhận xét mô dây thần kinh được thu hồi, xử lý và bảo quản lạnh sâu đảm bảo vô khuẩn, xét nghiệm huyết thanh học HIV, HBV, HCV âm tính; giữ được cấu trúc đại thể và cấu trúc vi thể sau rã đông. Tuy nhiên, cỡ mẫu còn hạn chế, cần nghiên cứu thêm với cỡ mẫu lớn hơn và theo dõi dài hạn tình trạng thái ghép và hiệu quả ghép trên lâm sàng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Li, Z. Liu, Y. Pan, et al. (2014), "Peripheral nerve injuries treatment: A systematic review", *Cell Biochem. Biophys.*, **68(3)**, pp.449-454, DOI: 10.1007/s12013-013-9742-1.
- [2] G. Squintani, B. Bonetti, D. Paolin, et al. (2013), "Nerve regeneration across cryopreserved allografts from cadaveric donors: A novel approach for peripheral nerve reconstruction", *J. Neurosurg.*, **119(4)**, pp.907-913, DOI: 10.3171/2013.6.JNS121801.
- [3] M. Siemionow, E. Sonmez (2007), "Nerve allograft transplantation: A review", *J. Reconstr. Microsurg.*, **23(8)**, pp.511-520, DOI: 10.1055/s-2007-1022694.
- [4] G. Schmidt (1993), "Eduard Albert and the beginning of human nerve grafting", *Acta Chir. Austriaca*, **25(4)**, pp.287-288, DOI: 10.1007/BF02602129.
- [5] T.L. Carlson, R.D. Wallace, P. Konofaos (2018), "Cadaveric nerve allograft: Single center's experience in a variety of peripheral nerve injuries", *Ann. Plast. Surg.*, **80**, Suppl 6, pp.S328-S332, DOI: 10.1097/SAP.0000000000001470.
- [6] A.I. Elkwood, N.R. Holland, S.M. Arbes, et al. (2011), "Nerve allograft transplantation for functional restoration of the upper extremity: Case series", *J. Spinal Cord Med.*, **34(2)**, pp.241-247, DOI: 10.1179/107902611X12972448729521.
- [7] National Assembly of Vietnam (2006), *Law No. 75/2006/QH11 Law on Donation, Removal and Transplantation of Human Tissues and Organs and Donation and Recovery of Cadavers* (in Vietnamese).
- [8] Ministry of Health (2012), *Circular No. 28/2012/TT-BYT of Ministry of Health on Regulations on The List of Diseases in Which Patients Are Not Allowed to Have Their Tissues or Body Parts Taken for Transplantation to Other Patients* (in Vietnamese).
- [9] R. Jashari, B.V. Hoeck, R. Ngakam, et al. (2013), "Banking of cryopreserved arterial allografts in Europe: 20 years of operation in the European Homograft Bank (EHB) in Brussels", *Cell Tissue Bank*, **14(4)**, pp.589-599, DOI: 10.1007/s10561-012-9359-4.
- [10] L. Ireland, D. Spelman (2005), "Bacterial contamination of tissue allografts - Experiences of the Donor Tissue Bank of Victoria", *Cell Tissue Bank*, **6(3)**, pp.181-189, DOI: 10.1007/s10561-005-7365-5.
- [11] European Committee (Partial Agreement) on Organ Transplantation (CD-P-TO) (2019), *Guide to The Quality and Safety of Tissues and Cells for Human Application*, 4th edition, 666pp.
- [12] A. Atchabahian, S.E. Mackinnon, D.A. Hunter (1999), "Cold preservation of nerve grafts decreases expression of ICAM-1 and class II MHC antigens", *J. Reconstr. Microsurg.*, **15(4)**, pp.307-311, DOI: 10.1055/s-2007-1000107.
- [13] I.K. Fox, A. Jaramillo, D.A. Hunter, et al. (2005), "Prolonged cold-preservation of nerve allografts", *Muscle Nerve*, **31(1)**, pp.59-69, DOI: 10.1002/mus.20231.
- [14] Y.Y. Huang, X.L. Xu, X.J. Huang, et al. (2018), "Various changes in cryopreserved acellular nerve allografts at -80°C", *Neural Regen. Res.*, **13(9)**, pp.1643-1649, DOI: 10.4103/1673-5374.237138.
- [15] M. Fortea, P. Jain, I. Demedts, et al. (2021), "Live imaging of primary neurons in long-term cryopreserved human nerve tissue", *eNeuro*, **8(6)**, DOI: 10.1523/ENEURO.0388-21.2021.

Mô phỏng dược động học/dược lực học của pyrazinamid trên bệnh nhân lao phổi

Phan Tuấn Đức, Bùi Sơn Nhật*, Lê Thị Luyên

Trường Đại học Y Dược, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, phường Dịch Vọng Hậu, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 26/4/2023; ngày chuyển phản biện 28/4/2023; ngày nhận phản biện 19/5/2023; ngày chấp nhận đăng 25/5/2023

Tóm tắt:

Giới thiệu: Pyrazinamid (PZA) có vai trò lớn trong phác đồ chống lao, cần được tối ưu hóa cách sử dụng. Nghiên cứu được tiến hành nhằm xác định khả năng đạt được các đích dược động học/dược lực học (PK/PD) của PZA trong điều trị lao phổi. **Phương pháp:** 516 mẫu máu của 129 bệnh nhân lao phổi không đa kháng thuốc được thu thập nhằm ghi nhận dữ liệu nồng độ - thời gian của PZA, từ đó xây dựng mô hình dược động học quần thể và mô phỏng Monte Carlo để xác định tỷ lệ đạt các đích PK/PD tại các chế độ liều dựa trên thể trọng và cân nặng trừ mỡ (FFM). **Kết quả:** Tỷ lệ đạt các đích PK/PD tăng dần khi tăng liều. Với $MIC \geq 50 \mu\text{g/ml}$, cần liều 40 mg/kg để trên 80% bệnh nhân đạt đích diện tích dưới đường cong/nồng độ ức chế tối thiểu (AUC/MIC); với liều 30 mg/kg hoặc 35 mg/kg, FFM >90% bệnh nhân đạt đích AUC_{0-24} và C_{max} . Liều dựa trên FFM cho thấy hiệu quả tương tự so với các chế độ dựa trên thể trọng hiện nay. **Kết luận:** Các chế độ liều tính theo FFM cải thiện tỷ lệ các đích PK/PD của PZA.

Từ khóa: dược động học, dược lực học, lao phổi, pyrazinamid.

Chỉ số phân loại: 3.3, 3.4

Simulation of pyrazinamide pharmacokinetics/pharmacodynamics in Vietnamese pulmonary tuberculosis patients

Tuan Duc Phan, Son Nhat Bui*, Thi Luyen Le

University of Medicine and Pharmacy, Vietnam National University - Hanoi, 144 Xuan Thuy Street, Dich Vong Hau Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

Received 26 April 2023; revised 19 May 2023; accepted 25 May 2023

Abstract:

Background: Pyrazinamide (PZA) plays an important role in the first-line regimens against tuberculosis and needs optimisation. This research aims to determine the ability to achieve pharmacokinetic/pharmacodynamic (PK/PD) targets of PZA in the treatment of pulmonary tuberculosis. **Method:** A total of 516 blood samples from 129 drug-susceptible pulmonary tuberculosis patients were collected to record PZA concentration-time data, then, a population pharmacokinetic model for pyrazinamide was built using the software MONOLIX 2019R2; Monte Carlo simulation was performed to attain PK/PD target attainment ratios of various total body weight and fat-free mass (FFM)-based regimens. **Result:** PK/PD target attainment ratios increased along with higher dosage levels. At MIC levels of $\geq 50 \mu\text{g/ml}$, a dose of 40 mg/kg was required for over 80% of patient to achieve the target area under the curve/minimum inhibitory concentration (AUC/MIC); dosage at 30 mg/kg or 35 mg/kg FFM should ensure over 90% of patients achieve AUC_{0-24} and C_{max} targets. An FFM-based dosing strategy shows results compared to total body weight-based dosing. **Conclusion:** FFM-based dosing strategy improved PK/PD target attainment ratios.

Keywords: pharmacodynamics, pharmacokinetics, pulmonary tuberculosis, pyrazinamide.

Classification numbers: 3.3, 3.4

*Tác giả liên hệ: Email: nhatbs.ump@vnu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Bệnh lao là một bệnh truyền nhiễm nghiêm trọng đã tồn tại hàng nghìn năm; theo Tổ chức Y tế thế giới (WHO), năm 2019, có hơn 1,4 triệu người tử vong vì căn bệnh này [1]. Vấn đề phòng và điều trị lao trên quy mô toàn cầu hiện tại vẫn còn nhiều khó khăn, trong bối cảnh tốc độ phát triển thuốc mới còn chậm mà tình trạng kháng thuốc ngày càng gia tăng, ảnh hưởng tới hiệu quả điều trị, trong khi các phác đồ điều trị hiện tại vốn được xây dựng từ lâu [2, 3]. Do đó, nhiều nghiên cứu đa ngành đã được thực hiện và tối ưu hóa các phác đồ hiện tại là trọng tâm, dựa trên cơ sở dược động học - dược lực học (PK/PD) [1]. Pyrazinamid (PZA) là thuốc chống lao hàng một, đóng vai trò quan trọng trong việc rút ngắn thời gian điều trị lao mà không tăng độc tính và ít tác dụng phụ [4]. Mục tiêu của nghiên cứu: dựa vào mô hình dược động học quần thể của PZA đã được xây dựng trên 129 bệnh nhân lao phổi tiến hành mô phỏng khả năng đạt các đích PK/PD của liệu hiện tại và một số liệu khác.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Dữ liệu về bệnh nhân sử dụng từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước: “Phân tích dược động học - dược lực học để lựa chọn liều điều trị tối ưu cho bệnh nhân lao phổi điều trị thất bại và điều trị tái phát”, mã số HNQT/SPDP/01.16. Tổng số có 129 bệnh nhân được lựa chọn vào nghiên cứu với tiêu chí: bệnh nhân lao phổi trên 16 tuổi mới hoặc tái trị, điều trị bằng các thuốc chống lao hàng 1. Tiêu chuẩn loại trừ bao gồm: phụ nữ có thai và cho con bú; bệnh nhân mắc lao đa kháng thuốc; bệnh nhân suy gan, thận nặng hoặc có nguy cơ tử vong; không phân lập được vi khuẩn lao từ mẫu đờm của bệnh nhân; không tuân thủ điều trị và dừng điều trị do tác dụng không mong muốn.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thu thập dữ liệu:

Bệnh nhân được thu thập các thông tin như: tuổi, cân nặng, chiều cao, giới tính, tình trạng HIV, thói quen uống rượu, hút thuốc và loại thuốc sử dụng khi bắt đầu tham gia nghiên cứu. Các mẫu máu được thu thập vào ngày 10-14 sau khi bắt đầu điều trị để đảm bảo nồng độ thuốc trong máu đạt trạng thái cân bằng. Mỗi bệnh nhân được lấy 4 mẫu máu, mỗi mẫu 4 ml tĩnh mạch và được chia thành 2 nhóm với chế độ lấy mẫu khác nhau: 0 giờ (ngay trước khi uống thuốc) và 1, 4, 6 giờ sau uống thuốc; 0 giờ (ngay trước khi dùng thuốc) và sau khi dùng thuốc 2, 5, 8 giờ. Tổng cộng có 516 mẫu được thu thập. Các mẫu máu được bảo quản lạnh,

ly tâm để tách huyết tương trong vòng 45 phút sau khi lấy máu. Các mẫu huyết tương được mã hóa và ghi ngày lấy mẫu, bọc kín tránh ánh sáng bảo quản trong tủ lạnh âm sâu -70°C cho đến khi phân tích. Nồng độ thuốc trong các mẫu huyết tương được phân tích bằng phương pháp sắc ký lỏng khối phổ (HPLC-MS/MS) tại Trung tâm Đánh giá Tương đương Sinh học, Viện Kiểm nghiệm Thuốc Trung ương theo quy trình đã được xây dựng và thẩm định các tiêu chí theo quy định của Hội nghị Quốc tế và Hải hòa hóa các Thủ tục đăng ký Dược phẩm sử dụng cho người (ICH) và Cục quản lý Thực phẩm và Dược phẩm Hoa Kỳ (FDA) [5].

Xây dựng mô hình dược động học quần thể:

Mô hình dược động học quần thể của PZA được xây dựng theo phương pháp mô hình hóa ảnh hưởng hỗn hợp phi tuyến tính (non-linear mixed effects modeling) trên phần mềm MONOLIX2019R2. Mô hình tối ưu xây dựng được là mô hình 1 ngăn, hấp thu bậc một có thời gian trễ, thải trừ tuyến tính. FFM là yếu tố ảnh hưởng đến sự biến thiên của thể tích phân bố (V) và tốc độ thải trừ (Cl) giữa các cá thể: FFM lớn dẫn tới V và Cl lớn hơn. Giá trị các thông số của mô hình dược động học quần thể được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Mô hình dược động học quần thể của pyrazinamid trên nhóm bệnh nhân nghiên cứu.

Thông số mô hình	Thông số quần thể		Biến thiên cá thể	
	Giá trị	SE, RSE%	ω	SE, RSE%
T _{lag}	0,445	0,0585; 13,1	0,415	0,0933; 22,5
K _a	3,99	0,923; 23,1	1,41	0,2; 14,2
V	27,5	0,518; 1,89	0,177	0,0156; 8,83
Cl	2,65	0,0722; 2,72	0,301	0,0195; 6,49
β_{V_tFFM}	1,99	0,246; 12,4		
β_{Cl_tFFM}	1,68	0,357; 21,3		
Sai số mũ	0,122	0,00677; 5,54		
Corr_V_Cl	0,689	0,0659; 9,56		

SE: Trạng thái động kinh; RSE: Trạng thái động kinh kháng thuốc; T_{lag}: Thời gian hấp thu trễ; K_a: Hằng số hấp thu; V: Thể tích phân bố; Cl: Tốc độ thanh thải; Corr_V_Cl: Hệ số tương quan hiệp phương sai giữa V và Cl; Các hệ số hồi quy β_{V_tFFM} và β_{Cl_tFFM} thể hiện mối tương quan giữa V và Cl với FFM qua phương trình:

$$\log V = \log V_{pop} + \beta_{V_tFFM} \times \log \frac{FFM}{41.46} + \varepsilon V$$

$$\log Cl = \log CL_{pop} + \beta_{Cl_tFFM} \times \log \frac{FFM}{41.46} + \varepsilon V$$
V_{pop} và Cl_{pop}: thể tích phân bố và độ thanh thải đại diện cho quần thể, có giá trị lần lượt là 27,5 l và 2,65 l/h

Mô phỏng khả năng đạt đích dược động học - dược lực học:

Từ mô hình dược động học quần thể, tiến hành mô phỏng khả năng đạt đích PK/PD trên 3 đích bao gồm: nồng độ thuốc tối đa (C_{max}) >35 µg.ml, diện tích dưới đường cong nồng độ - thời gian (AUC₀₋₂₄) >363 µg.h/ml, tỷ số

$AUC_{0-24}/MIC > 11,3$. Nghiên cứu sử dụng các giá trị MIC của PZA được khảo sát từ các nghiên cứu trước về PK/PD của PZA là: 6,25, 12,5, 25, 50, 100, 200 $\mu\text{g/ml}$ [6]. Chúng tôi tiến hành khảo sát tỷ lệ đạt đích tại chế độ liều hiện tại, cũng như một số chế độ liều giả định theo thể trọng và theo cân nặng trừ mỡ FFM. Ở mỗi mức liều, tiến hành mô phỏng xác định tỷ lệ đạt đích trên 3 khoảng cân nặng (25-39; 40-54; 55-70 kg), mỗi khoảng cân nặng 10.000 bệnh nhân.

Đồng thời, chúng tôi tiến hành mô phỏng song song đối với 2 cách tính liều với liều giả định theo các khoảng cân nặng để xác định khả năng đạt đích PK/PD của các cách tính liều này.

- Cách tính 1 ứng với mức liều 20-30 mg/kg thể trọng: 800, 1200, 1600 mg lần lượt với các nhóm cân nặng 25-39, 40-54, 55-70 kg;

- Cách tính 2 ứng với mức liều 25-35 mg/kg FFM: 1000, 1200, 1500 mg lần lượt với các nhóm cân nặng trừ mỡ 22-33 kg FFM; 34-44 kg FFM; 45-55 kg FFM.

3. Kết quả

3.1. Đặc điểm mẫu nghiên cứu

Có 129 bệnh nhân được đưa vào nghiên cứu với thông số được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Đặc điểm mẫu bệnh nhân.

Đặc điểm mẫu bệnh nhân		Số bệnh nhân (N=129)
Tuổi (trung vị, tứ phân vị)		45 (31,75; 57)
Giới tính (Nam, %)		93 (72,09%)
BMI (kg/m, trung vị, tứ phân vị)		18,73 (17,14; 20,3)
Cân nặng trừ mỡ (kg trung vị, tứ phân vị)		41,46 (35,02; 46,29)
HIV (n,%)		1 (0,78%)
Dạng viên nén	Pyrazinamid đơn hoạt chất	20 (15,50%)
	Viên phối hợp (RMP+INH+PZA)	109 (84,50%)
Liều lượng (mg/ngày)	800	7 (5,43%)
	1000	2 (1,55%)
	1200	75 (58,14%)
	1500	15 (11,63%)
	1600	26 (20,16%)
	2000	4 (3,10%)
Liều trung vị theo cân nặng (mg/kg, trung vị, max, min)		26,37 (17,65; 37,5)
Liều trung vị theo FFM (mg/kg, trung vị, max, min)		31,49 (22,54; 54,32)

3.2. Mô phỏng dược động học/dược lực học của pyrazinamid

Tỷ lệ đạt đích theo chế độ liều hiện tại:

Trong quần thể mô phỏng gồm 10.000 bệnh nhân, 82,7% đạt đích $C_{\max} > 35 \mu\text{g/ml}$ và 80,65% đạt đích $AUC_{0-24} > 363 \mu\text{g.h/ml}$. Tỷ lệ đạt đích AUC/MIC tại liều hiện tại, xét trên tổng số cũng như tại từng khoảng cân nặng, được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 3. Tỷ lệ đạt đích AUC_{0-24}/MIC tại liều hiện tại.

Tỷ lệ % đạt đích và MIC	Tỷ lệ % đạt đích AUC_{0-24}/MIC và giá trị MIC ($\mu\text{g/ml}$) tương ứng				
Khoảng cân nặng	MIC=6,25	MIC=12,5	MIC=25	MIC=50	MIC=100
25-39 kg	100	100	71,53	14,36	0,41
40-54 kg	100	100	88,64	24,44	0,37
55-70 kg	100	100	91,31	30,31	0,70
Tổng số	100	100	88,54	26,74	0,53

Tỷ lệ đạt đích AUC/MIC ở khoảng cân nặng 25-39 kg thấp hơn rõ rệt so với 2 khoảng cân nặng còn lại. Tỷ lệ đạt đích tăng theo cân nặng ở mọi giá trị MIC, tỷ lệ đạt đích ở nhóm cân nặng 40-54 kg gần với tỷ lệ của quần thể.

So sánh tỷ lệ đạt đích AUC_{0-24} và $C_{\max}$ theo cách tính liều và các liều mô phỏng:

So sánh tỷ lệ đạt đích dược động học theo 2 cách tính liều theo cân nặng và tính liều theo FFM trong bảng 4.

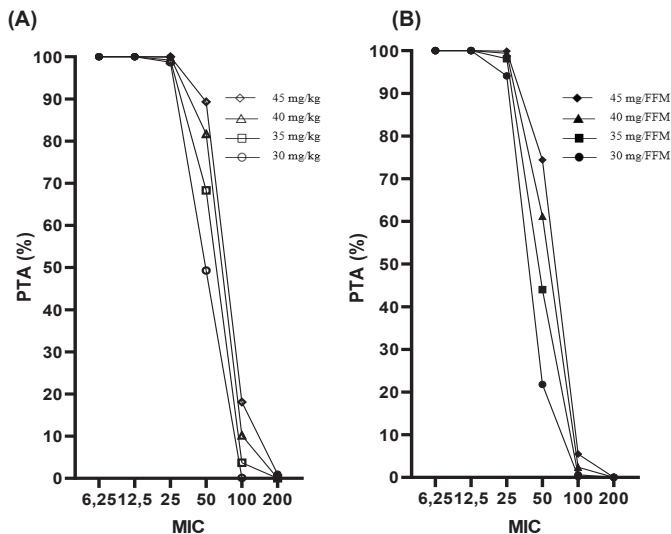
Bảng 4. Kết quả đạt đích AUC_{0-24} và $C_{\max}$ của các chế độ liều và cách tính liều.

Liều	% đạt đích $C_{\max}$	% đạt đích diện tích dưới đường cong
30 mg/kg	91,52	93,34
35 mg/kg	97,32	95,56
40 mg/kg	98,79	98,70
45 mg/kg	99,55	99,66
30 mg/FFM	81,09	76,62
35 mg/FFM	92,21	90,01
40 mg/FFM	96,62	95,32
45 mg/FFM	98,41	98,15

Mô phỏng cho thấy, khả năng đạt đích tăng dần theo liều lượng. So với liều 30 mg/FFM, các chế độ liều cao hơn cho thấy khả năng đạt đích cao hơn đáng kể (81,09 và 76,62% so với 92,21 và 90,01% ở liều 35 mg/kg FFM).

Tỷ lệ đạt đích AUC_{0-24}/MIC theo cách tính liều và các liều mô phỏng:

Tỷ lệ đạt đích AUC/MIC (PTA%) của các liều mô phỏng trên dải MIC ($\mu g/ml$) được thể hiện tại hình 1.



Hình 1. Tỷ lệ đạt đích diện tích dưới đường cong/nồng độ ức chế tối thiểu (AUC/MIC) của các liều mô phỏng trên dải nồng độ ức chế tối thiểu. **(A)** Kết quả mô phỏng với các liều tính theo cân nặng (30, 35, 40, 45 mg/kg), **(B)** Kết quả mô phỏng với các liều tính theo FFM (30, 35, 40, 45 mg/kg).

Khả năng đạt đích PK/PD tăng dần theo liều PZA, xét trên các chế độ liều tính theo cân nặng thông thường cũng như tính theo FFM. Từ mức MIC 25 $\mu g/ml$ trở đi, cho tới MIC=100 $\mu g/ml$, tỷ lệ đạt đích $AUC/MIC > 11,3$ ở tất cả các chế độ liều trên giảm mạnh. Cụ thể, tại MIC=50 $\mu g/ml$, tỷ lệ đạt đích thấp; mức liều từ 40 mg/kg trở lên cho tỷ lệ đạt đích 80%. Ở tất cả chế độ liều, nhóm cân nặng từ 25-39 kg đều cho kết quả tỷ lệ đạt đích PK/PD thấp hơn hẳn so với 2 nhóm cân nặng còn lại.

Đồng thời, tỷ lệ đạt đích AUC/MIC của 2 chế độ liều 30 mg/kg và 35 mg/kg FFM là tương đương nhau, thể hiện tại bảng 5.

Bảng 5. Khả năng đạt đích AUC_{0-24}/MIC của 2 chế độ liều: 30 mg/kg và 35 mg/kg FFM theo các khoảng cân nặng.

Liều	Khoảng cân nặng	Tỷ lệ % đạt đích AUC_{0-24}/MIC và giá trị MIC ($\mu g/ml$) tương ứng				
		MIC=6,25	MIC=12,5	MIC=25	MIC=50	MIC=100
30 mg/kg	25-39 kg	100	100	93,9	37,8	1,0
	40-54 kg	100	100	98,30	48,0	1,4
	>55 kg	100	100	99,2	55,5	2,2
35 mg/kg FFM	25-39 kg	100	100	94,2	34,1	1,0
	40-54 kg	100	100	97,5	44,40	0,6
	>55 kg	100	100	99,4	50,3	1,7

So sánh 2 cách tính liều theo khoảng cân nặng và theo FFM:

Hai cách tính liều (Cách tính 1: 20-30 mg/kg và cách tính 2: 25-35 mg/kg FFM) cho thấy tỷ lệ đạt đích tương tự nhau ở tất cả các MIC (bảng 6).

Bảng 6. Tỷ lệ đạt đích AUC_{0-24}/MIC tại 2 chế độ liều thực tế.

Khoảng liều	Tỷ lệ % đạt đích AUC_{0-24}/MIC tương ứng với các giá trị MIC					
MIC ($\mu g/ml$)	6,25	12,5	25	50	100	200
Cách tính 1 (20-30 mg/kg)	100	100	95,5	32,5	0,4	0
Cách tính 2 (25-35 mg/kg FFM)	100	100	95,5	31,8	0,3	0

4. Bàn luận

4.1. Kết quả mô phỏng trên tổng số bệnh nhân

Về AUC_{0-24} và C_{max} :

Đích PK/PD $AUC < 363 \mu g.h/ml$ liên quan đến đáp ứng điều trị kém hiệu quả (từ vong khi điều trị, thất bại điều trị và tái mắc); $C_{max} < 35 \mu g/ml$ liên quan đến tử vong và điều trị thất bại [7, 8]. Kết quả mô phỏng của chúng tôi cho thấy: ở chế độ liều hiện dùng, tỷ lệ đạt 2 đích này tương đối cao (lớn hơn 80%). Trong khi đó, tỷ lệ đạt 2 đích này ở các nghiên cứu trên thế giới lại thấp hơn. A. Alsultan và cs (2017) [9] cho thấy: với mức liều 18-27 mg/kg (liều thực tế) cho tỷ lệ đạt đích $AUC > 363 \mu g.h/ml$ chỉ đạt 10% ở bệnh nhân từ 40-55 kg, 27% ở bệnh nhân 56-70 kg và phải tăng liều lên 2000-2500 mg để đạt được 94%; ở đích $C_{max} > 35 \mu g/ml$ cũng tương tự khi liều hiện tại chỉ đạt 10 và 29% ở 2 nhóm cân nặng. Nghiên cứu của P. Denti và cs (2015) [10] khi sử dụng liều theo khuyến cáo của WHO chỉ ra: 55,6% số bệnh nhân không đạt đích AUC_{0-24} sau 2 tháng điều trị và hầu hết bệnh nhân không đạt đích C_{max} , trong khi đó quần thể này lại có cân nặng khá tương đồng với quần thể trong nghiên cứu của chúng tôi (trung vị 51,9 kg; tứ phân vị 48,2-57,3 kg). Kết quả này có thể do sự khác biệt giữa dược động học trong quần thể mẫu bệnh nhân của chúng tôi so với các nghiên cứu trên quần thể khác.

Về AUC_{0-24}/MIC :

Tỷ lệ đạt đích AUC/MIC của chế độ liều hiện hành là thấp từ MIC 50 mg/ml trở đi (dưới 40%) và xấp xỉ 0% ở MIC=100 mg/ml (bảng 3). Đích $AUC_{0-24}/MIC > 11,3$ được cho là liên quan đến khả năng diệt khuẩn của PZA, có ý

nghĩa trong việc dự đoán hiệu quả điều trị cũng như khả năng kháng thuốc của vi khuẩn. Một nghiên cứu về MIC của pyrazinamid trên quần thể bệnh nhân lao cho thấy, có đến 28,8 và 15,3% bệnh nhân có MIC của PZA lần lượt là 50 và 100 mg/ml. Với chế độ liều hiện tại cho thấy, khả năng diệt khuẩn chưa được tối ưu ở MIC 50 mg/ml, và hầu như không có hiệu quả với MIC >100 mg/ml. Hiện tượng này cũng được báo cáo trong nghiên cứu của A. Alsultan và cs (2017) [9] khi cho kết quả dưới 80% tổng số bệnh nhân đạt đích AUC/MIC với liều 2000 mg. Các kết quả trên cho thấy, chế độ liều PZA hiện tại chưa tối ưu khi có thể dẫn tới nồng độ thuốc thấp, dẫn tới tăng nguy cơ kháng thuốc và đặc biệt là tái mắc lao khi xét tới vai trò của PZA trong phác đồ là tiêu diệt các vi khuẩn lao nội bào tàn dư [11]. Trong nghiên cứu này, chúng tôi khảo sát các mức liều cao hơn theo thể trọng, và cách tính liều theo cân nặng trừ mỡ - yếu tố có ảnh hưởng lớn tới mô hình dược động học quần thể.

4.2. Kết quả mô phỏng trên liều giả định

Về AUC_{0-24} và C_{max} :

Kết quả cho thấy, khi tăng liều thì tỷ lệ bệnh nhân đạt hai đích này tăng lên. Từ liều 30 mg/kg và liều 35 mg/FFM trở lên, kết quả tỷ lệ đạt đích AUC và C_{max} >90%; với liều 45 mg/kg, >99% bệnh nhân đạt đích PK/PD (bảng 4). Nghiên cứu của M.T. Chirewah và cs (2017) [12] cho kết quả tương tự: cần phải tăng liều lên đến 2000 mg trên nhóm bệnh nhân 40-55 kg và liều 2500 mg ở nhóm bệnh nhân 55-70 kg (tương ứng 35-50 mg/kg) thì mới đạt trên 90% bệnh nhân có AUC >363 μ g/ml và C_{max} >35 μ g/ml [12].

Về AUC_{0-24}/MIC :

Mô phỏng cho thấy, tỷ lệ AUC/MIC tăng lên theo liều lượng của từng nhóm. Ở MIC 25 mg/ml, các liều mô phỏng đều cho kết quả trên 95% bệnh nhân đạt AUC/MIC >11,3 trừ liều 30 mg/FFM (hình 2). Các chế độ liều cho thấy, khả năng đạt đích PK/PD nói chung tốt hơn so với liều ban đầu (bảng 5). Vì vậy, trong khung liều hiện tại, mức liều 30 mg/kg cho thấy triển vọng đáp ứng điều trị tốt nhất.

Tại mỗi mức liều, chúng tôi xác định khả năng đạt đích của từng nhóm bệnh nhân theo cân nặng. Kết quả cho thấy,

nhóm bệnh nhân có cân nặng thấp (dưới 39 kg) cho tỷ lệ đạt đích thấp hơn ở tất cả các liều, ở các nhóm cân nặng cao hơn thường sẽ có khả năng đạt đích PK/PD cao hơn (bảng 5). Mô phỏng của các nghiên cứu trước đây cũng mô tả kết quả tương tự với các nhóm cân nặng bệnh nhân [9, 10, 13]. Điều này khẳng định sự ảnh hưởng của yếu tố cân nặng nói riêng và kích thước cơ thể nói chung lên đặc điểm dược động học/dược lực học của PZA. Tỷ lệ đạt đích tăng lên theo cân nặng, tuy nhiên lại có thay đổi khác nhau giữa các nhóm; trong khi nhóm cân nặng từ 25 đến 39 kg thấp hơn rõ rệt, hai nhóm cân nặng từ 40 đến 54 kg và trên 55 kg lại có giá trị không chênh lệch lớn (bảng 5).

Kết quả từ bảng 6 cho thấy, tỷ lệ đạt đích AUC/MIC của hai chế độ liều 20-30 mg/kg và 25-35 mg/kg FFM tương đối giống nhau. Điều này cho thấy, chế độ liều dựa trên cân nặng trừ mỡ có thể cho hiệu quả PK/PD tương đương chế độ liều hiện hành, trong khi mức liều thực tế không quá chênh lệch. Như vậy, cân nặng trừ mỡ là một yếu tố nên được cân nhắc xem xét trong thiết kế chế độ liều của PZA nói riêng, cũng như các thuốc chống lao nói chung trên bệnh nhân lao phổi không đa kháng.

5. Kết luận

Mô hình dược động học quần thể của PZA được xây dựng từ dữ liệu nồng độ PZA trong huyết tương của 129 bệnh nhân lao phổi là mô hình 1 ngăn, hấp thu bậc một có thời gian trễ, thải trừ tuyến tính, với FFM là yếu tố ảnh hưởng đến sự biến thiên của thể tích phân bố (V) và tốc độ thải trừ (Cl) giữa các cá thể. Dựa vào mô hình trên để tiến hành mô phỏng khả năng đạt đích PK/PD, chúng tôi rút ra kết luận sau:

- Khả năng đạt đích PK/PD của PZA tăng lên khi tăng liều PZA ở cùng nhóm cân nặng;
- Tỷ lệ đạt đích PK/PD cao hơn ở nhóm cân nặng cao hơn khi cùng sử dụng một chế độ liều;
- Sử dụng thông số FFM trong tính liều PZA phù hợp hơn so với tính liều theo cân nặng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] World Health Organization (2020), *Global Tuberculosis Report 2020*, <https://www.who.int/publications-detail-redirect/9789240013131>, accessed 5 July 2021.
- [2] C. Lienhardt, P. Nahid, M.L. Rich, et al. (2017), "Target regimen profiles for treatment of tuberculosis: A WHO document", *Eur. Respir. J.*, **49(1)**, DOI: 10.1183/13993003.02352-2016.
- [3] E.F. Egelund, A. Alsultan, C.A. Peloquin (2015), "Optimizing the clinical pharmacology of tuberculosis medications", *Clin. Pharmacol. Ther.*, **98(4)**, pp.387-393, DOI: 10.1002/cpt.180.
- [4] M.A. Steele, R.M.D. Prez (1988), "The role of pyrazinamide in tuberculosis chemotherapy", *Chest*, **94(4)**, pp.845-850, DOI: 10.1378/chest.94.4.845.
- [5] L.T. Luyen, T.M. Hung, L.T. Huyen, et al. (2018), "Simultaneous determination of pyrazinamide, rifampicin, ethambutol, isoniazid and acetyl isoniazid in human plasma by LC-MS/MS method", *J. Appl. Pharm. Sci.*, **8(9)**, pp.61-73, DOI: 10.7324/JAPS.2018.8910.
- [6] E. Chigutsa, J.G. Pasipanodya, M.E. Visser, et al. (2015), "Impact of nonlinear interactions of pharmacokinetics and MICs on sputum bacillary kill rates as a marker of sterilizing effect in tuberculosis", *Antimicrob. Agents Chemother.*, **59(1)**, pp.38-45, DOI: 10.1128/aac.03931-14.
- [7] J.G. Pasipanodya, H. McIlleron, A. Burger, et al. (2013), "Serum drug concentrations predictive of pulmonary tuberculosis outcomes", *J. Infect. Dis.*, **208(9)**, pp.1464-1473, DOI: 10.1093/infdis/jit352.
- [8] S. Chideya, C.A. Winston, C.A. Peloquin, et al. (2009), "Isoniazid, rifampin, ethambutol, and pyrazinamide pharmacokinetics and treatment outcomes among a predominantly HIV-infected cohort of adults with tuberculosis from Botswana", *Clin. Infect. Dis.*, **48(12)**, pp.1685-1694, DOI: 10.1086/605407.
- [9] A. Alsultan, R. Savic, K.E. Dooley, et al. (2017), "Population pharmacokinetics of pyrazinamide in patients with tuberculosis", *Antimicrob. Agents Chemother.*, **61(6)**, DOI: 10.1128/AAC.02625-16.
- [10] P. Denti, K. Jeremiah, E. Chigutsa, et al. (2015), "Pharmacokinetics of isoniazid, pyrazinamide, and ethambutol in newly diagnosed pulmonary TB patients in Tanzania", *PLOS ONE*, **10(10)**, DOI: 10.1371/journal.pone.0141002.
- [11] B.G. Katzung (2017), *Basic & Clinical Pharmacology*, McGraw-Hill Education Medical, 1245pp.
- [12] M.T. Chirehwa, H. McIlleron, R. Rustomjee, et al. (2017), "Pharmacokinetics of pyrazinamide and optimal dosing regimens for drug-sensitive and -resistant tuberculosis", *Antimicrob. Agents Chemother.*, **61(8)**, DOI: 10.1128/AAC.00490-17.
- [13] P. Mugabo, M. Mulubwa (2019), "Population pharmacokinetic modelling of pyrazinamide and pyrazinoic acid in patients with multi-drug resistant tuberculosis", *Eur. J. Drug Metab. Pharmacokinet.*, **44(4)**, pp.519-530, DOI: 10.1007/s13318-018-00540-w.

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)

Nguyễn Thị Thu Hoài^{1,2*}, Trần Bá Hiếu^{1,2}, Trần Ngọc Cẩm^{1,2}, Nguyễn Việt Dũng^{1,2}, Vũ Tú Bình², Lê Thị Ngọc Anh^{1,2}, Ngô Thị Hương¹

¹Viện Tim mạch Quốc gia, Bệnh viện Bạch Mai, 78 Giải Phóng, phường Phương Mai, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Y Dược, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, phường Dịch Vọng Hậu, quận Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 13/1/2025; ngày chuyển phản biện 14/1/2025; ngày nhận phản biện 10/2/2025; ngày chấp nhận đăng 13/2/2025

Tóm tắt:

Các chiến lược y tế từ xa đã được áp dụng trên thế giới để hỗ trợ nhóm người có nguy cơ tim mạch cao, nhưng hiệu quả của những can thiệp này trong việc cải thiện nguy cơ tim mạch ở các bệnh nhân tại Việt Nam vẫn chưa rõ ràng. Nghiên cứu này nhằm đánh giá kết quả kiểm soát yếu tố nguy cơ tim mạch và chỉ số khối cơ thể ở người có nguy cơ cao bằng giải pháp y tế từ xa. 112 bệnh nhân được chia hai nhóm: Nhóm can thiệp nhận một buổi tư vấn ban đầu và được hỗ trợ qua điện thoại trong ba tháng; nhóm chứng chỉ nhận một buổi tư vấn. Kết quả cho thấy, tuổi trung bình $56,8 \pm 6,8$, 69% là nữ. Các chỉ số về cân nặng ($-1,232$ kg; $p < 0,001$), chu vi vòng eo ($-0,789$ cm; $p = 0,02$), chỉ số khối cơ thể ($-0,398$ kg/m²; $p < 0,001$), huyết áp tâm trương ($-1,233$ mmHg; $p = 0,03$), cholesterol toàn phần ($-0,196$ mmol/l; $p = 0,02$) và lipoprotein trọng lượng phân tử thấp (LDL) cholesterol ($-0,165$ mmol/l; $p = 0,005$) ở nhóm can thiệp đều giảm hơn nhóm chứng sau 12 tháng. Như vậy, ở những người lớn tuổi có nguy cơ tim mạch cao, giải pháp y tế từ xa với hỗ trợ qua điện thoại trong vòng 3 tháng đã mang lại những cải thiện về các yếu tố nguy cơ tim mạch. Những cải thiện này kéo dài sau một năm, cho thấy y tế từ xa có hiệu quả trong việc kiểm soát nguy cơ tim mạch.

Từ khoá: chỉ số khối cơ thể, cholesterol, giải pháp y tế từ xa, tim mạch, yếu tố nguy cơ.

Chỉ số phân loại: 3.3, 3.5

Risk factor and body mass index control in patients with high cardiovascular risk receiving telemedicine care

Thi Thu Hoai Nguyen^{1,2*}, Ba Hieu Tran^{1,2}, Ngọc Cẩm Tran^{1,2}, Viet Dung Nguyen^{1,2}, Tu Binh Vu², Thi Ngọc Anh Le^{1,2}, Thi Hương Ngô¹

¹National Heart Institute, Bach Mai Hospital, 78 Giai Phong Street, Phuong Mai Ward, Dong Da District, Hanoi, Vietnam

²University of Medicine and Pharmacy, Vietnam National University - Hanoi, 144 Xuan Thuy Street, Dich Vong Hau Ward, Cau Giay District, Hanoi, Vietnam

Received 13 January 2025; revised 10 February 2025; accepted 13 February 2025

Abstract:

Telemedicine is increasingly used in the world to support people at high cardiovascular risk, but it has been unclear if these interventions in Vietnam are effective at improving cardiovascular risk. This study aims to evaluate the outcomes of controlling cardiovascular risk factors and body mass index in high-risk patients using telemedicine solutions. A total of 112 patients were divided into two groups: The intervention group received one consultation and telephone support over three months, while the control group received only one consultation. Results showed that the average age was 56.8 ± 6.8 years, with 69% being female. After 12 months, the intervention group showed greater reductions than the control group in weight (-1.232 kg; $p < 0.001$), waist circumference (-0.789 cm; $p = 0.02$), body mass index (BMI) (-0.398 kg/m²; $p < 0.001$), diastolic blood pressure (-1.233 mmHg; $p = 0.03$), total cholesterol (-0.196 mmol/l; $p = 0.02$), and low density lipoprotein (LDL) cholesterol (-0.165 mmol/l; $p = 0.005$). Therefore, in older people with high cardiovascular risk, the addition of telemedicine solutions over a period of three months resulted in significant improvements in cardiovascular risk factors. These improvements persisted after a year, demonstrating the effectiveness of telemedicine.

Keywords: body mass index, cardiovascular, cholesterol, risk factors, telemedicine.

Classification numbers: 3.3, 3.5

*Tác giả liên hệ: Email: hoanguyen1973@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Bệnh tim mạch là nguyên nhân chính gây tử vong trên thế giới và ở Việt Nam. Những người có nguy cơ tim mạch cao thường gặp các vấn đề như thừa cân, béo phì, tăng huyết áp, đái tháo đường và rối loạn lipid máu. Các yếu tố nguy cơ này có thể được giảm thiểu nhờ lối sống lành mạnh, bao gồm chế độ ăn uống hợp lý, tập thể dục và không hút thuốc [1]. Mặc dù các chương trình can thiệp tại cơ sở y tế hiện nay phổ biến, nhưng vẫn gặp nhiều hạn chế về khả năng tiếp cận và tác động từ các yếu tố văn hóa - xã hội, nghèo đói và môi trường [2]. Tình trạng gia tăng thừa cân, béo phì và các yếu tố chuyển hóa cho thấy, cần có phương pháp tiếp cận hiệu quả hơn, giảm phụ thuộc vào tư vấn tại cơ sở y tế và hỗ trợ bệnh nhân tự quản lý sức khỏe. Giải pháp y tế từ xa đang được triển khai tại nhiều quốc gia, giúp người bệnh dễ dàng tiếp cận dịch vụ chăm sóc với chi phí hợp lý. Các nghiên cứu quốc tế đã ghi nhận hiệu quả của các can thiệp như hỗ trợ qua điện thoại, giám sát từ xa và ứng dụng internet, dù vẫn thiếu bằng chứng về hiệu quả dài hạn [3]. Nghiên cứu này nhằm đánh giá kết quả của giải pháp y tế từ xa trong việc kiểm soát các yếu tố nguy cơ tim mạch và chỉ số khối cơ thể ở người có nguy cơ cao.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Tất cả bệnh nhân đến khám tại Viện Tim mạch Quốc gia, Bệnh viện Bạch Mai, đủ điều kiện tham gia chương trình kiểm tra sức khỏe định kỳ tại khoa khám bệnh được mời tham gia nghiên cứu. Những người đồng ý tham gia và ký vào mẫu đơn chấp thuận sau khi được cung cấp đầy đủ thông tin sẽ được phân nhóm ngẫu nhiên. Thời gian tiến hành nghiên cứu từ tháng 2/2023 đến tháng 2/2024.

Tiêu chuẩn lựa chọn:

- Nam và nữ từ 40 đến 70 tuổi.
- Có nguy cơ tim mạch cao hoặc rất cao, được xác định bằng thang điểm đánh giá nguy cơ mạch vành hệ thống (SCORE) dành cho các quốc gia có tỷ lệ tử vong do tim mạch cao (5-9 và $\geq 10\%$) [4].

- Đáp ứng ba tiêu chuẩn cho hội chứng chuyển hóa theo hướng dẫn của Hiệp hội Đái tháo đường thế giới (IDF) [5].

- Một tiêu chuẩn chính: Béo bụng (vòng eo ≥ 90 cm ở nam giới hoặc ≥ 80 cm ở nữ giới).

- Hai tiêu chuẩn phụ: Huyết áp $\geq 130/85$ mmHg; triglyceride huyết thanh $\geq 1,7$ mmol/l; lipoprotein trọng lượng phân tử cao (HDL) cholesterol $< 1,03$ mmol/l ở nam giới hoặc $< 1,29$ mmol/l ở nữ giới; glucose lúc đói $> 5,6$ mmol/l.

Tiêu chuẩn loại trừ: Bệnh nhân có bệnh xơ vữa động mạch trước đó (bệnh động mạch vành, bệnh mạch máu não, bệnh động mạch ngoại biên); Đái tháo đường (đường huyết lúc đói ≥ 7 mmol/l hoặc đường huyết $\geq 11,1$ mmol/l hoặc đường huyết sau 2 giờ $\geq 11,1$ mmol/l); Các bệnh lý khác như rối loạn nhịp nguy hiểm, suy tim, suy thận, suy gan, ung thư tiến triển, hen phế quản nặng, bệnh tâm thần, lạm dụng rượu hay chất gây nghiện, hoặc những người không đủ khả năng tham gia tư vấn do vấn đề về ngôn ngữ hoặc mù chữ.

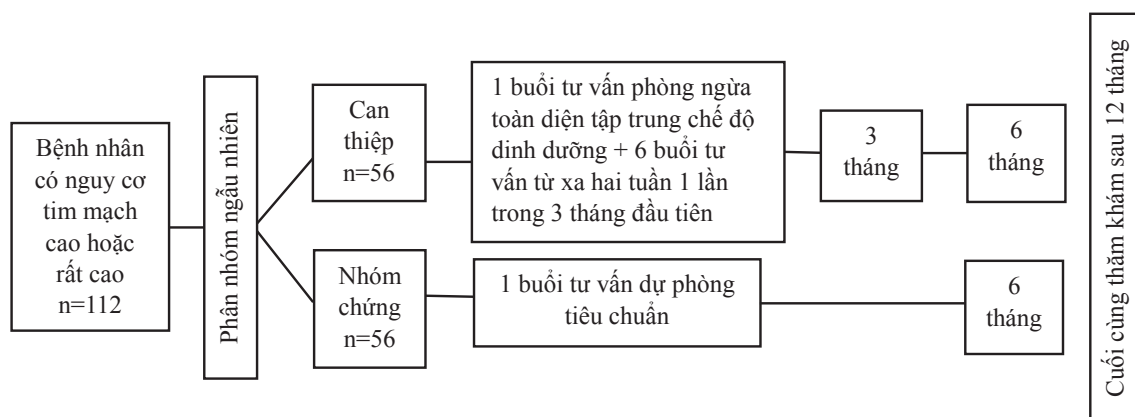
Đạo đức nghiên cứu: Nghiên cứu đã được Sở Khoa học và Công nghệ TP Hà Nội, hội đồng khoa học và đạo đức Bệnh viện Bạch Mai và Trường Đại học Y Dược, Đại học Quốc gia Hà Nội phê duyệt.

2.2. Thiết kế nghiên cứu

Nghiên cứu lâm sàng ngẫu nhiên có đối chứng, phân ngẫu nhiên theo thiết kế song song (1:1) theo giới tính (nam với nữ) và độ tuổi (< 55 với ≥ 55 tuổi), sử dụng phần mềm máy tính để tạo số ngẫu nhiên. Nhóm can thiệp nhận một buổi tư vấn toàn diện ban đầu và hỗ trợ qua điện thoại hai tuần một lần trong ba tháng đầu. Nhóm đối chứng chỉ nhận một buổi tư vấn cá nhân tại Viện Tim mạch Quốc gia, Bệnh viện Bạch Mai với nội dung và cấu trúc tư vấn do bác sỹ quyết định. Tất cả người tham gia đều có nguy cơ tim mạch cao và rất cao. Các đánh giá theo dõi được thực hiện sau 6 và 12 tháng.

2.3. Can thiệp

Sơ đồ can thiệp và các quy trình cụ thể của nghiên cứu được thể hiện trong hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nghiên cứu.

Bắt đầu bằng một buổi tư vấn trực tiếp toàn diện về các yếu tố nguy cơ tim mạch, tập trung vào dinh dưỡng do bác sỹ thực hiện theo quy trình cấu trúc với nội dung: Khái niệm về nguy cơ tim mạch (thang điểm SCORE) [4], các yếu tố nguy cơ truyền thống, phân tích nguyên nhân hành vi không lành mạnh và tạo động lực thay đổi, thiết lập mục tiêu cá nhân, hướng dẫn tự theo dõi; Tư vấn về dinh dưỡng và hoạt động thể chất, đảm bảo tuân thủ thuốc điều trị theo hướng dẫn của Hiệp hội Tim mạch châu Âu (European Society of Cardiology - ESC) 2021 [6]. Ba tháng tiếp theo, bệnh nhân được hỗ trợ từ xa qua điện thoại hai tuần một lần bởi một điều dưỡng được đào tạo, với các cuộc gọi trao đổi về thói quen ăn uống, hoạt động thể chất, tuân thủ thuốc và thiết lập mục tiêu cải thiện. Các phép đo được thực hiện tại 6 và 12 tháng cho cả nhóm can thiệp và đối chứng, riêng nhóm can thiệp có thêm tái khám vào mốc 3 tháng để đánh giá tác động ngắn hạn và giảm nguy cơ mất liên lạc.

2.4. Thu thập số liệu

Trong lần khám đầu tiên, tất cả người tham gia đều điền vào một bảng câu hỏi cung cấp thông tin về giới tính, độ tuổi, trình độ học vấn, tình trạng gia đình và nghề nghiệp. Các phép đo: Chiều cao và cân nặng (đo khi người tham gia mặc quần áo mỏng, không đi giày, sử dụng cân R62 - 120 và thước đo chiều cao mẫu 220), chỉ số khối cơ thể (BMI), chu vi vòng eo (đo bằng thước dây

kim loại ngang qua điểm giữa đường nách giữa (giữa bờ sườn và mào chậu) ở tư thế đứng), huyết áp (đo 2 lần tại cánh tay phải ở tư thế ngồi sau 5 phút nghỉ ngơi bằng máy Omron M6, mỗi lần cách nhau 5 phút, lấy giá trị trung bình), xét nghiệm cholesterol và glucose trong máu trong tất cả các lần thăm khám. Trong lần khám đầu và cuối, xét nghiệm thêm cholesterol toàn phần, HDL cholesterol, LDL cholesterol, triglyceride trong huyết thanh khi đói. Các kết quả xét nghiệm máu lấy từ Khoa Hoá Sinh, Bệnh viện Bạch Mai. Các thông số kết quả là sự thay đổi của các yếu tố nguy cơ bệnh tim mạch (CVD) truyền thống và chỉ số khối cơ thể. Thời điểm các đối tượng nghiên cứu được tư vấn ban đầu đồng nhất với thời điểm chọn vào nghiên cứu. Các lần thăm khám cho từng đối tượng nghiên cứu được thực hiện bởi cùng một bác sỹ.

2.5. Xử lý số liệu

Phân tích đặc điểm ban đầu của người tham gia được thực hiện cho cả nhóm can thiệp và nhóm đối chứng. Tính giá trị trung bình và độ lệch chuẩn (SD) với biến liên tục, tính tỷ lệ phần trăm với biến định tính. Sự khác biệt ban đầu được kiểm tra bằng kiểm định t của Student cho biến liên tục và kiểm định Chi bình phương (χ^2) cho biến định tính. Mô hình tuyến tính được sử dụng để đánh giá sự thay đổi của các biến phụ thuộc qua các thời điểm, với yếu tố cố định là nhóm nghiên cứu và thời gian quan sát. Phân tích phương sai (ANOVA) được thực hiện

để đánh giá sự khác biệt giữa các nhóm và mối tương quan với thời gian. Phần mềm R phiên bản 3.6 được sử dụng cho phân tích.

3. Kết quả

Sơ đồ quá trình nghiên cứu được mô tả trong hình 2.

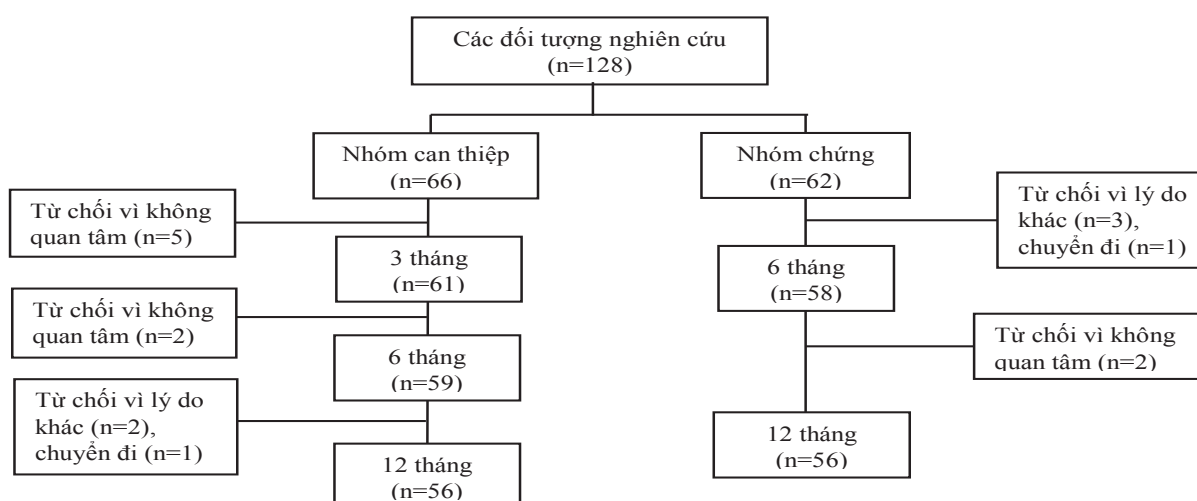
Có 128 người tham gia nghiên cứu được phân ngẫu nhiên vào hai nhóm: 66 người vào nhóm can thiệp và 62 người vào nhóm đối chứng. Trong quá trình nghiên cứu, 16 người bỏ theo dõi do không quan tâm nữa hoặc đổi nơi cư trú. Việc theo dõi kết thúc ở ngày thứ 346 $\pm$ 12 khi số lượng cuối cùng đạt 56 người tham gia cho mỗi nhóm. Phân tích hiện tại dựa trên những người đã hoàn thành chương trình, không có trường hợp tử vong, nhập viện hoặc các biến cố nghiêm trọng khác. Độ tuổi trung bình của nhóm hoàn thành là 56,8 $\pm$ 6,8 tuổi, 69% là phụ nữ, gần 50% tốt nghiệp đại học.

Các đặc điểm cơ bản của bệnh nhân được trình bày trong bảng 1. Do quá trình phân chia ngẫu nhiên chỉ dựa trên tuổi và giới tính, nên có một số khác biệt nhỏ giữa các nhóm nghiên cứu tại thời điểm ban đầu về cholesterol toàn phần, triglyceride và đường huyết lúc đói. Tỷ lệ phụ nữ và người có trình độ học vấn cao chiếm ưu thế, cho thấy những nhóm này có xu hướng quan tâm nhiều hơn đến giáo dục sức khỏe.

Bảng 1. Đặc điểm cơ bản của nhóm nghiên cứu.

Đặc điểm	Nhóm can thiệp (n=56)	Nhóm đối chứng (n=56)	p-value
Tuổi, năm	56,5 (6,6)	57,3 (6,1)	0,56
Nữ giới, n (%)	39 (69,6)	38 (67,8)	0,53
Trình độ học vấn			0,59
Trung học, n (%)	12 (21,4)	16 (28,6)	
Cao đẳng, n (%)	11 (19,6)	9 (16,1)	
Đại học nhưng chưa hoàn thành, n (%)	7 (12,5)	8 (14,3)	
Đại học, n (%)	26 (46,4)	23 (41,1)	
Cân nặng, kg	78,2 (11,6)	77,7 (9,8)	0,87
Chỉ số khối cơ thể, kg/m ²	29,7 (3,5)	28,9 (3,2)	0,63
Vòng eo, cm	93,2 (9,3)	92,8 (8,6)	0,75
Huyết áp tâm thu, mmHg	149,5 (18,1)	148,5 (16,9)	0,83
Huyết áp tâm trương, mmHg	86,5 (8,6)	85,3 (8,3)	0,65
Cholesterol toàn phần, mmol/l	6,8 (1,5)	6,3 (1,1)	0,04
HDL cholesterol, mmol/l	1,7 (0,6)	1,8 (0,3)	0,58
LDL cholesterol, mmol/l	4,6 (1,3)	4,4 (0,9)	0,32
Triglycerides, mmol/l	1,9 (1,2)	1,8 (1,3)	0,02
Glucose lúc đói, mmol/l	5,9 (0,8)	5,5 (0,9)	0,03

HDL: Lipoprotein trọng lượng phân tử cao; LDL: Lipoprotein trọng lượng phân tử thấp. Các con số là giá trị trung bình (SD), trừ khi có quy định khác.



Hình 2. Sơ đồ quá trình nghiên cứu.

Bảng 2. So sánh giữa các nhóm nghiên cứu theo thời gian về chỉ số cơ thể.

Chỉ số		Thời gian				Nhóm x thời gian	
		Ban đầu	3 tháng	6 tháng	12 tháng	Est.	p-value
Cân nặng, kg	Can thiệp	78,2±11,6	76,8±12,3	77,6±10,8	77,1±10,2	-1,232	<0,001
	Chứng	77,7±9,8	NA	77,5±12,1	77,4±12,8		
Vòng eo, cm	Can thiệp	93,2±9,3	91,5±9,6	91,8±10,1	91,7±9,9	-0,789	0,02
	Chứng	92,8±8,6	NA	92,6±8,3	92,3±8,6		
BMI, kg/m ²	Can thiệp	29,7±3,5	28,8±3,2	28,9±3,3	28,8±3,4	-0,398	<0,001
	Chứng	28,9±3,2	NA	28,6±3,3	28,5±3,1		

BMI: Chỉ số khối cơ thể. NA: Không có phép đo nào được thực hiện tại thời điểm đó. Các giá trị được thể hiện dưới dạng trung bình (SD). Các mô hình được điều chỉnh theo giới tính và độ tuổi.

Trong hơn 12 tháng, nhóm can thiệp cho thấy sự cải thiện nhỏ nhưng đáng kể ở một số yếu tố nguy cơ tim mạch so với nhóm đối chứng. Các mô hình tuyến tính ghi nhận sự cải thiện ở hầu hết các thông số nghiên cứu, bao gồm: cân nặng, BMI, vòng eo và huyết áp tâm trương theo thời gian.

Bảng 2 trình bày kết quả đo chỉ số cơ thể trong quá trình theo dõi, với nhóm can thiệp ghi nhận sự cải thiện rõ so với nhóm chứng ở các chỉ số: cân nặng giảm trung bình 1,232 kg ($p<0,001$), chu vi vòng eo giảm 0,789 cm ($p=0,02$), chỉ số BMI giảm 0,398 kg/m² ($p<0,001$).

Bảng 3 trình bày sự so sánh giữa hai nhóm nghiên cứu và trong từng nhóm về các yếu tố nguy cơ tim mạch chuyển hóa trong quá trình theo dõi. Huyết áp tâm trương giảm 1,233 mmHg ($p=0,03$), cholesterol toàn phần giảm 0,196 mmol/l ($p=0,02$), LDL cholesterol giảm 0,165

Bảng 3. So sánh giữa các nhóm về yếu tố nguy cơ tim mạch chuyển hoá.

Chỉ số		Thời gian				Nhóm x thời gian			
		Ban đầu	3 tháng	6 tháng	12 tháng	Est.	p-value	Est.	p-value
HATT, mmHg	Can thiệp	149,5±18,1	132,2±9,8	132,9±10,4	131,5±13,6	-5,328	<0,001	-0,551	0,61
	Chứng	148,5±16,9	NA	137,4±14,1	136,5±15,9				
HATTtr, mmHg	Can thiệp	86,5±8,6	80,8±6,9	81,5±7,8	80,9±7,3	-1,097	0,03	-1,233	0,03
	Chứng	85,3±8,3	NA	84,7±7,6	83,8±7,3				
Cholesterol toàn phần, mmol/l	Can thiệp	6,8±1,5	6,6±1,2	6,5±1,3	6,1±1,2	-0,058	0,86	-0,196	0,02
	Chứng	6,3±1,1	NA	6,6±1,2	6,5±0,9				
HDL cholesterol, mmol/l	Can thiệp	1,3±0,6	NA	NA	1,3±0,7	-0,012	0,62	-0,028	0,39
	Chứng	1,2±0,5	NA	NA	1,3±0,6				
LDL cholesterol, mmol/l	Can thiệp	4,6±1,3	NA	NA	4,1±1,0	-0,078	0,42	-0,165	0,005
	Chứng	4,4±0,9	NA	NA	4,3±0,8				
Triglycerides, mmol/l	Can thiệp	1,8±1,2	NA	NA	1,8±0,6	-0,032	0,72	0,031	0,83
	Chứng	1,8±1,3	NA	NA	1,7±0,9				
Đường huyết lúc đói, mmol/l	Can thiệp	5,9±0,8	5,9±0,9	5,9±0,7	6,0±0,6	0,039	0,05	-0,039	0,63
	Chứng	5,5±0,9	NA	5,6±0,6	5,7±0,5				

HATTtr: Huyết áp tâm trương; HATT: Huyết áp tâm thu. NA: Không có phép đo nào được thực hiện tại thời điểm đó. Các giá trị được biểu thị dưới dạng trung bình (SD). Các mô hình được điều chỉnh theo giới tính và độ tuổi.

mmol/l ($p=0,005$) thấp hơn đáng kể ở nhóm can thiệp so với nhóm chứng. Toàn bộ nhóm nghiên cứu ghi nhận huyết áp tâm thu giảm 5,328 mmHg ($p<0,001$) và huyết áp tâm trương giảm 1,097 mmHg ($p=0,03$) trong vòng 12 tháng, trong khi giá trị đường huyết lúc đói chỉ tăng nhẹ 0,039 mmol/l ($p=0,05$).

4. Bàn luận

Các yếu tố nguy cơ cải thiện trong vòng 12 tháng với giải pháp y tế từ xa trong nghiên cứu này phù hợp với kết quả từ các nghiên cứu trước. Các phân tích tổng hợp đã chỉ ra sự giảm chỉ số mỡ cơ thể [7], cholesterol toàn phần và LDL cholesterol [8], cũng như cải thiện huyết áp và cân nặng [9]. Tuy nhiên, mức độ tác động tích cực ở nghiên cứu này thấp hơn đáng kể so với các nghiên cứu khác, có thể do sự khác biệt về đối tượng nghiên cứu, phương pháp can thiệp hoặc thời gian theo dõi.

Dù vậy, tác động tổng thể của giải pháp y tế từ xa này đã thể hiện sự nhất quán: Việc giảm chỉ số mỡ cơ thể và lipid máu phù hợp với việc thay đổi chế độ ăn uống lành mạnh hơn ở nhóm can thiệp, như hạn chế thực phẩm nhiều đường, béo, giảm số bữa ăn và kéo dài thời gian giữa bữa cuối với giờ ngủ. Những thay đổi về huyết áp có thể là kết quả của việc giảm mỡ cơ thể và hạn chế muối, vì không có sự khác biệt đáng kể về số lượng thuốc hạ huyết áp, hoặc mức độ tuân thủ thuốc giữa các nhóm sau 12 tháng theo dõi.

Điểm mạnh của nghiên cứu này là tỷ lệ hoàn thành cao ở cả nhóm can thiệp và nhóm đối chứng. Việc kết hợp đánh giá cả yếu tố chuyển hóa và chỉ số cơ thể là một ưu điểm quan trọng, giúp giải thích các kết quả tích cực chung. Giải pháp đưa ra đơn giản, tiết kiệm chi phí và dễ dàng áp dụng vào thực hành lâm sàng, đặc biệt ở các quốc gia còn hạn chế về internet hoặc nguồn lực chăm sóc sức khỏe. Bên cạnh tư vấn qua điện thoại, các giải pháp y tế từ xa như ứng dụng web hoặc di động có thể nâng cao hiệu quả điều trị [10].

Một số hạn chế trong nghiên cứu: Quy mô mẫu nhỏ, chúng tôi chưa áp dụng công thức tính cỡ mẫu, nghiên cứu tập trung vào người lớn tuổi, chủ yếu từ một trung tâm và đa số có học vấn cao, nên tính đại diện chưa cao khi muốn áp dụng rộng rãi. 12 tháng là một khoảng thời gian đủ để thấy hiệu quả ngắn hạn, nhưng cần khoảng thời gian dài hơn để đánh giá lợi ích lâu dài của y tế từ xa đối với kiểm soát bệnh tim mạch. Dù telemedicine được coi là một giải pháp tiết kiệm chi phí, nghiên cứu này của chúng tôi chưa phân tích cụ thể về chi phí can thiệp và lợi ích kinh tế so với các phương pháp truyền thống.

5. Kết luận

Nghiên cứu chỉ ra rằng, người lớn tuổi có nguy cơ tim mạch cao và rất cao, việc kết hợp giải pháp y tế từ xa với buổi tư vấn toàn diện ban đầu, cùng sự hỗ trợ qua điện thoại từ điều dưỡng trong ba tháng đã giúp cải thiện các yếu tố nguy cơ tim mạch, chỉ số cơ thể, với hiệu quả duy trì sau một năm. Kết quả này cho thấy, giải pháp y tế từ xa mang lại lợi thế hơn so với các can thiệp truyền thống tại các cơ sở y tế, mở ra cơ hội áp dụng rộng rãi trong chăm sóc sức khỏe cộng đồng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] World Health Organization (2021), “Cardiovascular diseases (CVDs)”, [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-\(cvds\)](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/cardiovascular-diseases-(cvds)), accessed 2 January 2025.
- [2] M.F. Piepoli, A.W. Hoes, S. Agewall, et al. (2017), “2016 European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: The sixth joint task force of the European society of cardiology and other societies on cardiovascular disease prevention in clinical practice (constituted by representatives of 10 societies and by invited experts)”, *International Journal of Behavioral Medicine*, **24**(3), pp.321-419, DOI: 10.1007/s12529-016-9583-6.

- [3] N.D. Eze, C. Mateus, T.C.O. Hashiguchi (2020), “Telemedicine in the OECD: An umbrella review of clinical and cost-effectiveness, patient experience and implementation”, *PLOS ONE*, **15(8)**, 24pp, DOI: 10.1371/journal.pone.0237585.
- [4] R. Conroy (2003), “Estimation of ten-year risk of fatal cardiovascular disease in Europe: The SCORE project”, *European Heart Journal*, **24(11)**, pp.987-1003, DOI: 10.1016/s0195-668x(03)00114-3.
- [5] IDF (2005), “The IDF consensus worldwide definition of the metabolic syndrome”, *Obesity and Metabolism*, **2(3)**, pp.47-49, DOI: 10.14341/2071-8713-4854 (in Russian).
- [6] F.L.J. Visseren, F. Mach, Y.M. Smulders, et al. (2022), “2021 ESC guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: Developed by the task force for cardiovascular disease prevention in clinical practice with representatives of the European society of cardiology and 12 medical societies with the special contribution of the European association of preventive cardiology (EAPC)”, *European Heart Journal*, **42(34)**, pp.3227-3337, DOI: 10.1016/j.rec.2022.04.003.
- [7] M.J. Hutchesson, M.E. Rollo, R. Krukowski, et al. (2015), “eHealth interventions for the prevention and treatment of overweight and obesity in adults: A systematic review with meta-analysis: E-Health interventions for obesity in adults”, *Obesity Reviews: An Official Journal of The International Association for The Study of Obesity*, **16(5)**, pp.376-392, DOI: 10.1111/obr.12268.
- [8] M. Akbari, K.B. Lankarani, A.N. Tahami, et al. (2019), “The effects of mobile health interventions on lipid profiles among patients with metabolic syndrome and related disorders: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials”, *Diabetes & Metabolic Syndrome*, **13(3)**, pp.1949-1955, DOI: 10.1016/j.dsx.2019.04.011.
- [9] J.J. Extremera, D.F.A. Restrepo, Y.R. Campo (2023), “Effectiveness of telemedicine for reducing cardiovascular risk: A systematic review and meta-analysis”, *Journal of Clinical Medicine*, **12(3)**, 15pp, DOI: 10.3390/jcm12030841.
- [10] T.M. Phuong, T.B. Hieu, N.V. Dung, et al. (2024), “Quality of life among patients with heart failure with reduced ejection fraction receiving telemedicine care in Vietnam”, *Telemedicine Journal and E-Health: The Official Journal of The American Telemedicine Association*, 10pp, DOI: 10.1089/tmj.2024.0440.

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 2 - February 2025

Tổng hợp và phân tích đường cong tích phân nhiệt phát quang của LiAlO_2 .

Nguyễn Thị Thu Hà, Trịnh Văn Giáp, Bùi Đức Kỳ

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.

Hồ Thị Xuân Giang, Phạm Thanh Liêm, Phạm Hoàng Việt, Lê Minh Trường, Đinh Thị A Thái, Trần Văn Mẫn

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.

Nguyễn Ngọc Thịnh, Nguyễn Văn Anh, Nguyễn Huy Hoàng

Đa dạng và giá trị của thực vật ăn được ở rừng Tân Phú, tỉnh Đồng Nai.

Nguyễn Văn Hợp, Nguyễn Văn Quý, Kiều Mạnh Hương, Nguyễn Thị Lương

Ứng dụng thuật toán quy hoạch động để phân tích lựa chọn tối ưu trong xây dựng.

Nguyễn Thanh Hải, Ngô Thanh Vũ

Nâng cao chất lượng hình ảnh và video chụp trong điều kiện thời tiết sương mù, sử dụng bộ lọc dẫn hướng đa lớp.

Nguyễn Văn Thường, Nguyễn Ngọc Tú

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.

Cao Thị Hồng, Nguyễn Thị Thơm, Phạm Thị Năm, Nguyễn Thu Phương, Vũ Thị Thu, Đinh Thị Mai Thanh, Ngô Văn Hoàn, Trần Đại Lâm

Đánh giá hoạt tính chống oxy hóa và chất lượng cảm quan của kẹo dẻo bổ sung bột vỏ bưởi và nước bưởi.

Hoàng Quang Bình, Huỳnh Đắc Danh, Lê Trung Thiên

Nghiên cứu phát triển sản phẩm và đánh giá thành phần hóa lý thạch sơ ri.

Hồ Trần Phương Uyên, Hoàng Quang Bình, Dương Thị Ngọc Diệp

Sàng lọc *in silico* 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.

Nguyễn Lê Anh Tuấn, Võ Lê Anh Thư, Đào Chí Tuyền

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.

Đỗ Thanh Hòa, Nguyễn Văn Chính, Trần Thị Hằng, Dương Đức Hùng, Hoàng Minh Anh, Nguyễn Thị Diễm, Nguyễn Sỹ Lánh

Mô phỏng động học/được lực học của pyrazinamid trên bệnh nhân lao phổi.

Phan Tuấn Đức, Bùi Sơn Nhật, Lê Thị Luyến

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).

Nguyễn Thị Thu Hoài, Trần Bá Hiếu, Trần Ngọc Cẩm, Nguyễn Việt Dũng, Vũ Tú Bình, Lê Thị Ngọc Anh, Ngô Thị Hương

1 Synthesis and analysis of thermoluminescence glow curve of LiAlO_2 .
Thi Thu Ha Nguyen, Van Giap Trinh, Duc Ky Bui

6 Study the corrosion of Pb-Sb-Ag alloy in sulfuric acid solution by electrochemical methods.

Thi Xuan Giang Ho, Thanh Liem Pham, Hoang Viet Pham, Minh Truong Le, Thi A Thai Dinh, Van Man Tran

11 Study on methyl orange adsorption capacity in water-based solutions using nano ZnO/chitosan composite.

Ngoc Thinh Nguyen, Van Anh Nguyen, Huy Hoang Nguyen

16 The diversity and value of wild edible plants in Tan Phu forest, Dong Nai province.

Van Hop Nguyen, Van Quy Nguyen, Manh Huong Kieu, Thi Luong Nguyen

22 Application of dynamic programming algorithm to analyse the optimal selection in construction.

Thanh Hai Nguyen, Thanh Vu Ngo

29 Hazy image and video enhancement using multi-scale guided filtering.

Van Thuong Nguyen, Ngoc Tu Nguyen

35 The effect of HF concentration and ultrasound time on 2D-MXene Ti_3C_2 material synthesised by wet chemical method.

Thi Hong Cao, Thi Thom Nguyen, Thi Nam Pham, Thu Phuong Nguyen, Thi Thu Vu, Thi Mai Thanh Dinh, Van Hoanh Ngo, Dai Lam Tran

40 Assessment of antioxidant activities and sensory quality of gummy candy added pomelo peel powder and pomelo juice.

Quang Binh Hoang, Dac Danh Huynh, Trung Thien Le

46 Development and evaluation of physiochemical properties of acerola jelly.

Tran Uyen Phuong Ho, Quang Binh Hoang, Thi Ngoc Diep Duong

53 *In silico* screening of small molecules capable of inhibiting AT_1 receptors for research and development of drugs to treat hypertension.

Le Anh Tuan Nguyen, Le Anh Thu Vo, Chi Tuyen Dao

61 An initial evaluation of characteristics of cryopreserved allogeneic nerve tissues at Tissue Bank, Viet Duc University Hospital.

Thanh Hoa Do, Van Chinh Nguyen, Thi Hang Tran, Duc Hung Duong, Minh Anh Hoang, Thi Diem Nguyen, Sy Lanh Nguyen

68 Simulation of pyrazinamide pharmacokinetics/pharmacodynamics in Vietnamese pulmonary tuberculosis patients.

Tuan Duc Phan, Son Nhat Bui, Thi Luyen Le

74 Risk factor and body mass index control in patients with high cardiovascular risk receiving telemedicine care.

Thi Thu Hoai Nguyen, Ba Hieu Tran, Ngoc Cam Tran, Viet Dung Nguyen, Tu Binh Vu, Thi Ngoc Anh Le, Thi Huong Ngo