

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

TẬP 68, SỐ 3, THÁNG 3 NĂM 2026
VOLUME 68, NUMBER 3, MARCH 2026

TẠP CHÍ & KHOA HỌC CÔNG NGHỆ

Vietnam Journal of Science and Technology - MOST VIỆT NAM



HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

Chủ tịch

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

Thành viên

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

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

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

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

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

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

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

Trần Thanh Hải - Trường Đại học Mở - Địa chất, Việt Nam

Phạm Huy Khang - Trường Đại học Giao thông Vận tải, Việt Nam

Phạm Gia Khánh - Hội Ghép tạng Việt Nam, Việt Nam

Hồ Đắc Lộc - Trường Đại học Công nghệ TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Nguyễn Thị Mỹ Lộc - Trường Đại học Giáo dục, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam

Bành Tiến Long - Đại học Bách khoa Hà Nội, Việt Nam

Lê Quan Nghiêm - Đại học Y Dược TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

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

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

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

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

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

Tổng biên tập

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

Phó Tổng biên tập

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

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

Ban biên tập

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD

Chairman

Chau Van Minh - Vietnam Union of Science and Technology Associations

Members

Nguyen Viet Anh - National University of Civil Engineering, Vietnam

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

Vu Dung - Vietnam Association of Social Psychology, Vietnam

Tran Tho Dat - National Economics University, Vietnam

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

Vu Minh Giang - VNU, Hanoi, Vietnam

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

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

Pham Huy Khang - University of Transport and Communications, Vietnam

Pham Gia Khanh - Vietnam Society of Organ Transplantation, Vietnam

Ho Dac Loc - HUTECH University

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

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

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

Mai Trong 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 Editors-in-Chief

Tran Anh Tu - Ministry of Science and Technology, Vietnam

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

Managing Editors

Phi Cong Thuong - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Nguyen Lan Phuong - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Le Thi Bac - Ministry of Science and Technology, Vietnam

Le Thu Hien - Ministry of Science and Technology, Vietnam

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

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

Tang Xuan Binh - Ministry of Science and Technology, Vietnam

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

TÒA SOẠN

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

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

Email: khcnvn@mst.gov.vn

Tạp chí điện tử: b.vjst.vn

GIẤY PHÉP XUẤT BẢN

Số 459/GP-BTTTT ngày 20/7/2021

Số 50/GP-BTTTT ngày 01/02/2023

Giá: 18000^d

EDITORIAL OFFICE

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

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

Email: khcnvn@mst.gov.vn

E-journal: b.vjst.vn

PUBLICATION LICENCE

No. 459/GP-BTTTT 20th July 2021

No. 50/GP-BTTTT 1st February 2023

Ảnh hưởng của chất trợ tương hợp glycidyl methacrylate và khoáng sét montmorillonite đến tính chất và cấu trúc của blend PBAT/PLA

Tường Thị Nguyệt Ánh*, Hoàng Thị Hương, Đoàn Hoàng Linh, Nguyễn Tiến Đạt, Nghiêm Thị Thảo, Nguyễn Ngọc Diệp, Đặng Thảo Yên Linh, Đoàn Văn Hưởng, Chu Xuân Quang

Viện Đổi mới sáng tạo Quốc gia, C6, phường Thanh Xuân Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 2/4/2025; ngày chuyển phản biện 5/4/2025; ngày nhận phản biện 21/4/2025; ngày chấp nhận đăng 25/5/2025

Tóm tắt:

Polymer blend trên cơ sở polybutylene adipate terephthalate (PBAT) kết hợp với polylactic acid (PLA) với tính chất cơ lý được cải thiện đã được chế tạo thành công trên máy đùn trục vít, sử dụng chất trợ tương hợp glycidyl methacrylate (GMA) và chất gia cường khoáng sét montmorillonite (MMT). Các tính chất của blend được đánh giá bằng các phương pháp: kỹ thuật phản xạ toàn phần suy giảm - phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (ATR-FTIR), phân tích nhiệt trọng lượng (TGA), kính hiển vi điện tử quét (SEM) và thử nghiệm cơ học. Kết quả nghiên cứu cho thấy, tỷ lệ PBAT/PLA 40/60 cho các tính chất cơ học tối ưu, chất trợ tương hợp trên cơ sở GMA làm tăng tính tương hợp trong blend PBAT/PLA thông qua phản ứng giữa nhóm epoxy với các nhóm COOH và OH cuối mạch polymer. Việc sử dụng GMA kết hợp với clay đã cải thiện độ bền cơ học, độ bền nhiệt, độ ổn định cấu trúc của vật liệu. Blend PBAT/PLA/chất trợ tương hợp/clay với tỷ lệ khối lượng 40/60/10/20 cho độ bền kéo 30,06 MPa, độ giãn dài khi đứt 70,38%, module kéo 1568 MPa. Kết quả cho thấy, vật liệu có tiềm năng trong sản xuất bao bì và đồ đựng thực phẩm dùng một lần thân thiện với môi trường.

Từ khóa: khoáng sét, polybutylene adipate terephthalate, polylactic acid, polymer blend, tính chất cơ học, trợ tương hợp glycidyl methacrylate.

Chỉ số phân loại: 1.4, 2.5

Effect of glycidyl methacrylate compatibiliser and montmorillonite reinforcement on the properties and morphology of PBAT/PLA blends

Thi Nguyet Anh Tuong*, Huong Thi Hoang, Hoang Linh Doan,

Tien Dat Nguyen, Thi Thao Nghiem, Ngoc Diep Nguyen, Thao Yen Linh Dang, Van Huong Doan, Xuan Quang Chu

National Academy for Advanced Technology and Innovation, C6 Building, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam

Received 2 April 2025; revised 21 April 2025; accepted 25 May 2025

Abstract:

A polymer blend based on polybutylene adipate terephthalate and polylactic acid (PBAT/PLA) with enhanced mechanical properties was successfully fabricated by melt mixing in a twin-screw extruder using glycidyl methacrylate (GMA) as a compatibiliser and montmorillonite clay (MMT) as a reinforcement. The properties of the blend were characterised by a series of methods including ATR-FTIR spectroscopy, thermogravimetric analysis (TGA), scanning electron microscopy (SEM), and mechanical testing. The results showed that the PBAT/PLA blend with a weight ratio of 40/60 exhibited optimal mechanical properties. In addition, the GMA-based compatibiliser increased the compatibility of the PBAT/PLA blend through reactions between epoxy groups and the terminal COOH and OH groups of the polymer chains. The study also confirmed that the combined use of a GMA-based compatibiliser and clay improved the mechanical strength, thermal stability and structural stability of the materials. The PBAT/PLA/compatibiliser/clay blend with a mass ratio of 40/60/10/20 exhibited a tensile strength of 30.06 MPa, an elongation at break of 70.38%, and a tensile modulus of 1568 MPa. These results indicate significant potential for the production of environmentally friendly packaging and disposable food containers.

Keywords: clay, glycidyl methacrylate compatibiliser, mechanical properties, polybutylene adipate terephthalate, polylactic acid, polymer blend.

Classification numbers: 1.4, 2.5

*Tác giả liên hệ: Email: nguyetanhk28@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Polybutylen adipat terephthalate (PBAT) là một polyester mềm dẻo, có độ dẫn dài cao và khả năng phân hủy sinh học trong môi trường ủ phân composite [1]. Vì vậy, PBAT thường được ứng dụng trong sản xuất các sản phẩm nhựa, bao bì dùng một lần thân thiện với môi trường và bao bì tiếp xúc trực tiếp với thực phẩm. Tuy nhiên, độ bền cơ học thấp của PBAT hạn chế việc ứng dụng vào các sản phẩm yêu cầu độ bền, độ cứng cao và khả năng tạo hình bởi phương pháp định hình nhiệt hoặc đúc phun [1].

Để nâng cao độ bền cơ học của PBAT, các phương pháp phổ biến được sử dụng như bổ sung các chất gia cường; chế tạo polymer blend với một hoặc nhiều polymer khác. Trong đó, việc kết hợp PBAT với các polymer khác để tạo thành blend hai hoặc đa cấu tử là phương pháp hiệu quả nhất, giúp cải thiện các tính chất cơ học một cách đáng kể, tùy thuộc vào loại polymer và tỷ lệ các polymer phối trộn [2].

Các polymer được kết hợp với PBAT để tăng cường tính năng cơ lý là những polymer phân hủy sinh học có độ cứng cao, module cao, độ bền kéo đứt lớn, như: polyhydroxyl butyrate-co-valerate (PHBV), poly caprolactone (PCL), polylactic acid (PLA); trong đó, PLA nổi bật nhờ độ bền kéo đứt và module kéo lớn [3], có khả năng định hình nhiệt, phân hủy sinh học trong môi trường ủ compost. Tuy nhiên, PLA có đặc tính giòn (độ giãn dài khi đứt nhỏ hơn 5%), khiến khả năng ứng dụng bị hạn chế.

Do đó, polymer blend PBAT/PLA thường được chế tạo nhằm khắc phục những nhược điểm và tận dụng ưu điểm của cả hai polymer [3]. Tuy nhiên, cấu trúc hóa học của PBAT và PLA là khác nhau, nên về lý thuyết chúng không tương hợp. Vì vậy, việc lựa chọn chất trợ tương hợp và hàm lượng thích hợp là yếu tố quan trọng để cải thiện cấu trúc và tính chất của polymer blend [4]. Cho đến hiện nay, việc tìm ra loại chất trợ tương hợp phù hợp cho blend PBAT/PLA tiếp tục thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu với nhiều vấn đề cần được làm sáng tỏ.

Ngoài việc sử dụng chất trợ tương hợp, các chất gia cường cũng đã được sử dụng để tăng cường tính cơ lý của polymer blend. Trong số đó, khoáng sét montmorillonite (clay MMT) là một chất gia cường hiệu quả, giúp cải thiện tính cơ lý và có nguồn gốc khoáng tự nhiên, giá thành thấp, dễ dàng sử dụng trong sản xuất công nghiệp [5].

M. Shahlari và cs (2012) [6] đã chế tạo vật liệu blend composite PBAT/PLA được gia cường bởi khoáng sét MMT montmorillonite biến tính mà không cần dùng thêm chất trợ tương hợp. Nhóm nghiên cứu đã bổ sung MMT giúp tăng

cường vượt trội module đàn hồi, module dự trữ (tăng ~2,1 lần) so với blend không tương hợp PBAT/PLA, MMT; đồng thời đóng vai trò trợ tương hợp, giúp tăng độ bám dính bề mặt giữa PLA và PBAT được chứng minh bởi SEM [6]. Tuy nhiên, độ giãn dài giảm đáng kể (giảm ~7,9 lần). G. Zhang và cs (2024) [7], Y. Zhang và cs (2021) [8] đã chế tạo blend PBAT/PLA sử dụng chất trợ tương hợp trên cơ sở polymer ghép GMA và không dùng chất gia cường. Kết quả cho thấy, chất trợ tương hợp giúp gia tăng đáng kể độ giãn dài khi đứt so với blend PBAT/PLA không tương hợp; tuy nhiên độ bền kéo và module đàn hồi tăng rất ít, có trường hợp còn giảm nhẹ. Trong khi đó, sự kết hợp đồng thời của MMT và GMA để tăng cường độ bền, module và độ giãn dài cho blend PBAT/PLA vẫn chưa được khai thác làm sáng tỏ. Tại Việt Nam, cho đến hiện tại vẫn chưa có công bố nào về chế tạo vật liệu blend PBAT/PLA chứa chất gia cường clay và sử dụng chất trợ tương hợp GMA.

Nghiên cứu này tiến hành chế tạo blend PBAT/PLA với chất trợ tương hợp glycidyl methacrylate (GMA) và chất độn clay MMT bằng máy đùn hai trục vít. GMA sẽ tăng cường các tương tác bề mặt giữa PBAT và PLA; trong khi đó, clay MMT tăng cường khả năng phân tán ứng suất. Blend với chất trợ tương hợp maleic anhydride (MA) cũng được chế tạo và so sánh tính chất với blend sử dụng GMA. Các đặc trưng cơ lý hóa của blend được xác định bởi các phân tích: ATR-FTIR, TGA, tính chất cơ học (độ bền kéo đứt, dẫn dài khi đứt, module kéo) và cấu trúc hình thái bởi SEM, từ đó đánh giá sự tương tác giữa PBAT, PLA và MMT.

2. Thực nghiệm

2.1. Nguyên vật liệu

PBAT Ecopond KB100 được cung cấp bởi Zhuhai Kingfa Biomaterials, Guangdong; chỉ số chảy 3~5 g/10 phút (190°C, 2,19 kg), nhiệt độ nóng chảy 125°C. Polylactic acid Luminy LX175 Total Energies-Corbion, Thái Lan; chỉ số chảy 3 g/10 phút (190°C, 2,19 kg), nhiệt độ nóng chảy 155°C. Glycidyl methacrylate (GMA) độ tinh khiết ≥99%; benzoyl peroxide (BPO) độ tinh khiết ≥98% được mua từ Shanghai Macklin Biochemical Technology. Maleic anhydride (MA) độ tinh khiết ≥98%, phụ gia trợ gia công oleamide độ tinh khiết ≥98% là sản phẩm của Shanghai Zhanyun Chemical. Khoáng sét MMT, loại dùng làm chất độn cho polymer composite được biến tính bề mặt bởi Octadecyl trimethyl ammonium, được mua từ Nanomer Beijing East-West Company, kích thước hạt: ~15-20 μm.

2.2. Chế tạo blend PBAT/PLA chứa chất trợ tương hợp và clay MMT

Chế tạo chất trợ tương hợp: PBAT ghép glycidyl methacrylate (PGMA) và PBAT ghép maleic anhydride (PMA): Chất trợ tương hợp PGMA được chế tạo trên máy đun hai trục vít; bằng phản ứng ghép GMA lên mạch PBAT, sử dụng chất khơi mào BPO. Hỗn hợp nguyên liệu gồm: PBAT 100 phần khối lượng (pkl), GMA 10 pkl, BPO 0,5 pkl và oleamide 0,5 pkl được trộn cơ học đồng đều bằng máy trộn Labtech LMX10-V, sau đó, trộn hợp nóng chảy trên máy đun hai trục vít Labtech LTE16-52, tốc độ trục vít 100 vòng/phút, nhiệt độ 13 khoảng trộn của máy đun được cài đặt trong khoảng ~125-165°C. Hỗn hợp nhựa nóng chảy được làm mát, kéo sợi, cắt tạo hạt và sấy chân không tại 60°C trong 24 giờ để loại bỏ hết vết GMA sót lại. Để chứng minh không còn GMA chưa phản ứng trong PGMA, mẫu hạt nhựa PGMA sau khi sấy khô được ngâm thối nhiễm trong nước cất tại nhiệt độ 95°C trong 24 giờ; sau đó, dung dịch nước thối nhiễm được phân tích bởi thuốc thử kali permanganate (màu hồng tím của thuốc thử giữ nguyên không đổi), phổ FTIR (không xuất hiện sự khác biệt so với phổ của nước cất). Các kết quả chứng tỏ không có sự xuất hiện của GMA dư trong PGMA bị thối nhiễm ra môi trường bên ngoài. PGMA được đo phổ IR và chuẩn độ để xác định hàm lượng GMA, hàm lượng GMA đạt 7% khối lượng so với PBAT xác định bằng chuẩn độ [9].

Chất trợ tương hợp PMA được chế tạo bằng phản ứng ghép MA lên mạch PBAT tương tự như chế tạo PGMA; hỗn hợp gồm: PBAT 100 pkl, MA 15 pkl, BPO 0,75 pkl, oleamide 0,5 pkl được trộn cơ học đồng đều, sau đó trộn hợp nóng chảy đun tạo sợi, làm mát, kéo sợi, cắt tạo hạt và sấy chân không tại 60°C trong 24 giờ. Hàm lượng nhóm MA đạt 7% khối lượng so với PBAT được xác định bằng chuẩn độ [10, 11].

Chế tạo blend PBAT/PLA có và không có chất trợ tương hợp: Các mẫu blend PBAT/PLA có và không có chất trợ tương hợp được chế tạo với đơn phối liệu trình bày trong bảng 1. Trong đó, PBAT, PLA được ký hiệu lần lượt là T và A tương ứng, blend không tương hợp được thêm ký hiệu uc; blend với tỷ lệ phần khối lượng PBAT/PLA=x/y được ký hiệu là TAx_y tương ứng.

Quy trình chung chế tạo các mẫu blend PBAT/PLA: Cân chính xác khối lượng của nhựa và các phụ gia, tiến hành trộn cơ học đồng đều trong 2 phút, sau đó, chuyển hỗn hợp nguyên liệu vào phễu nạp liệu của máy đun hai trục vít để

Bảng 1. Đơn phối liệu chế tạo blend PBAT/PLA có và không có chất trợ tương hợp.

Ký hiệu mẫu	PBAT/PLA (pkl/pkl)	PGMA (pkl)	PMA (pkl)	Oleamide (pkl)
ucTA82	80/20	-	-	1
ucTA73	70/30	-	-	1
ucTA64	60/40	-	-	1
ucTA55	50/50	-	-	1
ucTA46	40/60	-	-	1
ucTA37	30/70	-	-	1
TA82-PGMA1	80/20	1	-	1
TA73-PGMA1	70/30	1	-	1
TA64-PGMA1	60/40	1	-	1
TA55-PGMA1	50/50	1	-	1
TA46-PGMA1	40/60	1	-	1
TA37-PGMA1	30/70	1	-	1
TA82-PMA1	80/20	-	1	1
TA73-PMA1	70/30	-	1	1
TA64-PMA1	60/40	-	1	1
TA55-PMA1	50/50	-	1	1
TA46-PMA1	40/60	-	1	1
TA37-PMA1	30/70	-	1	1

bắt đầu quá trình trộn hợp nóng chảy, nhiệt độ 13 khoảng trộn của máy đun từ hòng cấp liệu đến đầu đun như sau: 175/180/185/190/195/200/200/195/190/180/175/170/165°C, tốc độ trục vít 100 vòng/phút. Hỗn hợp nhựa nóng chảy thoát khỏi đầu đun hình thành sợi nhựa; sợi được kéo, làm mát trong bể nước và cắt tạo hạt. Thu sản phẩm hạt nhựa tạo thành và đánh giá tính chất.

Chế tạo blend PBAT/PLA/clay MMT: Để khảo sát hiệu quả tăng cường cơ tính của chất gia cường khoáng sét MMT đối với các blend đã có trợ tương hợp, tiến hành chế tạo các mẫu blend chứa MMT với đơn phối liệu trình bày trong bảng 2. Quy trình công nghệ tương tự như chế tạo blend có chất trợ tương hợp PGMA ở trên, giữ nguyên các thông số gia công trên máy đun hai trục vít. Nhựa nguyên liệu, phụ gia và MMT được cân và trộn cơ học đồng đều, sau đó hỗn hợp được nạp vào phễu nạp liệu của máy đun và bắt đầu quá trình trộn hợp nóng chảy, đun tạo sợi, làm mát, kéo sợi và cắt hạt.

Bảng 2. Đơn phối liệu cho chế tạo blend PBAT/PLA có chứa MMT.

Ký hiệu mẫu	PBAT/PLA (pkl/pkl)	PGMA (pkl)	MMT (pkl)	Oleamide (pkl)
TA46-MMT10	40/60	10	10	1
TA46-MMT15	40/60	10	15	1
TA46-MMT20	40/60	10	20	1
TA46-MMT25	40/60	10	25	1

Khoáng sét montmorillonite (MMT) là vật liệu gia cường vô cơ hiệu quả trong cải thiện tính chất cơ lý của polymer composite. Ở đây, clay MMT được sử dụng có kích thước hạt ~15-20 μm , diện tích bề mặt của chất độn micro nhỏ hơn diện tích bề mặt của chất độn nano cùng loại (kích thước hạt <100 nm); dẫn đến số lượng tương tác bề mặt giữa chất độn micro với nhựa nền sẽ ít hơn so với trường hợp chất độn nano - nhựa nền, hiệu quả gia cường của chất độn micro cũng thấp hơn so với chất độn nano. Do đó, chất độn micro clay MMT sẽ được sử dụng với hàm lượng 10-25 pkl, cao hơn so với hàm lượng thường sử dụng với chất độn nano để tăng cường hiệu quả gia cường của chất độn với nhựa nền.

2.3. Phương pháp phân tích

Phổ hồng ngoại ATR-FTIR được thực hiện trên quang phổ kế hồng ngoại Nicolet iS20, dải sóng 4000-400 cm^{-1} , số lần scan: 32, độ phân giải 4 cm^{-1} .

Phân tích nhiệt trọng lượng (TGA) được tiến hành trên thiết bị Mettler Toledo TGA/DSC 3+, nhiệt độ 25-600°C, tốc độ gia nhiệt 10°C/phút trong môi trường khí N_2 20 ml/phút.

Tính chất cơ học được thực hiện trên thiết bị INSTRON 5900R theo tiêu chuẩn ASTM D638, tốc độ kéo 200 mm/phút.

Cấu trúc hình thái của vật liệu được đánh giá bằng ảnh SEM trên thiết bị JEOL JSM-6510LV, điện thế 10 kV. Mẫu được bẻ gãy trong nitơ lỏng, sau đó tiết diện cắt ngang này được phủ vàng và tiến hành chụp ảnh SEM.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Tính chất cơ học

Ảnh hưởng của loại chất trợ tương hợp và tỷ lệ polyme:
Để đánh giá ảnh hưởng của chất trợ tương hợp đến tính chất của blend, các mẫu PBAT/PLA không chứa chất trợ tương hợp đã được khảo sát và đánh giá tính chất cơ học (độ bền kéo đứt, giãn dài khi đứt), kết quả được trình bày trong bảng 3.

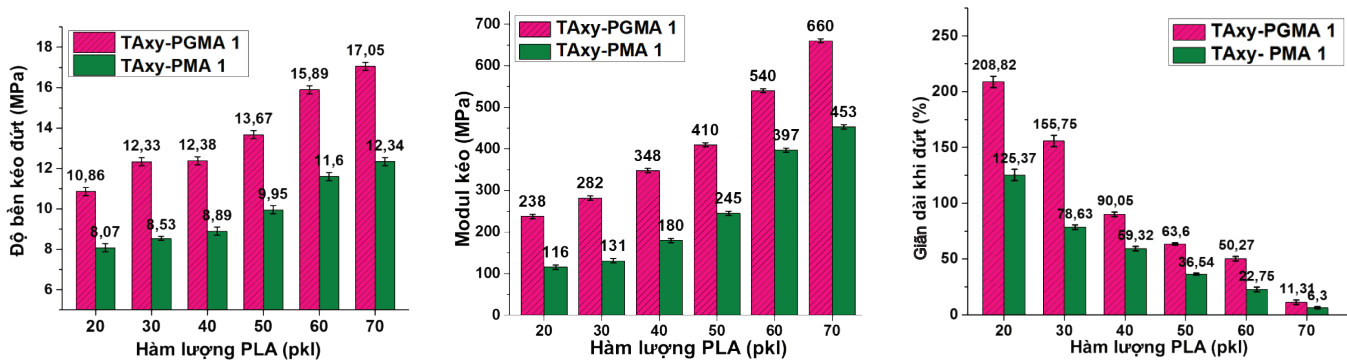
Bảng 3. Tính chất cơ học của các mẫu blend PBAT/PLA không chứa chất trợ tương hợp.

Ký hiệu mẫu	PBAT/PLA (pkl/pkl)	Độ bền kéo đứt (σ , MPa)	Giãn dài khi đứt (ϵ , %)
PLA	0/100	35,00 $\pm$ 0,20	3,60 $\pm$ 0,50
PBAT	100/0	17,00 $\pm$ 0,50	>450% (không đứt)
ucTA82	80/20	7,02 $\pm$ 2,50	6,95 $\pm$ 2,00
ucTA73	70/30	4,91 $\pm$ 2,00	6,00 $\pm$ 2,00
ucTA64	60/40	22,09 $\pm$ 3,00	3,46 $\pm$ 1,50
ucTA55	50/50	15,53 $\pm$ 2,50	3,35 $\pm$ 1,50
ucTA46	40/60	21,65 $\pm$ 2,80	4,50 $\pm$ 1,00
ucTA37	30/70	9,62 $\pm$ 2,00	4,94 $\pm$ 1,70

Có thể nhận thấy, các mẫu blend không chứa chất trợ tương hợp có độ bền kéo đứt không ổn định, độ giãn dài khi đứt rất thấp (dưới 7%), không thể hiện rõ xu hướng biến thiên khi hàm lượng PLA thay đổi. Kết quả này được giải thích là do các tính chất cuối cùng của blend tùy thuộc vào cấu trúc hình thái bên cạnh các đặc điểm vốn có của từng polymer; việc pha trộn các polymer không giống nhau sẽ tạo ra các cấu trúc tách pha (giọt phân tán trong nền, hoặc trụ, hoặc cầu) tùy thuộc vào tương tác polymer-polymer, các thông số (tốc độ trục vít, nhiệt độ, tỷ lệ độ nhớt, thông số hòa tan và sức căng giao diện), sức căng giao diện polymer càng lớn thì kích thước pha phân tán càng lớn, dẫn đến tính chất của blend càng suy giảm [12]. PBAT và PLA có bản chất cấu trúc hóa học khác nhau, blend không trộn lẫn PBAT/PLA sẽ có sự tách pha polymer với sức căng giao diện lớn giữa 2 polymer, ít có sự bám dính tương tác bề mặt [12, 13]; hệ quả là, tính chất của vật liệu không được cải thiện.

Sự tương hợp giữa PBAT và PLA được tăng cường bằng cách sử dụng các chất trợ tương hợp PGMA và PMA. Tính chất cơ học bao gồm độ bền kéo, độ giãn dài và module kéo của các mẫu blend PBAT/PLA có chứa PMA 1 pkl, PGMA 1 pkl được thể hiện trong hình 1.

Có thể nhận thấy, các mẫu sử dụng chất trợ tương hợp PGMA 1 pkl cho tính chất cơ học cao hơn so với các mẫu sử dụng PMA 1 pkl (với cùng tỷ lệ PBAT/PLA). Điều này cho thấy, ở hàm lượng 1 pkl PGMA có hiệu quả trợ tương hợp trong blend PBAT/PLA tốt hơn so với PMA. Chất trợ tương hợp hiệu quả làm giảm sức căng bề mặt giữa 2 polymer, từ đó giảm kích thước của giọt phân tán trong pha nền; cấu trúc giọt phân tán trong nền trở nên mịn hơn, đồng nhất hơn; từ đó dẫn đến tăng cường các tính chất của vật liệu.



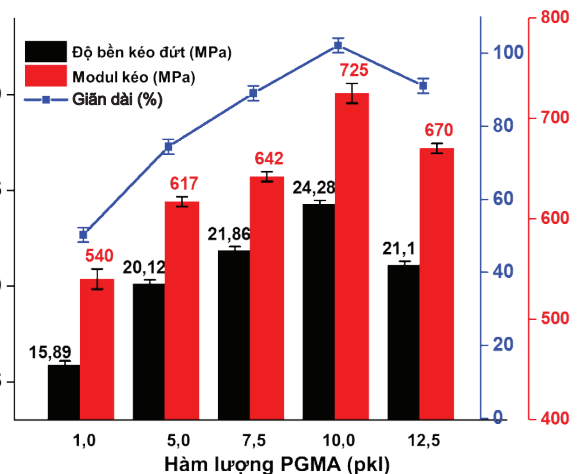
Hình 1. Tính chất cơ học của blend khi sử dụng PGMA 1 phr và PMA 1 phr, với hàm lượng PLA thay đổi.

Với cả 2 loại trợ tương hợp, khi hàm lượng PLA tăng từ 20 đến 70 phr, tương ứng với tỷ lệ PBAT/PLA thay đổi từ 80/20 đến 30/70 thì độ bền kéo đứt, module kéo tăng dần. Đặc biệt, module tăng đáng kể tại 60 và 70 phr PLA. Ngược lại, độ giãn dài giảm dần khi hàm lượng PLA tăng từ 20 đến 60 phr và giảm mạnh tại 70 phr PLA. Mẫu TA82-PGMA1 cho $\sigma=10,86$ MPa, module kéo=238 MPa, $\epsilon=208,82\%$; mẫu TA46-PGMA1 cho giá trị độ bền và module tăng mạnh: $\sigma=15,89$ MPa, module kéo=540 MPa, $\epsilon=50,27\%$; mẫu TA37-PGMA1 cho: $\sigma=17,05$ MPa, module kéo=660 MPa, $\epsilon=11,31\%$. Sự thay đổi tính chất cơ học này được giải thích là do: khi hàm lượng PLA nhỏ hơn 50 phr thì blend PBAT/PLA sẽ có cấu trúc với pha nền PBAT mềm dẻo và pha phân tán PLA cứng, PLA đồng thời gia cường cho nền PBAT; hàm lượng PLA tăng sẽ dẫn đến tăng độ bền kéo, tăng module kéo, giảm độ giãn dài khi đứt của vật liệu [14]. Tuy nhiên, khi hàm lượng PLA ≥ 60 phr, vật liệu PBAT/PLA có sự thay đổi cấu trúc với PLA làm pha nền cứng và PBAT đóng vai trò làm pha phân tán mềm dẻo [14]; do đó, độ bền kéo đứt và module kéo của vật liệu blend với nền PLA sẽ cao vượt trội so với vật liệu blend có pha nền PBAT.

Từ tính chất cơ học trên, có thể kết luận rằng PGMA có hiệu quả trợ tương hợp trong blend PBAT/PLA tốt hơn so với PMA; hàm lượng PLA trong blend tăng từ 20 đến 70 phr thì dẫn đến độ bền kéo, module kéo tăng dần, tăng đáng kể khi PLA ≥ 60 phr, độ giãn dài giảm dần. Tỷ lệ PBAT/PLA 40/60 (TA46) được chọn để chế tạo các mẫu blend cho các nghiên cứu tiếp theo do mẫu vật liệu vừa có độ bền kéo, module kéo lớn - phản ánh độ cứng của toàn khối vật liệu; đồng thời độ giãn dài không quá thấp.

Ảnh hưởng của hàm lượng chất trợ tương hợp PGMA:
Để đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng PGMA đến tính chất của vật liệu, các mẫu blend PBAT/PLA 40/60 với hàm lượng PGMA thay đổi: 1,0; 5,0; 7,5; 10,0; 12,5 phr được chế tạo. Kết quả tính chất cơ học của các mẫu trong hình 2

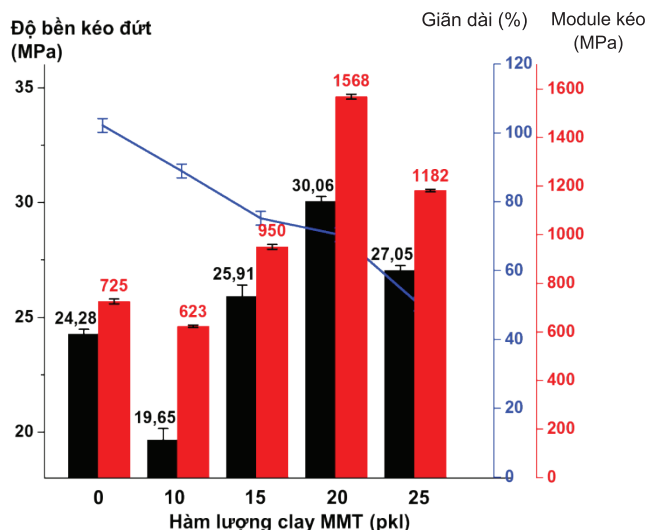
cho thấy, khi tăng hàm lượng PGMA từ 1,0 đến 12,5 phr, độ bền kéo đứt, độ giãn dài khi đứt. Module kéo tăng dần và đạt các giá trị cực đại tại PGMA 10 phr, sau đó giảm nhẹ khi PGMA tiếp tục tăng lên 12,5 phr. Mẫu TA46-PGMA10 cho độ bền kéo đứt, module kéo, giãn dài khi đứt lần lượt là 24,28 MPa; 725 MPa và 102,17% tương ứng. Kết quả này được giải thích là khi tăng hàm lượng PGMA sẽ làm tăng sự liên kết bề mặt giữa PBAT và PLA, từ đó tính chất cơ lý của vật liệu được cải thiện. Tuy nhiên, khi hàm lượng PGMA vượt quá giá trị tối ưu sẽ gây ra sự khâu mạch cục bộ của polymer, xuất hiện sự phá hủy giòn tại các khối polymer khâu mạch đó; hệ quả là làm giảm đồng thời cả độ bền kéo, module đàn hồi và giãn dài khi đứt của vật liệu. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của N. Zhang và cs (2009) [15], với blend PBAT/PLA được trợ tương hợp bởi GMA, khi hàm lượng GMA tăng quá giá trị tối ưu sẽ có quá nhiều nhóm epoxy của GMA phản ứng với nhóm -COOH, -OH cuối mạch PBAT và PLA; gây ra sự khâu mạch cục bộ của polymer, từ đó làm suy giảm đồng thời độ bền kéo, độ đàn dài và độ dai va đập.



Hình 2. Tính chất cơ học của blend TA46-PGMA với hàm lượng PGMA thay đổi.

Do đó, hàm lượng trợ tương hợp được sử dụng là 10 pkl cho hiệu quả tương hợp tốt nhất giữa PLA và PBAT. Độ bền kéo, module kéo và độ giãn dài của vật liệu lần lượt đạt 24,28 MPa, 725 MPa và 102,17%.

Ảnh hưởng của chất gia cường khoáng sét MMT: Các mẫu TA46-PGMA10 được chế tạo với các hàm lượng MMT thay đổi: 10, 15, 20, 25 pkl; các tính chất cơ học được trình bày trong hình 3.



Hình 3. Tính chất cơ học của blend TA46-PGMA10-MMT với hàm lượng MMT thay đổi.

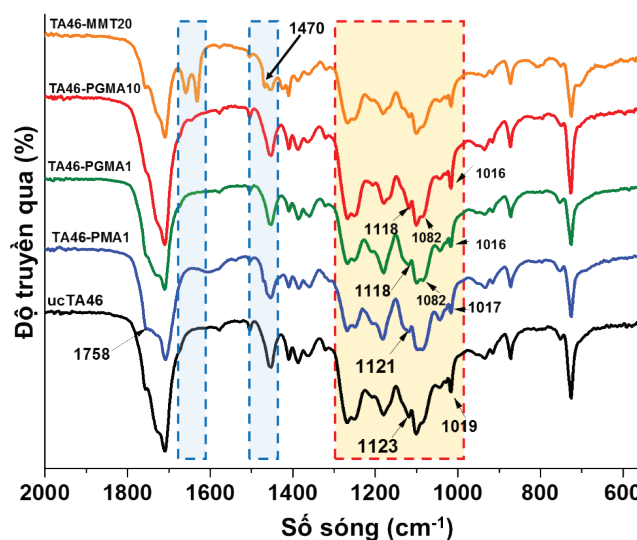
Các kết quả tính chất cơ học cho thấy, khi hàm lượng MMT tăng từ 10 đến 25 pkl thì độ bền kéo đứt, module kéo tăng dần và đạt giá trị lớn nhất tại 20 pkl MMT, sau đó các tính chất giảm nhẹ khi MMT tiếp tục tăng lên 25 pkl. Trong khi đó, độ giãn dài khi đứt giảm dần khi hàm lượng MMT tăng dần. Mẫu TA46-MMT20 cho giá trị cực đại của độ bền kéo đứt và module kéo, lần lượt là 30,06 và 1568 MPa tương ứng; giãn dài khi đứt đạt 70,38%. Điều này được giải thích là do hàm lượng MMT càng tăng lên sẽ làm gia tăng mật độ tương tác kỵ nước giữa nhựa nền với chuỗi alkyl béo trên bề mặt MMT, từ đó tăng khả năng truyền tải ứng suất từ nhựa nền sang chất độn; do đó, tính chất cơ lý của vật liệu được cải thiện. Tuy nhiên, hàm lượng MMT tăng lên quá cao sẽ dẫn đến sự kết tụ của các hạt clay trong quá trình trộn hợp nóng chảy; hệ quả là blend tạo thành sẽ dễ bị phá hủy cục bộ tại các khối kết tụ; từ đó dẫn đến suy giảm tính chất của vật liệu.

Tóm lại, tính chất cơ học của blend PBAT/PLA sẽ được cải thiện đáng kể khi sử dụng chất trợ tương hợp PGMA và chất gia cường MMT, phù hợp với các ứng dụng chế tạo bao bì đựng thực phẩm (chai, lọ, cốc, đĩa, khay) dùng một

lần với độ bền kéo đứt ≥ 18 MPa, giãn dài $\geq 4\%$, module kéo ≥ 1000 MPa [16, 17]. Với 10 pkl PGMA và 20 pkl MMT; độ bền kéo, module kéo và độ giãn dài của vật liệu lần lượt đạt 30,06 MPa, 1568 MPa và 70,38%.

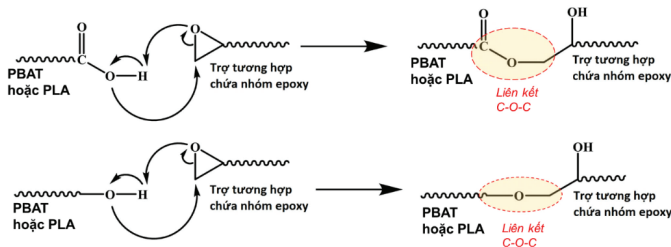
3.2. Phổ hồng ngoại

Sự tăng cường tương tác bề mặt giữa PBAT và PLA khi sử dụng chất trợ tương hợp được chứng minh bởi phổ ATR-FTIR của các mẫu: không có chất trợ tương hợp (ucTA46) và có chất trợ tương hợp (TA46-PMA1, TA46-PGMA1, TA46-PGMA10, TA46-MMT20). Phổ IR của các mẫu được trình bày trong hình 4.



Hình 4. Phổ ATR-FTIR của các mẫu blend không chứa và có chứa chất trợ tương hợp PGMA, PMA.

Có thể nhận thấy, phổ IR của blend không tương hợp ucTA46 xuất hiện peak tại 1123 và 1019 cm^{-1} với cường độ trung bình chỉ ra sự tồn tại của các liên kết C-O trong nhóm -COOH và C-OH cuối mạch PBAT và PLA. Với các mẫu chứa chất trợ tương hợp, hai peak này dịch chuyển về tần số thấp hơn; cụ thể, TA46-PMA1 xuất hiện peak tại 1121 và 1017 cm^{-1} ; TA46-PGMA1 và TA46-PGMA10 cho peak tại 1118 và 1016 cm^{-1} . Điều này chứng tỏ rằng, đã xảy ra phản ứng hóa học giữa các nhóm -COOH, -OH cuối mạch PBAT và PLA với các chức epoxy, maleic của PGMA, PMA và hình thành các liên kết C-O-C mới đặc trưng bởi các peak trong dải 1300-1000 cm^{-1} . Điều này dẫn đến sự gia tăng liên kết bề mặt giữa PBAT và PLA; từ đó cải thiện tính tương hợp, tính chất cơ học so với blend không chứa chất tương hợp [3, 18, 19], mà chứng minh bởi các kết quả cơ tính ở trên. Cơ chế tương hợp giữa PBAT và PLA được minh họa trên hình 5.



Hình 5. Minh họa cơ chế tương hợp giữa PBAT và PLA bằng hợp chất chứa nhóm epoxy [3, 18-20].

Phổ IR của TA46-PGMA10 cho thấy, cường độ các peak 1118, 1082, 1016 cm^{-1} mạnh hơn so với các peak tương ứng của TA46-PMA1 và TA46-PGMA1; chứng tỏ mật độ liên kết C-O-C trong các mẫu sử dụng PGMA là lớn hơn so với mẫu sử dụng PMA. Khi hàm lượng PGMA tăng từ 1 lên 10 pkl, mật độ liên kết C-O-C tăng lên. Nhóm epoxy có thể phản ứng với cả -COOH và -OH để tạo thành liên kết C-O-C mới [18]. Trong khi đó, nhóm maleic chỉ phản ứng với nhóm -OH để hình thành nhóm ester. Do đó, mật độ các liên kết C-O-C hình thành tại bề mặt tiếp xúc pha PBAT/PLA

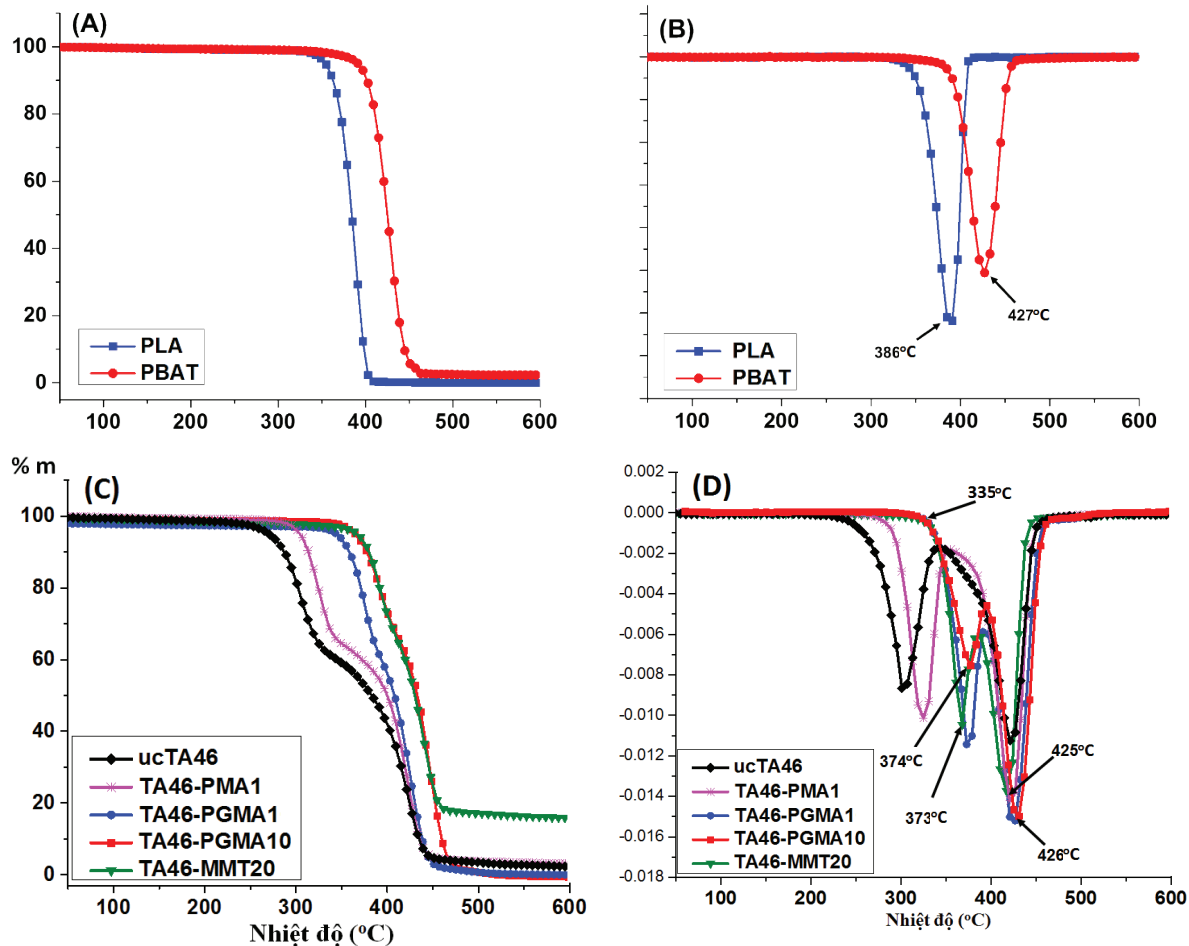
khi sử dụng PGMA sẽ lớn hơn so với khi sử dụng PMA. Phổ IR của TA46-MMT20 chứa clay MMT xuất hiện peak 1470, 1600-1650 cm^{-1} được quy cho liên kết N-H và C-N trong hợp chất amoni trên bề mặt MMT biến tính.

Có thể kết luận, PGMA có hiệu quả trợ tương hợp cho blend PBAT/PLA với cơ chế phản ứng giữa nhóm epoxy và các nhóm COOH, OH cuối mạch PBAT và PLA. Tăng hàm lượng PGMA làm tăng mức độ tương hợp của PBAT/PLA, sự ổn định cấu trúc và các tính chất của vật liệu.

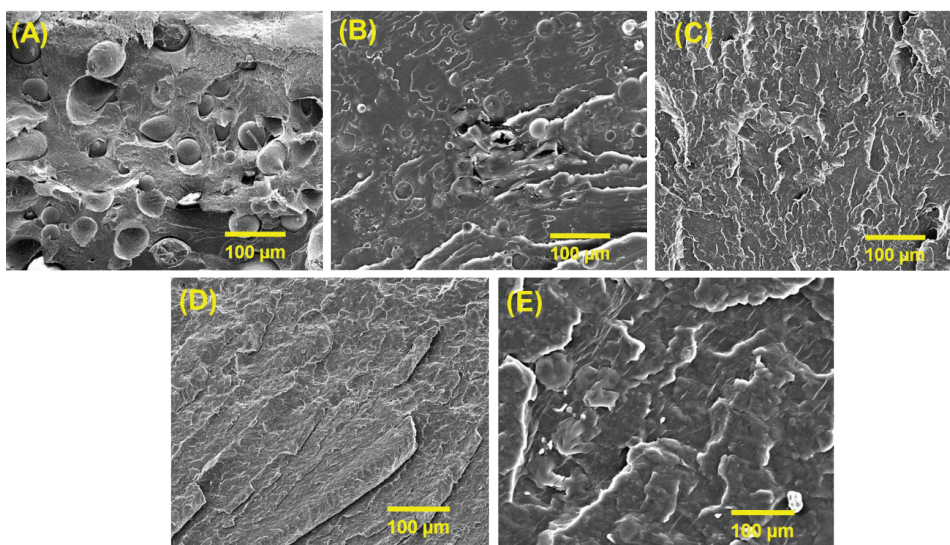
3.3. Phân tích nhiệt

Phân tích nhiệt trọng lượng (TGA) cho biết mức độ ổn định nhiệt của một vật liệu, từ đó đánh giá được độ bền cấu trúc, mức độ tương hợp giữa các cấu tử thành phần của vật liệu. Giản đồ TGA và DTG của các mẫu blend không chứa và có chứa chất trợ tương hợp, có clay MMT được thể hiện trong hình 6.

Giản đồ TGA và DTG cho thấy, nhiệt độ bắt đầu phân hủy và nhiệt độ tại tốc độ phân hủy lớn nhất của các mẫu



Hình 6. (A) Giản đồ TGA của PLA, PBAT; (B) Giản đồ DTG của PLA, PBAT; (C) Giản đồ TGA của ucTA46, TA46-PMA1, TA46-PGMA10, TA46-MMT20; (D) Giản đồ DTG của ucTA46, TA46-PMA1, TA46-PGMA10, TA46-MMT20.



Hình 7. Ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) các mẫu: (A) ucTA46, (B) TA46-PMA1, (C) TA46-PGMA1, (D) TA46-PGMA10, (E) TA46-MMT20.

blend tăng theo thứ tự: ucTA46<TA46-PMA1<TA46-PGMA1<TA46-PGMA10≈TA46-MMT20. Mẫu TA46-PGMA10 có nhiệt độ bắt đầu phân hủy là 335°C và nhiệt độ tại tốc độ phân hủy lớn nhất ($T_{\max}$) là 374, 426°C. ucTA46 không chứa chất tương hợp, do đó kém bền cấu trúc, kém ổn định nhiệt và phân hủy sớm hơn so với blend có chứa PMA và PGMA; cụ thể, nhiệt độ bắt đầu phân hủy đạt tại 258°C, nhiệt độ $T_{\max}$ đạt tại 301 và 419°C, đều thấp hơn so với các giá trị tương ứng của các blend chứa chất trợ tương hợp PMA và PGMA. Mẫu TA46-PMA1 kém ổn định nhiệt so với TA46-PGMA1, TA46-PGMA10, và TA46-MMT20 do sự bám dính, liên kết bề mặt giữa PBAT và PLA thấp hơn. Mẫu chứa MMT 20 phr cho nhiệt độ bắt đầu phân hủy và nhiệt độ $T_{\max}$ (335, 373, 425°C tương ứng) thấp hơn một chút so với mẫu TA46-PGMA10 không chứa MMT, do hợp chất hữu cơ quaternary alkyl ammonium trên bề mặt MMT thực hiện trước quá trình phân hủy.

Như vậy, PGMA có hiệu quả trợ tương hợp giữa PBAT và PLA tốt hơn so với PMA; từ đó dẫn đến tăng độ ổn định cấu trúc, tăng độ bền cơ học, độ bền nhiệt của vật liệu.

3.4. Cấu trúc hình thái

Mức độ tương hợp, sự tương tác bề mặt giữa các cấu tử trong polymer blend được đánh giá thông qua đặc trưng hình thái của vật liệu, thể hiện trên ảnh SEM. Ảnh SEM các mẫu blend không và có chất trợ tương hợp, có khoáng sét MMT được trình bày trong hình 7.

Nhận thấy, ucTA46 (không chứa chất trợ tương hợp) bị phá hủy với sự tách pha rõ ràng, các giọt PBAT tách ra khỏi nền PLA (hình 7A). Các blend có chất trợ tương hợp (hình 7B-E) rất ít hoặc không xuất hiện sự tách pha, bề mặt

tương đối mịn do PMA và PGMA đã làm tăng sự bám dính giữa PBAT và PLA. Mẫu TA46-PMA1 (hình 7B) có sự tách pha polymer rất ít; TA46-PGMA1 không thấy sự phân tách pha PBAT với PLA (hình 7C); TA46-PGMA10 cho bề mặt phá hủy rất mịn và đồng nhất (hình 7D). Kết quả cho thấy, PGMA giúp PBAT phân tán đồng đều hơn và tạo liên kết tốt hơn với nền PLA so với PMA; hàm lượng PGMA tăng lên làm tăng sự liên kết bề mặt giữa PBAT và PLA, làm cấu trúc blend đồng nhất hơn. Mẫu TA46-MMT20 chỉ xuất hiện một vài điểm trắng nhỏ (hình 7E); chứng tỏ MMT đã phân tán khá đồng đều vào nền polymer.

Có thể kết luận rằng, PGMA 10 phr giúp tăng liên kết bề mặt giữa PBAT và PLA, giúp PBAT phân tán vào nền PLA đồng đều hơn, tạo ra cấu trúc blend đồng nhất và bền vững. Clay 20 phr cũng phân tán đồng đều vào nền polymer, không kết tụ tập hợp hạt, mang lại hiệu quả gia cường cho mẫu vật liệu.

4. Kết luận

Polymer blend trên cơ sở PBAT kết hợp với PLA được tăng cường tính chất cơ lý đã được chế tạo thành công trên máy đùn hai trục vít, sử dụng chất trợ tương hợp Glycidyl methacrylate (PGMA) và chất gia cường khoáng sét MMT. Các kết quả chỉ ra, tỷ lệ PBAT/PLA 40/60 cho các tính chất cơ học tối ưu; PGMA tăng tính tương hợp của blend bằng phản ứng giữa nhóm epoxy với nhóm -COOH, -OH cuối mạch polymer; sử dụng PGMA kết hợp với MMT làm tăng độ bền cơ học, độ bền nhiệt, độ ổn định cấu trúc của vật liệu. Mẫu blend PBAT/PLA/PGMA/MMT (40/60/10/20) đã chế tạo cho các tính chất cơ học: $\sigma=30,06$ MPa, $\epsilon=70,38\%$ và module kéo 1.568 MPa.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài “Nghiên cứu chế tạo hạt nhựa trên cơ sở Polybutylen adipat terephthalat (PBAT) và các phụ gia phân hủy sinh học ứng dụng sản xuất đồ gia dụng dùng một lần” do Bộ Khoa học và Công nghệ cấp kinh phí. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Jian, Z. Xiangbin, H. Xianbo (2020), “An overview on synthesis, properties and applications of poly(butylene-adipate-co-terephthalate)-PBAT”, *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research*, **3(1)**, pp.19-26, DOI: 10.1016/j.aiepr.2020.01.001.
- [2] R.A. Itry, K. Lamnawar, A. Maazouz (2012), “Improvement of thermal stability, rheological and mechanical properties of PLA, PBAT and their blends by reactive extrusion with functionalized epoxy”, *Polymer Degradation and Stability*, **97(10)**, pp.1898-1914, DOI: 10.1016/j.polymdegradstab.2012.06.028.
- [3] X. Wang, S. Peng, H. Chen, et al. (2019), “Mechanical properties, rheological behaviors, and phase morphologies of high-toughness PLA/PBAT blends by in-situ reactive compatibilization”, *Composites Part B: Engineering*, **173**, DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.107028.
- [4] J. Ren, H. Fu, T. Ren, et al. (2009), “Preparation, characterization and properties of binary and ternary blends with thermoplastic starch, poly(lactic acid) and poly(butylene adipate-co-terephthalate)”, *Carbohydrate Polymers*, **77(3)**, pp.576-582, DOI: 10.1016/j.carbpol.2009.01.024.
- [5] M. Kumar, S. Mohanty, S.K. Nayak, et al. (2010), “Effect of glycidyl methacrylate (GMA) on the thermal, mechanical and morphological property of biodegradable PLA/PBAT blend and its nanocomposites”, *Bioresource Technology*, **101(21)**, pp.8406-8415, DOI: 10.1016/j.biortech.2010.05.075.
- [6] M. Shahdari, S. Lee (2012), “Mechanical and morphological properties of poly(butylene adipate co terephthalate) and poly(lactic acid) blended with organically modified silicate layers”, *Polymer Engineering & Science*, **52(7)**, pp.1420-1428, DOI: 10.1002/pen.23082.
- [7] G. Zhang, H. Li, W. Jiang, et al. (2024), “Functionalization of poly (butylene adipate-co-terephthalate) and its toughening effect on poly (lactic acid)”, *European Polymer Journal*, **206**, DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2024.112764.
- [8] Y. Zhang, S. Jia, H. Pan, et al. (2021), “Effect of glycidyl methacrylate-grafted poly(ethylene octene) on the compatibility in PLA/PBAT blends and films”, *Korean Journal of Chemical Engineering*, **38(8)**, pp.1746-1755, DOI: 10.1007/s11814-021-0809-1.
- [9] Y. Lyu, Y. Chen, Z. Lin, et al. (2020), “Manipulating phase structure of biodegradable PLA/PBAT system: Effects on dynamic rheological responses and 3D printing”, *Composites Science and Technology*, **200**, DOI: 10.1016/j.compscitech.2020.108399.
- [10] Z. Miao, L. Li, Y.H. Xie, et al. (2025), “Revisiting maleic anhydride-grafted biopolymers for improved compatibility and toughening of PLA/PBAT blends: Effects of molecular weight and grafting ratio”, *Polymer*, **320**, DOI: 10.1016/j.polymer.2025.128055.
- [11] K. Nam, S.G. Kim, D.Y. Kim, et al. (2024), “Enhanced mechanical properties of polylactic acid/poly(butylene adipate-co-terephthalate) modified with maleic anhydride”, *Polymers*, **16(4)**, DOI: 10.3390/polym16040518.
- [12] M. Nofar, R. Salehiyan, U. Ciftci, et al. (2020), “Ductility improvements of PLA-based binary and ternary blends with controlled morphology using PBAT, PBSA, and nanoclay”, *Composites Part B: Engineering*, **182**, DOI: 10.1016/j.compositesb.2019.107661.
- [13] X. Chen, Z. Zeng, Y. Ju, et al. (2023), “Design of biodegradable PLA/PBAT blends with balanced toughness and strength via interfacial compatibilization and dynamic vulcanization”, *Polymer*, **266**, DOI: 10.1016/j.polymer.2022.125620.
- [14] L.C. Arruda, M. Magaton, R.E.S. Bretas, et al. (2015), “Influence of chain extender on mechanical, thermal and morphological properties of blown films of PLA/PBAT blends”, *Polymer Testing*, **4327(37)**, DOI: 10.1016/j.polymertesting.2015.02.005.
- [15] N. Zhang, Q. Wang, J. Ren, et al. (2009), “Preparation and properties of biodegradable poly(lactic acid)/poly(butylene adipate-co-terephthalate) blend with glycidyl methacrylate as reactive processing agent”, *Journal of Materials Science*, **44(1)**, pp.250-256, DOI: 10.1007/s10853-008-3049-4.
- [16] T.A. Cooper (2013), “Developments in plastic materials and recycling systems for packaging food, beverages and other fast-moving consumer goods”, *Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition*, pp.58-107, DOI: 10.1533/9780857098979.58.
- [17] F. Luzi, L. Torre, J.M. Kenny, et al. (2019), “Bio and fossil-based polymeric blends and nanocomposites for packaging: Structure-property relationship”, *Materials*, **12(3)**, DOI: 10.3390/ma12030471.
- [18] Y.G. Fang, J.Y. Lin, Y.C. Zhang, et al. (2024), “A reactive compatibilization with the compound containing four epoxy groups for polylactic acid/poly(butylene adipate-co-terephthalate)/thermoplastic starch ternary bio-composites”, *International Journal of Biological Macromolecules*, **262**, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129998.
- [19] C. Aversa, M. Barletta, G. Cappiello, et al. (2022), “Compatibilization strategies and analysis of morphological features of poly(butylene adipate-co-terephthalate) (PBAT)/poly(lactic acid) PLA blends: A state-of-the-art review”, *European Polymer Journal*, **173**, DOI: 10.1016/j.eurpolymj.2022.111304.
- [20] X. Wang, H. Pan, S. Jia, et al. (2022), “In-situ reaction compatibilization modification of poly(butylene succinate-co-terephthalate)/polylactide acid blend films by multifunctional epoxy compound”, *International Journal of Biological Macromolecules*, **213**, pp.934-943, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2022.06.026.

Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng trong nuôi cấy tế bào gốc và ngân hàng tế bào gốc

Phạm Xuân Đà^{1,2*}, Hoàng Thành Chí³, Nguyễn Thị Hồng Hạnh⁴, Nguyễn Phước Vinh⁵, Bùi Thị Kim Lý^{5,6}, Vũ Văn Kiên^{5,7}

¹Trường Đại học Y Dược, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, phường Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Bệnh viện Giao thông Vận tải, 169 Huỳnh Thúc Kháng, phường Láng, Hà Nội, Việt Nam

³Đại học Y Dược TP. Hồ Chí Minh, 217 Hồng Bàng, phường Chợ Lớn, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

⁴Viện Kiểm nghiệm thuốc TP. Hồ Chí Minh, 200 Cô Bắc, phường Cầu Ông Lãnh, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

⁵Công ty TNHH Thương mại Dịch vụ Kỹ thuật Minh Khang, 20 Hoàng Minh Giám, phường Đức Nhuận, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

⁶Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai, 206 Nguyễn Khuyến, phường Trảng Dài, tỉnh Đồng Nai, Việt Nam

⁷Trường Đại học Y khoa Phạm Ngọc Thạch, 2 Dương Quang Trung, phường Hòa Hưng, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 1/10/2025; ngày chuyển phân biện 3/10/2025; ngày nhận phân biện 17/10/2025; ngày chấp nhận đăng 24/10/2025

Tóm tắt:

Việc thiết lập các tiêu chuẩn kiểm soát chất lượng trong các phòng nuôi cấy tế bào gốc và ngân hàng lưu trữ tế bào gốc đóng vai trò then chốt để đảm bảo an toàn, hiệu quả và khả năng ứng dụng lâm sàng của liệu pháp điều trị sử dụng tế bào gốc. Hệ thống này yêu cầu các tiêu chí nghiêm ngặt về: nguồn gốc tế bào, đặc tính sinh học, độ tinh khiết, tỷ lệ sống, khả năng biệt hóa, sự ổn định bộ gen, đánh giá chất lượng định kỳ, hồ sơ đầy đủ để truy xuất nguồn gốc. Các cơ sở nuôi cấy và ngân hàng tế bào gốc cần tuân thủ quy trình thực hành sản xuất tốt (GMP) và Thực hành mô tốt (GTP) để kiểm soát tối đa nguy cơ nhiễm bẩn và duy trì điều kiện nuôi cấy tối ưu. Bên cạnh đó, các vấn đề về đạo đức y sinh, quy trình sàng lọc người hiến tặng và việc tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế (FDA, EMA) là những yếu tố không thể thiếu nhằm đảm bảo chất lượng sản phẩm tế bào gốc. Trong bài báo này, các tiêu chuẩn để đánh giá chất lượng trong nuôi cấy tế bào gốc và ngân hàng tế bào gốc được trình bày cụ thể. Đặc biệt, các tiêu chuẩn cơ bản về cơ sở vật chất, nhận diện tế bào, đếm tế bào và đánh giá tỷ lệ sống, đánh giá an toàn vi sinh được mô tả cụ thể.

Từ khóa: kiểm soát chất lượng, tế bào gốc, tế bào gốc tạo máu, tế bào gốc trung mô.

Chỉ số phân loại: 1.6, 3.5

Quality control standards for stem cell culture and stem cell banking

Xuan Da Pham^{1,2*}, Thanh Chi Hoang³, Thi Hong Hanh Nguyen⁴, Phuoc Vinh Nguyen⁵, Thi Kim Ly Bui^{5,6}, Van Kien Vu^{5,7}

¹University of Medicine and Pharmacy, Vietnam National University, Hanoi, 144 Xuan Thuy Street, Cau Giay Ward, Hanoi, Vietnam

²Transport Hospital, 169 Huynh Thuc Khang Street, Lang Ward, Hanoi, Vietnam

³University of Medicine and Pharmacy at Ho Chi Minh City, 217 Hong Bang Street, Cho Lon Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

⁴Institute of Drug Quality Control Ho Chi Minh City, 200 Co Bac Street, Cau Ong Lanh Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

⁵Minh Khang Technical Service & Trading Co., Ltd., 20 Hoang Minh Giam Street, Duc Nhuan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

⁶Dong Nai Technology University, 206 Nguyen Khuyen Street, Trang Dai Ward, Dong Nai Province, Vietnam

⁷Pham Ngoc Thach University of Medicine, 2 Duong Quang Trung Street, Hoa Hung Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 1 October 2025; revised 17 October 2025; accepted 24 October 2025

Abstract:

Establishing quality control standards in stem cell culture facilities and stem cell banks plays a pivotal role in ensuring the safety, efficacy, and clinical applicability of stem cell-based therapies. This regulatory framework requires strict criteria, including cell origin, biological characteristics, purity, viability, differentiation potential, genomic stability, periodic quality assessments, and complete documentation for traceability. Stem cell culture facilities and stem cell banks must comply with Good Manufacturing Practice (GMP) and Good Tissue Practice (GTP) to minimise contamination risks and maintain optimal culture conditions. Additionally, biomedical ethics, donor screening procedures, and compliance with international regulatory standards (FDA, EMA) are essential for guaranteeing the quality of stem cell products. This article presents detailed quality control standards for stem cell culture and banking. Particular emphasis is placed on basic standards concerning facilities, cell authentication, cell counting and viability assessment, and microbiological safety evaluation.

Keywords: hematopoietic stem cells, mesenchymal stem cells, quality control, stem cells.

Classification numbers: 1.6, 3.5

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

1. Mở đầu

Cơ sở nuôi cấy và ngân hàng tế bào gốc đóng vai trò quan trọng trong nghiên cứu và ứng dụng lâm sàng trong y học tái tạo. Để đảm bảo chất lượng, an toàn và khả năng sống của tế bào gốc, cơ sở nuôi cấy và ngân hàng tế bào gốc cần tuân thủ nghiêm ngặt các biện pháp kiểm soát chất lượng (QC) ở mọi giai đoạn, từ thu nhận, xử lý tế bào đến lưu trữ và phân phối. Cơ sở phải tuân thủ các tiêu chuẩn quốc tế và quy định quốc gia để ngăn ngừa nhiễm bẩn, đảm bảo ổn định di truyền và duy trì tính toàn vẹn chức năng của tế bào gốc [1].

Ngân hàng tế bào gốc và cơ sở nuôi cấy đóng vai trò quan trọng trong sản xuất, bảo quản và phân phối tế bào gốc chất lượng cao cho nghiên cứu và ứng dụng lâm sàng. Việc áp dụng các quy trình QC mạnh mẽ là cần thiết [1, 2] để:

- Duy trì khả năng sống, khả năng biệt hóa và ổn định di truyền của tế bào.
- Ngăn ngừa nhiễm vi sinh và nhiễm chéo.
- Đảm bảo khả năng tái lập và tiêu chuẩn hóa sản phẩm tế bào gốc.
- Tuân thủ các yêu cầu quy định để chuyển giao lâm sàng.

Các cơ quan như Hiệp hội Nghiên cứu tế bào gốc quốc tế (ISSCR), Tổ chức Y tế Thế giới (WHO), Cục Quản lý Thực phẩm và Dược phẩm Hoa Kỳ (FDA), Cơ quan Dược phẩm châu Âu (EMA), Tổ chức Chứng nhận liệu pháp tế bào (FACT), Hội đồng Dược điển Hoa Kỳ (USP) đã thiết lập một số hướng dẫn về nuôi cấy và ngân hàng tế bào gốc [1-4]. Các tiêu chuẩn này bao gồm quy trình an toàn sinh học, yêu cầu tài liệu truy nguyên nguồn gốc và các vấn đề đạo đức sinh học để đảm bảo sản phẩm tế bào gốc đạt chất lượng cao và có thể truy xuất nguồn gốc khi có sự cố. Tuân thủ hướng dẫn giúp giảm thiểu rủi ro như nhiễm vi sinh, biến đổi di truyền và suy giảm chức năng của tế bào được lưu trữ [5].

Tại Việt Nam, năm 2020, Bộ Y tế đã ban hành Hướng dẫn nghiên cứu ứng dụng tế bào và sản phẩm từ tế bào kèm theo Quyết định số 4259/QĐ-BYT ngày 12/10/2020. Hướng dẫn này đưa ra các quy tắc chung cho nghiên cứu thử nghiệm lâm sàng tế bào gốc và sản phẩm từ tế bào gốc [6].

Cụ thể, để duy trì tiêu chuẩn cao, các cơ sở nuôi cấy và ngân hàng tế bào gốc phải thực hiện các biện pháp kiểm soát chất lượng [7], cụ thể như sau:

- Thiết kế cơ sở và kiểm soát môi trường: đáp ứng tiêu chuẩn phòng sạch (ISO 14644-1:2015, ISO 14644-3:2019) [8, 9], giám sát định kỳ chất lượng không khí, nhiệt độ và

độ ẩm.

- Nhận diện tế bào (Cell identity): nhận diện tế bào thông qua hình thái và các dấu ấn bề mặt, ví dụ: CD34+ cho tế bào gốc tạo máu.

- Đánh giá khả năng sống và chức năng: đếm tỷ lệ sống, chết và kiểm tra khả năng biệt hóa, ví dụ: biệt hóa 3 dòng cho tế bào gốc trung mô (MSC).

- An toàn vi sinh: kiểm tra vô trùng (vi khuẩn, nấm, mycoplasma) [10, 11], sàng lọc nội độc tố (endotoxin) và nhiễm virus [2, 12].

- Ổn định di truyền: phân tích nhiễm sắc thể để phát hiện bất thường [1].

- Tài liệu và truy xuất nguồn gốc: hồ sơ lô hàng, văn bản đồng ý của người hiến và tài liệu tuân thủ thực hành sản xuất tốt (GMP)/thực hành mô tốt (GTP) [2, 7].

Trong khuôn khổ bài báo này, chúng tôi trình bày các tiêu chuẩn kiểm soát chất lượng cơ bản áp dụng cho các cơ sở nuôi cấy tế bào gốc và ngân hàng tế bào gốc, bao gồm: đếm tế bào và xác định tỷ lệ sống chết, nhận diện tế bào, xét nghiệm phát hiện kháng nguyên kháng bạch cầu người trong máu (HLA typing), phân tích độ sạch (nhiễm vi khuẩn, nấm, mycoplasma, nội độc tố và virus), kiểm tra tiềm năng biệt hóa và độ ổn định di truyền.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Bài báo lựa chọn những tổ chức uy tín cao về quy định, tiêu chuẩn cho nuôi cấy tế bào và ngân hàng tế bào gốc, và được áp dụng rộng rãi bởi nhiều nước trên thế giới như FDA, EMA, FACT, WHO, ISSCR. Các hướng dẫn cụ thể liên quan đến nuôi cấy tế bào, ngân hàng tế bào gốc, trị liệu gen và tế bào theo các hướng dẫn phù hợp từ ISO, GMP, USP được sử dụng. Ngoài ra, các tài liệu tham khảo là các ấn phẩm đăng trên các tạp san uy tín và có lượt trích dẫn cao, sách chuyên khảo liên quan tới chủ đề được sử dụng để cho cái nhìn toàn cảnh và xuyên suốt. Tài liệu tham khảo là các tài liệu cập nhật, phản ánh các thông tin và tiêu chuẩn hiện hành.

Cấu trúc nội dung bài báo được xây dựng trên cơ sở các mục thông tin có tính thống nhất, đã được đề cập trong ít nhất hai tổ chức hoặc bộ tiêu chuẩn uy tín. Nghiên cứu sử dụng phương pháp liệt kê và tổng hợp.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Cơ sở vật chất và kiểm soát môi trường phòng sạch

Việc đảm bảo cơ sở vật chất tối thiểu về thiết bị, phòng ốc và đảm bảo môi trường phòng sạch là điều kiện tiên

quyết cho các cơ sở nuôi cấy tế bào và ngân hàng lưu trữ tế bào gốc. Việc thiết kế phòng thí nghiệm chuẩn, có các thiết bị phù hợp và có sẵn các quy trình chuẩn (SOP) theo tiêu chuẩn quốc tế GMP và theo hướng dẫn của FDA, EMA là một trong những thành tố giúp việc nuôi cấy, lưu trữ tế bào gốc hiệu quả và đảm bảo an toàn (hình 1, theo R.L. Wesselschmidt và cs (2011) [13]).



Hình 1. Bốn thành tố chính đảm bảo sự hoạt động hiệu quả của một trung tâm tế bào gốc: Thiết kế phòng thí nghiệm, nhân sự được đào tạo, thiết bị phù hợp và quy trình chuẩn (SOP) [13].

Cơ sở nuôi cấy và lưu trữ cần được phân vùng nghiêm ngặt, bao gồm các phân khu riêng [1-3, 7, 8].

- Khu vực sạch (phòng nuôi cấy, khu xử lý): khu vực này cần đảm bảo đạt tiêu chuẩn phòng sạch cấp độ A, B hoặc ISO 5.

- Khu vực bán sạch (khu lưu trữ, kiểm soát chất lượng): khu vực này cần đảm bảo đạt tiêu chuẩn sạch cấp độ C, D hoặc ISO 7, 8.

- Khu vực hỗ trợ (trang thiết bị, phòng thay đồ, khu xử lý chất thải).

- Thiết kế hướng di chuyển một chiều để ngăn ngừa nhiễm chéo.

Đối với hệ thống điều hòa, thông gió (HVAC - Heating, Ventilation, and Air Conditioning) và kiểm soát môi trường: phòng sạch cần được lắp hệ thống lọc khí HEPA, đạt tiêu chuẩn ISO 5 cho tủ thao tác sạch hoặc phòng sạch cho các hệ thống thao tác hở, và đạt ISO 7/8 cho khu vực phòng thí nghiệm thông thường. Mẫu không khí, bề mặt cần được lấy định kỳ để đảm bảo độ sạch phòng nuôi cấy và thao tác [7, 8].

Yêu cầu về trang thiết bị (R.L. Wesselschmidt và cs (2011) [13]):

Phòng nuôi cấy:

1. Tủ an toàn sinh học cấp II (BSC level II).
2. Tủ nuôi CO₂.
3. Pipet tự động.
4. Hệ bình chân không/hệ thống hút chân không.

5. Bể điều nhiệt (37°C).

6. Máy ly tâm tốc độ thấp (cấp lâm sàng, cho ly tâm tế bào).

7. Hệ thống lên men.

Phòng lưu trữ:

1. Kệ và tủ để trữ vật tư.
2. Tủ mát (4°C).
3. Tủ đông (-20°C, không xả đá tự động).
4. Tủ đông sâu (-70 đến -85°C).
5. Bình trữ mẫu nitrogen (lưu dưới -140°C).

Phòng QC:

1. PCR thời gian thực.
2. Máy đếm tế bào dòng chảy.
3. Kính hiển vi quang học đảo ngược.
4. Kính hiển vi phân pha (có thể trong khu thiết bị chung).
5. Kính hiển vi huỳnh quang (có thể trong khu thiết bị chung).
6. Máy đọc đĩa đa năng.
7. Máy đếm tỷ lệ tế bào sống, chết.
8. Máy phát hiện nhanh vi khuẩn, nấm (ví dụ: BACT/ALERT® 3D, bioMérieux).
9. Máy phát hiện nhanh mycoplasma (ví dụ: BIOFIRE® Mycoplasma, bioMérieux).

Phòng nuôi cấy cách ly:

Dùng cho các dòng tế bào mới hoặc tế bào/mô mới cô lập để tránh lây nhiễm cho cả quy trình. Thiết bị tương tự một phòng nuôi cấy nhưng không cần các bình lên men.

3.2. Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng tế bào gốc và ngân hàng tế bào gốc ở Việt Nam và trên thế giới

Có nhiều cơ quan quản lý và tổ chức khác nhau ban hành các quy định hoặc hướng dẫn kiểm tra chất lượng tế bào gốc và ngân hàng tế bào gốc. Trong đó, các cơ quan quản lý (FDA, EMA) [3, 14-16] yêu cầu tiếp cận hồ sơ CMC (Hóa học - Sản xuất - Kiểm soát) để giảm thiểu rủi ro, tập trung vào nhận dạng tế bào, độ tinh khiết, hiệu lực, độ an toàn (vi sinh, tác nhân ngoại lai, khả năng sinh u) và kiểm soát sản xuất; trong khi các hiệp hội và tổ chức tiêu chuẩn (ISSCR, FACT, ISO) [1, 17, 18] tập trung vào thực hành tốt, năng lực phòng thí nghiệm/ngân hàng tế bào gốc và khung công nhận - hỗ trợ nhưng không thay thế quy định pháp lý. Bảng 1 so sánh quy định về đánh giá chất lượng tế

Bảng 1. So sánh quy định về đánh giá chất lượng tế bào gốc ở một số cơ quan, tổ chức.

Tên cơ quan quản lý/tổ chức	Trọng tâm/yêu cầu chính trong đánh giá chất lượng tế bào gốc và tế bào trị liệu
FDA (Cục Quản lý Thực phẩm và Dược phẩm Hoa Kỳ)	Quy định pháp lý chặt chẽ cho HCT/P (sản phẩm tế bào, mô), yêu cầu rõ về định danh (identity) - độ sạch (purity) - hiệu lực (potency) - an toàn (safety) và tuân thủ GMP/cGTP.
EMA (Cơ quan Dược phẩm châu Âu)	Yêu cầu đầy đủ định danh - độ sạch - hiệu lực - an toàn, GMP cho sản phẩm trị liệu tiên tiến (ATMP), nhấn mạnh tính tương đương quy trình, kiểm soát nguyên liệu đầu vào, dữ liệu ổn định, phù hợp với sản phẩm quy mô nhỏ.
PMDA (Cơ quan Dược phẩm và Thiết bị Y tế, Nhật Bản)	Quy định sản phẩm y học tái tạo và trị liệu tế bào với GCTP (thực hành sản xuất tốt cho gen, tế bào và mô phiên bản Nhật), yêu cầu hiệu lực và an toàn virus rõ ràng.
NMPA (Cơ quan quản lý sản phẩm y tế quốc gia, Trung Quốc)/CDE (Trung tâm Thẩm định thuốc, Trung Quốc)	Hướng dẫn kỹ thuật hồ sơ CMC cho sản phẩm tế bào và tế bào gốc, yêu cầu kiểm tra chất lượng nguyên liệu, hiệu lực, an toàn, theo dõi dài hạn, chú trọng cải tiến quy định, yêu cầu dữ liệu rõ ràng về truy xuất và kiểm soát quá trình.
ISSCR (Hiệp hội Nghiên cứu Tế bào gốc Quốc tế)	Hướng dẫn khoa học và đạo đức, nhấn mạnh tính minh bạch trong phân tích và đánh giá nguy cơ.
ISO (Tổ chức Tiêu chuẩn hóa quốc tế) 20387 - Biobanking	Chuẩn đảm bảo năng lực ngân hàng tế bào gốc, tập trung vào tính toàn vẹn mẫu và truy xuất nguồn gốc, vận chuyển, truy xuất, phù hợp cho kiểm soát nguyên liệu đầu vào.
ISCT/FACT-JACIE (Foundation for the Accreditation of Cellular Therapy - Joint Accreditation Committee ISCT-Europe & EBMT)	Chuẩn công nhận cơ sở trị liệu tế bào, tập trung vào kiểm soát chất lượng và quy trình cho tế bào gốc tạo máu.

bào gốc và ngân hàng tế bào gốc ở một số cơ quan/tổ chức trên thế giới. Trong đó, tiêu chuẩn ISO 20387 [17] là một ví dụ điển hình tập trung cho ngân hàng tế bào gốc, đóng vai trò quan trọng trong đánh giá nguyên liệu đầu vào, ISCT/FACT-JACIE tập trung vào các tiêu chuẩn cho tế bào gốc tạo máu [18], FDA và EMA tập trung vào các quy định cho quy trình QC trong nuôi cấy, sản xuất. Tuy các quy định có sự khác biệt, nhưng có những tiêu chí chung xuyên suốt các cơ quan/tổ chức trên bao gồm: nhận diện tế bào, đánh giá hiệu lực, đánh giá an toàn, kiểm soát quá trình sản xuất và tiêu chí xuất xưởng [1, 3, 14-18].

Để đảm bảo chất lượng tế bào gốc trong trị liệu, ngoài phân tích các chỉ tiêu cụ thể bằng thiết bị chuyên dụng, các quy định về mặt hồ sơ truy xuất nguồn gốc, kiểm soát điều kiện lưu trữ, theo dõi điều kiện vận chuyển và SOP cho quá trình thu thập, tiền xử lý, xử lý, lưu trữ và vận chuyển mẫu đóng vai trò quan trọng quyết định chất lượng sản phẩm tế bào gốc [3, 16-18] (hình 2).

Tại Việt Nam, năm 2020, Bộ Y tế đã ban hành hướng dẫn nghiên cứu ứng dụng tế bào và sản phẩm từ tế bào kèm theo Quyết định số 4259/QĐ-BYT [6]. Ngoài ra, một số văn bản chính thức khác liên quan đến nghiên cứu, thử nghiệm lâm sàng, sử dụng tế bào gốc như Luật Dược 2016, 2024 [19, 20] xem tế bào và sản phẩm từ tế bào là thuốc sinh học (sinh phẩm) và Luật Khám chữa bệnh xem tế bào và sản phẩm từ tế bào là kỹ thuật mới, phương pháp mới. Trong Chương V, Nghị định số 96/2023/NĐ-CP ngày 30/12/2023 của Chính phủ quy định cụ thể về “Áp dụng kỹ thuật mới, phương pháp mới và thử nghiệm lâm sàng trong khám bệnh, chữa bệnh” [21]. Ngày 31/12/2023, Bộ trưởng Bộ Y tế ban hành Thông tư số 32/2023/TT-BYT có quy định về “Thực hành tốt thử kỹ thuật mới, phương pháp mới hoặc thử thiết bị y



Hình 2. Các giai đoạn trong thu thập, xử lý và bảo quản tế bào gốc.

tế trên lâm sàng” [22]. Quy định về việc thành lập, tổ chức và hoạt động của Hội đồng đạo đức trong nghiên cứu y sinh học cũng được làm rõ trong Thông tư số 43/2024/TT-BYT [23]. Tuy vậy, hiện nay vẫn chưa có văn bản hướng dẫn chi tiết các tiêu chí cho kiểm soát chất lượng tế bào gốc và sản phẩm từ tế bào cho Việt Nam. Vì vậy, ngày 6/10/2025, Cục Khoa học Công nghệ và Đào tạo, Bộ Y tế đã tổ chức Hội thảo “Xây dựng Tiêu chuẩn quốc gia đối với tế bào và sản phẩm từ tế bào sử dụng trong nghiên cứu” [24]. Sau Hội thảo, theo Thông báo số 1433/TB-BYT, các tài liệu ISO liên quan đã được các tổ chức quốc tế ban hành, sẽ được dịch và làm cơ sở xây dựng tiêu chuẩn quốc gia đối với tế bào và sản phẩm từ tế bào làm cơ sở triển khai nghiên cứu ứng dụng.

3.3. Nhận diện tế bào (Cell identity)

Nhiều xét nghiệm khác nhau được áp dụng để xác minh tế bào gốc trước khi lưu trữ, trong quá trình bảo quản và trước khi chuyển đến đơn vị lâm sàng. Nhận diện tế bào gốc giúp:

- Ngăn ngừa nhiễm chéo và nhận dạng sai dòng tế bào [25].

- Đảm bảo tính ổn định di truyền và độ nguyên vẹn cho ứng dụng lâm sàng và nghiên cứu [2].

Các phương pháp phổ biến để nhận diện tế bào gốc như sau:

Phân tích hình thái:

Khảo sát bằng kính hiển vi về hình dạng, kích thước và đặc tính bám dính của tế bào. Ví dụ, tế bào gốc trung mô (MSC) có dạng hình thoi trong khi tế bào gốc phôi (ESC) tạo thành cụm tế bào đặc [26].

Định danh miễn dịch (Flow cytometry và Immunostaining) [2, 7]:

- Flow cytometry: Sử dụng kháng thể huỳnh quang để phát hiện marker bề mặt đặc hiệu.

- Immunocytochemistry (ICC): Nhuộm tế bào bằng kháng thể đặc hiệu dòng.

Marker tiêu biểu: Tế bào gốc tạo máu (HSC): CD34+, CD45+; Tế bào gốc trung mô (MSC): CD73+, CD90+, CD105+ và âm tính với CD45, CD34, CD14, CD19, HLA-DR; Tế bào gốc vạn năng (iPSC/ESC): dương tính với OCT4, SSEA-4, TRA-1-60.

Phân tích STR (Short Tandem Repeat):

- Phương pháp lấy dấu vân tay di truyền để xác thực nguồn gốc tế bào gốc.

Bảng 2. Những xét nghiệm bắt buộc cho ngân hàng tế bào gốc dây rốn.

Xét nghiệm	Mẫu máu dây rốn			Mẫu từ người mẹ
	Tiền xử lý (kết thúc thu mẫu)	Sau xử lý, trước trữ lạnh	Bắt cứ khi nào trước khi trữ lạnh Áp dụng với mẫu phù hợp và ở thời điểm trước khi lên danh sách (listing)	
			Mẫu rửa đông hoặc mẫu đại diện trước khi đưa tới đơn vị lâm sàng	Áp dụng với mẫu phù hợp và ở thời điểm trước khi đưa tới đơn vị lâm sàng
				Thực hiện trong bảy ngày trước hoặc sau khi thu mẫu máu cường rốn
Đếm tế bào				
Đếm tế bào máu tổng số	X			
Đếm tổng tế bào có nhân		X		Nên thực hiện
Tổng CD34		X		
Tổng CD34 sống		X		Nên thực hiện
Đếm tế bào sống				
% tế bào có nhân sống		X		X
% CD34 sống				X
CFU hoặc xét nghiệm hiệu lực (validated potency assay)		Nên thực hiện		X
HLA typing				
Độ phân giải thấp: HLA-A, HLA-B, HLA-DRB1			X	
Độ phân giải thấp: HLA-C			Nên thực hiện	
Độ phân giải cao: HLA-A, HLA-B, HLA-DRB1				X
Độ phân giải cao: HLA-C				♦
Xét nghiệm định danh xác nhận			X	
Bệnh truyền nhiễm				
HIV 1			X	X
HIV 2			X	X
Viêm gan B			X	X
Viêm gan C			X	X
HTLV I			X	X
HTLV II			X	X
Bệnh giang mai			X	X
CMV			X	X
Những xét nghiệm khác				
Nuôi cấy vi sinh		X		
Nhóm máu ABO/Rh		X		
Bệnh lý huyết sắc tố (Hemoglobinopathy)				♦

X: áp dụng cho tất cả đơn vị máu; ♦: chỉ áp dụng cho những người không cùng huyết thống [5].

- Phát hiện tình trạng nhiễm chéo hoặc nhận dạng sai bằng cách so sánh với STR mẫu.

- Được khuyến cáo áp dụng cho tất cả dòng tế bào người trước khi lưu trữ và sau nuôi cấy dài hạn [25].

Những yêu cầu về xét nghiệm định danh tế bào và thông số kỹ thuật đạt yêu cầu cho một đơn vị máu lưu trữ được trình bày chi tiết trong bảng 2 và 3.

Bảng 3. Thông số yêu cầu cho các đơn vị lưu trữ tế bào gốc dây rốn [5].

Xét nghiệm	Thông số cho người không cùng huyết thống		Thông số cho người có cùng huyết thống	
	Sau xử lý, trước trữ lạnh	Mẫu rã đông hoặc mẫu đại diện trước khi chuyển cho đơn vị lâm sàng	Sau xử lý, trước trữ lạnh	Mẫu rã đông hoặc mẫu đại diện trước khi chuyển cho đơn vị lâm sàng
Đếm tổng số tế bào có nhân	$\geq 5,0 \times 10^8$		Ghi số liệu	
Tổng số tế bào có nhân sau lưu đông	Nên $\geq 60\%$		Nên $\geq 60\%$	
Tỷ lệ sống tế bào có nhân	$\geq 85\%$		$\geq 70\%$	
Số tế bào CD34	$\geq 1,25 \times 10^6$			
Tỷ lệ sống tế bào CD34		$\geq 70\%$		
CFU (hay phương pháp xét nghiệm hiệu lực đã thẩm định)		Phát triển CFU hoặc dương tính cho kiểm tra potency		Phát triển CFU hoặc dương tính cho kiểm tra potency
Tầm soát vi sinh	Âm tính cho vi khuẩn hiếu khí, kỵ khí và nấm		Âm tính cho vi khuẩn hiếu khí, kỵ khí và nấm hoặc định danh và cho thấy nhạy cảm với kháng sinh	
Tầm soát nguồn cho	Được chấp nhận theo luật sở tại và tiêu chuẩn NetCord-FACT		Được chấp nhận theo luật sở tại và tiêu chuẩn NetCord-FACT	
Nhận dạng		Được nhận diện		Được nhận diện

Theo NetCord-FACT, 2019 [5].

3.4. Đếm tế bào, đánh giá khả năng sống, mức độ sạch và chức năng

Các cơ sở nuôi cấy và ngân hàng tế bào gốc phải thường xuyên đánh giá số lượng, khả năng sống và chức năng của tế bào để đảm bảo chất lượng, an toàn và hiệu quả của các mẻ tế bào được lưu trữ và xử lý. Những đánh giá này giúp xác định tình trạng sức khỏe tế bào, tiềm năng tăng sinh và khả năng biệt hóa trước khi ứng dụng trong điều trị hoặc nghiên cứu [5].

Đếm tế bào:

a. Đếm tế bào thủ công (Hemocytometer)

- Sử dụng buồng đếm Neubauer và kính hiển vi.

- Yêu cầu nhuộm Trypan Blue để phân biệt tế bào sống/ chết.

- Phù hợp cho đánh giá thường quy nhưng dễ sai số do con người [26, 27].

b. Đếm bằng máy

- Máy đếm tế bào tự động kiểu Coulter hoặc hệ thống dựa trên hình ảnh cho kết quả chính xác.

- Flow cytometry cho phép phân tích quy mô lớn [4], giúp giảm sai số và nâng cao độ chính xác trong ngân hàng tế bào gốc [26].

Đánh giá khả năng sống của tế bào:

a. Phương pháp loại trừ thuốc nhuộm [7]

- Trypan Blue: Tế bào chết bắt màu, tế bào sống không bắt màu.

- Propidium Iodide (PI): Dùng trong Flow cytometry để kiểm tra tính toàn vẹn màng tế bào.

b. Phân tích khả năng sống bằng Flow cytometry

- Sử dụng thuốc nhuộm huỳnh quang (Annexin V/PI, 7-AAD) để phân biệt tế bào sống, chết theo chương trình và hoại tử [2].

- Phương pháp này cung cấp đánh giá định lượng nhanh chóng [4, 28].

Kiểm tra độ sạch tế bào và sản phẩm từ tế bào:

Tùy thuộc vào loại tế bào gốc và ứng dụng, những giới hạn về độ sạch, bao gồm tỷ lệ tế bào không phải đích, tác nhân nhiễm trong quá trình nuôi cấy như huyết thanh, yếu tố tăng trưởng, kháng sinh, cytokine, tác nhân virus cần được kiểm soát chất lượng trước khi đưa sản phẩm vào sử dụng [29].

Kiểm tra chức năng tế bào gốc:

a. Đánh giá khả năng biệt hóa: ví dụ, tế bào gốc trung mô: biệt hóa thành tế bào mỡ, xương và sụn; tế bào gốc đa năng (iPSC/ESC): tạo ra tế bào thuộc cả ba lớp phôi [26].

b. Xét nghiệm CFU (tạo cụm tế bào):

- Đánh giá khả năng tự làm mới và tăng sinh.

- Áp dụng cho tế bào gốc tạo máu trong môi trường bán rắn [2, 7].

c. Thử nghiệm tạo u *in vivo* (Teratoma Formation Assay): giúp đánh giá tính đa năng bằng cách cấy tế bào vào chuột suy giảm miễn dịch. Đây là tiêu chuẩn vàng cho iPSC và ESC [2, 7].

Cho tế bào gốc từ dây rốn, các tiêu chí về tổng số tế bào tối thiểu, tỷ lệ sống và tỷ lệ tế bào dương tính CD34 cho tế bào gốc tạo máu được liệt kê cụ thể trong bảng 3.

3.5. Kiểm tra tính an toàn

Kiểm tra tính an toàn bao gồm vi khuẩn, nấm, nội độc tố, mycoplasma [29, 30]. Tiêu chí QC tế bào gốc và sản phẩm từ tế bào trong trị liệu có sự khác biệt về mức độ phụ thuộc vào mức độ can thiệp và nguồn gốc tế bào [31]. Nhìn chung, tế bào tự thân và can thiệp tối thiểu sẽ trải qua quy trình kiểm soát chất lượng đơn giản nhất, tiếp tới là tế bào dị thân và can thiệp tối thiểu (không nuôi tăng sinh) (bảng 3), sau đó là tế bào có trải qua nuôi tăng sinh *ex vitro* hoặc cảm ứng (bảng 4). Trong trường hợp thuốc RegeneCyte (StemCyte) [32], là liệu pháp ghép tế bào gốc tạo máu đồng loài từ ngân hàng máu dây rốn thì các tiêu chí kiểm soát chất lượng sẽ tương tự như bảng 2, không bao gồm kiểm tra mycoplasma và nội độc tố. Đối với thuốc Omisirge (Gamida Cell) [33], là liệu pháp tế bào ghép tế bào gốc tạo máu đồng loài có trải qua nuôi cấy tăng sinh thì cần kiểm tra thêm khả năng nhiễm mycoplasma và nội độc tố trước khi xuất xưởng. Tương tự, cho liệu pháp tế bào gốc trung mô Ryoncil [34], có trải qua nuôi cấy tăng sinh thì tiêu chí kiểm tra âm tính với mycoplasma và nội độc tố ≤ 5 EU/ml là bắt buộc trong quy trình được FDA chấp thuận (bảng 4).

Phương pháp kiểm tra vô trùng:

a. Phương pháp nuôi cấy trực tiếp [10]

- Mẫu được cấy vào hai loại môi trường dinh dưỡng:

+ Môi trường Fluid Thioglycollate (FTM) - Phát hiện vi khuẩn kỵ khí và một số vi khuẩn hiếu khí.

+ Môi trường Tryptic Soy Broth (TSB) hoặc Soybean-Casein Digest - Phát hiện nấm và vi khuẩn hiếu khí.

- Ủ ở 32-35°C cho vi khuẩn và 20-25°C cho nấm trong 14 ngày.

Bảng 4. Tiêu chí xuất xưởng sản phẩm cuối cùng Ryoncil (MSC) theo quy định của FDA.

Thuộc tính	Kiểm tra	Phương pháp	Tiêu chí chấp nhận
Hình thức	Hạt lơ lửng	Kiểm tra trực quan	Dung dịch trong đến hơi đục, không có hạt nhìn thấy bằng mắt thường
	Độ kín của bao bì	Thử nghiệm thẩm thấu nhuộm hoặc đo áp suất chân không	Không rò rỉ hoặc hư hỏng bao bì
Nhân diện tế bào	Biểu hiện CD166 ⁺	Flow cytometry	$\geq 95\%$ tế bào dương tính
	Biểu hiện CD105 ⁺	Flow cytometry	$\geq 95\%$ tế bào dương tính
	Biểu hiện CD45 ⁻	Flow cytometry	$\leq 2\%$ tế bào dương tính
Hiệu lực	Thử nghiệm ức chế IL-2R α (CD25)	Phép thử đồng nuôi cấy (ức chế tế bào T)	$\geq 70\%$ ức chế biểu hiện IL-2R α so với đối chứng
	Thử nghiệm ức chế TNF- α	ELISA định lượng cytokine	$\geq 50\%$ giảm tiết TNF- α so với đối chứng
Tỷ lệ sống	Độ sống của tế bào	Nhuộm Trypan blue hoặc Flow cytometry (7-AAD)	$\geq 85\%$ tế bào sống
Nồng độ tế bào	Tổng số tế bào sống	Máy đếm tế bào tự động	$\geq 6,68 \times 10^6$ tế bào/ml
Độ tinh khiết	Protein BSA còn lại	ELISA	≤ 100 ng/ml
	Trypsin còn lại	ELISA	≤ 10 ng/ml
An toàn	Vô khuẩn trong quá trình sản xuất	USP <71> Kiểm tra vô khuẩn hoặc tương đương	Âm tính
	Vô khuẩn thành phẩm	USP <71> Kiểm tra vô khuẩn hoặc tương đương	Âm tính
	Mycoplasma	Nuôi cấy hoặc phương pháp thay thế	Âm tính
	Nội độc tố	Thử nghiệm LAL	≤ 5 EU/ml

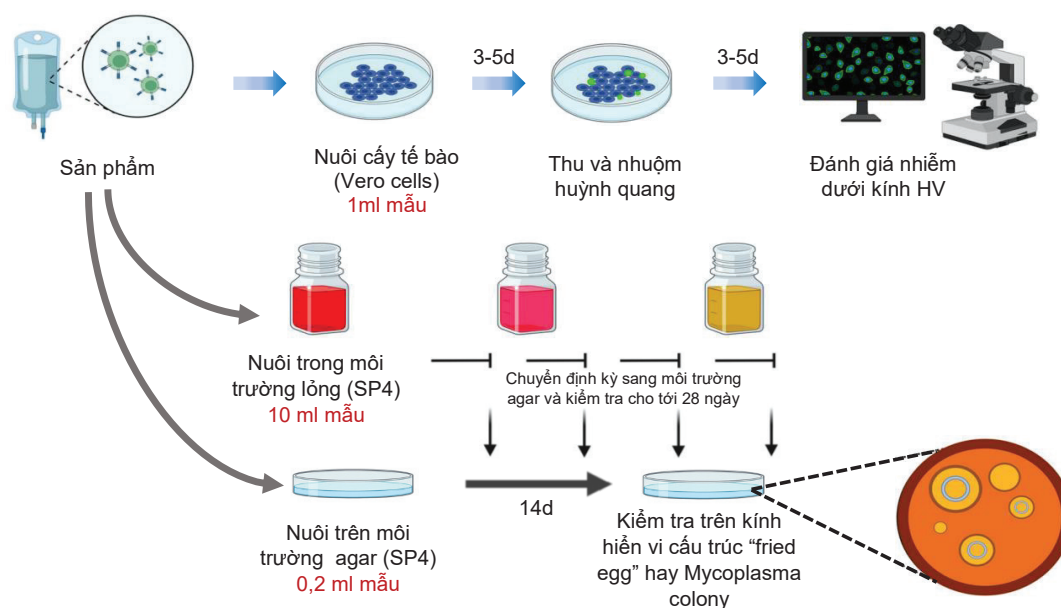
- Yêu cầu: không có sự phát triển của vi khuẩn, nấm.

b. Hệ thống phát hiện vi sinh tự động

Các phương pháp kiểm tra dựa trên nuôi cấy truyền thống yêu cầu 14 ngày và do đó chỉ phù hợp cho các sản phẩm liệu pháp tế bào có thời hạn sử dụng dài (ví dụ: tiếp sau bảo quản lạnh). Nhiều liệu pháp tế bào có thời hạn sử dụng ngắn và phải được chuyển đến bệnh nhân trước khi có kết quả kiểm tra 14 ngày. Do đó, các phương pháp thay thế đã được áp dụng để kiểm tra vô trùng bao gồm sử dụng hệ thống BacT/ALERT (bioMérieux) và Bactec (BD) để phát hiện sự phát triển của vi sinh vật thông qua những thay đổi về chuyển hóa [3, 7].

Kiểm tra nội độc tố:

Nội độc tố, chủ yếu là lipopolysaccharide từ vi khuẩn Gram âm, có thể kích hoạt phản ứng viêm ở bệnh nhân nhận liệu pháp tế bào gốc [4].



Hình 3. Phương pháp nuôi cấy kiểm tra nhiễm Mycoplasma [35].

Mức độ nhiễm nội độc tố phải $\leq 0,5$ EU/ml đối với sản phẩm tiêm truyền hoặc $\leq 5,0$ EU/ml đối với liệu pháp tế bào không dùng đường tĩnh mạch [3, 12]. Nếu mức độ nội độc tố vượt quá giới hạn, lô sản phẩm phải được kiểm tra lại hoặc loại bỏ.

Kiểm tra Mycoplasma:

Nhiễm mycoplasma là mối quan tâm lớn trong nuôi cấy tế bào vì nó có thể làm thay đổi biểu hiện gen, chuyển hóa và sự phát triển tế bào, đồng thời làm sai lệch phát hiện do mất thành tế bào và gây ảnh hưởng lớn đến kết quả lâm sàng cũng như nghiên cứu [2, 7, 26].

Để kiểm tra nhiễm mycoplasma, có thể dùng phương pháp nuôi cấy [11, 35] (hình 3). Phương pháp truyền thống này cần 28 ngày nuôi cấy. Vì vậy, phương pháp kiểm tra nhanh dựa trên PCR được sử dụng [11], như BIOFIRE® Mycoplasma (bioMérieux) [35].

Ngoài ra, kiểm tra virus cho các bệnh truyền nhiễm cho các đơn vị tế bào gốc máu trước khi lên danh sách và tầm soát nguồn cho từ người mẹ cần được thực hiện trong vòng 7 ngày trước hoặc sau khi thu tế bào gốc [5] (bảng 2).

3.6. Đánh giá ổn định di truyền

Ổn định di truyền là một thuộc tính chất lượng quan trọng đối với các sản phẩm tế bào, đặc biệt là tế bào gốc trung mô được nuôi cấy mở rộng nhiều lần cấy truyền, tế bào gốc cảm ứng đa năng và tế bào gốc phôi. Trong quá trình nuôi cấy *in vitro*, các tế bào có nguy cơ phát sinh bất

thường nhiễm sắc thể, lệch bội, tái sắp xếp cấu trúc, biến đổi số lượng bản sao (CNV) và đột biến soma, ảnh hưởng đến độ đặc hiệu sinh học, an toàn và tính đồng nhất giữa các lô sản phẩm [1, 3, 7, 36-38]. Những biến đổi này cũng làm tăng nguy cơ tăng sinh bất thường hoặc sinh khối u, vì vậy đánh giá ổn định di truyền là một thành phần bắt buộc trong quản lý chất lượng của các sản phẩm thuốc tiên tiến (ATMP) [1-3, 36].

Sau đây là một số phương pháp thường dùng để đánh giá ổn định di truyền trong tế bào nuôi cấy:

Karyotyping:

Phân tích karyotype G-banding giúp phát hiện bất thường số lượng và cấu trúc nhiễm sắc thể, bao gồm lệch bội, chuyển đoạn, mất đoạn và lặp đoạn [1]. Cần thực hiện phân tích karyotyping sau mỗi 5-10 lần cấy truyền trong nuôi cấy tế bào gốc [26] hoặc sau khi bảo quản tế bào trong thời gian dài [4].

Array-CGH (Comparative Genomic Hybridisation)/ SNP Array:

Kỹ thuật độ phân giải cao này cho phép phát hiện các biến đổi bản sao/SNP mà karyotype cổ điển không thể thấy [36].

Giải trình tự toàn bộ gen:

Giải trình tự toàn bộ hoặc giải trình tự thế hệ mới (NGS) giúp phát hiện đột biến điểm, biến đổi cấu trúc, và tổng tải đột biến trong toàn bộ bộ gen [38].

Đo chiều dài telomere và marker lão hóa:

Theo dõi telomere và các marker liên quan đến lão hóa giúp phát hiện stress sao chép hoặc tăng sinh bất thường, bổ sung cho đánh giá di truyền [1].

Đánh giá khả năng sinh u và tăng sinh bất thường:

Các thử nghiệm chức năng để phát hiện tăng sinh không kiểm soát hoặc nguy cơ biến đổi thành khối u đặc biệt quan trọng với tế bào nuôi nhiều lần cấy truyền hoặc tế bào biến đổi gen [3].

Đánh giá ổn định di truyền thường được tiến hành ở các thời điểm quan trọng trong quá trình nuôi cấy: Master cell bank (Ngân hàng tế bào ban đầu - P0 hoặc các lần cấy truyền sớm); các lần cấy truyền trung gian; sản phẩm cuối cùng (trước khi truyền cho bệnh nhân). Các tiêu chí chấp nhận thường bao gồm: không có lệch bội hoặc bất thường cấu trúc nhiễm sắc thể, không có sự tăng sinh bất thường trong quần thể tế bào, duy trì tính toàn vẹn của bộ gen qua các lần cấy truyền. Ngoài ra, so sánh giữa các lô sản xuất cũng được thực hiện để đảm bảo tính nhất quán của quy trình [36, 38].

4. Kết luận

Kiểm soát chất lượng trong nuôi cấy và lưu trữ tế bào gốc là yếu tố quan trọng để đảm bảo tính an toàn, hiệu quả và độ tin cậy của các sản phẩm tế bào gốc phục vụ nghiên cứu và ứng dụng lâm sàng. Các biện pháp kiểm soát chất lượng nghiêm ngặt, bao gồm kiểm tra độ vô trùng, nội độc tố, mycoplasma, đánh giá tính ổn định di truyền và xác thực chức năng, giúp duy trì tính toàn vẹn của dòng tế bào gốc. Việc tuân thủ các tiêu chuẩn quy định quốc tế như FDA, EMA, ISO, WHO và ISCT, đảm bảo rằng các sản phẩm tế bào gốc đáp ứng các yêu cầu nghiêm ngặt về an toàn và hiệu quả điều trị.

Bằng cách thực hiện các quy trình kiểm soát chất lượng tiêu chuẩn, các cơ sở nuôi cấy có thể ngăn ngừa nhiễm bẩn, biến đổi di truyền và nhầm lẫn dòng tế bào, từ đó nâng cao tính tái lập và đảm bảo an toàn cho bệnh nhân. Khi các liệu pháp tế bào gốc ngày càng phát triển, việc chuẩn hóa các phương pháp kiểm soát chất lượng sẽ đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa sản xuất và lưu trữ tế bào gốc, góp phần thúc đẩy phát triển các sản phẩm tế bào gốc đáp ứng yêu cầu ứng dụng lâm sàng.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả cảm ơn Trường Đại học Y Dược, Đại học Quốc gia Hà Nội và Công ty TNHH Thương mại Dịch vụ Kỹ thuật Minh Khang đã hỗ trợ kinh phí cho bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] ISSCR (2021), *ISSCR Guidelines for Stem Cell Research and Clinical Translation*, Version 1.0, 72pp.
- [2] FDA (2022), Regulation of Human Cells, Tissues, and Cellular and Tissue-Based Products (HCT/PS), *Small Entity Compliance Guide* (Docket No. FDA-2022-D-0563), FDA/CBER, 20pp.
- [3] EMA (2017), *Guidelines on Good Manufacturing Practice Specific to Advanced Therapy Medicinal Products*, European Commission, 82pp.
- [4] WHO (2022), *WHO Approach Towards The Development of a Global Regulatory Framework for Cell and Gene Therapy Products*, 28pp.
- [5] Foundation for The Accreditation of Cellular Therapy (FACT) (2019), *NetCord-FACT International Standards for Cord Blood Collection, Banking, and Release for Administration*, 7th Edition, 10pp.
- [6] Ministry of Health of Vietnam (2020), *Decision No. 4259/QĐ-BYT on The Issuance of Guidelines for Research and Application of Cells and Cell-based Products in Vietnam* (in Vietnamese).
- [7] F.A. Khan (ed.) (2022), *Stem Cell Production: Processes, Practices and Regulations*, Springer, Singapore, 277pp.
- [8] ISO (2015), *ISO 14644-1:2015 Cleanrooms and Associated Controlled Environments - Part 1: Classification of Air Cleanliness by Particle Concentration*, International Organisation for Standardisation, 44pp.
- [9] ISO (2019), *ISO 14644-3:2019 Cleanrooms and Associated Controlled Environments - Part 3: Test Methods*, International Organisation for Standardisation, 72pp.
- [10] USP (2013), *United States Pharmacopeia <71> Sterility Tests*.
- [11] USP (2022), *United States Pharmacopeia <63> Mycoplasma Tests*.
- [12] USP (2018), *United States Pharmacopeia <85> Bacterial Endotoxin Test*.
- [13] R.L. Wesselschmidt, P.H. Schwartz (2011), "The stem cell laboratory: Design, equipment, and oversight", *Methods Mol. Biol.*, **767**, pp.3-13, DOI: 10.1007/978-1-61779-201-4_1.
- [14] FDA (2020), *Chemistry, Manufacturing, and Control (CMC) Information for Human Gene Therapy Investigational New Drug Applications (INDs)*, Guidance for Industry, FDI/ CBER, 56pp.
- [15] FDA (2011a), *Potency Tests for Cellular and Gene Therapy Products*, Guidance for Industry, FDA/CBER, 19pp.
- [16] FDA (2011b), *Current Good Tissue Practice (CGTP) and Current Good Manufacturing Practice (cGMP) for Human Cells, Tissues, and Cellular and Tissue-based Products (HCT/PS)*, FDA/ CBER, 21 CFR Part 1271.

- [17] ISO (2018a), *ISO 20387:2018 Biotechnology - Biobanking - General Requirements for Biobanking*, International Organisation for Standardisation, 36pp.
- [18] FACT-JACIE (2021), *International Standards for Hematopoietic Cellular Therapy Product Collection, Processing, and Administration*, 8th Edition, ver 8.1, Foundation for The Accreditation of Cellular Therapy - Joint Accreditation Committee ISCT-EBMT, 168pp.
- [19] National Assembly of Vietnam (2016), *Law on Pharmacy (Pharmaceutical Law)*, No. 105/2016/QH13 (in Vietnamese).
- [20] National Assembly of Vietnam (2024), *Law Amending and Supplementing a Number of Articles of The Pharmacy Law*, No. 44/2024/QH15 (in Vietnamese).
- [21] Government of Vietnam (2023), *Decree No. 96/2023/ND-CP on The Application of New Techniques, New Methods, and Clinical Trials in Medical Examination and Treatment*, issued on 30 December 2023 (in Vietnamese).
- [22] Ministry of Health of Vietnam (2023), *Circular No. 32/2023/TT-BYT on Good Practice for Testing of New Techniques, New Methods, or Medical Devices in Clinical Settings*, issued on 31 December 2023 (in Vietnamese).
- [23] Ministry of Health of Vietnam (2024), *Circular No. 43/2024/TT-BYT on The Establishment, Organisation, and Operation of Ethics Committees in Biomedical Research*, issued on 12 December 2024 (in Vietnamese).
- [24] Department of Science, Technology and Training - Ministry of Health (2025), “Workshop on developing national standards for cells and cell-derived products used in research”, <https://asttmoh.vn/hoi-thao-xay-dung-tieu-chuan-quoc-gia-cho-te-bao-va-san-pham-tu-te-bao-su-dung-trong-nghien-cuu/>, accessed 20 October 2024 (in Vietnamese).
- [25] C.T. Korch, E.M. Hall, W.G. Dirks, et al. (2021), “Human cell line authentication. standardization of short tandem repeat (STR) profiling”, ASN-0002, by American National Standards Institute - American Type Culture Collection Standards Development Organisation, <https://webstore.ansi.org/Standards/ATCC/ansiatccasn00022021>, accessed 1 September 2025.
- [26] S. Viswanathan, R. Ciccocioppo, J. Galipeau, et al. (2021), “Consensus international Council for Commonality in Blood Banking Automation-International Society for Cell & Gene Therapy statement on standard nomenclature abbreviations for the tissue of origin of mesenchymal stromal cells”, *Cytotherapy*, **23**, pp.1060-1063, DOI: 10.1016/j.jcyt.2021.04.009.
- [27] ISO (2018b), *ISO 20391-1:2018 Biotechnology - Cell Counting - Part 1: General Guidance on Cell Counting Methods*, International Organisation for Standardisation, 11pp.
- [28] WHO (2016), *WHO Good Manufacturing Practices for Biological Products*, Annex 2, TRS No. 999 (Replacement of Annex 1 of WHO Technical Report Series No. 822), <https://www.who.int/publications/m/item/annex-2-trs-no-999-who-gmp-for-biological-products>, accessed 1 September 2025.
- [29] USP (2024), *United States Pharmacopeia <1046> Cell-based Advanced Therapies and Tissue-based Products*.
- [30] ISO (2021), *ISO 23033:2021 Biotechnology - Analytical Methods - General Requirements and Considerations for The Testing and Characterization of Cellular Therapeutic Products*, International Organisation for Standardisation, 42pp.
- [31] https://dgda.portal.gov.bd/sites/default/files/files/dgda.portal.gov.bd/policies/12294140_ab98_4f7a_b168_6b848fbef08c/2022-05-17-03-27-16de5ff104ca5aeb43529ff46f8b27f3.pdf, accessed 20 October 2025.
- [32] FDA (2024a), *Summary Basis for Regulatory Action - REGENECYTE*, issued November, 2024, FDA/CBER, 17pp.
- [33] FDA (2023), *Summary Basis for Regulatory Action - OMISIRGE*, issued on 17 April, 2023, FDA/CBER, 21pp.
- [34] FDA (2024b), *Summary Basis for Regulatory Action - RYONCIL*, Issued December 18, 2024, FDA/CBER, 23pp.
- [35] A.H. Totten, A.J. Adams, H.K. Halas, et al. (2023), “Comparison of Five Commercial Molecular Assays for Mycoplasma Testing of Cellular Therapy Products”, *J. Clin. Microbiol.*, **61**, DOI: 10.1128/jcm.01498-22.
- [36] G.E. Leonov, L.R. Grincevskaya, O.V. Makhnach, et al. (2025), “Safety assessment of stem cell-based therapies: Current standards and advancing frameworks”, *Cells*, **14(21)**, 1660, DOI:10.3390/cells14211660.
- [37] PMDA (2019), *Guidelines for Cell and Gene Therapy Products*, Pharmaceuticals and Medical Devices Agency, Japan.
- [38] FDA (2024c), *Safety Testing of Human Allogeneic Cells Expanded for Use in Cell-based Medical Products - Draft Guidance for Industry*, FDA/CBER, 14pp.

Nghiên cứu nhân giống loài Lan Hoàng thảo Thái Bình (*Dendrobium moschatum* Buch.-Ham. ex Sw.) bằng phương pháp nuôi cấy *in vitro*

Julieta Albano Tiago¹, Phạm Phương Thu^{2*}, Nguyễn Thị Tuyết Nhung²,
Phan Thị Thu Hiền², Vũ Thị Thương², Nguyễn Thị Tình¹

¹Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Thái Nguyên, phường Quyết Thắng, tỉnh Thái Nguyên, Việt Nam

²Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2, 32 Nguyễn Văn Linh, phường Xuân Hòa, tỉnh Phú Thọ, Việt Nam

Ngày nhận bài 24/2/2025; ngày chuyển phản biện 26/2/2025; ngày nhận phản biện 17/3/2025; ngày chấp nhận đăng 21/3/2025

Tóm tắt:

Nhằm xác định môi trường nuôi cấy tối ưu để nhân giống *in vitro* cây Lan Hoàng thảo Thái Bình (*Dendrobium moschatum* Buch.-Ham. ex Sw.), một loài lan quý hiếm đang đối mặt với nguy cơ tuyệt chủng, nghiên cứu này đã đánh giá tác động của các chất điều hòa sinh trưởng (GA₃, BAP, TDZ, NAA) và than hoạt tính đến các giai đoạn sinh trưởng quan trọng như nảy mầm, tái sinh chồi và ra rễ trước khi tạo cây con hoàn chỉnh. Các thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện phòng thí nghiệm. Kết quả cho thấy, môi trường Murashige & Skoog (MS), bổ sung 3% sucrose, 5 g/l agar, duy trì pH 5,8±0,1 cho tỷ lệ nảy mầm cao nhất (89,67%). Ở giai đoạn tái sinh chồi, BAP 3,0 mg/l giúp gia tăng hiệu quả hình thành chồi, đạt 4,25 chồi/mẫu. Trong giai đoạn ra rễ, môi trường có bổ sung 0,2 mg/l NAA và 2,0 g/l than hoạt tính đạt hiệu suất ra rễ tốt nhất. Những kết quả này góp phần hoàn thiện quy trình nhân giống *in vitro* cây Lan Hoàng thảo Thái Bình, hỗ trợ công tác bảo tồn và phát triển nguồn gen loài lan quý này.

Từ khóa: auxin, cytokinin, *Dendrobium moschatum*, nhân giống *in vitro*, nuôi cấy mô.

Chỉ số phân loại: 1.6, 4.1, 4.6

Research on the *in vitro* propagation of *Dendrobium moschatum* Buch.-Ham. ex Sw.

Julieta Albano Tiago¹, Phuong Thu Pham^{2*}, Thi Tuyen Nhung Nguyen², Thi Thu Hien Phan²,
Thi Thuong Vu², Thi Tinh Nguyen¹

¹Thai Nguyen University of Agriculture and Forestry, Thai Nguyen University, Quyet Thang Ward, Thai Nguyen Province, Vietnam

²Hanoi Pedagogical University 2, 32 Nguyen Van Linh Street, Xuan Hoa Ward, Phu Tho Province, Vietnam

Received 24 February 2025; revised 17 March 2025; accepted 21 March 2025

Abstract:

To determine the optimal culture conditions for the *in vitro* propagation of *Dendrobium moschatum* Buch.-Ham. ex Sw., a rare orchid species facing a high risk of extinction, the study evaluated the effects of plant growth regulators (GA₃, BAP, TDZ, NAA) and activated charcoal on key developmental stages, including seed germination, shoot regeneration, and root induction prior to plantlet formation. All experiments were conducted under laboratory conditions. The results showed that Murashige & Skoog (MS) medium, supplemented with 3% sucrose and 5 g/l agar and adjusted to pH 5.8±0.1, produced the highest germination rate (89.67%). During the shoot regeneration stage, 3.0 mg/l BAP significantly promoted shoot formation, producing 4.25 shoots per explant. During the rooting stage, medium supplemented with 0.2 mg/l NAA and 2.0 g/l activated charcoal resulted in the highest rooting efficiency. The findings contribute to the optimisation of the *in vitro* propagation protocol for *Dendrobium moschatum* and support the conservation and development of this valuable orchid genetic resource.

Keywords: auxin, cytokinin, *Dendrobium moschatum*, *in vitro* propagation, tissue culture.

Classification numbers: 1.6, 4.1, 4.6

*Tác giả liên hệ: Email: phamphuongthu@hpu2.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Lan Hoàng thảo Thái Bình là một loài lan rừng quý hiếm của Việt Nam, có giá trị thẩm mỹ và kinh tế cao nhờ hoa có màu sắc nổi bật và hình dáng đẹp. Loài này phân bố chủ yếu ở khu vực Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ và Tây Nguyên, thích nghi với điều kiện khí hậu nhiệt đới. Tuy nhiên, do bị khai thác quá mức để phục vụ thị trường cây cảnh cùng với sự suy giảm diện tích rừng tự nhiên, số lượng cá thể hiện tại đã giảm đáng kể. Theo tài liệu *Sách đỏ Việt Nam (2007)*, loài này được xếp vào nhóm nguy cấp (EN), do đó nhu cầu bảo tồn là rất cấp thiết [1].

Hiện nay, *D. moschatum* chủ yếu được nhân giống bằng phương pháp truyền thống là tách nhánh, mặc dù dễ áp dụng nhưng có nhược điểm: tốc độ sinh trưởng chậm, tỷ lệ sống thấp và nguồn cây giống không ổn định. Trong bối cảnh đó, nhân giống *in vitro* là một giải pháp khả thi giúp tạo cây con đồng nhất với số lượng lớn, vừa đáp ứng được nhu cầu thương mại lại vừa góp phần bảo tồn loài lan quý hiếm một cách bền vững.

Nghiên cứu này nhằm xác định môi trường nuôi cấy tối ưu cho việc nhân giống *D. moschatum*, từ đó đề xuất quy trình nhân giống hiệu quả, phục vụ sản xuất cây giống quy mô lớn, góp phần bảo tồn và phát triển bền vững loài lan này.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Mẫu quả Lan Hoàng thảo Thái Bình được thu thập từ cây mẹ trong môi trường tự nhiên. Thí nghiệm sử dụng năm môi trường dinh dưỡng khác nhau (MS, B5, WPM, Knudson, Phong lan) để đánh giá khả năng nảy mầm của hạt. Các chất điều hòa sinh trưởng GA₃, BAP, TDZ và NAA được bổ sung nhằm khảo sát tác động đến khả năng tái sinh chồi và quá trình hình thành rễ. Ngoài ra, than hoạt tính được sử dụng trong một số công thức để đánh giá ảnh hưởng đến sự phát triển cây *in vitro*.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thí nghiệm 1: Đánh giá ảnh hưởng của môi trường nuôi cấy (MS, B5, WPM, Knudson, Phong lan) đến khả năng nảy mầm của hạt.

Thí nghiệm 2: Khảo sát tác động của các chất điều hòa sinh trưởng thuộc nhóm cytokinin (BAP, TDZ), gibberellin (GA₃) đến khả năng tái sinh chồi của *D. moschatum*.

Thí nghiệm 3: Đánh giá ảnh hưởng của NAA đến khả năng ra rễ của loài *D. moschatum*.

Thí nghiệm 4: Khảo sát sự phối hợp giữa NAA và than hoạt tính (THT) nhằm tối ưu hóa quá trình ra rễ của loài *D. moschatum*.

Phương pháp bố trí thí nghiệm được thực hiện như sau:

- Thí nghiệm được bố trí theo phương pháp ngẫu nhiên hoàn toàn (CRD) với 3 lần lặp lại.

- Thí nghiệm về môi trường nuôi cấy: Mỗi công thức thí nghiệm gồm 3 bình, mỗi bình chứa số lượng mẫu phù hợp để đảm bảo độ tin cậy của kết quả.

- Các thí nghiệm còn lại: Mỗi công thức sử dụng 10 bình, mỗi bình cấy 3 mẫu.

- Điều kiện nuôi cấy: Phòng nuôi cấy được duy trì ở nhiệt độ 25±1°C, độ ẩm 60-70%, cường độ chiếu sáng 2.000 lux với chế độ chiếu sáng 16 giờ sáng/8 giờ tối mỗi ngày.

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu thu thập được xử lý thống kê bằng phần mềm Microsoft Office Excel 2010 và Sirichai Statistics Version 7.00, với sự sai khác giữa các nghiệm thức được phân tích bằng phương pháp Duncan (p<0,05).

3. Kết quả và bàn luận

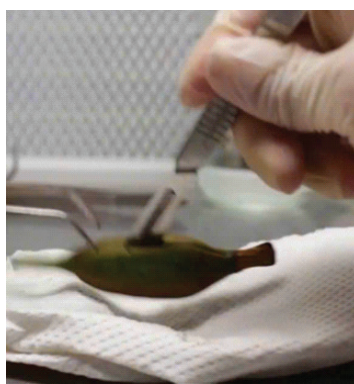
3.1. Ảnh hưởng của môi trường nuôi cấy đến khả năng nảy mầm của hạt Lan Hoàng thảo Thái Bình

Quả lan được sử dụng làm nguồn vật liệu nhân giống *in vitro*. Hạt lan sau khi xử lý vô trùng được gieo trên năm môi trường dinh dưỡng khác nhau (MS, B5, WPM, Knudson, Phong lan) để đánh giá khả năng nảy mầm và phát triển protocorm. Thí nghiệm được thực hiện theo phương pháp của P. Mohanty và cs (2012) [2], với môi trường bổ sung 3% sucrose, 5 g/l agar, duy trì pH 5,8±0,1 và theo dõi trong 12 tuần.

Bảng 1. Ảnh hưởng của môi trường nuôi cấy đến khả năng nảy mầm của hạt Lan Hoàng thảo Thái Bình (sau 12 tuần).

CT	Thời gian hạt bắt đầu phát triển thành phôi (tuần)	Thời gian hình thành protocorm (tuần)	Tỷ lệ hạt nảy mầm (%)
CT1 (MS) (Đ/C)	3-5	7-8	89,67 ^a
CT2 (B5)	4-6	10-12	70,00 ^b
CT3 (WPM)	5-7	10-12	61,00 ^c
CT4 (Knudson)	5-7	10-12	62,67 ^c
CT5 (Phong lan)	5-7	10-12	62,33 ^c
LSD _{0,05}			2,21
CV%			1,70

Các chữ số khác nhau đi kèm theo giá trị trong cùng một cột thể hiện sự sai khác có ý nghĩa ở mức độ tin cậy 95% (theo phương pháp phân tích Duncan).



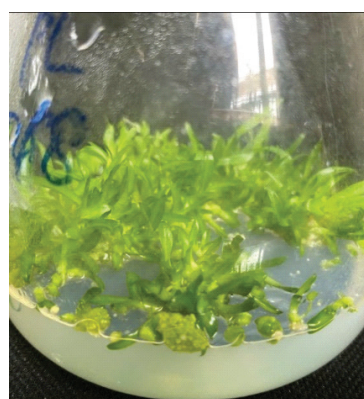
Quả Lan Hoàng thảo Thái Bình sau 9 tháng thụ

Quả Lan Hoàng thảo Thái Bình khi lấy mẫu.

Hạt được gieo trên môi trường nuôi cấy MS.



Protocorm sơ cấp.



Protocorm thứ cấp.

Hình 1. Kết quả tạo vật liệu khởi đầu từ quả Lan Hoàng thảo Thái Bình trên môi trường MS.

Kết quả bảng 1 và hình 1 cho thấy, môi trường nuôi cấy có tác động khá rõ đến quá trình nảy mầm của hạt Lan Hoàng thảo Thái Bình, trong đó môi trường MS cho tỷ lệ nảy mầm cao nhất (89,67%) và thời gian hình thành phôi nhanh nhất (3-5 tuần). Trong khi đó, các môi trường B5, WPM, Knudson và Phong lan có tỷ lệ nảy mầm thấp hơn (61,00-70,00%) và thời gian phát triển kéo dài hơn (5-7 tuần đối với phôi và 10-12 tuần đối với protocorm). Điều này cho thấy, môi trường MS không chỉ giúp tăng tỷ lệ nảy mầm mà còn rút ngắn thời gian nuôi cấy, tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của protocorm và cây con.

Sự vượt trội của môi trường MS có thể được giải thích bởi thành phần dinh dưỡng cân đối, đặc biệt là hàm lượng khoáng đa lượng cao, hỗ trợ cho việc tổng hợp protein và axit nucleic - các yếu tố quan trọng trong quá trình phân chia tế bào và hình thành protocorm. Các ion NO_3^- , NH_4^+ và K^+ đóng vai trò quan trọng trong việc thúc đẩy sự phát triển của phôi, đồng thời giúp protocorm chuyển hóa nhanh hơn từ giai đoạn hấp thu dinh dưỡng sang giai đoạn phát triển độc lập. Trong khi đó, môi trường B5 có tỷ lệ nảy mầm thấp

hơn (70,00%) do hàm lượng nitrogen thấp, làm giảm tốc độ phân chia tế bào. Các môi trường WPM, Knudson và Phong lan có tỷ lệ nảy mầm tương đương nhau nhưng thấp hơn đáng kể so với MS, chứng tỏ việc cung cấp dinh dưỡng cho hạt lan hạn chế hơn, dẫn đến thời gian hình thành protocorm kéo dài hơn.

Kết quả nghiên cứu này hoàn toàn phù hợp với các công bố trước đây về nhân giống *in vitro*. P. Mohanty và cs (2012) [2] khi nghiên cứu trên *Cymbidium mastersii* cũng ghi nhận tỷ lệ nảy mầm cao nhất (93,58%) trên môi trường MS, cao hơn đáng kể so với các môi trường khác. Tương tự, nghiên cứu của P.P. Thu và cs (2023) [3] trên *Cymbidium wenshanense* cũng khẳng định MS giúp protocorm hình thành nhanh hơn và phát triển mạnh mẽ hơn. Ngoài ra, nghiên cứu của J. Arditti và cs (1993) [4] cũng cho thấy, MS là môi trường phổ biến trong nhân giống *in vitro* các loài lan thuộc chi *Dendrobium*, giúp tăng tỷ lệ nảy mầm, rút ngắn thời gian hình thành protocorm và cải thiện khả năng phát triển của cây con so với các môi trường khác như B5, WPM hay Knudson.

Như vậy, MS là môi trường tối ưu giúp tăng tỷ lệ nảy mầm, rút ngắn thời gian nuôi cấy và tạo điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của cây con.

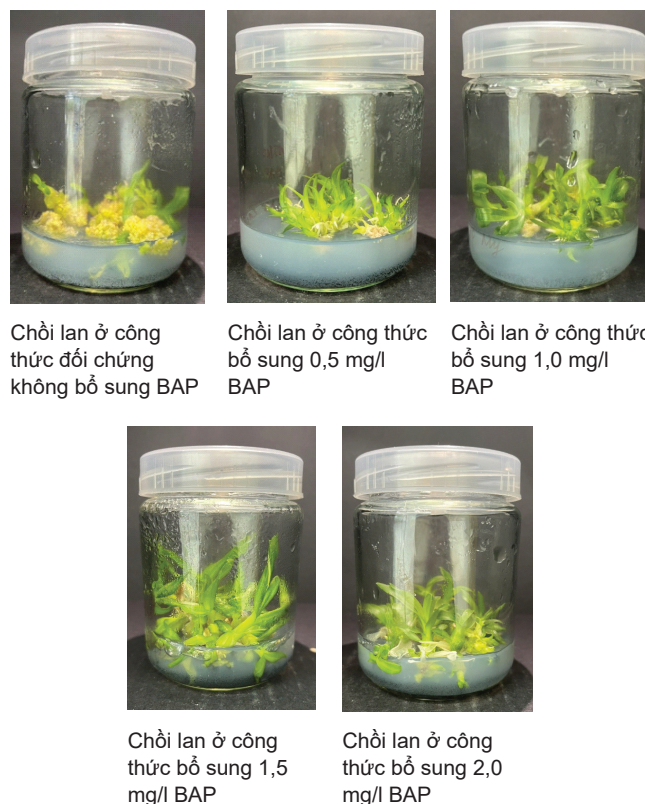
3.2. Ảnh hưởng của BAP, TDZ và GA₃ đến khả năng tái sinh chồi Lan Hoàng thảo Thái Bình

Kết quả bảng 2 và hình 2 cho thấy, tác động của các hợp chất trong nhóm cytokinin đến khả năng tái sinh chồi Lan Hoàng thảo Thái Bình là rất khác nhau và đều có ảnh hưởng đến số lượng và chất lượng chồi. Trong đó, BAP ở nồng độ 3,0 mg/l cho kết quả tái sinh chồi tốt nhất, với số lượng chồi đạt 4,25 chồi/mẫu và chồi có chất lượng cao (xanh, mập). GA₃ cũng có tác dụng kích thích sự hình thành chồi, nhưng hiệu suất thấp hơn so với BAP, trong khi TDZ giúp cải thiện sự phân hóa chồi nhưng không vượt trội về số lượng.

Bảng 2. Ảnh hưởng của BAP, TDZ và GA₃ đến khả năng tái sinh chồi Lan Hoàng thảo Thái Bình.

Chất điều hòa sinh trưởng	Mg/l	Số lượng chồi (chồi/mẫu)	Chất lượng chồi
GA ₃	0,0	1,50 ^c	Chồi xanh, gầy
	0,5	2,00 ^{bc}	Chồi xanh, gầy
	1,0	3,00 ^a	Chồi xanh, mập
	1,5	2,50 ^{ab}	Chồi xanh, gầy
	2,0	1,75 ^{bc}	Chồi xanh, gầy
	LSD _{0,05}	0,77	
CV%		23,26	
BAP	0,0	1,50 ^c	Chồi xanh, gầy
	1,0	2,75 ^b	Chồi xanh, gầy
	2,0	3,25 ^{ab}	Chồi xanh, mập
	3,0	4,25 ^a	Chồi xanh, mập
	4,0	3,50 ^{ab}	Chồi xanh, mập
	LSD _{0,05}	1,20	
CV%		25,57	
TDZ	0,0	1,50 ^b	Chồi xanh, gầy
	0,5	1,75 ^b	Chồi xanh, gầy
	1,0	2,75 ^a	Chồi xanh, mập
	1,5	2,75 ^a	Chồi xanh, mập
	2,0	2,00 ^{ab}	Chồi xanh, mập
	LSD _{0,05}	0,83	
CV%		25,12	

Các chữ số khác nhau đi kèm theo giá trị trong cùng một cột thể hiện sự sai khác có ý nghĩa ở mức độ tin cậy 95% (theo phương pháp phân tích Duncan).



Hình 2. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của BAP đến khả năng tái sinh chồi Lan Hoàng thảo Thái Bình.

GA₃ có vai trò quan trọng trong kích thích kéo dài và phân chia tế bào. Kết quả nghiên cứu cho thấy, 1,0 mg/l GA₃ giúp tái sinh chồi tốt nhất (3,00 chồi/mẫu), nhưng khi tăng nồng độ lên 1,5 và 2,0 mg/l, số lượng chồi giảm còn 2,50 và 1,75 chồi/mẫu, đồng thời chồi có xu hướng mảnh hơn. Điều này cho thấy, GA₃ ở nồng độ cao có thể kích thích kéo dài tế bào quá mức mà không thúc đẩy phân chia tế bào hiệu quả, dẫn đến giảm khả năng hình thành chồi mới.

Trong khi đó, BAP có tác dụng kích thích phân chia tế bào mạnh hơn. Khi bổ sung 1,0 mg/l BAP, số lượng chồi tăng lên 2,75 chồi/mẫu, và khi tăng nồng độ lên 3,0 mg/l, số lượng chồi đạt mức cao nhất (4,25 chồi/mẫu). Tuy nhiên, khi nồng độ BAP tăng lên 4,0 mg/l, số lượng chồi giảm nhẹ (3,50 chồi/mẫu) cho thấy, nồng độ cao có thể gây ức chế sinh trưởng. Như vậy, 3,0 mg/l BAP là nồng độ tối ưu để đạt số lượng chồi cao và chất lượng chồi tốt nhất.

TDZ cũng có tác động đến sự tái sinh chồi, nhưng số lượng chồi không cao bằng BAP. Khi bổ sung 1,0-1,5 mg/l TDZ, số lượng chồi đạt 2,75 chồi/mẫu và chất lượng chồi được cải thiện. Tuy nhiên, khi tăng nồng độ lên 2,0 mg/l, số lượng chồi giảm còn 2,00 chồi/mẫu cho thấy, TDZ ở nồng độ cao có thể gây mất cân bằng hormone, ức chế quá trình phân chia tế bào và giảm hiệu suất tái sinh chồi.

So sánh giữa ba loại hormone sinh trưởng thực vật cho thấy, BAP mang lại hiệu quả tái sinh chồi cao nhất, với số lượng chồi tối ưu ở 3,0 mg/l (4,25 chồi/mẫu). TDZ có tác dụng thúc đẩy phân hóa chồi nhưng số lượng chồi thấp hơn (2,75 chồi/mẫu). GA₃ giúp kích thích kéo dài tế bào nhưng hiệu suất tái sinh chồi thấp hơn (3,00 chồi/mẫu ở 1,0 mg/l). Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của K.Y. Paek và cs (1991) [5] trên *Cymbidium forrestii*, điều này cho thấy BAP là chất điều hòa sinh trưởng hiệu quả nhất trong kích thích phân chia tế bào. Nghiên cứu của P. Mohanty và cs (2012) [2] trên *Cymbidium mastersii* cho thấy BAP có tác dụng kích thích phân chia tế bào mạnh hơn so với GA₃ và TDZ.

Như vậy, BAP ở nồng độ 3,0 mg/l có tác dụng tốt nhất trong việc tái sinh chồi Lan Hoàng thảo Thái Bình, cho số lượng và chất lượng chồi tốt nhất. TDZ hỗ trợ phân hóa chồi nhưng kém hiệu quả hơn, trong khi GA₃ chỉ giúp kéo dài tế bào mà không tối ưu cho tái sinh chồi.

3.3. Ảnh hưởng của NAA đến khả năng tái sinh rễ Lan Hoàng thảo Thái Bình

Kết quả bảng 3 và hình 3 cho thấy, ảnh hưởng rõ rệt của NAA đến khả năng tái sinh rễ của Lan Hoàng thảo Thái Bình. Khi không bổ sung NAA (CT1), hệ số nhân rễ chỉ đạt 2,00 rễ/mẫu, rễ gãy và ngắn, chứng tỏ nếu chỉ dựa vào auxin nội sinh, hiệu suất ra rễ thấp. Khi bổ sung NAA ở nồng độ 0,1 mg/l (CT2), số lượng rễ tăng nhẹ lên 2,50 rễ/mẫu, rễ mập hơn nhưng vẫn ngắn. Ở nồng độ 0,2 mg/l (CT3), hệ

số nhân rễ đạt mức cao nhất (3,25 rễ/mẫu) và chất lượng rễ tốt nhất (mập, dài), chứng tỏ đây là nồng độ tối ưu giúp thúc đẩy mạnh mẽ quá trình hình thành và phát triển rễ. Tuy nhiên, khi tăng nồng độ NAA lên 0,3 mg/l (CT4), số lượng rễ giảm còn 2,50 rễ/mẫu dù chất lượng vẫn duy trì. Ở mức 0,4 mg/l (CT5), hệ số nhân rễ giảm xuống còn 2,00 rễ/mẫu, rễ gãy và ngắn tương tự đối chứng, cho thấy nồng độ cao có thể gây ức chế sinh trưởng rễ.

Bảng 3. Ảnh hưởng của NAA đến khả năng tái sinh rễ của Lan Hoàng thảo Thái Bình.

CT	Nồng độ NAA (mg/l)	Hệ số nhân rễ (rễ/mẫu)	Chất lượng rễ
CT1 (Đ/C)	0,0	2,00 ^b	Gãy, ngắn
CT2	0,1	2,50 ^{ab}	Mập, ngắn
CT3	0,2	3,25 ^a	Mập, dài
CT4	0,3	2,50 ^{ab}	Mập, dài
CT5	0,4	2,00 ^b	Gãy, ngắn
LSD _{0,05}		0,95	
CV%		25,27	

Các chữ số khác nhau đi kèm theo giá trị trong cùng một cột thể hiện sự sai khác có ý nghĩa ở mức độ tin cậy 95% (theo phương pháp phân tích Duncan).

Sự suy giảm số lượng rễ ở nồng độ NAA cao có thể do cơ chế phản hồi tiêu cực của auxin khi dư thừa, làm mất cân bằng hormone nội sinh, hoặc kích thích sản sinh ethylene - một hormone có tác dụng ức chế kéo dài rễ. Nghiên cứu của D. Blakesley và cs (1991) [6] cũng ghi nhận rằng, NAA có



Rễ lan ở công thức đối chứng không bổ sung NAA.



Rễ lan ở công thức bổ sung 0,1 mg/l NAA.



Rễ lan ở công thức bổ sung 0,2 mg/l NAA.



Rễ lan ở công thức bổ sung 0,3 mg/l NAA.



Rễ lan ở công thức bổ sung 0,4 mg/l NAA.

Hình 3. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của NAA đến khả năng tái sinh rễ Lan Hoàng thảo Thái Bình.

thể kích thích hình thành rễ ở mức nồng độ thấp nhưng gây ức chế khi vượt quá ngưỡng tối ưu. Tương tự, nghiên cứu của S. Kaur và cs (2005) [7] trên *Eucalyptus* cũng cho thấy, auxin ở mức cao có thể làm giảm hiệu suất ra rễ do tác động đến quá trình phân chia tế bào và sinh trưởng mô rễ.

Như vậy, nồng độ 0,2 mg/l NAA là tối ưu để kích thích tái sinh rễ ở Lan Hoàng thảo Thái Bình, giúp tăng số lượng rễ và cải thiện chất lượng rễ. Các nồng độ cao hơn không mang lại lợi ích bổ sung mà có thể làm suy giảm hiệu quả tái sinh rễ.

3.4. Ảnh hưởng của sự phối hợp NAA và than hoạt tính đến khả năng tái sinh rễ

Kết quả bảng 4 và hình 4 cho thấy, sự phối hợp giữa NAA và THT có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng tái sinh rễ của *D. moschatum*. Ở công thức đối chứng (CT1, không bổ sung THT), hệ số nhân rễ đạt 3,25 rễ/mẫu, với chất lượng rễ mập nhưng không dài. Khi bổ sung 1,0 g/l THT (CT2), hệ số nhân rễ tăng lên 4,00 rễ/mẫu, cho thấy THT có tác động tích cực đến sự hình thành rễ. Tại nồng độ 2,0 g/l THT (CT3), hệ số nhân rễ đạt mức cao nhất với 4,75 rễ/mẫu, chứng minh rằng đây là mức tối ưu giúp cân bằng giữa việc

hấp thụ chất dinh dưỡng và kích thích phát triển rễ. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng nồng độ THT lên 3,0 g/l (CT4) và 4,0 g/l (CT5), hệ số nhân rễ giảm lần lượt còn 4,00 và 3,50 rễ/mẫu, đồng thời rễ trở nên gầy và ngắn hơn. Điều này có thể do THT ở nồng độ cao hấp thụ quá mức các chất điều hòa sinh trưởng, khiến hiệu quả ra rễ bị suy giảm.

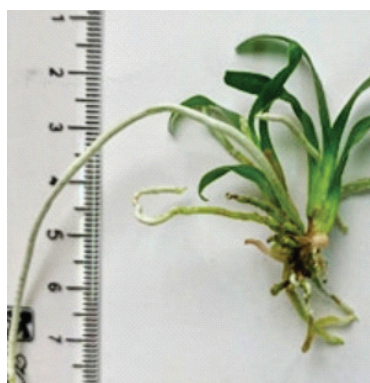
Bảng 4. Ảnh hưởng phối hợp của NAA với than hoạt tính đến khả năng tái sinh rễ của Lan Hoàng thảo Thái Bình.

CT	Nồng độ NAA (mg/l)	Nồng độ than hoạt tính (g/l)	Hệ số nhân rễ (rễ/mẫu)	Chất lượng rễ
CT1		0,0	3,25 ^b	Mập, không dài
CT2		1,0	4,00 ^{ab}	Mập, dài
CT3	0,2	2,0	4,75 ^a	Mập, dài
CT4		3,0	4,00 ^{ab}	Mập, dài
CT5		4,0	3,50 ^b	Gầy, ngắn
<i>LSD</i> _{0,05}			0,96	
<i>CV</i> %			16,05	

Các chữ số khác nhau đi kèm theo giá trị trong cùng một cột thể hiện sự sai khác có ý nghĩa ở mức độ tin cậy 95% (theo phương pháp phân tích Duncan).



Rễ lan ở công thức đối chứng không bổ sung THT.



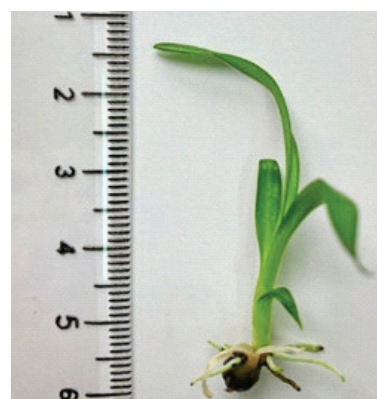
Rễ lan ở công thức bổ sung 1 g/l THT.



Rễ lan ở công thức bổ sung 2 g/l THT.



Rễ lan ở công thức bổ sung 3 g/l THT.



Rễ lan ở công thức bổ sung 4 g/l THT.

Hình 4. Kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của NAA kết hợp với than hoạt tính đến khả năng tái sinh rễ Lan Hoàng thảo Thái Bình.

Bên cạnh đó, chất lượng rễ cũng có sự thay đổi đáng kể giữa các công thức thí nghiệm. Khi bổ sung 1,0-2,0 g/l THT, rễ phát triển tốt nhất với hình thái mập và dài. Tuy nhiên, ở mức 3,0-4,0 g/l THT, rễ trở nên gầy, ngắn và phát triển kém hơn, có thể do than hoạt tính hấp thụ dinh dưỡng quá mức kết hợp với điều kiện ánh sáng bị hạn chế trong bình nuôi cấy, làm ảnh hưởng đến quá trình tái sinh rễ.

Kết quả nghiên cứu này phù hợp với các nghiên cứu trước đó, trong đó D. Blakesley và cs (1991) [6] chỉ ra rằng, NAA có thể kích thích hình thành rễ, nhưng hiệu quả ra rễ cao nhất khi kết hợp với các yếu tố môi trường phù hợp. T.D. Thomas (2008) [8] cũng khẳng định rằng, THT giúp giảm tích lũy phenolic và cải thiện chất lượng rễ, nhưng khi sử dụng ở nồng độ cao có thể gây ức chế sinh trưởng.

Như vậy, công thức tối ưu cho quá trình tái sinh rễ của *D. moschatum* là bổ sung 0,2 mg/l NAA và 2,0 g/l THT, giúp đạt hệ số nhân rễ cao nhất (4,75 rễ/mẫu) và đảm bảo chất lượng rễ tốt nhất (mập, dài).

4. Kết luận

Trong nhân giống *in vitro* cây Lan Hoàng thảo Thái Bình, môi trường MS phù hợp nhất cho quá trình nảy mầm của hạt (tỷ lệ nảy mầm cao nhất đạt 89,67%), chất điều hòa sinh trưởng BAP 3,0 mg/l cho hiệu suất tái sinh chồi tốt nhất (4,25 chồi/mẫu), trong khi NAA 0,2 mg/l kết hợp với 2,0 g/l THT giúp tối ưu hóa quá trình ra rễ (4,75 rễ/mẫu).

Cần tiếp tục nghiên cứu khả năng sinh trưởng và thích nghi của cây con sau khi chuyển ra vườn ươm và điều kiện ngoại cảnh để nâng cao hiệu quả bảo tồn loài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ministry of Natural Resources and Environment and The International Union for Conservation of Nature (2007), *Vietnam Red Data Book, Part II*, Natural Science and Technology Publishing House, 691pp (in Vietnamese).
- [2] P. Mohanty, S. Paul, M.C. Das, et al. (2012), “A simple and efficient protocol for the mass propagation of *Cymbidium mastersii*: An ornamental orchid of Northeast India”, *AoB Plants*, pp.1-8, DOI: 10.1093/aobpla/pls023.
- [3] P.T. Pham, T.T. Nguyen, N.H. Tran, et al. (2023), “A study on the bud regeneration ability of *Cymbidium wenshanense* by *in vitro* culture”, *Vietnam Journal of Science and Technology - MOST*, **65(5)**, pp.55-58, DOI: 10.31276/VJST.65(5).55-58 (in Vietnamese).
- [4] J. Arditti, R. Ernst (1993), *Micropropagation of Orchids*, John Wiley & Sons, New York, 1560pp.
- [5] K.Y. Paek, E.C. Yeung (1991), “The effects of 1-naphthaleneacetic acid and N6-benzyladenine on the growth of *Cymbidium forrestii* rhizomes *in vitro*”, *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, **24(2)**, pp.65-71, DOI: 10.1007/BF00039732.
- [6] D. Blakesley, G.D. Weston, J.F. Hall (1991), “The role of endogenous auxin in root initiation”, *Plant Growth Regulation*, **10(4)**, pp.341-353, DOI: 10.1007/BF00024593.
- [7] S. Kaur, P.S. Ahuja, M. Gupta (2005), “Effect of auxin and cytokinin on *in vitro* rooting and acclimatization of *Eucalyptus tereticornis*”, *Journal of Plant Biotechnology*, **7(2)**, pp.145-150.
- [8] T.D. Thomas (2008), “The role of activated charcoal in plant tissue culture”, *Biotechnol. Adv.*, **26(6)**, pp.618-631, DOI: 10.1016/j.biotechadv.2008.08.003.

Tổng hợp và nghiên cứu tính chất của composite $\text{PbO}_2\text{-SnO}_2$ trên nền thép không gỉ

Phạm Thị Tốt¹, Phan Thị Bình², Mai Thị Thanh Thùy^{2*}

¹Khoa Công nghệ Dệt May, Trường Đại học Công nghiệp và Thương mại Hà Nội, xã Thuận An, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 23/12/2024; ngày chuyển phản biện 25/12/2024; ngày nhận phản biện 29/1/2025; ngày chấp nhận đăng 5/2/2025

Tóm tắt:

Composite $\text{PbO}_2\text{-SnO}_2$ được tổng hợp thành công bằng phương pháp quét thế tuần hoàn (CV) trên nền thép không gỉ (SS) trong dung dịch $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 0,5 M; HNO_3 0,1 M; $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 0,05 M; $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ 0,1 M và SnO_2 với hàm lượng từ 500 đến 2500 mg/l. Khi hàm lượng SnO_2 trong dung dịch là 1500 mg/l, vật liệu composite có tính chất điện hóa tốt nhất. Cấu trúc hình thái học bề mặt và thành phần các nguyên tố có trong composite được nghiên cứu thông qua các phương pháp kính hiển vi điện tử quét (SEM), nhiễu xạ tia X (XRD) và tán xạ năng lượng tia X (EDX). Đặc tính điện hóa của điện cực SS/ $\text{PbO}_2\text{-SnO}_2$ được nghiên cứu trong dung dịch H_2SO_4 0,5 M bằng phương pháp CV và phép đo đường cong phân cực I-E. Điện cực composite này được sử dụng làm anot cho quá trình xử lý metyl da cam (MO) ở điều kiện phù hợp với thời gian xử lý khác nhau. Hiệu suất của quá trình xử lý MO cao, đạt trên 90% sau 30 phút. Động học của quá trình xử lý MO tuân theo mô hình động học của phản ứng bậc 1 với độ tuyến tính $R^2=0,9736$.

Từ khóa: composite $\text{PbO}_2\text{-SnO}_2$, tính chất điện hóa, xử lý metyl da cam.

Chỉ số phân loại: 2.4, 2.5

Synthesis and characterisation of $\text{PbO}_2\text{-SnO}_2$ composite on a stainless steel substrate

Thi Tot Pham¹, Thi Binh Phan², Thi Thanh Thuy Mai^{2*}

¹Faculty of Textile Technology, Hanoi Industrial and Trade University, Thuan An Commune, Hanoi, Vietnam

²Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam

Received 23 December 2024; revised 29 January 2025; accepted 5 February 2025

Abstract:

A $\text{PbO}_2\text{-SnO}_2$ composite was successfully synthesised by cyclic voltammetry (CV) on stainless steel (SS) substrate in an electrolyte containing 0.5 M $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, 0.1 M HNO_3 , 0.05 M $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, 0.1 M $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$, and SnO_2 with concentrations ranging from 500 to 2500 mg/l. This composite exhibited the best electrochemical properties when the SnO_2 concentration in the solution was 1500 mg/l. The surface morphology and elemental composition of the composite were determined by scanning electron microscopy (SEM), X-ray diffraction (XRD), and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX). The electrochemical properties of the SS/ $\text{PbO}_2\text{-SnO}_2$ electrode were investigated in 0.5 M H_2SO_4 using CV and potentiodynamic polarisation I-E methods. The obtained SS/ $\text{PbO}_2\text{-SnO}_2$ composite electrode was used as an anode for the electrochemical removal of methyl orange (MO) from aqueous solution under suitable conditions with different treatment times. The removal efficiency of MO was high, exceeding 90% after 30 minutes of treatment. The kinetics of MO removal followed a first-order reaction model with a linearity of $R^2=0.9736$.

Keywords: electrochemical properties, methyl orange removal, $\text{PbO}_2\text{-SnO}_2$ composite.

Classification numbers: 2.4, 2.5

*Tác giả liên hệ: Email: thuytmai@ich.vast.vn

1. Đặt vấn đề

Sự phát triển của khoa học và công nghệ ngày càng tạo ra nhiều loại thuốc nhuộm mới với các ưu điểm nổi bật như: độ bền màu cao, màu sắc đa dạng và dễ nhuộm trên nhiều loại vật liệu. Tuy nhiên, việc xử lý thuốc nhuộm dư thừa trong quá trình sản xuất trước khi thải ra môi trường là một vấn đề cần được chú trọng hiện nay. Nếu thuốc nhuộm không được xử lý trước khi thải ra ngoài môi trường, sẽ gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái, đời sống của các loài thủy sinh và sức khỏe con người [1, 2].

Một trong các nhóm thuốc nhuộm quan trọng và được sử dụng phổ biến hiện nay là thuốc nhuộm chứa nhóm mang màu azo ($-N=N-$), nhóm thuốc nhuộm này được sử dụng từ lâu và chiếm tới gần 50% tổng sản lượng thuốc nhuộm hiện nay [3, 4]. Trong nhóm thuốc nhuộm azo thì metyl da cam (MO) là một loại thuốc nhuộm điển hình, chất này dễ hòa tan trong nước và khó xử lý bằng phương pháp sinh học [5, 6]. Vì vậy, việc nghiên cứu để tìm ra phương pháp xử lý MO phù hợp là rất cần thiết. Hiện nay, có nhiều phương pháp để xử lý thuốc nhuộm trong nước thải như phương pháp điện hóa, quang hóa, hấp phụ, xử lý vi sinh [5-9]. Trong đó, phương pháp điện hóa có nhiều ưu điểm như xử lý được ở nhiệt độ và áp suất thường, hiệu quả xử lý cao và không tạo ra chất thải thứ cấp. Vật liệu anot là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng lớn đến khả năng xử lý MO cũng như các chất hữu cơ độc hại trong nước thải. Để đạt được hiệu quả xử lý cao thì vật liệu anot phải trơ, kích thước ổn định, dẫn điện tốt, có hoạt tính xúc tác điện hóa và quá thế thoát oxy cao [10].

Chì dioxit (PbO_2) là một oxit điển hình có khả năng dẫn điện tốt, có quá thế thoát oxy cao, chịu được hóa chất vì vậy mà PbO_2 thường được sử dụng làm vật liệu anot trong các quá trình xử lý điện hóa [11]. Để tăng hoạt tính điện hóa và độ bền của PbO_2 , nhiều nghiên cứu đã pha tạp thêm các oxit kim loại khác để tạo thành các composite như: Co_3O_4 - PbO_2 [12], PbO_2 - TiO_2 [13], PbO_2 - AgO [14], PbO_2 - Mn_3O_4 [15], PbO_2 - SnO_2 [16, 17]...

W. Wang và cs (2020) [16] đã nghiên cứu tổng hợp composite PbO_2 - SnO_2 bằng phương pháp điện phân dòng không đổi tại mật độ dòng 20 mA/cm². Composite PbO_2 - SnO_2 sau khi tổng hợp được sử dụng làm anot xúc tác cho quá trình oxy hóa m-nitrophenol. Kết quả cho thấy, sự có mặt của SnO_2 trong composite đã tăng quá thế thoát oxy, cải thiện được quá trình tạo gốc hydroxyl và tăng khả năng xúc tác [16]. Nghiên cứu tương tự cũng tổng hợp composite PbO_2 - SnO_2 bằng phương pháp điện phân dòng không đổi và sử dụng composite làm anot xúc tác cho quá trình phân hủy 3-chlorophenol [17]. Trong nghiên cứu này, các tác giả tiến hành tổng hợp composite PbO_2 - SnO_2 bằng phương pháp

quét thể tuần hoàn trên nền thép không gỉ, nghiên cứu tính chất của composite và ứng dụng composite này làm anot cho quá trình xử lý MO bằng phương pháp điện hóa.

2. Hóa chất và phương pháp nghiên cứu, tổng hợp

2.1. Hóa chất

Sử dụng các hóa chất tinh khiết dùng trong phân tích: HNO_3 (65-68%), $Cu(NO_3)_2$ (>99%), $NaOH$ (>96%), MO (>99%), $C_2H_6O_2$ (99%) của hãng Xilong (Trung Quốc) và bột nano SnO_2 (10-20 nm) (>99%) của hãng Dongguan (Trung Quốc) và $Pb(NO_3)_2$ (99,5%) của hãng Merck (Đức).

2.2. Tổng hợp vật liệu composite PbO_2 - SnO_2 trên nền thép không gỉ

Composite PbO_2 - SnO_2 được tổng hợp trên nền thép không gỉ đã được đánh bóng bằng giấy nhám, xử lý làm sạch trong dung dịch $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4$ (98%) và loại bỏ hoàn toàn tạp chất còn lại bằng phương pháp điện hóa trong dung dịch $NaOH$ 60 g/l với tốc độ quét 200 mV/s trong 5 chu kỳ từ -700 đến 500 mV. Sau đó, composite PbO_2 - SnO_2 được tổng hợp bằng phương pháp quét thể tuần hoàn với tốc độ quét 50 mV/s, 300 chu kỳ trong khoảng điện thế từ 1200 đến 1700 mV. Thành phần dung dịch tổng hợp: $Pb(NO_3)_2$ 0,5 M; HNO_3 0,1 M; $Cu(NO_3)_2$ 0,05 M, $C_2H_6O_2$ 0,1 M và nano SnO_2 với hàm lượng từ 500 đến 2500 mg/l. Phương pháp tổng hợp và các thông số trong thí nghiệm được lựa chọn dựa theo kết quả nghiên cứu đã được công bố trước đây của chúng tôi [9, 18].

2.3. Nghiên cứu tính chất vật liệu

Phương pháp SEM được sử dụng để nghiên cứu hình thái học của composite, nhiễu xạ tia X (XRD) và EDX được sử dụng để nghiên cứu cấu trúc và thành phần các nguyên tố trong composite.

Tính chất điện hóa của composite được nghiên cứu trên thiết bị IM6 của hãng Zahner Elektrik (Đức) sử dụng hệ 3 điện cực: điện cực đối (Pt tấm), điện cực so sánh (Ag/AgCl, KCl bão hòa), điện cực nghiên cứu là SS/ PbO_2 - SnO_2 .

2.4. Nghiên cứu xử lý metyl da cam

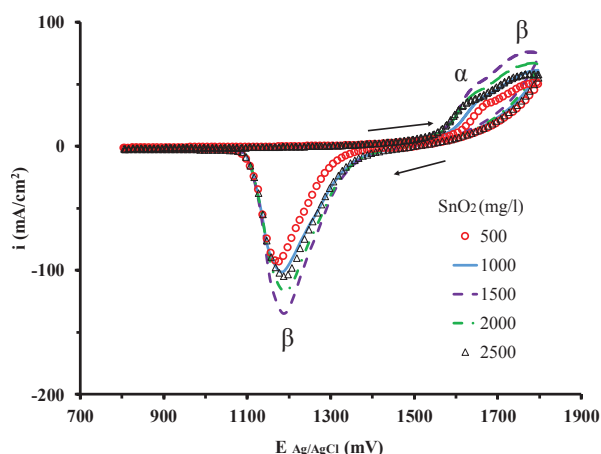
Metyl da cam được xử lý bằng phương pháp điện hóa trên hệ 3 điện cực: tấm Pt là điện cực đối, Ag/AgCl, KCl là điện cực so sánh và SS/ PbO_2 - SnO_2 là điện cực làm việc. Điều kiện xử lý MO tương tự như công bố trước đây của nhóm nghiên cứu [9]: nồng độ MO 50 mg/l, pH dung dịch là 6, mật độ dòng điện 1,75 mA/cm² với thời gian từ 10 đến 60 phút. Dung dịch MO sau khi xử lý được phân tích UV-Vis trên thiết bị Perkin Elmer Lambda 35 (Mỹ) để xác định hiệu suất xử lý. Hiệu suất quá trình xử lý MO được xác định theo phương trình sau:

$$H = \frac{(C_0 - C_t)}{C_0} * 100 \quad (1)$$

trong đó: C_0 là nồng độ MO ban đầu, C_t là nồng độ MO tại thời gian xử lý t.

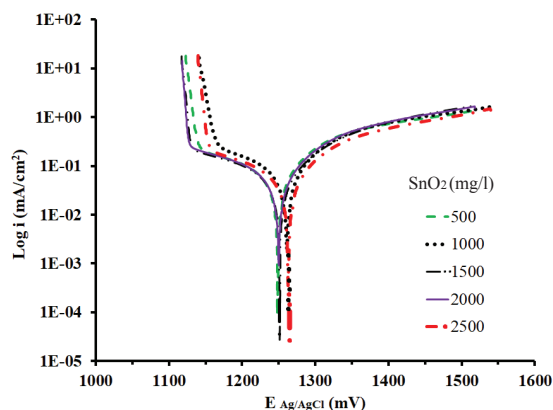
3. Kết quả và bàn luận

3.1. Nghiên cứu tính chất điện hóa của composite PbO_2-SnO_2



Hình 1. Phổ quét thế tuần hoàn của điện cực SS/ PbO_2-SnO_2 trong dung dịch H_2SO_4 0,5 M khi thay đổi hàm lượng SnO_2 .

Trên hình 1 là kết quả phổ quét thế tuần hoàn của điện cực SS/ PbO_2-SnO_2 trong dung dịch H_2SO_4 0,5 M tại chu kỳ 30 với tốc độ quét thế 100 mV/s ở khoảng thế từ 800 đến 1800 mV. Quan sát hình 1 thấy được hai peak oxy hóa tại 1650 và 1760 mV là của dạng α và $\beta-PbO_2$, peak khử tại 1190 mV của $\beta-PbO_2$ về $PbSO_4$ [16, 17]. Khi hàm lượng SnO_2 trong dung dịch tổng hợp tăng từ 500 lên 1500 mg/l, thì chiều cao peak oxy hóa và peak khử đều tăng (tương ứng từ 50,07 lên 74,49 mA/cm² và từ 93,42 lên 134,75 mA/cm²), như vậy, hoạt tính điện hóa của điện cực đã tăng theo hàm lượng SnO_2 . Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng hàm lượng SnO_2 lên 2500 mg/l, thì hoạt tính điện hóa lại giảm, do chiều cao peak oxy hóa và peak khử đều giảm (tương ứng từ 74,49 xuống 57,61 mA/cm² và từ 134,75 xuống 104,88 mA/cm²). Nguyên nhân là do SnO_2 trong dung dịch đã làm thay đổi cấu trúc của PbO_2 làm cho cấu trúc tinh thể xốp hơn nên tăng diện tích làm việc. Tuy nhiên, khi hàm lượng SnO_2 trong dung dịch lớn hơn 1500 mg/l, thì độ dẫn điện giảm do SnO_2 là chất bán dẫn kém dẫn điện. Như vậy, với hàm lượng SnO_2 trong dung dịch là 1500 mg/l thì vật liệu composite PbO_2-SnO_2 có hoạt tính điện hóa tốt nhất. Đường cong phân cực I-E dạng logarit của điện cực SS/ PbO_2-SnO_2 trong dung dịch H_2SO_4 0,5 M với hàm lượng SnO_2 khác nhau được thể hiện ở hình 2.



Hình 2. Đường cong phân cực I-E dạng logarit của điện cực SS/ PbO_2-SnO_2 trong dung dịch H_2SO_4 0,5 M với hàm lượng SnO_2 khác nhau khi tổng hợp vật liệu composite.

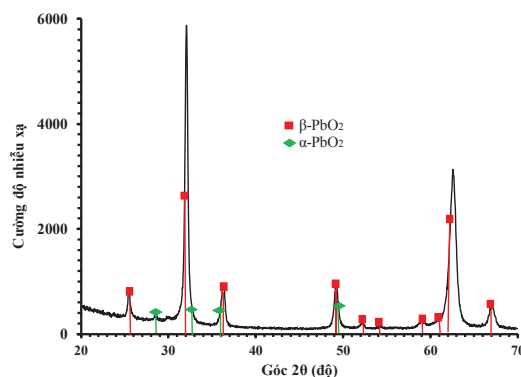
Bảng 1. Các thông số động học mật độ dòng trao đổi i_0 và điện thế E_0 xác định được từ hình 2.

Hàm lượng SnO_2 (mg/l)	i_0 ($\mu A/cm^2$)	E_0 (mV)
500	$60,51 \pm 0,05$	1249 ± 9
1000	$64,05 \pm 0,02$	1262 ± 8
1500	$65,12 \pm 0,04$	1251 ± 8
2000	$63,69 \pm 0,06$	1249 ± 5
2500	$59,45 \pm 0,03$	1262 ± 8

Kết quả bảng 1 cho thấy, khi hàm lượng SnO_2 trong dung dịch tổng hợp tăng từ 500 lên 1500 mg/l thì i_0 tăng từ 60,51 lên 65,12 $\mu A/cm^2$, chứng tỏ hoạt tính điện hóa tăng. Nhưng khi tiếp tục tăng lượng SnO_2 lên 2500 mg/l thì i_0 lại giảm từ 65,12 xuống 59,45 $\mu A/cm^2$. Như vậy, hàm lượng SnO_2 1500 mg/l là phù hợp nhất để tổng hợp composite. Kết quả này phù hợp với kết quả khảo sát phổ quét thế tuần hoàn ở trên.

3.2. Nghiên cứu cấu trúc hình thái học của composite PbO_2-SnO_2

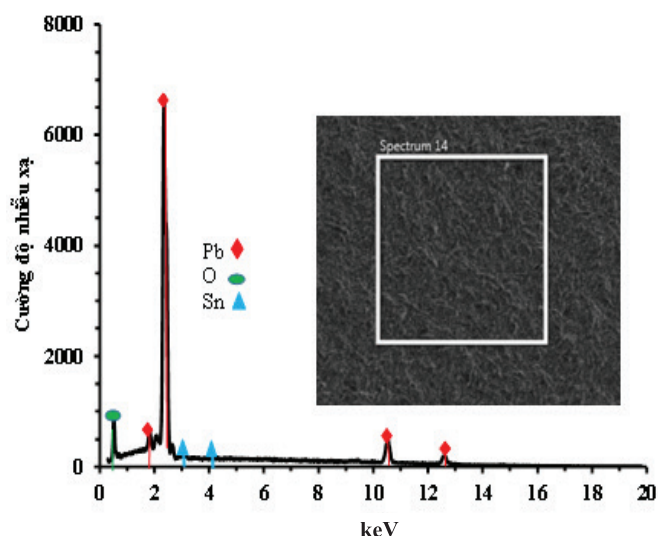
3.2.1. Giảm đồ nhiễu xạ tia X



Hình 3. Giảm đồ nhiễu xạ tia X của composite PbO_2-SnO_2 .

Kết quả hình 3 cho thấy, xuất hiện rõ các peak đặc trưng cho dạng thù hình β - PbO_2 tại các góc 2θ , khoảng $25,5^\circ$; 32° ; $36,5^\circ$; $49,5^\circ$; $52,5^\circ$; $54,5^\circ$; $61,5^\circ$; $62,5^\circ$ và $67,5^\circ$. Tuy nhiên, một số peak đặc trưng cho dạng thù hình α - PbO_2 tại các góc 2θ gần $28,5^\circ$; $32,5^\circ$; 48° không rõ ràng và không quan sát thấy sự xuất hiện các peak đặc trưng của SnO_2 , điều này là do SnO_2 có kích thước rất nhỏ (10-20 nm) và lượng ít nên không tạo được các đỉnh nhiễu xạ rõ ràng [16].

3.2.2. Phổ tán xạ năng lượng tia X



Hình 4. Phổ tán xạ năng lượng tia X của composite PbO_2 - SnO_2 .

Trên hình 4 thể hiện phổ tán xạ năng lượng tia X của vật liệu composite PbO_2 - SnO_2 . Kết quả cho thấy rõ các peak đặc trưng cho Pb, O, Sn [17]. Điều này chứng tỏ sự có mặt

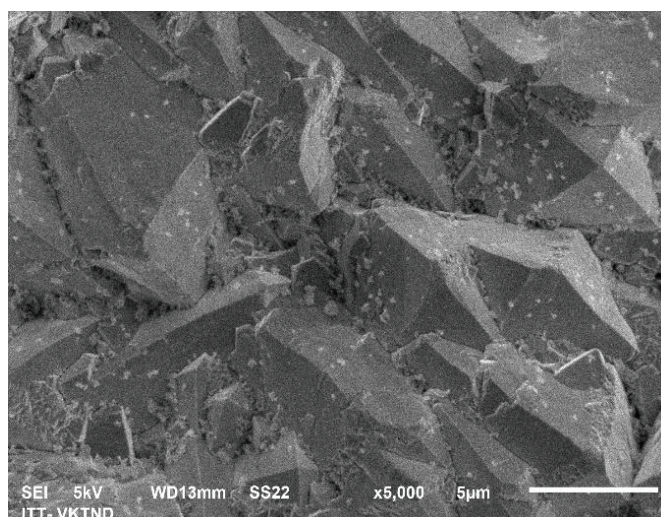
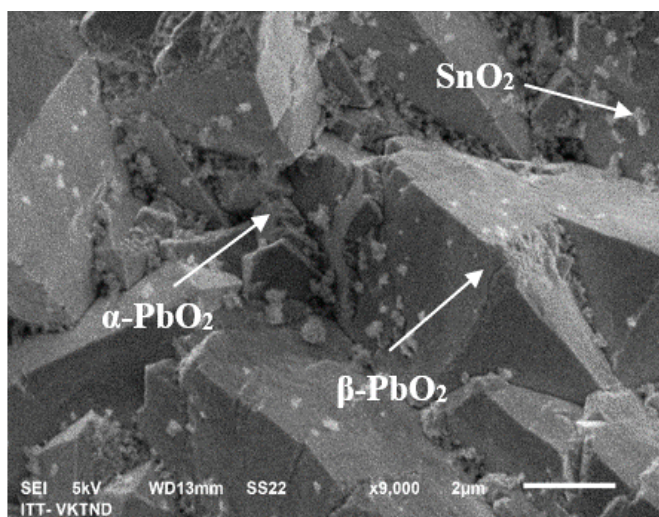
của SnO_2 trong composite. Như vậy, có thể khẳng định đã tổng hợp thành công vật liệu composite PbO_2 - SnO_2 bằng phương pháp quét CV.

3.2.3. Ảnh kính hiển vi điện tử quét

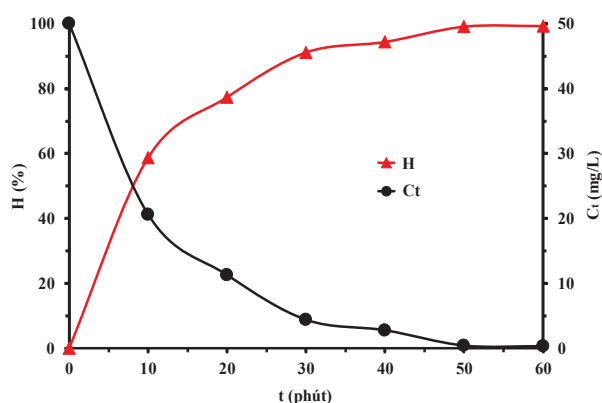
Ảnh SEM của composite PbO_2 - SnO_2 được thể hiện trên hình 5. Trong hình thấy xuất hiện các tinh thể lớn hình tứ diện (β - PbO_2) xen kẽ với các tinh thể nhỏ (α - PbO_2), như vậy, vật liệu PbO_2 tổng hợp được tồn tại ở cả hai dạng thù hình [16, 17]. Trên bề mặt tinh thể và phần tiếp giáp giữa các tinh thể PbO_2 xuất hiện các hạt tinh thể nhỏ là SnO_2 .

3.3. Nghiên cứu xử lý methyl da cam bằng phương pháp điện hóa sử dụng anot composite PbO_2 - SnO_2

Dung dịch MO ban đầu có nồng độ 50 mg/l được xử lý bằng phương pháp dòng không đổi trên điện cực anot PbO_2 - SnO_2 với mật độ dòng $1,75 \text{ mA/cm}^2$ trong điều kiện pH=6 (hình 6). Kết quả cho thấy, ở giai đoạn đầu của quá trình xử lý (30 phút đầu tiên) hiệu suất xử lý tăng nhanh và đạt khoảng 90%, đồng thời nồng độ MO trong dung dịch cũng giảm nhanh xuống còn dưới 5 mg/l. Sau 30 phút xử lý, hiệu suất xử lý tăng chậm và gần như không đổi sau thời gian 50 phút, nồng độ MO trong dung dịch cũng giảm chậm và đạt dưới 1 mg/l sau 50 phút. Điều này có thể giải thích như sau: ở giai đoạn đầu của quá trình xử lý, lượng MO

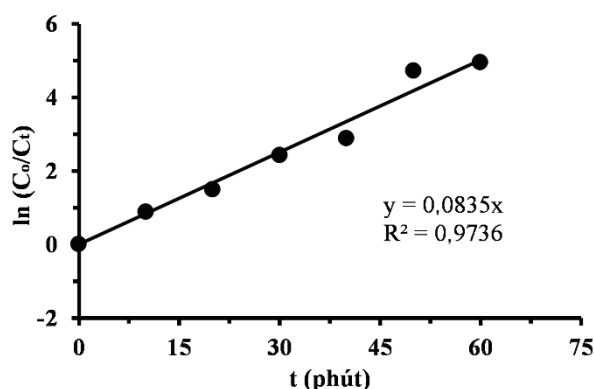


Hình 5. Ảnh kính hiển vi điện tử quét của composite PbO_2 - SnO_2 .

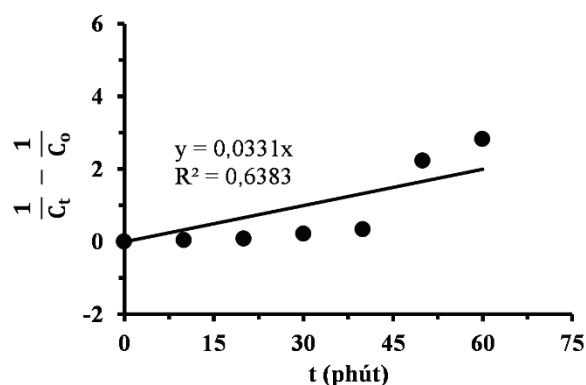


Hình 6. Hiệu suất và nồng độ methyl da cam còn lại theo thời gian xử lý ($i=1,75 \text{ mA/cm}^2$, $C_o=50 \text{ mg/l}$, pH6).

(A)



(B)



Hình 7. Đồ thị $\ln(C_o/C_t)$ (A) và đồ thị $\frac{1}{C_t} - \frac{1}{C_o}$ (B) theo thời gian xử lý MO trên điện cực SS/PbO₂-SnO₂.

trong dung dịch nhiều nên khả năng oxy hóa để phân hủy MO cao, vì vậy, hiệu suất xử lý cũng tăng nhanh nhưng sau một thời gian xử lý thì lượng MO còn lại trong dung dịch rất ít, nên khi tăng thời gian xử lý thì hiệu suất xử lý cũng không tăng nhiều, vì lúc này chủ yếu xảy ra quá trình điện phân nước.

Động học quá trình phân hủy một chất hữu cơ nói chung có thể theo động học của phản ứng bậc 1 (Phương trình 2) [19-21] hoặc động học của phản ứng bậc 2 (Phương trình 3) [21].

$$\ln \left[\frac{C_o}{C_t} \right] = kt \quad (2)$$

$$\left(\frac{1}{C_t} - \frac{1}{C_o} \right) = kt \quad (3)$$

trong đó: C_o (mg/l) là nồng độ chất hữu cơ ban đầu và C_t (mg/l) là nồng độ chất hữu cơ sau thời gian xử lý t (phút); k là hằng số tốc độ phản ứng.

Từ kết quả thu được của đồ thị $\ln(C_o/C_t)$ theo thời gian (hình 7A) và đồ thị (theo thời gian (hình 7B)), có thể xác định được hằng số tốc độ phản ứng và giá trị R^2 . Kết quả cho thấy, độ tuyến tính theo phản ứng bậc 1 khá cao (đạt 0,9736), trong khi theo phản ứng bậc 2 thì thấp (chỉ đạt 0,6383). Do vậy, động học của quá trình xử lý MO tuân theo động học của phản ứng bậc 1 là phù hợp.

4. Kết luận

Composite PbO₂-SnO₂ được tổng hợp thành công trên nền thép không gỉ bằng phương pháp CV. Kết quả cho thấy, PbO₂ tồn tại ở cả hai dạng thù hình α và β xen kẽ nhau.

Các hạt nano SnO₂ bám đều trên bề mặt tinh thể PbO₂ và ở khe giữa các tinh thể. Với hàm lượng SnO₂ là 1500 mg/l thì vật liệu composite có chiều cao peak oxy hóa khử cao nhất và mật độ dòng trao đổi lớn nhất nên có hoạt tính điện hóa tốt nhất. Vật liệu composite được sử dụng làm anot cho quá trình xử lý MO với hiệu suất khá cao đạt trên 90% sau 30 phút xử lý. Động học của quá trình xử lý MO tuân theo động học của phản ứng bậc 1 với độ tuyến tính đạt 0,9736.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] X. Wang, J. Jiang, W. Gao (2022), "Reviewing textile wastewater produced by industries: Characteristics, environmental impacts, and treatment strategies", *Water Sci. Technol.*, **85**(7), pp.2076-2096, DOI: 10.2166/wst.2022.088.
- [2] S. Sudarshan, S. Harikrishnan, G. RathiBhuvaneswari, et al. (2022), "Impact of textile dyes on human health and bioremediation of textile industry effluent using microorganisms: Current status and future prospects", *J. Appl. Microbiol.*, **134**(2), pp.1-23, DOI: 10.1093/jambio/lxac064.

- [3] H.T. Cao (1995), *Chemistry of Dyes*, Science and Technics Publishing House, 304pp (in Vietnamese).
- [4] R. Al-Tohamy, S.S. Ali, F. Li, et al. (2022), "A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety", *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, **231**, DOI: 10.1016/j.ecoenv.2021.113160.
- [5] M.M. Haque, M.A. Haque, M.K. Mosharaf, et al. (2021), "Decolorization, degradation and detoxification of carcinogenic sulfonated azo dye methyl orange by newly developed biofilm consortia", *Saudi. J. Biol. Sci.*, **28**, pp.793-804, DOI: 10.1016/j.sjbs.2020.11.012.
- [6] R. Kishor, D. Purchase, G.D. Saratale, et al. (2021), "Degradation mechanism and toxicity reduction of methyl orange dye by a newly isolated bacterium *Pseudomonas aeruginosa* MZ520730", *J. Water Process Eng.*, **43**, DOI: 10.1016/j.jwpe.2021.102300.
- [7] Y.W. Yao, L.H. Cui, Y. Li, et al. (2015), "Electrocatalytic degradation of methyl orange on PbO_2 - TiO_2 nanocomposite electrodes", *Int. J. Environ. Res.*, **9**, pp.1357-1364, DOI: 10.22059/ijer.2015.1028.
- [8] N.A. Youssef, S.A. Shaban, F.A. Ibrahim, et al. (2016), "Degradation of methyl orange using Fenton catalytic reaction", *Egypt. J. Petrol.*, **25(3)**, pp.317-321, DOI: 10.1016/j.ejpe.2015.07.017.
- [9] P.T. Tot, M.T.T. Thuy, P.T. Binh (2022), "Removal of methyl orange from aqueous solution by electrochemical process using stainless steel/ PbO_2 - TiO_2 stable electrode", *Desalin. Water Treat.*, **266**, pp.202-211, DOI: 10.5004/dwt.2022.28646.
- [10] Y. Jiang, H. Zhao, J. Liang, et al. (2021), "Anodic oxidation for the degradation of organic pollutants: Anode materials, operating conditions and mechanisms. A mini review", *Electrochem. Commun.*, **123**, DOI: 10.1016/j.elecom.2020.106912.
- [11] M.R. Samarghandi, A. Ansari, A. Dargahi, et al. (2021), "Enhanced electrocatalytic degradation of bisphenol A by graphite/ β - PbO_2 anode in a three-dimensional electrochemical reactor", *J. Environ. Chem. Eng.*, **9(5)**, DOI: 10.1016/j.jece.2021.106072.
- [12] X. Wang, Q. Wu, H. Ma, et al. (2019), "Fabrication of PbO_2 tipped Co_3O_4 nanowires for efficient photoelectrochemical decolorization of dye (reactive brilliant blue KN-R) wastewater", *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, **191**, pp. 381-388, DOI: 10.1016/j.solmat.2018.12.005.
- [13] Y. Wang, N. Yu, M. Xing, et al. (2024), "Photoelectrocatalysis degradation of P-aminophenol using PbO_2 - TiO_2 heterojunction electrode: Catalytic, theoretical calculating and mechanism", *J. Environ. Chem. Eng.*, **12(5)**, DOI: 10.1016/j.jece.2024.113304.
- [14] W. Liu, J.G. Jiang, G.Y. Shi, et al. (2007), "Toxicity assessment of cyanide and tetramethylene disulfotetramine (Tetramine) using luminescent bacteria *Vibrio-qiinghaiensis* and PbO_2 electrochemical sensor", *Chin. J. Chem.*, **25(2)**, pp.203-207, DOI: 10.1002/cjoc.200790041.
- [15] Y. Dan, H. Lin, X. Liu, et al. (2012), "Porous quasi three-dimensional nano- Mn_3O_4 + PbO_2 composite as supercapacitor electrode material", *Electrochim. Acta*, **83**, pp.175-182, DOI: 10.1016/j.electacta.2012.07.126.
- [16] W. Wang, X. Duan, X. Sui, et al. (2020), "Surface characterization and electrochemical properties of PbO_2 / SnO_2 composite anodes for electrocatalytic oxidation of m-nitrophenol", *Electrochim. Acta*, **335**, DOI: 10.1016/j.electacta.2020.135649.
- [17] X. Duan, X. Sui, W. Wang, et al. (2019), "Fabrication of PbO_2 / SnO_2 composite anode for electrochemical degradation of 3-chlorophenol in aqueous solution", *Appl. Surf. Sci.*, **494**, pp.211-222, DOI: 10.1016/j.apsusc.2019.07.161.
- [18] P.T. Tot, M.T.T. Thuy, N.T. Duyen, et al. (2020), "Synthesis and characterization of PbO_2 on stainless steel substrate", *Journal of Science*, **69**, pp.27-34 (in Vietnamese).
- [19] M.M. Mahmoudi, R. Khaghani, A. Dargahi, et al. (2020), "Electrochemical degradation of diazinon from aqueous media using graphite anode: Effect of parameters, mineralisation, reaction kinetic, degradation pathway and optimisation using central composite design", *Int. J. Environ. Anal. Chem.*, **102(8)**, pp.1709-1734, DOI: 10.1080/03067319.2020.1742893.
- [20] A. Dargahi, M.R. Samarghandi, A. Shabanloo, et al. (2021), "Statistical modeling of phenolic compounds adsorption onto low-cost adsorbent prepared from aloe vera leaves wastes using CCD-RSM optimization: Effect of parameters, isotherm and kinetic studies", *Biomass Convers. Biorefinery*, **13**, pp.7859-7873, DOI: 10.1007/s13399-021-01601-y.
- [21] V.N. Tran (2006), *Physical Chemistry*, Education Publishing House, 293pp (in Vietnamese).

Chế tạo vật liệu tổ hợp TiO_2/HAP bằng phương pháp thủy nhiệt và ứng dụng quang xúc tác phân hủy phẩm màu dệt nhuộm

Trần Minh Hiếu¹, Lê Đình Nam¹, Lương Hoàng Minh², Phạm Thị Hằng², Nguyễn Xuân Hoàn^{2*}

¹Trường THPT chuyên Khoa học Tự nhiên, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 182 Lương Thế Vinh, phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

²Khoa Hóa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội, 19 Lê Thánh Tông, phường Cửa Nam, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 24/3/2025; ngày chuyển phản biện 26/3/2025; ngày nhận phản biện 17/4/2025; ngày chấp nhận đăng 23/4/2025

Tóm tắt:

Trong nghiên cứu này, vật liệu hấp phụ và quang xúc tác trên cơ sở HAP (từ tiền chất $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ và HAP cố định oxit titan (từ TiCl_3 - TiO_2/HAP) được chế tạo bằng phương pháp tổng hợp thủy nhiệt. Vật liệu chế tạo được đặc trưng tính chất: nhiễu xạ tia X, hiển vi điện tử quét kết hợp phân tích thành phần nguyên tố (SEM/EDX), xác định điện thế bề mặt - thế Zeta. Khả năng hấp phụ và quang xúc tác của vật liệu được đánh giá thông qua thí nghiệm phân hủy màu methylen xanh (MB), alizarin vàng G (AYG), xanh hồ thủy (XHT) là phẩm màu dệt nhuộm thu thập từ hộ gia đình làng nghề, phẩm màu trước và sau xử lý được xác định qua phép đo quang phổ UV-Vis. Kết quả đặc trưng tính chất cho thấy, oxit titan đã được cố định và phân tán đồng đều cùng vật liệu HAP; các hạt có khả năng ổn định tốt trong môi trường phân tán. Khả năng quang xúc tác oxy hóa và phân hủy của vật liệu TiO_2/HAP đối với các phẩm màu đều đạt trên 90% sau 3 giờ chiếu sáng UV. Qua đó cho thấy tiềm năng ứng dụng của vật liệu tổ hợp TiO_2/HAP trong xử lý quang xúc tác các chất màu ô nhiễm.

Từ khóa: hydroxyapatite, phẩm màu, phương pháp thủy nhiệt, quang xúc tác, TiO_2/HAP .

Chỉ số phân loại: 2.4, 2.5

Preparation of a hydroxyapatite-supported titanium oxide via the hydrothermal method for photocatalytic degradation of textile dyes

Minh Hieu Tran¹, Dinh Nam Le¹, Hoang Minh Luong², Thi Hang Pham², Xuan Hoan Nguyen^{2*}

¹HUS High School for Gifted Students, University of Science, Vietnam National University - Hanoi, 182 Luong The Vinh Street, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam

²Faculty of Chemistry, University of Science, Vietnam National University - Hanoi, 19 Le Thanh Tong Street, Cua Nam Ward, Hanoi, Vietnam

Received 24 March 2025; revised 17 April 2025; accepted 23 April 2025

Abstract:

In this study, the HAP-based adsorbent and photocatalytic materials, including hydroxyapatite synthesised from $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ and $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ precursors and titanium oxide-immobilised HAP (TiO_2/HAP) derived from TiCl_3 , were produced using a hydrothermal method. The obtained materials were characterised by several techniques: X-ray diffraction, scanning electron microscopy coupled with energy dispersive X-ray analysis (SEM/EDX), and surface charge determination via zeta potential measurements. The adsorption and photocatalytic performances of the materials were evaluated through degradation experiments of methylene blue (MB), alizarin yellow G (AYG), and indigo dye (XHT - textile dye collected from household-scale traditional weaving villages), with dye concentrations before and after treatment determined by UV-Vis spectrophotometry. Characterisation results indicated that titanium oxide was successfully immobilised and uniformly dispersed within the HAP matrix, and the particles exhibited good stability in the dispersion medium. The TiO_2/HAP composite exhibited photocatalytic oxidation and degradation efficiencies exceeding 90% for all tested dyes after three hours of UV irradiation. This highlights the potential application of TiO_2/HAP composite materials in the photocatalytic treatment of dye pollutants.

Keywords: dye, hydrothermal method, hydroxyapatite, photocatalysis, TiO_2/HAP .

Classification numbers: 2.4, 2.5

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

1. Đặt vấn đề

Oxit titan (TiO_2) và các TiO_2 biến tính là một trong những vật liệu được quan tâm nghiên cứu trong những năm gần đây nhờ tính chất quang hoá hoặc quang điện hoá xúc tác phân hủy các hợp chất hữu cơ độc hại [1]. Tuy nhiên, TiO_2 có khả năng hấp phụ thấp đối với các chất gây ô nhiễm và tốc độ tái tổ hợp nhanh của các cặp electron - lỗ trống, làm giảm hiệu suất xúc tác quang của vật liệu [2]. Hydroxyapatite, $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (HAP) được biết đến là vật liệu được sử dụng nhiều trong các quá trình hấp phụ xử lý các chất hữu cơ độc hại, cũng như các kim loại nặng [3, 4]. Do đó, tạo vật liệu composite TiO_2 /HAP được mong đợi sẽ kết hợp các ưu điểm của HAP với TiO_2 ; và có thể cải thiện khả năng hấp phụ của TiO_2 đối với các chất ô nhiễm đồng thời giảm sự tái hợp của các cặp electron - lỗ trống. Hiện tại, vật liệu tổ hợp TiO_2 /HAP đã bắt đầu thu hút sự chú ý của các nhóm nghiên cứu, và sử dụng như một chất xúc tác quang để xử lý các chất ô nhiễm trong môi trường nước [5]. Trong nghiên cứu của S. Murgolo và cs (2018) [6], vật liệu tổ hợp TiO_2 /HAP được chế tạo bằng cách nung $\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$ với HAP tự nhiên được tách từ xương cá tuyết (nhiệt độ nung tại 800°C), để phân hủy diclofenac. Vật liệu này thể hiện khả năng quang xúc tác vượt trội so với vật liệu TiO_2 hay HAP, hiệu suất xử lý đạt 95% sau 24 giờ chiếu sáng dưới đèn UV. Trong một nghiên cứu khác, vật liệu tổ hợp trên cơ sở TiO_2 và HAP (TiO_2 chiếm 10, 30 và 50% khối lượng, được điều chế bằng phương pháp sol-gel kèm theo nung nhiệt trong điều kiện tối ưu: $500^\circ\text{C}/50$ phút; từ alkoxid Ti, $\text{Ti}(\text{C}_4\text{H}_9\text{O})_4$ và HAP, được lấy chủ yếu từ xương và môm xương); thể hiện hiệu quả quang xúc tác trong quá trình phân hủy thuốc nhuộm acid red B. Tỷ lệ phân hủy acid red B (dung dịch 10 mg/l) đạt được khi sử dụng 3 loại vật liệu trên (hạt rắn 1 g/l) lần lượt là: 92,41, 87,25 và 82,13%; vượt trội hơn hẳn độ phân hủy 74,32% khi sử dụng vật liệu TiO_2 tinh khiết [1].

Gần đây nhất, composite TiO_2 /HAP được chế tạo bằng phương pháp tổng hợp thủy nhiệt từ tiền chất: TiOCl , CaO , $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, cetyl trimethyl ammonium chloride tại nhiệt độ 150°C (tỷ lệ Ti thay đổi từ: 5, 10 và 20%) để xử lý methyl violet (MV) trong nghiên cứu [7]. Kết quả phân hủy quang phẩm màu MV đạt tốt nhất (96,46%) với vật liệu TiO_2 /HAP chứa 20% Ti, sau khi chiếu sáng UV - 2 giờ, trong điều kiện sử dụng 1 g/l hạt vật liệu, để xử lý MV nồng độ 20 mg/l. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã sử dụng phương pháp tổng hợp thủy nhiệt với tiền chất: canxi nitrat, amoni dihydro photphat, TiCl_3 ; để chế tạo vật liệu composite TiO_2 /HAP với tỷ lệ lựa chọn 30% khối lượng TiO_2 trong composite, ở điều kiện phản ứng $150^\circ\text{C}/7$ giờ; là điểm khác biệt so với các nghiên cứu khác. Mục đích nhằm tạo vật liệu với sự kết hợp

các ưu điểm của HAP và TiO_2 để có thể cải thiện khả năng hấp phụ/phân hủy quang xúc tác của TiO_2 đối với các chất hữu cơ khó phân hủy/ô nhiễm có trong môi trường nước. Cơ chế tạo composite TiO_2 trên cơ sở nền HAP trong quá trình phản ứng thủy nhiệt cũng được trình bày thông qua phép đo đặc trưng điện thế bề mặt - thế Zeta. Tiếp đến, khảo sát hoạt tính quang xúc tác phân hủy màu của vật liệu composite TiO_2 /HAP chế tạo dưới ánh sáng đèn chiếu UV đối với các phẩm màu cơ bản và phẩm màu nhuộm vải thu thập tại làng dệt lụa Vạn Phúc. Cuối cùng, đánh giá khả năng tái sử dụng của vật liệu. Từ đó, góp phần làm sáng tỏ hiệu ứng hiệp đồng của TiO_2 và HAP trong vật liệu composite TiO_2 /HAP (chế tạo theo phương pháp thủy nhiệt) đối với quá trình oxy hoá quang hóa phân hủy các chất màu khi so sánh đối chứng với vật liệu trộn cơ học giữa HAP và TiO_2 ở cùng tỷ lệ khối lượng.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Các hóa chất sử dụng gồm: canxi nitrat ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, >99%, Trung Quốc), amoni dihydrophotphat ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, >99%, Trung Quốc), TiCl_3 (>12%, Sigma Aldrich), KOH (85%, Merck), TiO_2 thương mại (99,4%, Roha DyeChem Việt Nam). Các phẩm màu gồm: methylen xanh (99%, Trung Quốc), alizarin vàng G (>95%, Trung Quốc), và xanh hồ thủy - tên thương mại chất màu dệt nhuộm công nghiệp sử dụng trong quá trình nhuộm vải (được thu thập tại hộ gia đình, làng dệt lụa Vạn Phúc).

2.2. Chế tạo hydroxyapatite và vật liệu tổ hợp TiO_2 /HAP

Hydroxyapatite được điều chế trực tiếp từ tiền chất muối canxi nitrat bằng quy trình thủy nhiệt [3, 8] như sau: dung dịch $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ và $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, tỷ lệ $\text{Ca}/\text{P}=1,67$; được khuấy đều liên tục ở nhiệt độ phòng. pH hỗn hợp được điều chỉnh bằng dung dịch KOH đến pH~10. Chuyển hỗn hợp phản ứng vào bình thủy nhiệt bằng Teflon, tiến hành phản ứng ở $150^\circ\text{C}/7$ giờ. Sản phẩm sau phản ứng được lọc loại bỏ ion, và sấy ở $90^\circ\text{C}/12$ giờ, nghiền mịn (vật liệu được ký hiệu HAP).

Vật liệu composite TiO_2 /hydroxyapatite (TiO_2 /HAP) được chế tạo theo quy trình sau: HAP điều chế ở trên được phân tán trong nước cất nhờ thiết bị siêu âm. Dung dịch TiCl_3 được thêm vào hỗn hợp (sao cho tỷ lệ TiO_2 /HAP chiếm 30% khối lượng theo tính toán lý thuyết), khuấy đều liên tục và thêm tiếp KOH để hỗn hợp phản ứng đạt pH~12. Sau đó, thực hiện phản ứng thủy nhiệt ở điều kiện $150^\circ\text{C}/7$ giờ. Sản phẩm sau phản ứng được lọc loại bỏ ion và sấy khô, nghiền mịn. Mẫu vật liệu được ký hiệu HAPTi30.

2.3. Các phương pháp khảo sát đặc tính vật liệu

Các vật liệu chế tạo được đo nhiễu xạ tia X trên thiết bị XRD PANalytical Empyrean với bức xạ CuK_α ($\lambda=1,5418 \text{ \AA}$, $2\theta/\text{steps}=0,03^\circ/\text{step}$). Hình thái bề mặt hạt vật liệu và thành phần nguyên tố được phân tích trên thiết bị chụp SEM/EDX (Hitachi-4800 tích hợp đầu đo EDX). Phân bố về kích thước hạt của vật liệu xác định trên thiết bị Shimadzu SALD-2101. Điện thế Zeta của các hạt vật liệu được xác định trên máy đo Zeta phoremeter IV (CAD instrumentation) trong các điều kiện sau: nhiệt độ phòng, mẫu được phân tán siêu âm trong dung dịch KCl 10^{-3} M . Gần đúng Smoluchowski được sử dụng để tính giá trị thế Zeta, mỗi mẫu được thực hiện đo tối thiểu 15 lần, từ đó cho phép tính giá trị trung bình của điện thế bề mặt các hạt.

2.4. Khảo sát khả năng quang xúc tác xử lý màu dệt nhuộm

Một lượng 0,50 g/l vật liệu HAPTi30 được phân tán đều trong nước cất nhờ thiết bị rung siêu âm trong 5 phút, tiếp đó bổ sung dung dịch phẩm màu (metylen xanh, alizarin vàng G, hoặc xanh hồ thủy) để đạt nồng độ đầu $C_0=50 \text{ mg/l}$, khuấy đều. Sau khi đặt trong tối 30 phút để đạt cân bằng hấp phụ/giải hấp; hệ tiếp tục được chiếu đèn UV (công suất 9 W, sát bề mặt dung dịch mẫu) để khảo sát khả năng phân hủy quang xúc tác trong điều kiện nhiệt độ phòng. Thiết bị quang phổ UV-Vis (D4000/HACH) được sử dụng để xác định hàm lượng phẩm màu còn lại theo thời gian (C_t); tại mỗi điểm thời gian, 10 ml dung dịch mẫu phân tích được lấy và tách loại hạt vật liệu nhờ hỗ trợ của thiết bị li tâm trước khi đo. Dựa trên độ hấp thụ quang (Abs) cực đại của các phẩm màu và đường chuẩn. Các mẫu dung dịch khi đo quang đều được pha loãng tương ứng và dựa vào đường chuẩn để tính nồng độ, từ đó cho phép tính toán % lượng phẩm màu còn lại ($X\%$) hoặc hiệu suất phân hủy màu ($H\%$) theo biểu thức:

$$X\% = (C_t/C_0) \times 100\% \quad (1)$$

$$H\% = \{(C_0 - C_t)/C_0\} \times 100\% \quad (2)$$

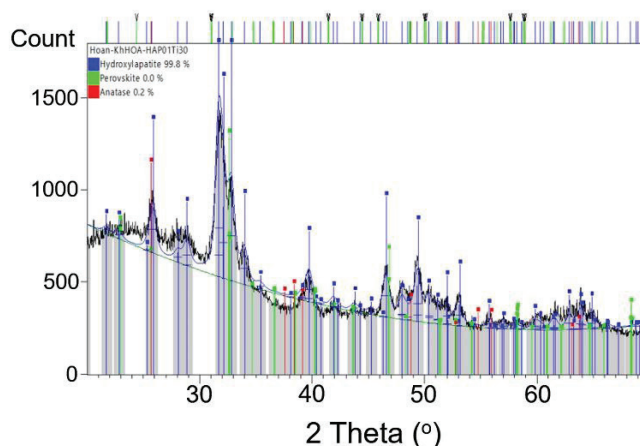
Với thí nghiệm quang xúc tác hấp phụ/phân hủy MB trên vật liệu HAP: sử dụng 2,00 g/l vật liệu, dung dịch phẩm màu nồng độ $C_0=20 \text{ mg/l}$, mẫu được chiếu sáng dưới đèn chiếu UV công suất 28 W. Mẫu phẩm màu MB đối chứng, với nồng độ $C_0=20 \text{ mg/l}$, được thực hiện song song trong cùng điều kiện thí nghiệm.

Bước sóng sử dụng của các phẩm màu khảo sát tương ứng: metylen xanh ($\lambda_{\text{MB}}=664 \text{ nm}$), alizarin vàng G ($\lambda_{\text{AYG}}=418 \text{ nm}$), xanh hồ thủy ($\lambda_{\text{XHT}}=618 \text{ nm}$). Đường chuẩn Abs vào nồng độ được xây dựng trong dải nồng độ chất màu từ 1 đến 10 mg/l.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Kết quả khảo sát đặc trưng tính chất của vật liệu chế tạo

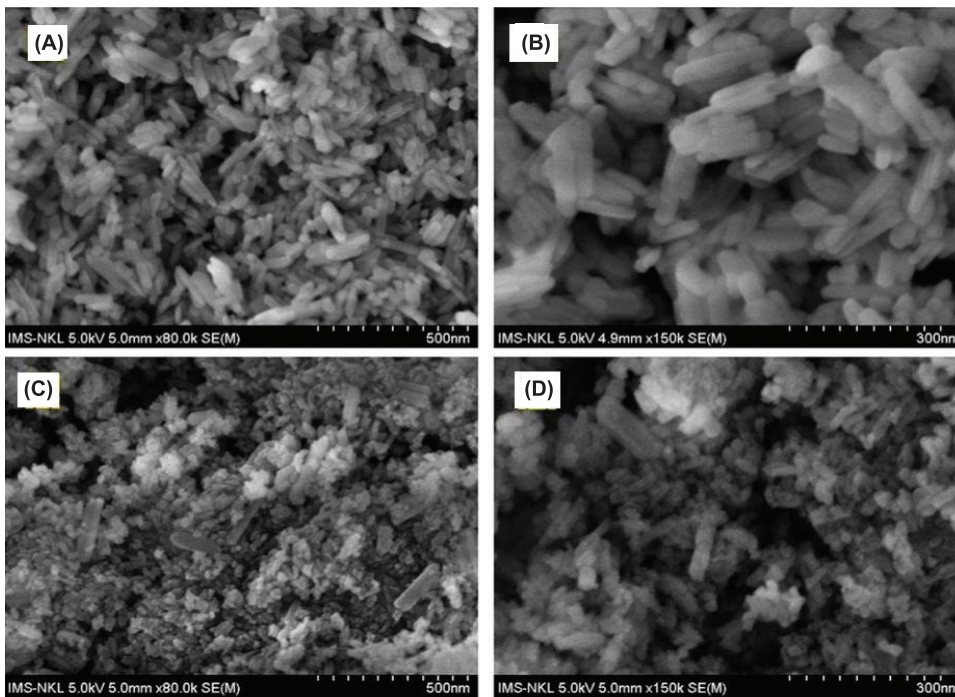
Hình 1 là giản đồ XRD của mẫu bột HAPTi30, và ảnh chụp trên kính hiển vi điện tử quét (SEM) ở các độ phóng đại khác nhau (hình 2), quan sát trên mẫu vật liệu HAP và composite HAPTi30.



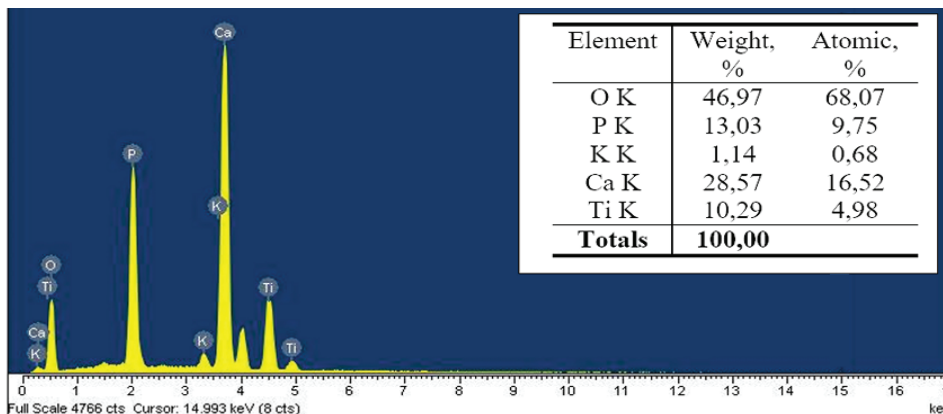
Hình 1. Giản đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu HAPTi30.

Trên giản đồ XRD thu được chủ yếu pha tinh thể với các pic nhiễu xạ đặc trưng của vật liệu HAP (hệ tinh thể lục phương, thuộc nhóm không gian $P6_3/m$ với các hằng số mạng $a=9,423 \text{ \AA}$ và $c=6,875 \text{ \AA}$ [3, 7, 8]. Các pic nhiễu xạ đặc trưng của TiO_2 (dạng anatase) [1, 9] được xác định với hàm lượng nhỏ, có thể do các vị trí pic nhiễu xạ bị che lấp bởi pic nhiễu xạ của vật liệu HAP; hoặc vật liệu hạt TiO_2 chế tạo trong điều kiện phản ứng thủy nhiệt có độ kết tinh kém. Quá trình phản ứng thủy nhiệt không tạo pha perovskite (như CaTiO_3). Trên ảnh SEM (hình 2A, 2B) có thể quan sát thấy sự hình thành các hạt HAP ở dạng hạt hình que khá đồng đều về kích cỡ (khoảng 100-150 nm). Với vật liệu HAPTi30, trên ảnh SEM ở cùng độ phóng đại, quan sát thấy các đám hạt nhỏ hơn, có thể minh chứng cho sự xuất hiện của các nano TiO_2 có dạng gần cầu bám dính/bao phủ xung quanh các hạt HAP hình que (hình 2C, 2D).

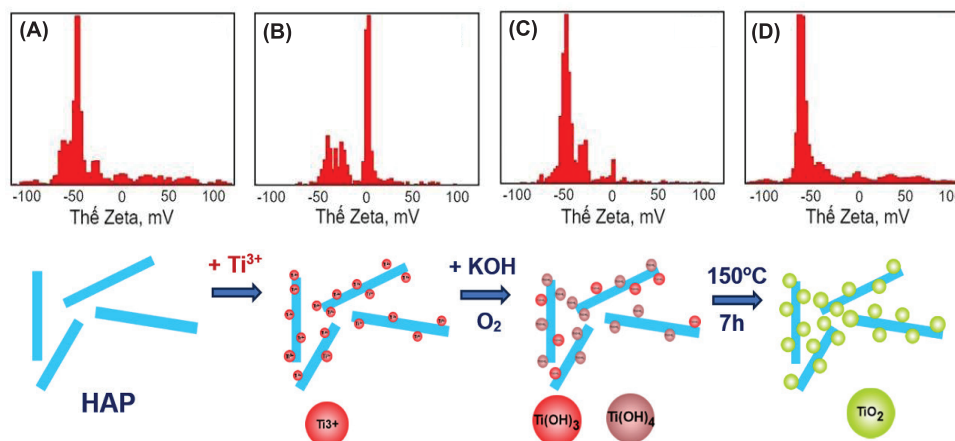
Kết quả phân tích nguyên tố (EDX) trên vùng diện tích $15 \times 20 \mu\text{m}$ của mẫu HAPTi30, được trình bày trên hình 3 (kèm bảng thành phần các nguyên tố có mặt trong mẫu). Tỷ lệ Ca/P~1,694 (so sánh với giá trị lý thuyết 1,67); bên cạnh nguyên tố Ti chiếm tỷ lệ 4,98% về số nguyên tử (hay 10,29% về khối lượng), một lượng nhỏ nguyên tố K cũng được phát hiện (do phản ứng thực hiện trong môi trường KOH dư), ion K^+ có bán kính nhỏ ($r=1,33 \text{ \AA}$) có thể đã chui vào trong cấu trúc của HAP.



Hình 2. Ảnh SEM của HAP (A, B) và HAPTi30 (C, D) ở các độ phóng đại khác nhau.



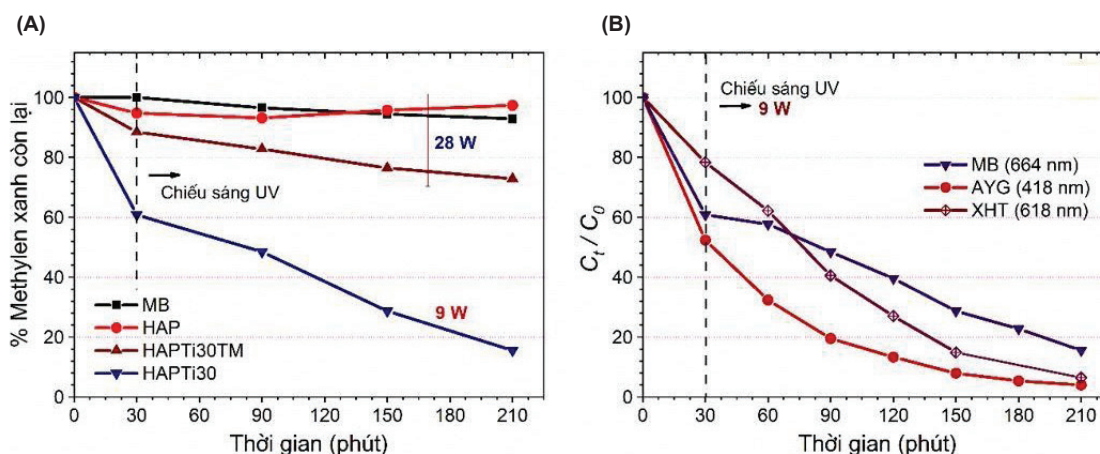
Hình 3. Kết quả phân tích nguyên tố EDX của vật liệu HAPTi30.



Hình 4. Giản đồ phân bố điện thế bề mặt. (A) Hạt HAP; (B) HAP thêm $TiCl_3$; (C) HAP đã thêm $TiCl_3$ và sau đó thêm KOH; (D) Composite TiO_2 /HAP (HAPTi30) chế tạo thủy nhiệt, và sơ đồ mô tả cơ chế hình thành vật liệu composite TiO_2 /HAP tương ứng.

Để minh họa và giải thích cơ chế tạo vật liệu tổ hợp TiO_2 /HAP, nhóm tác giả đã thực hiện thí nghiệm mô phỏng sau trên thiết bị đo thế bề mặt hạt - thế Zeta. Dung dịch chứa các hạt HAP với đường phân bố điện thế bề mặt thể hiện trên đồ thị hình 4.

Nhận thấy, bề mặt hạt HAP ban đầu có điện thế âm (đỉnh pic tập trung tại -50 mV, giá trị trung bình $-29,85$ mV, hình 4A) nguyên nhân do sự có mặt của các nhóm hydroxyl tạo liên kết trên bề mặt hạt HAP trong môi trường kiềm cao của phản ứng thủy nhiệt [10]. Khi thêm $TiCl_3$ vào hệ thí nghiệm chứa các hạt phân tán HAP, giá trị điện thế bề mặt dịch chuyển về phía dương hơn (đỉnh pic tập trung ở $+1$ mV), chứng tỏ khi thêm $TiCl_3$, các ion Ti^{3+} đã hấp phụ lên bề mặt hạt HAP và làm dịch chuyển điện thế bề mặt hạt về phía dương, giá trị trung bình của thế Zeta là $-12,25$ mV (hình 4B). Khi thêm tiếp KOH vào hệ thí nghiệm, có sự dịch chuyển điện thế ngược về phía âm, đỉnh pic tập trung hầu hết ở khoảng -50 mV (hình 4C), điều này cho thấy các ion OH^- đã tiếp tục hấp phụ lên trên lớp ion Ti^{3+} đã hấp phụ trước đó trên bề mặt các hạt HAP, tạo thành các hydroxit titan $Ti(OH)_3/Ti(OH)_4$ (với sự có mặt của oxy hòa tan trong môi trường phản ứng). Trong điều kiện phản ứng thủy nhiệt, đã hình thành các hạt TiO_2 bám dính/phủ xung quanh các hạt vật liệu HAP để tạo composite TiO_2 /HAP. Mẫu composite TiO_2 /HAP sau điều chế thủy nhiệt có đỉnh pic tập trung tại -60 mV, với giá trị thế trung bình là $-35,37$ mV (hình 4D). Giá trị điện thế âm trên bề mặt các hạt HAP và TiO_2 /HAP minh chứng khả năng bền phân tán trong môi trường, hỗ trợ cho quá trình tương tác hấp phụ các phân tử màu trên bề mặt và tiếp tục xảy ra quá trình phản ứng quang xúc tác phân hủy màu.



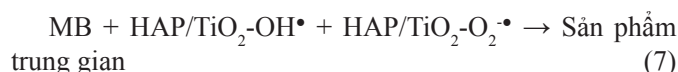
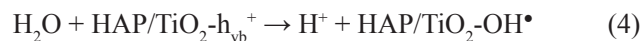
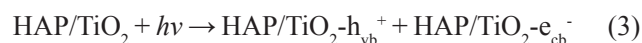
Hình 5. Đồ thị biểu diễn khả năng hấp phụ - phân hủy màu methylen xanh của các mẫu vật liệu khác nhau theo thời gian chiếu dưới ánh sáng UV (A); đặc trưng quang xúc tác phân hủy các phẩm màu theo thời gian chiếu sáng UV của HAPTi30 (B).

3.2. Khảo sát khả năng phân hủy các chất màu

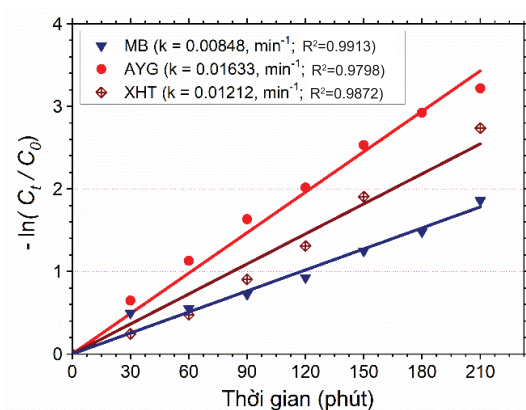
Hình 5A trình bày kết quả thí nghiệm hấp phụ/phân hủy màu methylen xanh trong điều kiện phơi chiếu dưới ánh sáng của đèn tử ngoại (công suất 28 W) được khảo sát với các mẫu vật liệu HAP, mẫu vật liệu HAPTi30TM là mẫu trộn cơ học 70% HAP với 30% TiO_2 thương mại về khối lượng (Roha DyeChem Việt Nam, vật liệu có phân bố về kích thước hạt được xác định: 50-100 nm), mẫu dung dịch methylen xanh không chứa vật liệu được sử dụng làm đối chứng (ký hiệu MB). Riêng mẫu composite TiO_2/HAP (HAPTi30) được khảo sát dưới ánh sáng đèn chiếu UV công suất 9 W.

So sánh với mẫu đối chứng (MB), vật liệu HAP tổng hợp gần như không thể hiện tính chất quang xúc tác đối với quá trình phân hủy màu methylen xanh, ngoại trừ khả năng hấp phụ. Vật liệu trộn cơ học HAP với 30% khối lượng nano- TiO_2 thương mại, (HAPTi30TM) hấp phụ/phân hủy màu MB khoảng 27% trong cùng điều kiện thí nghiệm (ánh sáng chiếu UV công suất 28 W, hàm lượng hạt rắn 2,00 g/l, dung dịch màu MB, $C_0=20$ mg/l). Trong khi đó, vật liệu composite TiO_2/HAP (HAPTi30), chế tạo theo phương pháp thủy nhiệt, cho khả năng hấp phụ và phân hủy màu methylen xanh tốt hơn hẳn: đạt khoảng 85% sau 180 phút chiếu dưới nguồn sáng UV (công suất 9 W), nhưng chỉ sử dụng hàm lượng hạt rắn 0,50 g/l để xử lý dung dịch màu MB, $C_0=50$ mg/l tương ứng. Kết quả cho thấy, vật liệu composite TiO_2/HAP chế tạo từ phương pháp thủy nhiệt có thể đã thể hiện hiệu ứng cộng hưởng giữa hai vật liệu TiO_2 (hoạt tính quang xúc tác bên cạnh khả năng hấp phụ) và HAP (khả năng hấp phụ), từ đó tăng khả năng hấp phụ/oxy hóa quang hóa phân hủy màu đối với MB. Cơ chế hoạt động quang xúc tác trên vật liệu TiO_2/HAP có thể được giải thích tương tự như trên TiO_2 [11], được biết tới do vật liệu tương tác với photon từ nguồn chiếu sáng và chuyển sang trạng thái hoạt động; trong dung dịch, chúng tương tác với các

phân tử nước, hoặc oxy hoà tan và sinh ra các gốc hydroxyl tự do ($\text{OH}^\bullet$)/ $\text{O}_2^\bullet$ là tác nhân chính tham gia quá trình oxy hoá phân hủy màu methylen xanh. Khi vật liệu composite TiO_2/HAP tương tác với photon, cả hai thành phần TiO_2 , HAP trong vật liệu cùng hỗ trợ chuyển sang trạng thái hoạt động, và tăng cường hỗ trợ quá trình sinh các gốc tự do [7, 12-14], là nguyên nhân thúc đẩy nhanh quá trình phân hủy màu chất hữu cơ. Cơ chế quang xúc tác oxy hoá phân hủy chất màu đối với vật liệu TiO_2/HAP , mà đặc biệt với TiO_2 là thành phần quang hoạt chính trong composite có thể được viết lại như sau [7, 13, 14]:



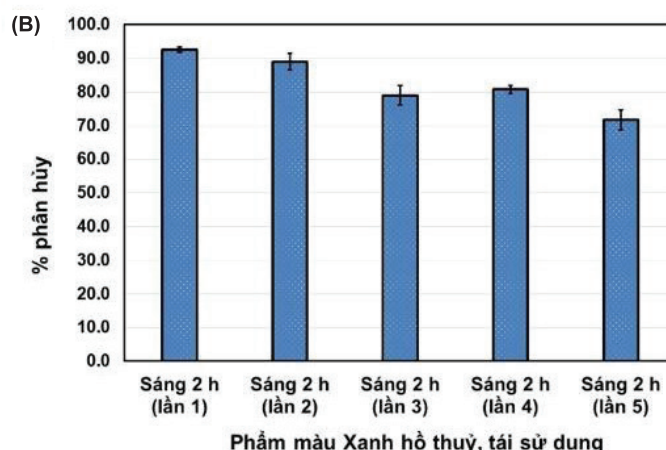
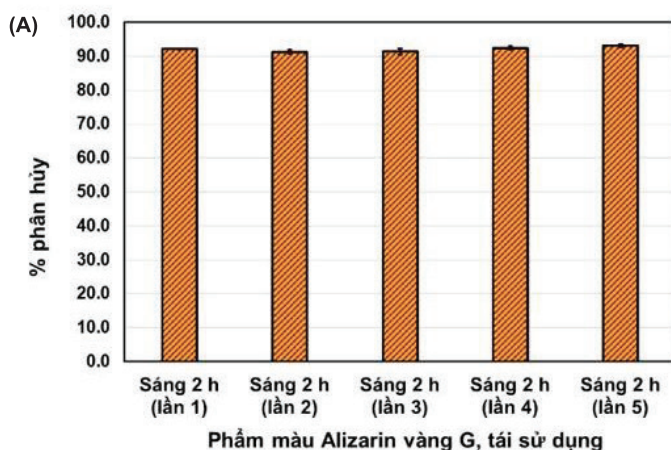
Nhờ hiệu ứng hiệp đồng [14] giữa TiO_2 và HAP trong vật liệu composite TiO_2/HAP , quá trình quang xúc tác phân hủy màu các chất: MB, AYG và XHT (Hình 5b) có thể được giải thích với sự tham gia đồng thời cùng lúc cả 3 quá trình: (i) quá trình hấp phụ các phân tử màu tại bề mặt các hạt rắn TiO_2/HAP , (ii) các gốc tự do ($\text{OH}^\bullet$)/($\text{O}_2^\bullet$) mới hình thành tại bề mặt vật liệu sẽ oxy hoá phân hủy trực tiếp các phân tử màu tại ranh giới bề mặt, 2 quá trình diễn ra đồng thời và liên tục, (iii) kèm theo với sự phân hủy màu trực tiếp dưới ánh sáng chiếu UV. Động học phản ứng của quá trình phân hủy quang xúc tác của vật liệu HAPTi30 trên các phẩm màu MB, AYG và XHT được giả định gần đúng theo động học phản ứng bậc 1 [1, 7, 14], qua việc biểu diễn mối quan hệ giữa $[-\ln(C_t/C_0)]$ và thời gian chiếu sáng dưới ánh sáng UV (t), được biểu diễn trên hình 6. Kết quả cho thấy, các phản ứng phân hủy màu của vật liệu TiO_2/HAP dưới các điều kiện



Hình 6. Đồ thị biểu diễn động học giả định bậc 1 - quang xúc tác phân hủy các phẩm màu theo thời gian của vật liệu composite TiO_2/HAP .

thí nghiệm gần như tuân theo động học phản ứng giả định bậc 1. Hằng số tốc độ của phản ứng bậc 1 được tính toán từ đồ thị (k) là: 0,5088, 0,9798 và 0,7272 giờ⁻¹, tương ứng cho MB, AYG và XHT. Kết quả thu được trên hình 5B và hình 6 cho thấy rằng, khả năng hoạt động quang xúc tác của vật liệu TiO_2/HAP tăng dần đối với quá trình phân hủy màu theo thứ tự: MB<XHT<AYG.

Hình 7 biểu thị kết quả thí nghiệm đánh giá khả năng tái sử dụng vật liệu composite TiO_2/HAP (HAPTi30) trên 2 loại phẩm màu AYG và XHT (5 chu kỳ) theo quy trình: sử dụng 0,50 g/l vật liệu quang xúc tác được phân tán trong dung dịch phẩm màu có nồng độ đầu $C_0=50$ mg/l; chiếu sáng dưới đèn UV (9 W) liên tục trong 2 giờ/chu kỳ. Kết thúc mỗi chu kỳ chiếu sáng dưới đèn UV, dung dịch chất màu được lấy ra khỏi hệ, tách và loại bỏ vật liệu rắn nhờ ly tâm và xác định



Hình 7. Đánh giá khả năng tái sử dụng vật liệu composite TiO_2/HAP với phẩm màu alizarin vàng G (A) và xanh hồ thủy (B).

Bảng 1. So sánh hoạt tính quang xúc tác phân hủy các chất hữu cơ độc hại của TiO_2/HAP dưới ánh sáng UV.

Tiền chất sử dụng, phương pháp tổng hợp	Khối lượng hạt	Chất hữu cơ, nồng độ	Hiệu suất phân hủy (%), thời gian chiếu sáng	Hằng số tốc độ k (giờ ⁻¹)	Tái sử dụng	Nguồn
$\text{Ti}(\text{SO}_4)_2$ và HAP từ xương cá tuyết, nung nhiệt 800°C (1,45 và 54% khối lượng TiO_2)	4 g/l	Diclofenac, 5 mg/l	85% (4 giờ) 95% (24 giờ) Đèn XX-15 BLB UV, cường độ sáng 1,80 mW/cm ²	-	-	[6]
TiOCl và CaO để tạo HAP, thủy nhiệt 150°C (20% khối lượng TiO_2)	1 g/l	Methyl violet, 20 mg/l thêm H_2O_2 3%	96,46% (120 phút, UV 20 W)	0,720	7 lần (mỗi chu kỳ 3 giờ), 96-93%	[7]
TiO_2 : HAP từ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (tỷ lệ khối lượng 1:1), đồng kết tủa	-	Methylen xanh, 10 ppm	90% (180 phút, UV-Vis)	-	-	[15]
HAP (từ xương đùi cừu) Titanium isopropoxide (TTIP), tỷ lệ TTIP/HAP=2 ml/g. Sol-gel, nung nhiệt 500°C/120 phút	1 g/l	Methylen xanh, 20 μM	93% (250 phút, UV 12 W)	0,4458	10 lần (mỗi chu kỳ 4 giờ), 92,9-84,5%	[16]
HAP, từ $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ HAPTi30, thủy nhiệt từ TiCl_3 , 150°C (30% khối lượng TiO_2)	0,5 g/l	50 mg/l a) Methylen xanh b) Alizarin vàng G c) Xanh hồ thủy	a) 84,44% b) 96,00% c) 93,52% (180 phút, UV 9 W)	a) 0,5088 b) 0,9798 c) 0,7272	5 lần (mỗi chu kỳ 2 giờ)	Nghiên cứu này

lượng phẩm màu còn lại, từ đó tính hiệu suất phân hủy màu theo phương trình (2). Sau mỗi chu kỳ phơi sáng, bổ sung dung dịch phẩm màu gốc vào hệ để đưa về nồng độ đầu C_0 và lặp lại thí nghiệm. Từ kết quả thu được, đối với phẩm màu AYG, trong cả 5 lần tái sử dụng hàm lượng màu đều bị hấp phụ/phân hủy trên 90% (hiệu suất phân hủy màu đạt trung bình khoảng 91,3 đến 93,1%, hình 7A). Trong khi đó, với XHT, phần trăm màu phân hủy có xu hướng giảm dần. Ở lần tái sử dụng thứ 5, mức độ phân hủy màu XHT chỉ còn đạt trung bình khoảng 71,8% (hình 7B). Bảng 1 so sánh kết quả xử lý quang xúc tác của TiO_2/HAP với một số nghiên cứu khác nhau trên thế giới.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, vật liệu composite HAP cố định TiO_2 (30% khối lượng) đã được chế tạo theo phương pháp thủy nhiệt từ tiền chất TiCl_3 và HAP (từ nguồn canxi nitrat). Vật liệu thu được với pha tinh thể thuộc cấu trúc lục phương đặc trưng của HAP; có hình thái dạng que, kích thước khoảng 100-150 nm, khá đồng đều, cùng với sự có mặt của các hạt nano TiO_2 bám dính và bao phủ xung quanh bề mặt HAP. Vật liệu TiO_2/HAP thể hiện tốt khả năng quang xúc tác phân hủy màu các chất màu với hiệu suất phân hủy khoảng 85% (metylen xanh); 96% (alizerin vàng G) và 94% (xanh hồ thủy) sau 3 giờ chiếu sáng dưới bức xạ tia UV công suất 9 W. Đánh giá khả năng tái sử dụng trong 5 chu kỳ liên tiếp/2 giờ chiếu sáng UV cho thấy vật liệu đáp ứng khá tốt trên phẩm màu alizerin vàng G, hiệu suất đạt trên 90% và duy trì ổn định. Phẩm màu xanh hồ thủy cho khả năng tái sử dụng vật liệu thấp hơn và suy giảm còn khoảng 71,8% sau 5 chu kỳ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Wang, C. Li, X. Luan, et al. (2010), "Investigation on solar photocatalytic activity of TiO_2 loaded composite: $\text{TiO}_2/\text{skeleton}$, TiO_2/dens and TiO_2/HAP ", *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, **320**(1-2), pp.62-67, DOI: 10.1016/j.molcata.2010.01.004.
- [2] M.T. Pham, D.C. Vu, T.T.H. Chu (2024), "Synthesis graphene quantum dots/ TiO_2 nanocomposite for rhodamine degradation", *Vietnam Journal of Catalysis and Adsorption*, **13**(2), pp.129-134, DOI: 10.62239/jca.2024.048.
- [3] D.L. Han, P.A. Cao, V. Cao, et al. (2021), "Preparation of the magnetic composite materials $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{hydroxyapatite}$ and its application for removal of 2,4-D and chrysoidine crystal", *VNU Journal of Science: Natural Sciences and Technology*, **37**(1), pp.35-43, DOI: 10.25073/2588-1140/vnunst.5110 (in Vietnamese).
- [4] P. Xuchao, H. Yong, D.T. Semirumi, et al. (2023), "Development of cellulose/hydroxyapatite/ TiO_2 scaffolds for efficient removal of lead (II) ions pollution: Characterisation, kinetic analysis, and artificial neural network modeling", *International Journal of Biological Macromolecules*, **246**, DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2023.125630.
- [5] K. Tanji, I. El Mrabet, Y. Fahoul, et al. (2023), "Epigrammatic progress on the photocatalytic properties of ZnO and TiO_2 based hydroxyapatite@photocatalyst toward organic molecules photodegradation: A review", *Journal of Water Process Engineering*, **53**, DOI: 10.1016/j.jwpe.2023.103682.
- [6] S. Murgolo, I.S. Moreira, C. Piccirillo, et al. (2018), "Photocatalytic degradation of diclofenac by hydroxyapatite- TiO_2 composite material: Identification of transformation products and assessment of toxicity", *Materials*, **11**, DOI: 10.3390/ma11091779.
- [7] I. Fatimah, H. Hidayat, P.W. Citradewi, et al. (2023), "Hydrothermally synthesized titanium/hydroxyapatite as photoactive and antibacterial biomaterial", *Heliyon*, **9**(3), DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14434.
- [8] T.Q. Tran, D. Pham Minh, T.S. Phan, et al. (2020), "Dry reforming of methane over calcium-deficient hydroxyapatite supported cobalt and nickel catalysts", *Chemical Engineering Science*, **228**, DOI: 10.1016/j.ces.2020.115975.
- [9] R. Thapa, S. Maiti, T.H. Rana, et al. (2012), "Anatase TiO_2 nanoparticles synthesis via simple hydrothermal route: Degradation of orange II, methyl orange and rhodamine B", *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, **363-364**, pp.223-229, DOI: 10.1016/j.molcata.2012.06.013.
- [10] Q.L. Le, T.B.H. Tran, H.N. Xuan, et al. (2016), "Growth mechanism and stability of magnetite nanoparticles synthesized by the hydrothermal method", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **16**(7), pp.7373-7379, DOI: 10.1166/jnn.2016.11110.
- [11] B.G. Garcia, G.T. Tasso, Z.M.V. Boldrin (2014), "Enhancement of photoelectrocatalysis efficiency by using nanostructured electrodes", *Modern Electrochemical Methods in Nano, Surface and Corrosion Science*, **10**, pp.273-275, DOI: 10.5772/58333.
- [12] R. Li, Q. Li, L. Zong, et al. (2013), "Ba $\text{TiO}_3/\text{TiO}_2$ heterostructure nanotube arrays for improved photoelectrochemical and photocatalytic activity", *Electrochimica Acta*, **91**, pp.30-35, DOI: 10.1016/j.electacta.2012.12.073.
- [13] A. Mariappan, P. Pandi, R. Rajeswarapalanichamy, et al. (2022), "Bandgap and visible-light-induced photocatalytic performance and dye degradation of silver doped HAP/ TiO_2 nanocomposite by sol-gel method and its antimicrobial activity", *Environmental Research*, **211**, DOI: 10.1016/j.envres.2022.113079.
- [14] C. Vanitha, R. Abirami, S. Chandraleka, et al. (2023), "Green synthesis of photocatalyst hydroxyapatite doped TiO_2/GO ternary nanocomposites for removal of methylene blue dye", *Materials Today: Proceedings*, DOI: 10.1016/j.matpr.2023.02.354.
- [15] M. Mirkovic, S. Filipovic, A. Kalijadis, et al. (2022), "Hydroxyapatite/ TiO_2 nanomaterial with defined microstructural and good antimicrobial properties", *Antibiotics*, **11**, DOI: 10.3390/antibiotics11050592.
- [16] N. Singh, R. Chakraborty, R.K. Gupta (2018), "Mutton bone derived hydroxyapatite supported TiO_2 nanoparticles for sustainable photocatalytic applications", *Journal of Environmental Chemical Engineering*, **6**(1), pp.459-467, DOI: 10.1016/j.jece.2017.12.027.

Cảm biến điện hóa với điện cực làm việc biến tính bằng hạt nano siêu thuận từ Fe_3O_4 để phát hiện dư lượng chloramphenicol trong mẫu sữa

Trần Văn Đình¹, Nguyễn Văn Khánh¹, Nguyễn Trường An¹, Lê Doãn Phúc¹, Phạm Tiến Thành²,
Nguyễn Đức Thiệu³, Phạm Thế Tân⁴, Hoàng Thị Bích Thủy⁵, Nguyễn Thị Minh Hồng^{1*}

¹Khoa Vật lý kỹ thuật và Công nghệ nano, Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, phường Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Hóa học và Phân tử Orsay, Trường Đại học Paris Saclay, Orsay 91405, Pháp

³Khoa Công nghệ hóa, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, 298 Cầu Diễn, phường Tây Tựu, Hà Nội, Việt Nam

⁴Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên, xã Việt Tiến, tỉnh Hưng Yên, Việt Nam

⁵Trường Hóa và Khoa học Sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội, 1 Đại Cồ Việt, phường Bạch Mai, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 1/4/2025; ngày chuyển phân biên 4/4/2025; ngày nhận phân biên 3/5/2025; ngày chấp nhận đăng 12/5/2025

Tóm tắt:

Tồn dư kháng sinh trong thực phẩm, đặc biệt trong các sản phẩm nông nghiệp và thủy sản, đang trở thành một vấn đề nghiêm trọng cần đưa ra giải pháp hữu hiệu tại Việt Nam. Nguyên nhân của hiện tượng này là việc lạm dụng kháng sinh trong chăn nuôi, không chỉ gây ra các hệ lụy đến sức khỏe cộng đồng mà còn ảnh hưởng tiêu cực đến uy tín và giá trị thương mại của các sản phẩm xuất khẩu. Trong bối cảnh đó, cảm biến điện hóa là một giải pháp tiềm năng nhờ các ưu điểm vượt trội về độ nhạy, chi phí thấp, thao tác đơn giản và khả năng sử dụng linh hoạt tại hiện trường. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng hạt nano Fe_3O_4 có tính chất siêu thuận từ, độ truyền dẫn điện tử cao, độc tính thấp, tương thích sinh học tốt, có khả năng hấp phụ các chất hữu cơ như thuốc kháng sinh, để biến tính điện cực làm việc của các cảm biến điện hóa thương mại C110 (Metrohm, Thụy Sĩ) nhằm nâng cao tín hiệu điện hóa và cải thiện độ nhạy của cảm biến. Kết quả nghiên cứu cho thấy, cảm biến điện hóa phát hiện nồng độ kháng sinh chloramphenicol (CAP) trong dung dịch đệm phosphat (phosphate buffer solution - PBS) có giới hạn phát hiện thấp $\text{LOD}=0,06 \mu\text{M}$, độ lệch chuẩn $\text{RSD}<5\%$, độ thu hồi 94,77%. Cảm biến đã được sử dụng để xác định nhanh dư lượng chất kháng sinh CAP trong mẫu sữa tại nồng độ $C_{\text{CAP}}=1 \mu\text{M}$, có độ thu hồi đạt 95-109% và độ lệch chuẩn 2,14%. Các kết quả khả quan này là tiền đề cho việc phát triển cảm biến điện hóa - kỹ thuật phân tích không đánh dấu, hiện trường di động, ứng dụng trong việc kiểm soát an toàn thực phẩm và bảo vệ sức khỏe người tiêu dùng Việt Nam.

Từ khóa: biến tính điện cực, cảm biến điện hóa, chất kháng sinh chloramphenicol, hạt nano siêu thuận từ Fe_3O_4 .

Chỉ số phân loại: 2.4, 2.9, 3.5

Electrochemical detection of chloramphenicol residues in milk samples using a working electrode modified with Fe_3O_4 superparamagnetic nanoparticles

Van Dinh Tran¹, Van Khanh Nguyen¹, Truong An Nguyen¹, Doan Phuc Le¹, Tien Thanh Pham²,
Duc Thieu Nguyen³, The Tan Pham⁴, Thi Bích Thủy Hoàng⁵, Thi Minh Hong Nguyen^{1*}

¹Faculty of Engineering Physics and Nanotechnology, VNU University of Engineering and Technology, 144 Xuan Thuy Street, Cau Giay Ward, Hanoi, Vietnam

²Orsay Institute of Molecular Chemistry & Materials, Université Paris-Saclay, Orsay 91405, France

³Faculty of Chemical Technology, Hanoi University of Industry, 298 Cau Dien Street, Tay Tuu Ward, Hanoi, Vietnam

⁴Hung Yen University of Technology and Education, Viet Tien Commune, Hung Yen Province, Vietnam

⁵School of Chemistry and Life Sciences, Hanoi University of Science and Technology, 1 Dai Co Viet Street, Bach Mai Ward, Hanoi, Vietnam

Received 1 April 2025; revised 3 May 2025; accepted 12 May 2025

Abstract:

Antibiotic residues in food, particularly in agricultural and aquaculture products, have become a serious issue requiring effective solutions in Vietnam. This problem is largely attributed to the excessive use of antibiotics in livestock farming, which not only poses risks to public health but also negatively affects the reputation and commercial value of exported products. In this context, electrochemical sensors have been recognised as a potential technological solution due to their advantages, including simple fabrication, low analytical cost, quick response, and high sensitivity and selectivity. In this study, Fe_3O_4 superparamagnetic nanoparticles, characterised by high electron conductivity, low toxicity, good biocompatibility, and strong adsorption capacity for organic compounds such as antibiotics, were used to modify the working electrode of commercial C110 electrochemical sensors (Metrohm, Switzerland) in order to enhance the electrochemical signal and improve sensor sensitivity. The results showed that the electrochemical sensor detected chloramphenicol (CAP) in phosphate buffer solution (PBS) with a low limit of detection (LOD) of $0.06 \mu\text{M}$, a relative standard deviation (RSD) of below 5%, and a recovery rate of 94.77%. The sensor was applied for the rapid determination of CAP residues in milk samples at a concentration of $1 \mu\text{M}$, achieving recovery rates of 95-109% and a relative standard deviation of 2.14%. These promising findings serve as a foundation for further research to develop label-free, portable electrochemical sensors for on-site analysis, contributing to food safety monitoring and the protection of consumer health in Vietnam.

Keywords: chloramphenicol antibiotic, electrochemical sensor, electrode modification, Fe_3O_4 superparamagnetic nanoparticles.

Classification numbers: 2.4, 2.9, 3.5

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

1. Đặt vấn đề

Kháng sinh chloramphenicol (CAP- $C_{11}H_{12}Cl_2N_2O_5$) là một loại kháng sinh phổ rộng, thường được sử dụng trong chăn nuôi và nuôi trồng thủy sản ở Việt Nam với mục đích trị bệnh, phòng bệnh hiệu quả và kích thích tăng trưởng. Các cơ quan quản lý và giám sát chất lượng thực phẩm đã đưa ra các hướng dẫn về việc sử dụng CAP an toàn và giới hạn định lượng cho thực phẩm. Tuy nhiên, việc sử dụng thuốc đúng cách, không nắm rõ các thành phần và tác dụng của thuốc, thiếu kiểm soát và vượt mức cho phép của chất kháng sinh CAP vì thiếu hiểu biết, lợi nhuận kinh tế và không được giám sát về chuyên môn đã đưa ra những mối lo ngại về an toàn thực phẩm và sức khỏe người tiêu dùng [1, 2]. Các nghiên cứu cho thấy, thuốc kháng sinh nếu được tích lũy trong cơ thể con người thông qua chuỗi thức ăn, có thể gây ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe con người ngay cả ở nồng độ thấp, chẳng hạn như mất thính giác, độc tính đối với các cơ quan (gan, thận) và về lâu dài gây ra các bệnh mãn tính gây suy tủy xương, hội chứng trẻ xám, thiếu máu bất sản, gây quái thai... [2-6].

Trên thực tế, việc phân tích và xác định dư lượng chất kháng sinh trước đây thường được thực hiện qua một số phương pháp như sắc ký lớp mỏng, sắc ký khí kết hợp với khối phổ, sắc ký khí kết hợp với bắt điện tử, sắc ký lỏng hiệu năng cao, điện di mao quản, dò ion hóa, xét nghiệm chất hấp thụ miễn dịch liên kết với enzyme, cảm biến sinh học quang học... [7-10]. Các phương pháp này đã được nghiên cứu thành công để phát hiện chất tồn dư trong thực phẩm một cách chính xác. Tuy nhiên, chúng vẫn còn tồn tại một số nhược điểm như: quá trình xử lý mẫu phức tạp, yêu cầu các nhân viên kỹ thuật được đào tạo kỹ thuật vận hành chuyên sâu để phân tích mẫu và giá thành cao.

Bài toán đặt ra phải tìm một giải pháp công nghệ mới để có thể xác định chất kháng sinh một cách nhanh chóng, chính xác, hiệu quả với chi phí hợp lý. Cảm biến điện hóa đã được chứng minh là một giải pháp công nghệ có nhiều ưu điểm hơn so với các phương pháp phân tích khác: độ đáp ứng nhanh, độ nhạy cao, khả năng phân tích tại chỗ, giới hạn phát hiện thấp, có thể tích hợp với hệ thống IoT (Internet of Things) và AI (Artificial intelligence) [11-14].

Cùng với sự phát triển của công nghệ nano hiện đại, việc đưa các vật liệu nano chức năng biến tính trên bề mặt điện cực làm việc của cảm biến điện hóa nhằm nâng cao tín hiệu và độ nhạy của cảm biến điện hóa đang nhận được sự quan tâm lớn từ các nhà khoa học và các nhà công nghệ trên thế giới. Vật liệu biến tính điện cực có thể là các polymer [15], kim loại quý [16, 17], oxit kim loại [18, 19], ống nano cacbon và các vật liệu nano khác... [20, 21]. Quá trình biến

tính điện cực làm thay đổi giao diện giữa điện cực làm việc và môi trường xung quanh, nhằm tăng khả năng phát hiện và truyền tải tín hiệu từ môi trường đến điện cực. Khi biến tính điện cực, một lớp vật liệu được phủ lên bề mặt của điện cực làm việc làm thay đổi tính chất hóa học và vật lý của nó. Việc này có thể làm thay đổi diện tích, tính chất bề mặt hoặc tạo ra các phản ứng hóa học phù hợp với môi trường cần đo. Với việc biến tính điện cực, cảm biến điện hóa có thể đáp ứng tốt hơn với yêu cầu của ứng dụng cụ thể. Các thành tựu và kết quả nghiên cứu khả quan của lĩnh vực cảm biến điện hóa ứng dụng phát hiện tồn dư chất kháng sinh có ý nghĩa khoa học và thực tiễn rất lớn trong việc kiểm soát an toàn thực phẩm, bảo vệ sức khỏe người tiêu dùng Việt Nam.

Trong các vật liệu nano, hạt nano oxit sắt từ Fe_3O_4 có cấu trúc lập phương thuộc nhóm đối xứng Fd-3m, hằng số mạng $a=8,34$ Å ngày càng được chú ý do có từ độ lớn, tính chất truyền dẫn điện tử cao, tính tương thích sinh học tốt, thích hợp làm vật liệu biến tính điện cực làm việc của cảm biến điện hóa, tăng cường tín hiệu và độ nhạy phát hiện kháng sinh [22-26]. Với ưu điểm này, hạt nano siêu thuận từ Fe_3O_4 được lựa chọn để biến tính điện cực trần cacbon nhằm tăng bề mặt diện tích hoạt động, tín hiệu và hiệu suất điện hóa của cảm biến. Cảm biến điện hóa biến tính bằng các hạt nano siêu thuận từ Fe_3O_4 được chúng tôi chế tạo bằng phương pháp thủy nhiệt, dựa trên các cơ sở nghiên cứu các hạt vật liệu biến tính. Các cảm biến điện hóa có ưu điểm chi phí thấp, có tốc độ phản hồi nhanh và có thể phân tích với các mẫu thực phẩm, môi trường, dược phẩm mà không cần xử lý mẫu phức tạp so với các kỹ thuật xác định kháng sinh truyền thống sẽ được sử dụng trong nghiên cứu này. Để nâng cao hiệu quả truyền tín hiệu và độ nhạy của cảm biến điện hóa, chúng tôi đã tiến hành biến tính bề mặt điện cực làm việc bằng các hạt nano sắt từ Fe_3O_4 . Việc phủ các hạt nano này không chỉ giúp gia tăng diện tích bề mặt hoạt hóa, mà còn cải thiện tính dẫn điện và khả năng tương tác với các phân tử mục tiêu. Các cảm biến sau biến tính này được sử dụng trong việc phát hiện dư lượng chloramphenicol (CAP) ở nồng độ thấp trong các mẫu thực phẩm ở nghiên cứu này.

2. Thực nghiệm

Hạt nano siêu thuận từ Fe_3O_4 được chế tạo bằng phương pháp thủy nhiệt kết hợp với vi sóng bằng hệ phản ứng vi sóng đa năng (UWave-2000, SINEO Microwave Chemistry Technology, Trung Quốc) trong điều kiện chế tạo pH=10, thời gian chế tạo $t=60$ phút, nhiệt độ $T=180^\circ\text{C}$ theo nghiên cứu được công bố trước đó [27]. Các tiền chất do hãng Sigma-Aldrich cung cấp, gồm sắt (III) clorua ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$), sắt (II) clorua ($FeCl_2 \cdot 4H_2O$) với độ tinh khiết 99% và Kali Hydroxide (KOH). Để tổng hợp Fe_3O_4 , trộn 2 muối kim loại Fe^{2+}/Fe^{3+} có tỷ lệ số mol là 1:2. Dung dịch KOH nồng độ

4 M được nhỏ giọt vào hỗn hợp 2 muối trên để điều chỉnh pH. Sau đó, hỗn hợp dung dịch được cho vào bình Teflon và tiến hành thủy nhiệt vi sóng với công suất 800 W. Kết thúc thời gian thủy nhiệt, mẫu được lấy đem lọc và rửa nhiều lần trong nước cất. Kết tủa thu được đem sấy trong nhiệt độ 80°C trong thời gian 6 giờ và đem nghiền bằng cối mã nã (Agate Mortar, Biosharp, Tekcovina) trong 2 giờ để thu được vật liệu Fe_3O_4 dạng bột mịn màu nâu đen. Cấu trúc tinh thể, cấu trúc vi mô và tính chất từ của vật liệu được khảo sát bằng phép đo nhiễu xạ tia X (XRD, EQUINOX 5000, Thermo Scientific, Pháp), kính hiển vi điện tử quét FESEM (ZEISS Supra 55-VP FEG-SEM, Carl Zeiss, Đức) và hệ đo từ kế mẫu rung VSM (Lake Shore 7404, Hoa Kỳ).

Để biến tính điện cực làm việc của cảm biến, hạt nano Fe_3O_4 được cân theo tỷ lệ và phân tán vào trong nước cất với nồng độ mol là 0,1 M; sau đó được nhỏ 3 μl dung dịch biến tính lên bề mặt điện cực làm việc của cảm biến điện hóa bằng micropipette và sấy khô ở nhiệt độ 55°C trong thời gian 2 giờ. Các tính chất của cảm biến điện hóa được khảo sát bằng hệ đo điện hóa μStat 400 (Metrohm, Thụy Sĩ) thông qua các phép đo điện hóa: quét thế vòng tuần hoàn (CV: Cyclic voltammetry), phổ tổng trở điện hóa (EIS: Electrochemical impedance spectroscopy) và quét thế xung vi phân (DPV: Differential pulse voltammetry). Nghiên cứu được thực hiện trên các cảm biến thương mại phổ biến trên thị trường với ký hiệu tương ứng là cảm biến carbon 110 (SPE C_M , Metrohm, Thụy Sĩ), cảm biến vàng C223AT (SPE Au_M , Metrohm, Thụy Sĩ) và cảm biến carbon (C_{JP} , Biodevice Technology, Nhật Bản) (bảng 1).

Bảng 1. Các thông số của các cảm biến carbon 110, vàng C223AT và carbon.

TT	Cảm biến	Vật liệu nền	Kích thước cảm biến (cm^2)	Điện cực làm việc	Điện cực đối	Điện cực tham chiếu
1	Carbon 110	Gốm sứ	$3,4 \times 1,0 \times 0,05$	Carbon $d=4$ mm	Carbon	Bạc
2	Vàng C223AT	Gốm sứ	$3,4 \times 1,0 \times 0,05$	Vàng $d=1,6$ mm	Vàng	Bạc
3	Carbon	Mica	$1,25 \times 0,4 \times 0,025$	Carbon $d=1,8$ mm	Vàng	Ag/AgCl

Phép đo CV xác định tính chất của điện cực SPE C_M và điện cực biến tính $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SPE } \text{C}_M$ được thực hiện trong hỗn hợp dung dịch K3/K4 ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]/\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$) 5 mM và KCl 0,1 M (pH=7). Phép đo EIS đo trong dải tần số 0,01-50 Hz. Để khảo sát độ nhạy của cảm biến điện hóa, thực hiện đo DPV tại các nồng độ CAP trong khoảng 2,5-100 μM trong dung dịch PBS 0,1 M; pH=7. Dung dịch PBS là hỗn hợp dung dịch bao gồm 2 muối NaH_2PO_4 và Na_2HPO_4 pha trong nước cất với tỷ lệ dung dịch là 3,9:6,1. Các thông số

quét bao gồm: cửa sổ điện thế -0,65-0,4 V; biên độ tăng thế 50 mV, gia số điện thế 10 mV và độ rộng xung 0,25 giây. Các thông số động học liên quan được tính toán như sau:

Giá trị diện tích bề mặt hoạt động (EASA- electrochemical active surface area) được xác định thông qua phương trình Randles-Sevcik [28]:

$$I_p = 2,68 \times 10^5 \times n^{\frac{3}{2}} \times A \times D^{\frac{1}{2}} \times C_M \times v^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

trong đó: n là số electron trao đổi, D là hệ số khuếch tán, C_M là nồng độ mol dung dịch K3/K4 (5 mM), v là tốc độ quét thế ($\text{V} \times \text{s}^{-1}$), I_p là dòng điện đỉnh (μA), A là diện tích bề mặt hoạt động (cm^2), phương trình Randles-Sevcik được sử dụng để ước tính hệ số khuếch tán D, giá trị hệ số khuếch tán $D=6,5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \times \text{s}^{-1}$ thu được từ độ dốc đồ thị giữa I_p và $v^{\frac{1}{2}}$ [29].

Hệ số chuyển điện tích k^o được xác định theo công thức:

$$k^o = \frac{RT}{R_{ct}ACF^2} \quad (2)$$

trong đó: hằng số khí lý tưởng $R=8,314 \text{ J} \times \text{K}^{-1} \times \text{mol}^{-1}$, nhiệt độ phòng $T=298 \text{ K}$, hằng số Faraday $F=96485 \text{ C} \times \text{mol}^{-1}$, k^o là hệ số chuyển điện tích ($\text{cm} \times \text{s}^{-1}$), R_{ct} là điện trở chuyển điện tích (Ω), A là diện tích của điện cực làm việc (cm^2), C là nồng độ mol dung dịch PBS (mM) [30].

Độ lệch chuẩn của phép đo được tính theo công thức:

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (3)$$

trong đó: SD là độ lệch chuẩn tín hiệu đo; x_i là giá trị của từng phép đo trong mẫu; $\bar{x}$ là giá trị trung bình của mẫu; n là số phép đo trong mẫu.

LOD xác định dựa vào độ dốc của đường chuẩn a và độ lệch chuẩn tín hiệu đo SD được tính theo công thức [31]:

$$LOD = \frac{3,3 \times SD}{a} \quad (4)$$

Độ lệch chuẩn tương đối được tính theo công thức:

$$RSD(\%) = \frac{SD}{\bar{x}} \times 100 \quad (5)$$

trong đó: SD là độ lệch chuẩn của mẫu, $\bar{x}$ là giá trị trung bình mẫu.

Độ thu hồi được xác định bằng cách thêm một lượng chất chuẩn xác định vào mẫu thử hoặc mẫu trắng, phân tích các mẫu thêm chuẩn đó và tính theo công thức sau:

Đối với mẫu thử:

$$R(\%) = \frac{C_{m+c} - C_m}{C_c} \times 100 \quad (6)$$

Đối với mẫu trắng:

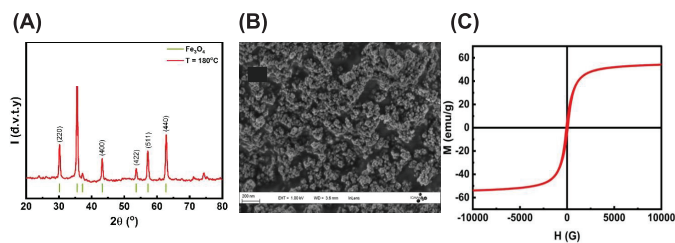
$$R(\%) = \frac{C_{tt}}{C_c} \times 100 \quad (7)$$

trong đó: R% là độ thu hồi; C_{m+c} là nồng độ chất phân tích trong mẫu thêm chuẩn, độ thu hồi chung là trung bình của độ thu hồi các lần làm lặp lại; C_m là nồng độ chất phân tích trong mẫu thử; C_c là nồng độ thêm chuẩn (lý thuyết); C_u là nồng độ chất phân tích trong mẫu trắng thêm chuẩn [32]. Để xác định khả năng phát hiện kháng sinh CAP trong mẫu thực, quy trình bắt đầu bằng việc chuẩn bị một lượng mẫu sữa tươi, sau đó tiến hành lọc qua giấy Whatman để loại bỏ các tạp chất và chất béo hữu cơ. Dung dịch sau khi lọc được thêm vào dung dịch PBS có pH=7, khuấy đều để tạo ra một hỗn hợp được gọi là dung dịch A. Sau đó, tiếp tục thêm từng lượng chất kháng sinh CAP vào dung dịch A để tạo ra các dung dịch mẫu thực có các nồng độ kháng sinh từ 0,1, 1, 2,5 và 10 μ M, dùng để đánh giá hiệu suất phân tích và khả năng phát hiện CAP của cảm biến điện hóa FO_{NEH}/SPE trong mẫu sữa. Mẫu thực sau đó được phân tích bằng phương pháp đo DPV để xác định tín hiệu dòng điện tương ứng với nồng độ chính xác của kháng sinh CAP.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Tính chất hạt nano từ Fe₃O₄

Hình 1A thể hiện giản đồ nhiễu xạ tia X (XRD) với $2\theta=20-80^\circ$ của mẫu chế tạo ở nhiệt độ $T=180^\circ\text{C}$, pH=10. Ta thấy xuất hiện các đỉnh đặc trưng tương ứng với chỉ số (hkl) lần lượt là (220), (311), (400), (422), (333), (440) tại các góc nhiễu xạ $2\theta=30,37; 35,51; 43,5; 52,68; 57,15$ và $62,58^\circ$. Các đỉnh XRD sắc nét cho thấy, các hạt kết tinh tốt, thể hiện cấu trúc tinh thể đặc trưng của Fe₃O₄ (tương ứng số thẻ JCPDS: 01-071-6336). Kích thước hạt tinh thể đã được tính bằng công thức Scherrer $d=22,5$ nm [27].



Hình 1. Giản đồ nhiễu xạ tia X (A), ảnh FESEM (B), đường cong từ hóa M(H) của hạt nano siêu thuận từ Fe₃O₄ (C).

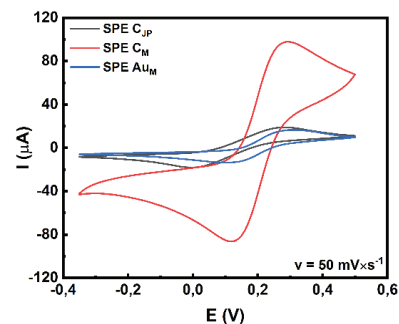
Hình 1B cho thấy, hình ảnh các hạt nhỏ đồng đều cỡ nanomet kích thước trong khoảng 20-25 nm, phù hợp với các tính toán từ phép đo XRD. Khảo sát tính chất từ của hạt Fe₃O₄, kết quả các giá trị từ độ bão hòa $M_s=53$ emu/g, từ dư $M_R=5,5$ emu/g (hình 1C). Các hạt sắt từ Fe₃O₄ sau khi chế tạo có cấu trúc tinh thể đơn pha, kích thước hạt nhỏ

đồng đều $d=20-25$ nm, từ độ cao và có tính chất siêu thuận từ sẽ được sử dụng làm vật liệu biến tính điện cực làm việc của cảm biến điện hóa. Như vậy, việc sử dụng nguồn năng lượng vi sóng công suất cao trong phương pháp thủy nhiệt tạo ra sự gia nhiệt cục bộ cho hỗn hợp dung dịch, khiến các phân tử, nguyên tử chuyển động rất nhanh, dẫn đến cải thiện tốt độ kết tinh, phân tách hạt và tạo ra các hạt Fe₃O₄ có kích thước đồng đều. Đặc tính kích thước cỡ nano làm tăng diện tích bề mặt riêng, do đó khi sử dụng làm chất biến tính điện cực làm việc của cảm biến điện hóa sẽ làm tăng diện tích tiếp xúc với các chất phản ứng. Điều này giúp cảm biến điện hóa có thể phát hiện các chất phân tử một cách nhạy hơn và chính xác hơn.

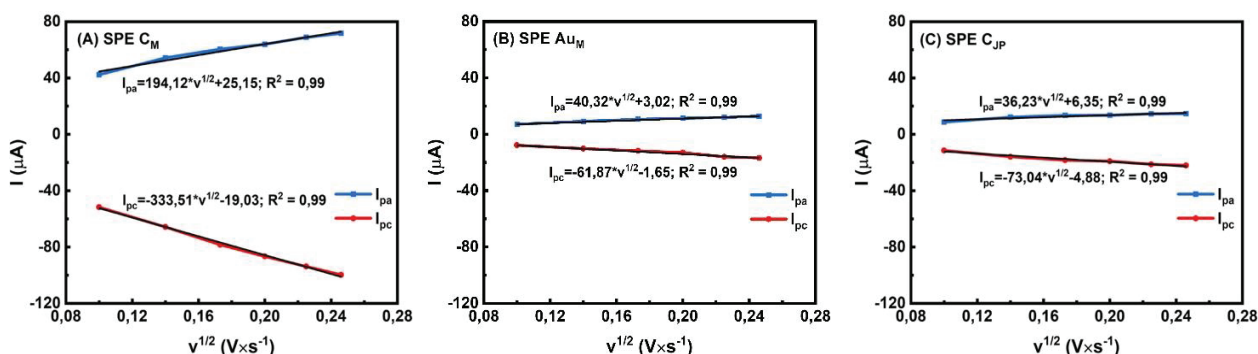
3.2. Tính chất của các điện cực trần SPE thương mại

Trong nghiên cứu này, các phép đo CV được thực hiện cho hệ $K_3[Fe(CN)_6]/K_4[Fe(CN)_6]$ tại các tốc độ quét thế v khác nhau, với mục đích lựa chọn cảm biến có các thông số: diện tích bề mặt hoạt động, điện trở chuyển điện tích, tín hiệu điện hóa thích hợp nhất để biến tính điện cực.

Đồ thị CV của 3 điện cực SPE C_M , SPE Au_M và SPE C_{JP} tại tốc độ quét thế $v=50$ $\text{mV}\times\text{s}^{-1}$ được thể hiện trên hình 2. Kết quả cho thấy, tại cùng một tốc độ quét thế v , đỉnh I_p của điện cực SPE C_M lớn hơn so với hai điện cực SPE Au_M và SPE C_{JP} . Đồng thời, so sánh kết quả tính EASA từ sự phụ thuộc của cường độ dòng điện đỉnh anốt I_{pa} và dòng điện đỉnh catot I_{pc} vào $v^{1/2}$ của các điện cực làm việc trên hình 3 và bảng 2 có thể thấy, độ lớn EASA của các điện cực khảo sát được sắp xếp theo thứ tự $EASA\ SPE\ C_M=0,067\text{ cm}^2>EASA\ SPE\ Au_M=0,014\text{ cm}^2>EASA\ SPE\ C_{JP}=0,01\text{ cm}^2$. Sự khác biệt về giá trị EASA của các điện cực này có thể ảnh hưởng đến hiệu suất và tính chất điện hóa của từng điện cực trong các ứng dụng cụ thể. Điện cực SPE C_M có diện tích bề mặt hoạt động lớn hơn được tính bằng công thức (1) thường cung cấp nhiều điểm tiếp xúc hơn, thể hiện vai trò của việc biến tính các hạt nano siêu thuận từ Fe₃O₄ làm tăng cường tín hiệu, tương tác hóa học và hiệu suất của quá trình điện hóa.



Hình 2. Đồ thị quét thế tuần hoàn của các điện cực SPE C_{JP} , SPE C_M và SPE Au_M .



Hình 3. Sự phụ thuộc tuyến tính của cường độ tín hiệu dòng điện I vào $v^{1/2}$ của các điện cực: SPE C_M (A), SPE Au_M (B), SPE C_{JP} (C).

Để so sánh độ lớn của tín hiệu của 3 cảm biến thương mại có diện tích biểu kiến của điện cực làm việc khác nhau, thông số mật độ dòng được tính toán và thể hiện trên bảng 2. Kết quả cho thấy, $J_{SPE\ Au_M} = 2426,11 \mu\text{A}/\text{cm}^2 > J_{SPE\ C_M} = 1824,82 \mu\text{A}/\text{cm}^2 > J_{SPE\ C_{JP}} = 1326,11 \mu\text{A}/\text{cm}^2$. Điều này có thể giải thích là do vàng là một kim loại dẫn điện tốt (có mật độ electron tự do) cao hơn carbon. Để minh chứng khả năng chuyển điện tích của các điện cực được khảo sát, phổ tổng trở điện hóa (EIS) được coi là phương pháp trực tiếp, hiệu quả, nhanh chóng để đánh giá khả năng truyền dẫn điện tử của các điện cực. Từ bảng 2 và hình 4A cho thấy, phổ tổng trở của các điện cực trong dung dịch chứa 5 mM $K_3[Fe(CN)_6] + K_4[Fe(CN)_6]$ có sự khác nhau trong quá trình chuyển điện tích xảy ra ở mỗi điện cực.

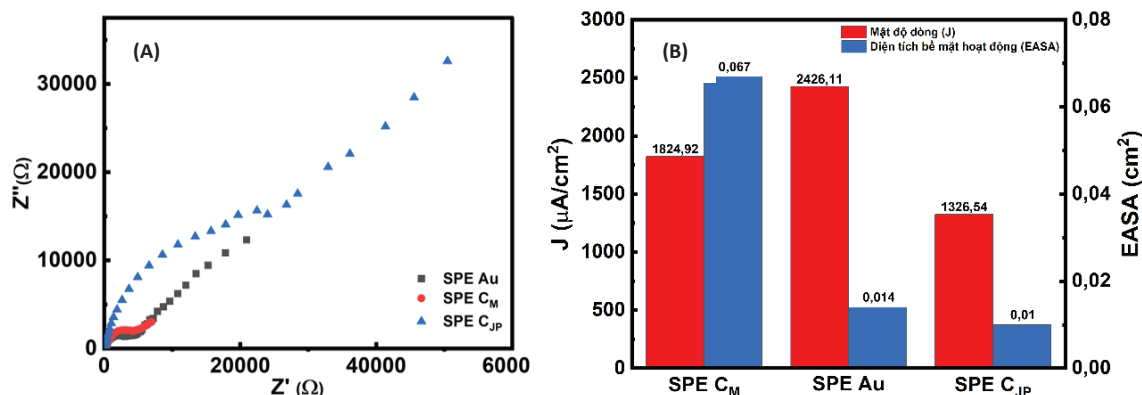
Bảng 2. Diện tích bề mặt hoạt động EASA, mật độ dòng J và giá trị điện trở chuyển điện tích R_{ct} của các điện cực.

Điện cực	SPE C_M	SPE Au_M	SPE C_{JP}
$EASA_p$ (cm^2)	0,067	0,014	0,01
J ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	1824,82	2426,11	1326,11
R_{ct} (Ω)	89,88	4312,89	115,43

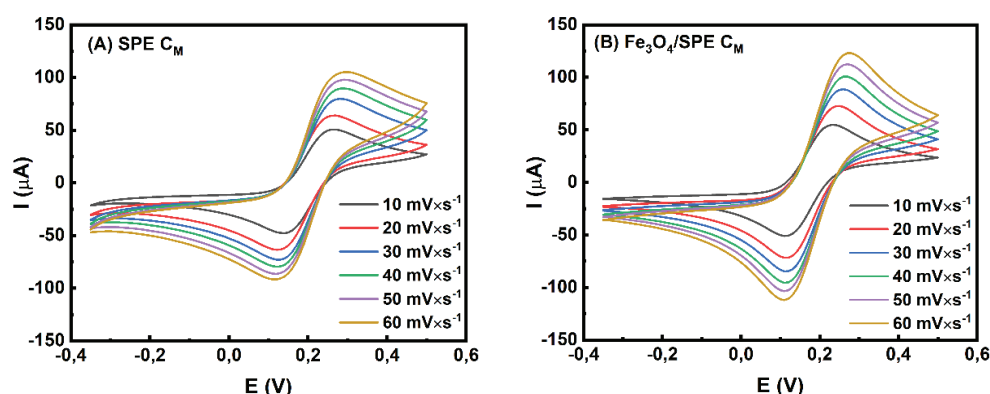
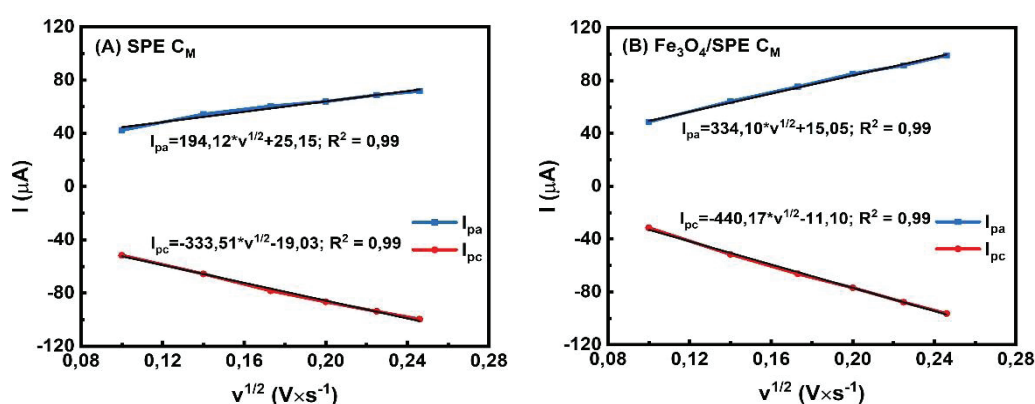
Giá trị điện trở chuyển điện tích R_{ct} là một trong những thông số quan trọng nhất để đánh giá động học của các phản ứng chuyển điện tích liên quan đến quá trình oxy hóa khử tại bề mặt điện cực. Giá trị này được xác định trực tiếp thông qua đường kính hình bán nguyệt tại dải tần số cao của đường cong Nyquist. Các kết quả trên hình 4 cho thấy giá trị điện trở chuyển điện tích của SPE C_M ($R_{ct} = 89,88 \Omega$) luôn nhỏ hơn so với điện cực SPE Au_M ($R_{ct} = 4312,89 \Omega$) và SPE C_{JP} ($R_{ct} = 115,43 \Omega$). Điều này thể hiện điện cực SPE C_M có phản ứng điện hóa, dẫn điện và chuyển điện tích tốt hơn các điện cực còn lại. Như vậy, từ các kết quả khảo sát các tính chất điện cực thông qua các phép đo CV, EIS, nhóm nghiên cứu đã chọn lựa được điện cực SPE C_M để biến tính có diện tích bề mặt hoạt động lớn $EASA = 0,067 \text{ cm}^2$, mật độ dòng cao $J = 1824,82 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, điện trở chuyển điện tích nhỏ $R_{ct} = 89,88 \Omega$.

3.3. Tính chất của điện cực biến tính $Fe_3O_4/SPE\ C_M$

Hình 5A thể hiện các đường cong CV của các cảm biến có điện cực trần SPE C_M chưa biến tính và được biến tính $Fe_3O_4/SPE\ C_M$ trong dung dịch K_3/K_4 , pH=7 trong khoảng



Hình 4. Phổ tổng trở của các điện cực SPE (A), giá trị mật độ dòng J và diện tích bề mặt hoạt động EASA của các điện cực (B).


 Hình 5. Đồ thị CV của các điện cực SPE C_M (A), Fe₃O₄/SPE C_M (B).

 Hình 6. Sự phụ thuộc tuyến tính của cường độ tín hiệu dòng điện I theo $v^{1/2}$ của các điện cực SPE C_M (A), Fe₃O₄/SPE C_M (B).

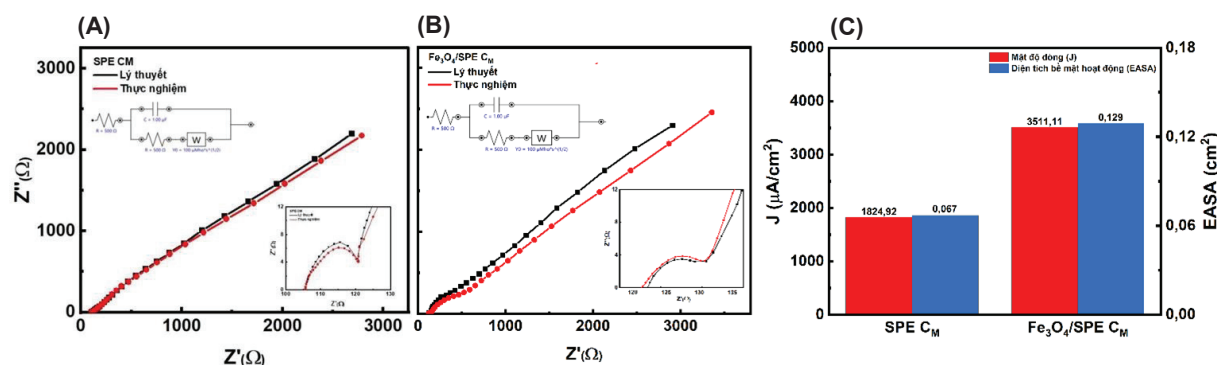
quét thế -0,3-0,6 V. Kết quả cho thấy, dòng điện I_{pa} , I_{pc} cực đại tăng dần theo tăng tốc độ quét v thể hiện qua phương trình hồi quy tuyến tính.

$$I_{pa} (\mu A) = 194,12 v^{1/2} (Vs^{-1}) + 25,15 (R^2 = 0,99) \quad (8)$$

$$I_{pa} (\mu A) = 344,10 v^{1/2} (Vs^{-1}) + 15,05 (R^2 = 0,99) \quad (9)$$

Theo phương trình trên, giá trị của cường độ dòng điện đỉnh I_{pa} của điện cực Fe₃O₄/SPE C_M đã tăng lên 1,92 lần so với I_{pa} của điện cực SPE C_M trước biến tính. Hình 6 là đường tuyến tính của cường độ dòng điện I theo căn bậc hai vận tốc

quét thế v của các điện cực SPE C_M và Fe₃O₄/SPE C_M. Có thể thấy, Fe₃O₄/SPE C_M có tín hiệu lớn và rõ nét hơn so với điện cực trần SPE. Điều này có thể được giải thích là do khi biến tính bằng các hạt nano Fe₃O₄ làm tăng mật độ hạt tải mang điện, các hạt nano có tỷ lệ diện tích bề mặt riêng lớn nên tăng diện tích tiếp xúc điện hoá, dẫn đến tăng cường độ dòng điện trong phản ứng điện hoá. Diện tích bề mặt hoạt động của điện cực được biến tính: Fe₃O₄/SPE C_M lớn hơn 1,76 lần so với điện cực chưa biến tính SPE C_M (0,099:0,06 = 1,76:1).

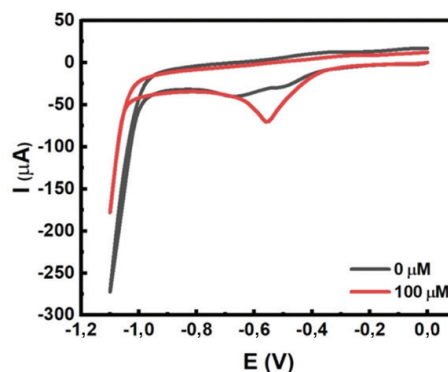

 Hình 7. Phổ tổng trở EIS của các điện cực SPE C_M (A), Fe₃O₄/SPE C_M (B), so sánh diện tích bề mặt hoạt động điện cực EASA và mật độ dòng J của các điện cực SPE C_M và Fe₃O₄/SPE C_M (C).

Hình 7A biểu diễn phổ trở kháng của điện cực chưa biến tính SPE C_M và biến tính $Fe_3O_4/SPE C_M$. Điện cực sau khi biến tính bằng hạt nano siêu thuận từ Fe_3O_4 cung cấp diện tích bề mặt hoạt động cao hơn dẫn đến khả năng tương tác với các chất tốt hơn. Độ nhạy và hệ số chuyển điện tích k^0 cũng nhanh hơn điện cực trần, thể hiện qua giá trị R_{ct} giảm từ 89,88 xuống 68,00 Ω và k^0 tăng từ $3,54 \times 10^{-6}$ đến $6,5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$. Như vậy, việc sử dụng các vật liệu nano chức năng phù hợp để biến tính điện cực làm tăng diện tích bề mặt hoạt động điện cực, giảm giá trị điện trở chuyển điện tích. Điều này có vai trò quan trọng trong việc tăng tín hiệu và độ nhạy của cảm biến, phù hợp và đáp ứng tốt với việc truy vết và phân tích kháng sinh nồng độ thấp.

3.4. Khảo sát khả năng phát hiện chất kháng sinh CAP của cảm biến $Fe_3O_4/SPE C_M$

Cảm biến sau khi được biến tính và khảo sát tính chất đã được sử dụng để đánh giá khả năng phát hiện kháng sinh CAP. Trong nghiên cứu này, phương pháp quét thế xung vi phân (DPV- Differential pulse voltammetry) đã được chúng tôi sử dụng để phân tích kháng sinh CAP, với các nồng độ từ 0 đến 100 μM trong dung dịch đệm PBS 0,1 M; pH=7. Hình 8 cho thấy, khi chưa có kháng sinh CAP, không thấy xuất hiện đỉnh khử I, do đó không có quá trình khử nào được diễn ra. Khi nồng độ $C_{CAP}=100 \mu\text{M}$ xuất hiện của đỉnh khử $v=50 \text{ mV} \times \text{s}^{-1}$ cho thấy, các đỉnh khử cực đại tại $E_c=-0,55 \text{ V}$. Đỉnh khử tại -0,55 V được cho là sự khử điện tử không thuận nghịch của nhóm $-NO_2$ của CAP thành gốc hydroxylamine ($-NHOH$), chứng tỏ có sự tương tác giữa chất phân tích và vật liệu biến tính điện cực làm việc của cảm biến điện hóa, cho thấy khả năng phát hiện chất kháng sinh của điện cực $Fe_3O_4/SPE C_M$ [33].

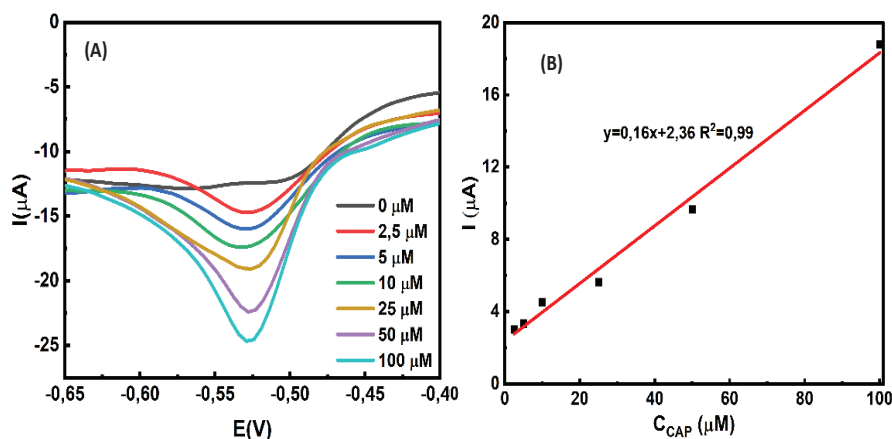
Để khảo sát độ nhạy của cảm biến điện hóa tại các nồng độ khác nhau của $C_{CAP}=2,5-100 \mu\text{M}$, phép đo DPV trong dung dịch PBS 0,1 M; pH=7 được khảo sát. Hình 9A cho thấy, dòng điện cực đại giảm khi giảm nồng độ CAP. Tại nồng độ $C_{CAP}=100 \mu\text{M}$, đỉnh khử xuất hiện rất rõ nét, sau đó cường độ đỉnh khử giảm dần và tại nồng độ $C_{CAP}=2,5 \mu\text{M}$ xuất hiện đỉnh với cường độ nhỏ. Khảo sát trên toàn bộ dải nồng độ 2,5-100 μM , dòng điện cực đại catốt phụ thuộc tuyến tính với nồng độ CAP được thể hiện trên hình 9B. Phương trình hồi quy tuyến tính thu được từ điện cực $Fe_3O_4/SPE C_M$ là:



Hình 8. Đồ thị quét thế tuần hoàn CV của cảm biến điện hóa $Fe_3O_4/SPE C_M$ trong dung dịch PBS có kháng sinh CAP nồng độ $C_{CAP}=0, 100 \mu\text{M}$.

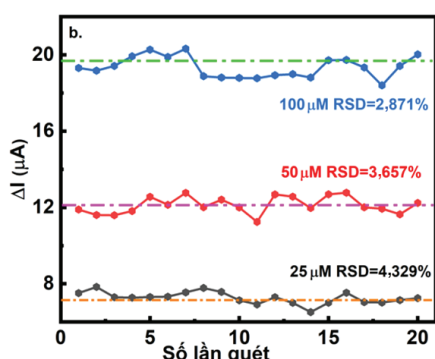
$$I_p (\mu\text{A}) = 0,16 \times C(\mu\text{M}) + 2,36 \quad (R^2=0,99) \quad (10)$$

Trong quá trình phản ứng điện hóa, các phân tử của chất kháng sinh ($C_{11}H_{12}N_2O_5$) sẽ tương tác với các hạt Fe_3O_4 trên bề mặt của điện cực, các electron sẽ chuyển đổi vị trí giữa các phân tử và ion trong dung dịch. Với phương pháp DPV, điện thế được thay đổi liên tục trong khoảng thời gian ngắn, cường độ dòng điện được ghi nhận và phản ứng điện hóa sẽ xảy ra khi tác động điện thế đủ lớn. Kết quả tính toán cho thấy, cảm biến điện hóa có giới hạn phát hiện $LOD=0,06 \mu\text{M}$. Với khả năng tương thích sinh học tốt, độ truyền dẫn điện tử cao, cảm biến có điện cực làm việc được biến tính bằng Fe_3O_4 có độ nhạy cao, thời gian đáp ứng nhanh, có khả năng phân tích phát hiện chất kháng sinh trong dung dịch PBS tại nồng độ thấp, cho thấy hiệu suất phân tích CAP của cảm biến là đáng tin cậy và có độ chính xác cao.



Hình 9. Đường cong DPV của cảm biến điện hóa $Fe_3O_4/SPE C_M$ đo tại các nồng độ kháng sinh $C_{CAP}=2,5-100 \mu\text{M}$ trong dung dịch PBS 0,1 M; pH=7 với tốc độ quét thế $v=6 \text{ mV} \times \text{s}^{-1}$ (A); đường hồi quy tuyến tính của cường độ tín hiệu dòng điện I theo nồng độ kháng sinh C_{CAP} (B).

Nhằm đánh giá khả năng truy vết và phân tích kháng sinh của cảm biến trong mẫu thực, chúng tôi đã khảo sát tương tác ion của vật liệu làm điện cực với các phân tử chất hữu cơ. Cụ thể, đó là quá trình khử nhóm nitro ($-\text{NO}_2$) thành hydroxylamine ($-\text{NHOH}$), sau đó xảy ra phản ứng oxy hóa thuận nghịch giữa hydroxylamine và oxime ($-\text{ON}$), tạo tín hiệu dòng điện đặc trưng, giúp định lượng CAP thông qua phép đo độ tái lập như chỉ ra trên hình 10.

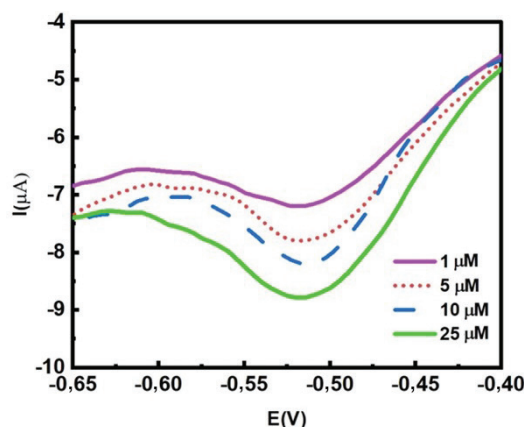


Hình 10. Độ tái lập của cảm biến cảm biến điện hóa $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SPE C}_M$ sau 20 lần đo liên tiếp.

Độ lệch chuẩn tương đối RSD trong 20 lần đo liên tiếp của điện cực $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SPE C}_M$ tại các nồng độ kháng sinh khác nhau đều dưới mức cho phép là 5%. Độ lệch chuẩn vào khoảng 2,87% tại nồng độ $C_{\text{CAP}}=100 \mu\text{M}$. Nồng độ C_{CAP} càng lớn sẽ tăng khả năng đáp ứng của cảm biến và giảm sai số khi đo lường. Kết quả này chứng tỏ độ chọn lọc và độ ổn định của cảm biến là rất tốt.

Cảm biến sau khi khảo sát các tính chất điện hóa có kết quả tốt, được ứng dụng phát hiện chất kháng sinh CAP trong mẫu sữa bằng phương pháp DPV. Mẫu sữa được chuẩn bị theo quy trình chuẩn bị mẫu thực phân tích theo tiêu chuẩn TCVN 8140-2009. Hình 11 chỉ ra kết quả đo DPV trong dung dịch mẫu sữa khi thay đổi nồng độ $C_{\text{CAP}}=1-25 \mu\text{M}$ tại tốc độ quét $v=6 \text{ mV}\times\text{s}^{-1}$. Tại nồng độ $C_{\text{CAP}}=1 \mu\text{M}$, đỉnh khử đã thấy xuất hiện rõ, chứng tỏ cảm biến xác nhận được sự có mặt của chất kháng sinh CAP trong dung dịch. Khi tăng nồng độ chất kháng sinh, các đỉnh khử xuất hiện rõ nét hơn, nồng độ càng cao thì đỉnh khử càng rõ quan sát. Sự dịch chuyển của cường độ dòng điện xuất hiện khi nồng độ kháng sinh tăng lên có thể là do các phân tử trong chất kháng sinh tương tác mạnh và nhiều hơn với các hạt Fe_3O_4 trên bề mặt

điện cực làm việc, làm tăng khả năng hấp phụ kháng sinh trên bề mặt điện cực, dẫn đến sự tăng tín hiệu dòng điện trong phép đo DPV.



Hình 11. Phép đo DPV của cảm biến điện hóa $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SPE C}_M$ tại các nồng độ $C_{\text{CAP}}=1-25 \mu\text{M}$ trong mẫu sữa tại tốc độ quét thể $v=6 \text{ mV}\times\text{s}^{-1}$.

Kết quả khảo sát phép đo DPV tại các nồng độ khác nhau của kháng sinh CAP được tổng kết trên bảng 3 cho thấy, độ thu hồi đạt 94,77-108,44%, chứng minh phương pháp có độ chính xác cao. Đặc biệt, tại nồng độ thấp $C=1 \mu\text{M}$ vẫn đạt độ thu hồi 96,8%, khẳng định khả năng phát hiện tốt và hiệu quả của việc biến tính điện cực trong việc tăng cường tín hiệu, độ nhạy của cảm biến điện hóa. Làm phép so sánh các giá trị giới hạn phát hiện LOD, khoảng tuyến tính LR được liệt kê trên bảng 4 với một số loại vật liệu khác đã công bố cho thấy, cảm biến $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SPE C}_M$ có các kết quả khả quan phát hiện CAP ở nồng độ thấp. Đây cũng là kết quả tiền đề khả quan để nhóm nghiên cứu tiếp tục tối ưu hoá quy trình công nghệ biến tính điện cực làm việc, tìm ra vật liệu phù hợp có khả năng tăng cường tín hiệu, độ nhạy, độ bền của cảm biến.

Bảng 3. Mức Spike và độ thu hồi của cảm biến điện hóa $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SPE C}_M$ tại các nồng độ kháng sinh CAP trong mẫu sữa.

Các mức Spike (μM)	C_{CAP} (μM)	Độ thu hồi (%)	RSD (%)
1	0,96	96,8	2,14
5	4,88	108,44	2,66
10	9,57	94,77	3,04
25	24,8	100,78	1,3

Bảng 4. So sánh khả năng phát hiện kháng sinh CAP của cảm biến điện hoá $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SPE C}_M$ và một số cảm biến điện hoá có điện cực làm việc bằng các vật liệu khác.

STT	Phép Đo	Điện cực biến tính	Giới hạn tuyến tính (μM)	Độ nhạy ($\mu\text{A} \times \mu\text{M}^{-1} \times \text{cm}^{-2}$)	Giới hạn phát hiện (LOD) (μM)	Tài liệu tham khảo
1	DPV	$\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3/\text{SPE}$	2,5-50	0,92	0,11	[34]
2	DPV	$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{N-rGO}$	1-200		0,03	[35]
3	DPV	C-BN/GCE	1-200	-	0,035	[36]
4	DPV	$\text{MoS}_2/\text{PANI}/\text{SPE}$	0,1-100	-	0,069	[37]
5	DPV	$\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-CMC-AuNPs}/\text{GCE}$	2,5-25	3,627	0,066	[38]
6	DPV	$\text{ZnCo}_2\text{O}_4/\text{SPE}$	1-300	-	0,15	[39]
7	DPV	$\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SPE}$	2,5-100	-	0,06	Nghiên cứu này

4. Kết luận

Các hạt nano từ Fe_3O_4 được chế tạo thành công bằng phương pháp thủy nhiệt vi sóng với các điều kiện công nghệ: pH=10, nhiệt độ chế tạo T=180°C, thời gian chế tạo t=60 phút. Kết quả cho thấy, các hạt Fe_3O_4 có cấu trúc tinh thể đơn pha, kích thước hạt nhỏ, đồng đều d=20-25 nm, có từ độ cao $M_s=53$ emu/g. Mẫu sau khi chế tạo được sử dụng để biến tính điện cực làm việc SPE C_M của cảm biến điện hoá. Khảo sát tính chất của cảm biến $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SPE C}_M$ cho thấy tín hiệu được tăng cường rõ nét, có giới hạn phát hiện LOD=0,06 μM . Cảm biến đã được sử dụng để phân tích và truy vết dư lượng kháng sinh CAP trong PBS và trong mẫu thực. Với mẫu sữa, cảm biến có thể phát hiện được kháng sinh tại nồng độ $C_{\text{CAP}}=1$ μM , độ thu hồi đạt 95-109% với độ lệch chuẩn 2,14%. Đây là một kết quả khả quan và đáng tin cậy của cảm biến $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{SPE C}_M$. Như vậy, nhờ tính chất siêu thuận từ của các hạt Fe_3O_4 , việc biến tính điện cực làm việc bằng các hạt này làm tăng đáng kể diện tích bề mặt hoạt động, cải thiện hiệu suất và độ nhạy của cảm biến điện hoá xác định chất kháng sinh CAP. Đây thực sự được chứng minh là một giải pháp công nghệ tiên tiến nhằm kiểm soát an toàn thực phẩm, và có ý nghĩa thiết thực trong việc chăm sóc sức khỏe người tiêu dùng Việt Nam.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) trong đề tài mã số 103.02-2023.101. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S.M. Limbu, L.Q. Chen, M.L. Zhang, et al. (2021), "A global analysis on the systemic effects of antibiotics in cultured fish and their potential human health risk: A review", *Reviews in Aquaculture*, **13**(2), pp.1015-1059, DOI: 10.1111/raq.12511.
- [2] S. Gao, Y. Zhang, Z. Yang, et al. (2021), "Electrochemical chloramphenicol sensors-based on trace MoS_2 modified carbon nanomaterials: Insight into carbon supports", *Journal of Alloys and Compounds*, **872**, DOI: 10.1016/j.jallcom.2021.159687.
- [3] S. Khan (2025), *Chloramphenicol: Antibiotic Uses, Warnings, Side Effects, Dosage*, <https://www.medicinenet.com/chloramphenicol/article.htm>, accessed 18 April 2025.
- [4] Centurion Healthcare (2022), *Medicinal Uses and Side Effects of Chloramphenicol*, <https://www.centurionhealthcare.com/blog/medicinal-uses-and-side-effects-of-chloramphenicol>, accessed 5 May 2024.
- [5] N.R. Eliakim, A. Lador, Y.W. Leibovici, et al. (2015), "Efficacy and safety of chloramphenicol: Joining the revival of old antibiotics?", *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, **70**(4), pp.979-996, DOI: 10.1093/jac/dku530.
- [6] E.B. Chetrit, A. Bnaya, O.W. Barchad, et al. (2024), "Chloramphenicol treatment revisited - demographics, clinical characteristics, and outcomes of hospitalized patients", *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*, **43**, pp.1667-1671, DOI: 10.1007/s10096-024-04826-7.
- [7] T. Śniegocki, M.G. Sikorska, A. Posyniak (2017), "Analytical strategy for determination of chloramphenicol in different biological matrices by liquid chromatography-mass spectrometry", *Journal of Veterinary Research*, **61**(3), pp.321-327, DOI: 10.1515/jvetres-2017-0032.
- [8] H.N. Jung, D.H. Park, Y.J. Choi, et al. (2022), "Simultaneous quantification of chloramphenicol, thiamphenicol, florfenicol, and florfenicol amine in animal and aquaculture products using LC-MS/MS", *Frontiers in Nutrition*, **8**, DOI: 10.3389/fnut.2021.812803.
- [9] N.G. Ahire, N. Nikam, S. Bhavsar, et al. (2024), "Analytical method development and validation of chloramphenicol eye ointment by UV-Visible spectroscopy: Review", *International Journal of Pharmaceutical Sciences*, **2**(3), pp.1242-1249, DOI: 10.5281/zenodo.10898065.
- [10] W.O. Obonga, E.O. Omeje, P.F. Uzor, et al. (2011), "Spectrophotometric determination and thermodynamic parameters of charge transfer complexation between stavudine and chloranilic acid", *Tropical Journal of Pharmaceutical Research*, **10**(6), pp.817-823, DOI: 10.4314/TJPR.V10I6.16.
- [11] I.G. David, M. Buleandra, D.A. Popa, et al. (2022), "Past and present of electrochemical sensors and methods for amphenicol antibiotic analysis", *Micromachines*, **13**(5), DOI: 10.3390/mi13050677.
- [12] H.A. Saputra (2023), "Electrochemical sensors: Basic principles, engineering, and state of the art", *Monatshefte für Chemie*, **154**, pp.1083-1100, DOI: 10.1007/s00706-023-03113-z.
- [13] X. Dong, X. Yan, M. Li, et al. (2020), "Ultrasensitive detection of chloramphenicol using electrochemical aptamer sensor: A mini review", *Electrochemistry Communications*, **120**, DOI: 10.1016/j.elecom.2020.106835.

- [14] N.T. Anh, N.X. Dinh, T.N. Pham, et al. (2021), "Enhancing the chloramphenicol sensing performance of Cu-MoS nanocomposite-based electrochemical nanosensors", *RSC Advances*, **11**, pp.30544-30559, DOI: 10.1039/D1RA06100C.
- [15] S. Maheshwari, K. Kaur, S. Kaur, et al. (2024), "Advancements in molecularly imprinted polymer-based electrochemical sensors: Fabrication, Functionalization, Applications, and Future Perspectives", *Imprinted Polymers: Path to Artificial Antibodies*, Springer Nature, pp.245-272, DOI: 10.1007/978-981-97-4379-7_8.
- [16] L. Codognoto, E. Winter, K.M. Doretto, et al. (2010), "Electroanalytical performance of self-assembled monolayer gold electrode for chloramphenicol determination", *Microchimica Acta.*, **169**, pp.345-351, DOI: 10.1007/s00604-010-0339-8.
- [17] J. Zhang, T. Zhang, J.H. Yang (2022), "Precious metal nanomaterial-modified electrochemical sensors for nitrite detection", *Ionics*, **28**, pp.2041-2064, DOI: 10.1007/s11581-022-04509-3.
- [18] R.G.C. Fallyn, W. Campbell (2009), "The use of nanoparticles in electroanalysis: An updated review", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, **396**(1), pp.241-259, DOI: 10.1007/s00216-009-3063-7.
- [19] D. Kumar, A. Das, S. Mukherjee (2024), "Current progress in transition metal oxide-based electrochemical biosensors", *Biosensors: Developments, Challenges and Perspectives*, Springer Nature, pp.99-105, DOI: 10.1007/978-981-97-3048-3_5.
- [20] M.M.I. Khan, A.M.J. Haque, (2013), "Electrochemical determination of uric acid in the presence of ascorbic acid on electrochemically reduced graphene oxide modified electrode", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, **700**, pp.54-59, DOI: 10.1016/j.jelechem.2013.04.014.
- [21] P.K. Gupta, J.R. Siegenthaler (2025), "Revolutionizing electrochemical sensing with nanomaterial-modified boron-doped diamond electrodes", *Chemosensors*, **13**(5), DOI: 10.3390/chemosensors13050183.
- [22] M.D. Nguyen, H.V. Tran, S. Xu, et al. (2021), "Fe₃O₄ nanoparticles: Structures, synthesis, magnetic properties, surface functionalization, and emerging applications", *Applied Sciences*, **11**(23), DOI: 10.3390/app112311301.
- [23] K.N. Koo, A.F. Ismail, M.H.D. Othman, et al. (2019), "Preparation and characterization of superparamagnetic magnetite (Fe₃O₄) nanoparticles: A short review", *Malaysian Journal of Fundamental and Applied Sciences*, **15**(1), pp.23-31, DOI: 10.11113/mjfas.v15n2019.1224.
- [24] W. Li, Z. Li, W. Han, et al. (2023), "Measured viscosity characteristics of Fe₃O₄ ferrofluid in magnetic and thermal fields", *Physics of Fluids*, **35**, DOI: 10.1063/5.0131551.
- [25] P. Bhavani, C.H. Rajababu, M.D. Arif, et al. (2017), "Synthesis of high saturation magnetic iron oxide nanomaterials via low temperature hydrothermal method", *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **426**, pp.459-466, DOI: 10.1016/j.jmmm.2016.09.049.
- [26] P. Liu, Y. Dong, X. Li, et al. (2024), "Multilayered Fe₃O₄@(ZIF-8)3 combined with a computer-vision-enhanced immunosensor for chloramphenicol enrichment and detection", *Journal of Hazardous Materials*, **470**, DOI: 10.1016/j.jhazmat.2024.134150.
- [27] L.H. Nguyen, Q.N. Pham, E. Riviere, et al. (2025), "Optimizing fabrication parameters of Fe₃O₄ nanoparticles for enhancing magnetic hyperthermia efficiency", *Materials Chemistry and Physics*, **343**, DOI: 10.1016/j.matchemphys.2025.130983.
- [28] J. Wang (2006), *Analytical Electrochemistry*, John Wiley and Sons Ltd, 165pp.
- [29] J.I. Suárez, T.F. Otero, M. Márquez (2005), "Diffusion coefficients in swelling polypyrrole: ESCR and cottrell models", *The Journal of Physical Chemistry B*, **109**(5), pp.1723-1729, DOI: 10.1021/jp046051q.
- [30] A.J. Bard, L.R. Faulkner, H.S. White (2022), *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications*, John Wiley and Sons Ltd, 850pp.
- [31] A. Shrivastava (2011), "Methods for the determination of limit of detection and limit of quantitation of the analytical methods", *Chronicles of Young Scientist*, **2**, pp.21-25, DOI: 10.4103/2229-5186.79345.
- [32] D. Coleman, L. Vanatta (2012), "Statistics in analytical chemistry: Part 48-Relative standard deviations (RSDs)", *American Laboratory*, **44**(6), pp.30-33.
- [33] M. Yadav, V. Ganesan, R. Gupta, et al. (2019), "Cobalt oxide nanocrystals anchored on graphene sheets for electrochemical determination of chloramphenicol", *Microchemical Journal*, **146**, pp.881-887, DOI: 10.1016/j.microc.2019.02.025.
- [34] N.N. Huyen, N.X. Dinh, M.Q. Doan, et al. (2022), "Unraveling the roles of morphology and steric hindrance on electrochemical analytical performance of α -Fe₂O₃ nanostructures-based nanosensors towards chloramphenicol antibiotic in shrimp samples", *Journal of The Electrochemical Society*, **169**(2), DOI: 10.1149/1945-7111/ac4db0.
- [35] X. Qi, Z. Teng, J. Yu, et al. (2023), "A simple one-step synthesis of Fe₃O₄/N-rGO nanocomposite for sensitive electrochemical detection of chloramphenicol", *Materials Letters*, **330**, DOI: 10.1016/j.matlet.2022.133350.
- [36] J. Yin, H. Ouyang, W. Li, et al. (2023), "An effective electrochemical platform for chloramphenicol detection based on carbon-doped boron nitride nanosheets", *Biosensors*, **13**(1), DOI: 10.3390/bios13010116.
- [37] H.Y. Chen, J. Wang, L. Meng, et al. (2016), "Thin-layered MoS₂/polyaniline nanocomposite for highly sensitive electrochemical detection of chloramphenicol", *Chinese Chemical Letters*, **27**(2), pp.231-234, DOI: 10.1016/j.cclet.2015.09.018.
- [38] P. Jakubec, V. Urbanová, Z. Medříková, et al. (2016), "Advanced sensing of antibiotics with magnetic gold nanocomposite: Electrochemical detection of chloramphenicol", *Chemistry*, **22**(40), pp.14279-14284, DOI: 10.1002/chem.201602434.
- [39] V.C. Nguyen, H. Kim (2023), "Spinel nanoparticles ZnCo₂O₄ as high performance electrocatalyst for electrochemical sensing antibiotic chloramphenicol", *Journal Electrochemical Science Technology*, **15**(1), pp.152-160, DOI: 10.33961/jecst.2023.00486.

Đánh giá tỷ lệ di căn hạch cổ trong ung thư amidan tại Bệnh viện Chợ Rẫy (2019-2024)

Trần Anh Bích^{1*}, Hà Công Chánh²

¹Bệnh viện Chợ Rẫy, 201B Nguyễn Chí Thanh, phường Chợ Lớn, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Bệnh viện Quân Dân Y miền Đông, 50 Lê Văn Việt, phường Tăng Nhơn Phú, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 14/4/2025; ngày chuyển phản biện 16/4/2025; ngày nhận phản biện 28/4/2025; ngày chấp nhận đăng 2/5/2025

Tóm tắt:

Mục tiêu: Đánh giá tỷ lệ di căn hạch cổ trong ung thư amidan từ năm 2019 đến 2024 tại Bệnh viện Chợ Rẫy. **Đối tượng và phương pháp nghiên cứu:** Bệnh nhân đã được chẩn đoán xác định ung thư amidan bằng giải phẫu bệnh lý và được điều trị tại Khoa Tai Mũi Họng, Bệnh viện Chợ Rẫy từ tháng 6/2019 đến tháng 6/2024. **Kết quả và bàn luận:** Bệnh nhân tập trung chủ yếu trong độ tuổi từ 40 đến 60 (chiếm 70,8%). Tỷ lệ nam/nữ là 3,8/1. Triệu chứng đau tại u là triệu chứng cơ năng gặp nhiều nhất, chiếm 66,7%; tiếp theo là nuốt vướng và nổi hạch vùng cổ, chiếm lần lượt 50,0 và 33,3%. Vị trí khối u bên phải chiếm 54,2%, còn lại bên trái. Bệnh có liên quan đến các yếu tố nguy cơ như rượu, thuốc lá, nhai trầu. Kết quả giải phẫu bệnh là ung thư biểu mô tế bào gai amidan, thường khu trú ở một bên. Về hạch di căn, trong nghiên cứu của chúng tôi, tỷ lệ bệnh nhân có hạch di căn là 70,8%, bệnh nhân không có hạch là 29,2%. **Kết luận:** U gặp chủ yếu ở T1 và T2 (chiếm 87,5%). Giai đoạn T1 có di căn hạch 40%, T2 là 75%, T3 là 100%; từ đó cho thấy, khi giai đoạn càng trễ thì tỷ lệ di căn hạch càng cao.

Từ khóa: di căn hạch cổ, nạo vét hạch cổ, ung thư amidan.

Chỉ số phân loại: 3.1, 3.2

Evaluation of cervical lymph node metastasis in tonsil cancer at Cho Ray Hospital (2019-2024)

Anh Bích Tran^{1*}, Cong Chanh Ha²

¹Cho Ray Hospital, 201B Nguyen Chi Thanh Street, Cho Lon Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Eastern People Military Hospital, 50 Le Van Viet Street, Tang Nhon Phu Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 14 April 2025; revised 28 April 2025; accepted 2 May 2025

Abstract:

Objective: To evaluate the rate of cervical lymph node metastasis in tonsil cancer at Cho Ray Hospital from 2019 to 2024. **Subjects and methods:** Patients who were diagnosed with tonsil cancer through pathological examination and treated at the Department of Otorhinolaryngology, Cho Ray Hospital, from June 2019 to June 2024 were included in the study. **Results and discussion:** The majority of patients were aged between 40 and 60 years (70.8%). The male-to-female ratio was 3.8/1. The most common functional symptom was pain at the tumour site (66.7%), followed by dysphagia and cervical lymphadenopathy, which accounted for 50.0 and 33.3%, respectively. Tumours were located on the right side in 54.2% of cases and on the left side in the remaining patients. The disease was associated with risk factors including alcohol consumption, smoking, and betel chewing. Pathological results indicated that squamous cell carcinoma of the tonsil was typically localised to one side. Regarding lymph node metastasis, our study showed that 70.8% of patients presented with cervical lymph node metastasis, whereas 29.2% had no metastatic lymph nodes. **Conclusion:** Tumours were predominantly staged as T1 and T2 (87.5%). The rate of lymph node metastasis was 40% in T1, 75% in T2, and 100% in T3, suggesting a greater incidence of metastasis in advanced stages.

Keywords: cervical lymph node metastasis, neck dissection, tonsil cancer.

Classification numbers: 3.1, 3.2

*Tác giả liên hệ: Email: trananhbich2015@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Ung thư amidan là bệnh phát sinh do sự biến đổi ác tính của tế bào biểu mô phủ amidan hoặc các mô liên kết trong cấu trúc amidan.

Vấn đề phẫu thuật cắt u và nạo vét hạch cổ trước xạ trị hoặc hóa trị kèm theo sau phẫu thuật được đặt ra làm giảm tỷ lệ tái phát, ngăn ngừa di căn xa. Về hạch di căn, trong nghiên cứu của V.T.T. Uyen (2014) [1], tỷ lệ bệnh nhân có hạch di căn chiếm 52%, bệnh nhân không có hạch 48% [1]. Ung thư amidan có diễn tiến lâm sàng nhanh chóng với tái phát tại chỗ và xâm lấn ở giai đoạn sớm, kết quả là 60-80% bệnh nhân ung thư amidan được tìm thấy có di căn hạch cổ ngay từ chẩn đoán ban đầu [2].

Di căn hạch vùng là một yếu tố tiên lượng quan trọng trong ung thư amidan. Vấn đề nạo hạch cổ phòng ngừa là một trong những vấn đề còn đang bàn cãi, nhất là các trường hợp ung thư amidan giai đoạn sớm (T1, T2). Tỷ lệ di căn hạch cổ trong giai đoạn sớm còn đang được nghiên cứu và vấn đề hóa xạ trị sau khi có kết quả của hạch cổ di căn. Do đó, chúng tôi thực hiện nghiên cứu “Đánh giá tỷ lệ di căn hạch cổ trong ung thư amidan từ năm 2019 đến năm 2024 tại Bệnh viện Chợ Rẫy”.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Bệnh nhân đã được chẩn đoán xác định ung thư amidan bằng giải phẫu bệnh lý và điều trị tại Khoa Tai Mũi Họng, Bệnh viện Chợ Rẫy từ tháng 6/2019 đến tháng 6/2024.

Tiêu chuẩn chọn bệnh nhân:

- Ung thư nguyên phát tại amidan.
- Được chẩn đoán xác định bằng giải phẫu bệnh lý.
- Có chỉ định phẫu thuật cắt u và nạo vét hạch cổ.
- Được khai thác bệnh sử, thăm khám lâm sàng và có kết quả cận lâm sàng (nội soi Tai Mũi Họng, siêu âm vùng cổ, CT scan đầu - cổ có cản quang...).
- Bệnh nhân đồng ý tham gia nghiên cứu.

Tiêu chuẩn loại trừ:

- Không có giải phẫu bệnh lý xác định ung thư trước phẫu thuật.
- Tổn thương ung thư từ vị trí khác lan đến amidan.
- Bệnh nhân không đồng ý tham gia nghiên cứu.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thiết kế nghiên cứu: Nghiên cứu tiền cứu mô tả hàng loạt ca.

Cỡ mẫu: Chọn mẫu tiện lợi.

Các biến số nghiên cứu:

- Tuổi: là biến định lượng và liên tục, được mã hóa thành biến định tính gồm 3 giá trị: <40 tuổi, 41-60 tuổi, >60 tuổi.

- Giới: là biến định tính gồm 2 giá trị nam và nữ.

- Nghề nghiệp: là biến định tính.

- Thói quen uống rượu, bia: là biến định tính gồm 2 giá trị “có” và “không”. Ghi nhận là “có” khi có uống rượu, bia ít nhất 4 ly chuẩn/ ngày hoặc 14 ly chuẩn/tuần. Một ly chuẩn được tính khi đồ uống có cồn chứa 14 g ethanol.

- Thói quen hút thuốc lá: là biến định tính gồm 2 giá trị “có” và “không”. Ghi nhận là “có” khi bệnh nhân hiện tại đang hút hoặc đã từng hút thuốc lá ≥ 10 gói/năm.

- Đặc điểm lâm sàng u nguyên phát (thời gian phát hiện u, triệu chứng khởi phát, vị trí u, hình thái u): là biến định tính.

- Đặc điểm hạch cổ di căn trên lâm sàng (thời gian phát hiện hạch, vị trí hạch, số lượng, kích thước): là biến định tính.

- Xếp loại giai đoạn bệnh: là biến định tính gồm 5 giá trị: T1, T2, T3, T4a, T4b theo phân loại UICC-2024 [3].

- Giải phẫu bệnh của u: là biến định tính gồm các giá trị: Carcinom tế bào gai, Sarcoma, Lymphoma, khác.

- Mức độ biệt hóa của u: là biến định tính gồm các giá trị rõ, trung bình, kém.

- Đặc điểm hạch trên giải phẫu bệnh: gồm các biến: đặc điểm của hạch di căn, tình trạng xâm lấn vỏ bao hạch là biến định tính.

- Di căn hạch cổ âm thầm: là biến định tính gồm 2 giá trị “có” và “không”.

2.3. Cách tiến hành nghiên cứu

Các bước tiến hành:

Bước 1: Lựa chọn bệnh nhân nghiên cứu theo tiêu chuẩn lựa chọn và tiêu chuẩn loại trừ.

Bước 2: Sau khi bệnh nhân đồng ý tham gia nghiên cứu sẽ được phỏng vấn trực tiếp, thu thập dữ liệu trong bệnh án theo như phiếu thu thập số liệu (đính kèm).

+ Ghi nhận triệu chứng lâm sàng: khối u, đau tại u, nuốt vướng, hạch cổ, khác (khít hàm, khạc đàm máu...).

+ Ghi nhận yếu tố liên quan: rượu, bia, hút thuốc lá.

+ Khám và ghi nhận thời gian phát hiện bệnh được phân thành: dưới 3 tháng, 3-6 tháng, 6-12 tháng, trên 12 tháng; các đặc điểm của u amidan: vị trí, hình thái, kích thước, mức độ xâm lấn tại chỗ.

+ Khám và ghi nhận các đặc điểm của hạch cổ di căn (nếu có): số lượng hạch, kích thước, tính chất hạch (mật độ, độ di động, phân bố, tính chất đau) vị trí cùng bên/đối bên/ hai bên so với vị trí u, phân nhóm hạch cổ theo Hội Phẫu thuật đầu - cổ và ung thư tai mũi họng Hoa Kỳ [4].

+ Ghi nhận kết quả cận lâm sàng (CT scan): ghi nhận đặc điểm u: vị trí, kích thước; đặc điểm hạch di căn (nếu có): số lượng hạch, vị trí, kích thước, đặc điểm hạch nghi ngờ di căn trên CT scan: hạch ≥ 1 cm, mất rốn hạch, ranh giới rõ hay không, bờ đều hay không đều.

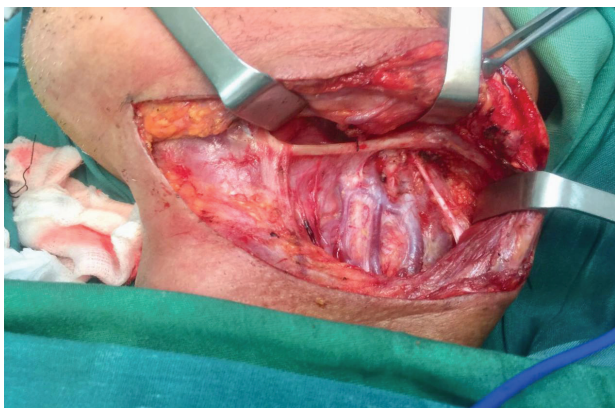
+ Kết quả giải phẫu bệnh sinh thiết u amidan trước phẫu thuật.

+ Ghi nhận tình hình phẫu thuật, đặc điểm của u amidan và hạch cổ trong mổ.

Quy trình phẫu thuật: Nạo vét hạch cổ được tiến hành trước khi phẫu thuật cắt u amidan.

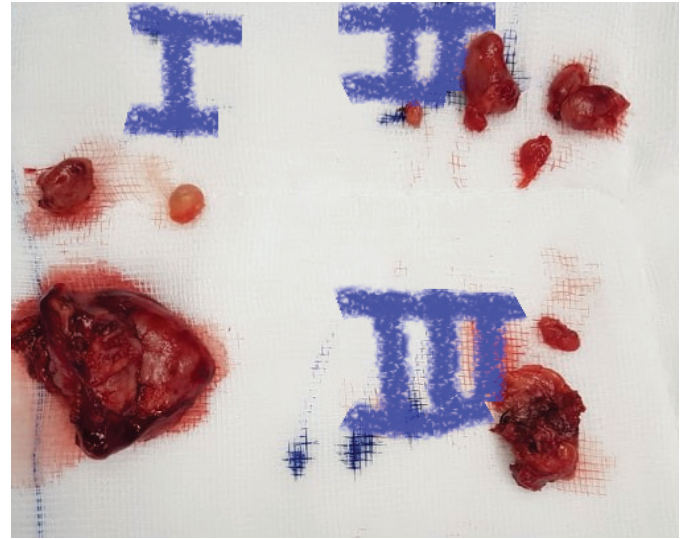
Nạo vét hạch cổ: Tất cả bệnh nhân được xếp loại giai đoạn lâm sàng N0 sẽ được tiến hành nạo vét hạch cổ trên cơ vai móng nhóm I, II, III. Đối với bệnh nhân N (+), thực hiện nạo vét hạch cổ tiết căn chọn lọc tùy theo nhóm hạch.

+ Đường rạch da tùy theo phương pháp nạo hạch, đối với nạo hạch cổ trên cơ vai móng nhóm I, II, III thực hiện rạch da theo đường Apron cải tiến cách bờ hàm dưới 2 khoảng ngón tay (hình 1).



Hình 1. Phẫu trường nạo vét hạch cổ trên cơ vai móng nhóm I, II, III. Bệnh nhân Trần Ngọc B. 69 tuổi.

+ Đối với nạo vét hạch cổ tiết căn chọn lọc rạch da theo đường Hockey Stick.



Hình 2. Phân chia nhóm hạch sau nạo vét. Bệnh nhân Trần Ngọc B. 69 tuổi.



Hình 3. Hồ mổ sau cắt u amidan trái. Bệnh nhân Trần Ngọc B. 69 tuổi.

- Hạch cổ sau khi được nạo vét sẽ được chia thành các nhóm riêng biệt theo đúng giải phẫu phân nhóm, đựng vào các lọ bệnh phẩm riêng biệt, cố định bằng dung dịch formol 10%, gửi Khoa Giải phẫu bệnh của Bệnh viện Chợ Rẫy thực hiện phẫu thuật (hình 2).

Cắt u amidan: Các phương pháp cắt u amidan tuy có khác nhau nhưng nhìn chung đều dựa vào một số cơ sở giải phẫu học như: hố amidan, khoang quanh amidan, chân cuống amidan và động mạch amidan, đặc biệt là khoang kế cận amidan và các mối liên hệ mạch máu, thần kinh vùng cổ.

Sau khi cắt u amidan, sinh thiết tức thì (cắt lạnh) các biên phẫu thuật: biên trước, biên sau, biên trên, biên dưới, giường u, gửi 5 lọ riêng biệt, đợi kết quả sinh thiết tức thì (hình 3). Nếu kết quả biên phẫu thuật còn tế bào ung thư thì tiếp tục cắt biên gửi sinh thiết tức thì lần 2.

Ghi nhận kết quả giải phẫu bệnh (GPB) trong và sau mổ: đặc điểm của u (kích thước u, xâm lấn của u) và hạch cổ (có di căn không, kích thước hạch).

3. Kết quả

3.1. Đặc điểm chung của mẫu nghiên cứu

Trong nghiên cứu của chúng tôi, tuổi bệnh nhân mắc ung thư amidan có nạo vét hạch cổ thấp nhất là 33, cao nhất là 91. Tập trung chủ yếu trong độ tuổi từ 40 đến 60 (chiếm 70,8%). Tuổi trung bình của bệnh nhân trong nghiên cứu là $56,3 \pm 9,3$. Trong nghiên cứu của chúng tôi, có 30 bệnh nhân là nam giới (chiếm 79,2%), 5 bệnh nhân là nữ giới (chiếm 20,8%). Tỷ lệ nam/nữ là 3,8/1.

Qua bảng yếu tố nguy cơ nhận thấy số lượng bệnh nhân ung thư amidan tăng lên khi có tiếp xúc với các yếu tố như rượu và thuốc lá.

Có 5 bệnh nhân ung thư amidan không sử dụng rượu, thuốc lá.

Có 6 bệnh nhân chỉ uống rượu, không hút thuốc lá.

Có 5 bệnh nhân chỉ hút thuốc lá, không uống rượu.

Có 19 bệnh nhân vừa có uống rượu, vừa có hút thuốc hằng ngày.

3.2. Đặc điểm lâm sàng

Lý do vào viện: Qua thăm khám 35 bệnh nhân cho thấy, các bệnh nhân khi đến khám thường có nhiều hơn một triệu chứng cơ năng, trong đó đau tại u là triệu chứng cơ năng gặp nhiều nhất chiếm 66,7%. Tiếp theo là nuốt vướng và nổi hạch vùng cổ chiếm 50,0 và 33,3%, tự phát hiện u chỉ có 2 trường hợp chiếm 8,3%, các triệu chứng khác như khít hàm, khạc đàm máu không ghi nhận.

Vị trí khối u: Trong 35 bệnh nhân tham gia nghiên cứu, chúng tôi thấy có 19 bệnh nhân có u ở bên phải (chiếm 54,2%), 16 bệnh nhân có u ở bên trái (chiếm 45,8%). Chúng tôi chưa ghi nhận trường hợp nào mắc ung thư amidan hai bên.

Giai đoạn u trên lâm sàng: khối u chủ yếu ở giai đoạn T2 chiếm 66,7%, giai đoạn T1 chiếm 20,8%, giai đoạn T3 chiếm 12,5%, hầu như không gặp giai đoạn T4.

3.3. Đặc điểm hạch cổ trên lâm sàng

Các hạch phát hiện trên lâm sàng đều có mật độ cứng chiếm 100%, không gặp trường hợp nào hạch có mật độ mềm.

Gặp 5/14 hạch trên lâm sàng còn di động (chiếm 35,7%) và 9/14 hạch cố định trên lâm sàng (chiếm 64,3%).

Có 5 bệnh nhân có hạch phân bố chùm chiếm 35,7% tổng số hạch. Còn lại 9 hạch đều phân bố dạng đơn lẻ chiếm 64,3%.

Tất cả hạch cổ (100%) khi khám lâm sàng có biểu hiện không đau.

3.4. Đặc điểm hạch cổ trên CT scan

Trong số 17 bệnh nhân phát hiện hạch cổ trên CT scan, có 9/17 bệnh nhân có hạch hoại tử (chiếm 52,9%), 8/17 bệnh nhân có hạch không hoại tử (chiếm 47,1%).

Có 15/17 bệnh nhân có bờ hạch đều (chiếm 88,2%), 2/17 bệnh nhân có bờ hạch không đều (chiếm 11,8%).

Có 15/17 bệnh nhân có ranh giới rõ (chiếm 88,2%), 2/17 bệnh nhân có ranh giới không rõ (chiếm 11,8%).

Có 5/17 bệnh nhân còn rốn hạch trên CT scan (chiếm 29,4%), 12/17 bệnh nhân mất rốn hạch (70,6%).

3.5. Mối liên quan giữa CT scan và giải phẫu bệnh của hạch cổ

Trong số 35 bệnh nhân, có 17 bệnh nhân thấy hạch trên CT scan, trong đó có 15 bệnh nhân có hạch có đặc điểm di căn (bảng 1).

Bảng 1. Chẩn đoán có hạch giữa CT scan với giải phẫu bệnh.

CT scan	GPB(+)	GPB(-)	Tổng	Tỷ lệ di căn (%)
Có hạch nghi di căn	14	3	17	82,3
Không có hạch nghi di căn	10	8	18	55,6
Tổng	24	11	35	70,8
Tỷ lệ % CT scan có hạch nghi ngờ di căn	82,4			

Kết quả bảng 1 cho thấy, độ nhạy (Sn) là 58,3%, độ đặc hiệu (Sp) là 72,7%, giá trị TD dương tính (PPV) là 82,4%, giá trị TD âm tính (NPV) là 44,4%. CT scan nghi ngờ có 17 bệnh nhân có hạch di căn, giải phẫu bệnh khẳng định có đến 14 bệnh nhân có di căn, với tỷ lệ 82,4%. Có 2 bệnh nhân trên CT scan phát hiện có hạch nhưng không nghi ngờ di căn, trong đó có 1 bệnh nhân có GPB(+). Qua đó cho thấy, CT scan đã không phát hiện được bệnh nhân có hạch di căn này.

Ngoài ra, trong nghiên cứu của chúng tôi có 7 bệnh nhân trên CT scan không thấy hạch nhưng kết quả GPB khẳng định có 3 trường hợp có hạch di căn (42,8%). CT scan đã bỏ sót không phát hiện được hạch di căn trong 3 trường hợp này.

Sự khác biệt giữa hạch di căn trên CT scan và GPB không có ý nghĩa thống kê (phương pháp kiểm định Fisher Exact Test $p=0,06$).

4. Bàn luận

4.1. Đặc điểm chung của mẫu nghiên cứu

Các nghiên cứu trong và ngoài nước cho thấy, ung thư biểu mô amidan gặp ở nhiều lứa tuổi có thể trải dài từ 20 đến 85 [5] nhưng gặp chủ yếu ở lứa tuổi trên 50. Mặc dù nhiều nghiên cứu cho thấy có sự khác nhau về tuổi trung bình mắc bệnh, như tuổi 59 [6] và 60 [7].

Tại Việt Nam, theo nghiên cứu của T.B. Ngoc (2001) [5] trên 141 bệnh nhân, tuổi dưới 40 chiếm tỷ lệ thấp 12,1%, khoảng tuổi mắc cao nhất là 50-69 (chiếm 53,9%), tỷ lệ nam/nữ là 2,3/1. Kết quả này có sự phù hợp với một số nghiên cứu của nước ngoài như nghiên cứu của G. Calais và cs (1990) [8] với tuổi trung bình là 54,3, trong đó đỉnh cao mắc bệnh ở nhóm tuổi 50-69 là 53,9%. Nghiên cứu của N.Q. Hung (2012) [9] cho thấy, ung thư amidan nhiều ở khoảng tuổi 50-59 (chiếm 40,8%) và bệnh gặp nhiều ở khoảng 40-69 (88,3%). Nghiên cứu của V.T.T. Uyen (2014) [1] cho thấy, ung thư amidan có tỷ lệ cao nhất là 50-59 tuổi (chiếm 40%).

Trong nghiên cứu của chúng tôi, ung thư amidan gặp ở nhiều lứa tuổi khác nhau, đỉnh cao ở khoảng tuổi 40-60 (chiếm 70,8%) trong đó người thấp tuổi nhất là 33, cao nhất 91 tuổi và bệnh gặp nhiều ở khoảng 40-60 (70,8%).

Như vậy, số liệu về tuổi mắc bệnh của chúng tôi thu được tương tự kết quả của một số nghiên cứu trong nước và quốc tế đã công bố [1, 5, 8, 9].

Nghiên cứu trong nước của T.B. Ngoc (2001) [5] cho thấy, có 61,7% bệnh nhân đã có di căn hạch. Kết quả của chúng tôi cho thấy, có 29,2% bệnh nhân không có di căn hạch và có 70,8% trường hợp đã có di căn. Trong đó, có 33,4% đã ở giai đoạn muộn (N2, N3). Điều này một lần nữa khẳng định lại các nghiên cứu trong và ngoài nước về tỷ lệ di căn sớm của ung thư amidan. Phù hợp với giả thuyết ung thư amidan cũng như các ung thư ở vòm Waldeyer thường hay cho di căn hạch sớm [9]. Nghiên cứu của R. Maltz và cs (1974) [10] cũng cho thấy, tỷ lệ di căn hạch vùng trong ung thư amidan rất cao, khoảng 63%.

Hạch là cơ quan bạch huyết nhỏ nằm trên đường đi của các mạch bạch huyết. Các tế bào của hệ thống miễn dịch này có thể nhận biết được kháng nguyên của cơ thể và kháng nguyên ngoại lai, trung hòa hoặc bất hoạt những phân tử ngoại lai và tiêu diệt vi sinh vật hoặc tế bào khác (tế bào nhiễm vi rút, tế bào của cơ quan ghép, tế bào ung thư), hạch thường đứng thành từng nhóm, có hình tròn, hình hạt đậu, kích thước 3-5 mm, có một nơi hơi lõm vào gọi là rốn hạch. Rốn hạch là nơi động mạch đi vào, tĩnh mạch và mạch bạch huyết đi ra. Các mạch này đều có van một chiều, bờ tự do của các lá van hướng về phía hạch đảm bảo dòng bạch huyết chỉ chảy theo một chiều.

Chức năng: Những chất lạ và tế bào có hại (tế bào u) của cơ thể cũng như các thành phần khác trong bạch huyết sẽ bị giữ lại khi qua hạch. Vì vậy, bạch huyết sau khi qua hạch đã được làm sạch trước khi đổ vào tuần hoàn máu. Vai trò lọc do đại thực bào và tế bào võng của xoang bạch huyết thực hiện. Tuy nhiên, nó ít có hiệu lực với tế bào ung thư. Tế bào từ u nguyên phát theo dòng bạch mạch tới hạch và tích lại ở đó. Từ đó, nó theo bạch mạch đi khắp cơ thể. Vì vậy, khi cắt bỏ khối u cần nạo vét hạch vùng.

Hạch được chẩn đoán là di căn khi thấy hình thái các tế bào bất thường trong lòng hạch: tế bào đa điện, nhân ở trung tâm, to nhỏ không đều nhau, nhân quá - nhân chia, hoại tử trong lòng hạch.

- Giai đoạn sớm: Thấy tế bào u trong xoang bạch huyết.

- Giai đoạn muộn: Tế bào u lan tràn, xâm nhập, phá vỡ cấu trúc mô hạch.

Về giới tính, những thống kê trong số liệu nghiên cứu của chúng tôi cho thấy, nam giới mắc nhiều hơn nữ giới, điều này là phù hợp với các nghiên cứu từ trước tới nay.

Bên cạnh đó, tỷ lệ nam/nữ rất cao 3,8/1 (30/5 bệnh nhân). Như vậy, kết quả này tương tự, nhưng khác biệt không lớn với một số nghiên cứu đã công bố của G. Calais và cs (1990) [8] với tỷ lệ 7/1, 5/1 của R. Maltz và cs (1974) [10], 4/1 của R. Amornmarn và cs (2024) [6].

Chúng tôi cho rằng, sự khác biệt về tỷ lệ này có thể do cỡ mẫu nghiên cứu của chúng tôi nhỏ hơn nghiên cứu của các tác giả nêu trên. Như vậy, qua số liệu trên, chúng tôi nhận định, trong ung thư amidan có sự khác nhau về phân bố giữa nam và nữ. Mặc dù có sự chênh lệch về tỷ lệ trong các nghiên cứu khác nhau, nhưng tỷ lệ mắc bệnh của nam là cao hơn nữ.

Giải thích cho hiện tượng này nhiều tác giả cho rằng, nam giới chịu ảnh hưởng của các yếu tố thuận lợi sinh ung thư như hút thuốc, uống rượu... Nghiên cứu của S.M. Kregar (1995) [11] có tới 70% bệnh nhân liên quan đến

thuốc lá và 61% liên quan tới rượu, mà những trường hợp có mối liên hệ với thuốc lá có tiên lượng xấu hơn khi được đánh giá kết quả điều trị.

4.2. Đặc điểm lâm sàng

Lý do vào viện: Lý do khiến bệnh nhân đến khám bệnh hầu hết là đau tại vị trí u (66,7%) và nuốt vướng (50,0%). Kết quả này tương tự như các nghiên cứu khác ở trong và ngoài nước như T.B. Ngọc (2001) [5] là 63,2%, N.Q. Hung (2012) [9] là 68,3%, V.T.T. Uyen (2014) [1] là 76% [3], R. Maltz và cs (1974) [10] là 83%. Chứng tỏ, triệu chứng đầu tiên của bệnh thường là những khó chịu ở vùng họng. Đây là những dấu hiệu không đặc hiệu trong ung thư amidan, điều này dẫn đến tình trạng chủ quan của người bệnh, cũng như nhân viên y tế trong vấn đề sàng lọc và phát hiện bệnh sớm. Nó cũng lý giải tại sao đa số bệnh nhân ung thư amidan đến viện ở giai đoạn muộn.

Trong nghiên cứu của chúng tôi, có 33,3% bệnh nhân đến viện đã có hạch cổ. Điều này có thể lý giải là do sự tiến triển nhanh của bệnh, đặc biệt bệnh cho di căn hạch vùng nhanh và nhiều.

Vị trí khối u: Trong nghiên cứu của chúng tôi chỉ thấy xuất hiện u ở một bên, tỷ lệ gặp u bên phải là 54,2%, bên trái là 45,8%, tỷ lệ bên phải và trái tương đương nhau. Tỷ lệ này cũng tương tự như nghiên cứu của các tác giả V.T.T. Uyen (2014) [1], N.Q. Hung (2012) [9] và T.B. Ngọc (2001) [5].

Trong nghiên cứu của chúng tôi, không có bệnh nhân nào có u cả hai bên, theo nghiên cứu của T.B. Ngọc (2001) [5], tỷ lệ gặp u cả hai bên cũng rất thấp, chiếm 2,1%.

Như vậy, ung thư biểu mô tế bào gai amidan thường khu trú ở một bên. Vị trí u nguyên phát không có ý nghĩa trong tiên lượng bệnh.

Giai đoạn u trên lâm sàng: Tỷ lệ giai đoạn khối u T1, T2 chiếm tỷ lệ (87,5%), cao hơn ở giai đoạn u T3, T4 (12,5%) (bảng 2). Tỷ lệ này có khác so với một số tác giả.

Bảng 2. Tỷ lệ giai đoạn u của các nghiên cứu.

Tác giả	T1, T2 (%)	T3, T4 (%)
R. Maltz và cs (1974) [10]	14,0	86
G. Calais và cs (1990) [8]	37,0	63
T.B. Ngọc (2001) [5]	24,1	75,9
N.Q. Hung (2012) [9]	43,3	56,7
V.T.T. Uyen (2014) [1]	78,0	22,0
Nghiên cứu của chúng tôi	87,5	12,5

Sự khác biệt này, có thể trong nghiên cứu của chúng tôi hầu hết các bệnh nhân được điều trị bằng phương pháp phẫu thuật, vậy nên tỷ lệ bệnh nhân có khối u giai đoạn T1, T2 trong nghiên cứu của chúng tôi chiếm phần lớn. Hơn nữa, ngày nay với phương tiện thăm khám hiện đại bằng nội soi tai mũi họng, việc phát hiện các tổn thương ở giai đoạn sớm không khó.

Về hạch di căn, trong nghiên cứu của chúng tôi, tỷ lệ bệnh nhân có hạch di căn chiếm 70,8%, bệnh nhân không có hạch 29,2%. Trong các nghiên cứu trong nước, tỷ lệ hạch di căn cũng chiếm tỷ lệ cao: nghiên cứu của T.B. Ngọc (2001) [5], N.Q. Hung (2012) [9] là 61,7%. Trong nghiên cứu của chúng tôi, không gặp bệnh nhân nào hạch N3. Qua phân tích trên cho thấy, ung thư amidan cũng như các ung thư vòm Waldayer có tỷ lệ di căn hạch cao, tổn thương dù bé nhưng di căn hạch tương đối lớn.

4.3. Đặc điểm hạch cổ trên lâm sàng

Các hạch được phát hiện trên nền của bệnh nhân ung thư nên mang nhiều đặc điểm của hạch di căn.

Về mật độ: 100% các hạch đều có mật độ cứng chắc, không gặp trường hợp nào có hạch mềm (là đặc điểm của hạch viêm, hoặc áp-xe hóa) [12].

Độ di động: Chúng tôi nhận thấy, có 64,3% hạch được phát hiện cố định, khi đó hạch đã có xâm lấn với các tổ chức lân cận như mô cơ, mạch máu, mô liên kết, 35,7% hạch còn di động. Hạch ung thư dính là một yếu tố tiên lượng xấu, và là một căn cứ trong việc chỉ định nạo vét hạch cổ khi phẫu thuật.

Về phân bố: Chúng tôi chỉ gặp 5 bệnh nhân có hạch phân bố thành chùm, còn lại với 9 bệnh nhân khác, hạch đều phân bố độc lập, rải rác dọc theo bó cảnh ở các nhóm.

Về tính chất đau: 100% các bệnh nhân tham gia nghiên cứu đều trả lời không đau, các hạch đều to lên một cách từ từ, trong một thời gian và không có dấu hiệu sưng, nóng, đỏ hay đau.

Hạch đóng vai trò quan trọng trong chỉ định phương pháp điều trị, cũng như tiên lượng bệnh. Khi xuất hiện hạch di căn sẽ tiên lượng xấu đi rất nhiều. Việc đánh giá có hay không có hạch trên lâm sàng, vị trí, số lượng, tính chất, độ di động của hạch phụ thuộc vào kỹ năng, kinh nghiệm.

Trong nghiên cứu của chúng tôi trên lâm sàng sờ thấy, 14 hạch ở 35 bệnh nhân, trong đó chủ yếu ở các nhóm II (nhóm hạch cảnh trên) có 11/14 hạch (chiếm 78,6%); nhóm III (nhóm hạch cảnh giữa) có 3/14 hạch (chiếm 21,4%), nhóm I, IV, V không sờ thấy hạch trên lâm sàng.

Thường do nhóm hạch II, III dễ thăm khám trên lâm sàng, nhóm IV (nhóm hạch cảnh dưới), nhóm V (nhóm hạch cổ sau) bị che khuất bởi nhiều cấu trúc nên khó thăm khám lâm sàng. Trong nghiên cứu của chúng tôi, phát hiện ung thư amidan giai đoạn T1, T2, nên chưa di căn lâm tăng kích thước hạch trên lâm sàng. Tương tự như kết quả nghiên cứu của F. Zanetti và cs (2009) [13] về kiểu di căn hạch trong ung thư biểu mô tế bào gai amidan để đánh giá tính hiệu quả trong nạo vét hạch cổ chọn lọc, trong 22/58 bệnh nhân chưa phát hiện hạch cổ trên lâm sàng có 4 bệnh nhân (18,2%) đã di căn hạch cổ trên kết quả GPB. Hạch di căn thâm lặn chủ yếu một bên và thuộc hạch nhóm II. Chưa tìm thấy hạch di căn thâm lặn ở nhóm I và V. Trong 36 bệnh nhân với hạch cổ phát hiện trên lâm sàng, có 3 bệnh nhân (8,3%) có kết quả di căn hạch cổ trên GPB ở hạch nhóm V cùng bên. Chưa ghi nhận hạch di căn ở nhóm I. Đối với những bệnh nhân đánh giá giai đoạn lâm sàng >N2a ($p=0,003$), hạch di căn nhóm III ($p=0,026$) và IV ($p=0,009$) có liên quan đáng kể đối với sự di căn ở hạch nhóm V.

4.4. Đặc điểm hạch cổ trên CT scan

Hoại tử hạch: Trên CT scan phát hiện được 9/17 bệnh nhân có hạch hoại tử (chiếm 52,9%), có 8/17 bệnh nhân (chiếm 42,9%) có hạch nhưng không thấy hoại tử hạch.

Cấu trúc bờ hạch: Chúng tôi nhận thấy, có 15/17 bệnh nhân có bờ hạch đều chiếm 88,2%, 2/17 bệnh nhân có bờ hạch không đều chiếm 11,8%.

Ranh giới hạch: Hạch phát hiện trên CT scan ở 17 bệnh nhân trong nghiên cứu thấy có 15/17 bệnh nhân (chiếm 88,2%) có ranh giới rõ, 2/17 bệnh nhân (chiếm 11,8%) có ranh giới hạch không rõ.

Có 5/17 bệnh nhân còn rốn hạch trên CT scan (chiếm 29,4%), 12/17 bệnh nhân mất cấu trúc rốn hạch (chiếm 70,6%).

Đặc điểm hạch trên giải phẫu bệnh: Đối tượng bệnh nhân trong nghiên cứu của chúng tôi là các bệnh nhân được chẩn đoán lâm sàng ung thư amidan, được phẫu thuật cắt u amidan kèm theo nạo vét hạch cổ một bên hoặc hai bên. Hạch được lấy ngay sau khi nạo vét xong, được chia nhỏ thành các nhóm riêng biệt, được cố định bằng formol 10% sau đó được gửi sang Khoa Giải phẫu bệnh. Trong 35 bệnh nhân tham gia có 34/35 bệnh nhân được nạo vét hạch cổ một bên, và một bệnh nhân được nạo vét hạch cổ hai bên.

Về kết quả hạch di căn: Qua mô bệnh học phát hiện có 45 hạch được xác định là hạch di căn. Có 11 bệnh nhân phát hiện có hạch trên lâm sàng, 17 bệnh nhân phát hiện hạch

có đặc điểm di căn bằng CT scan, mô bệnh học phát hiện được 17 bệnh nhân có hạch di căn. Có những ca ở lâm sàng hoặc CT scan phát hiện hạch nhưng mô bệnh học âm tính và ngược lại. Như vậy có thể thấy, các phương pháp thăm dò không xâm lấn trước mổ có thể bỏ sót bệnh nhân có di căn hạch. Điều này ảnh hưởng trong việc đưa ra phương pháp điều trị và có thể thất bại trong điều trị.

4.5. Di căn hạch trên giải phẫu bệnh với thời gian đến khám lâm sàng

Trong nghiên cứu này, chúng tôi phát hiện 66,7% bệnh nhân có biểu hiện lâm sàng dưới 3 tháng có di căn hạch trên giải phẫu bệnh. Con số này ở nhóm bệnh nhân có triệu chứng trong vòng 3-6 tháng là 77,8%. Tuy nhiên, ở nhóm bệnh nhân có biểu hiện kéo dài hơn (từ 6 tháng trở lên), thì phát hiện 66,7% số bệnh nhân có hạch di căn. Các tỷ lệ di căn hạch cổ theo thời gian đến khám lâm sàng cũng gần như nhau. Điều này có thể lý giải do biểu hiện ban đầu của ung thư amidan đa dạng và không đặc hiệu, dễ nhầm lẫn với những bệnh lý khác như viêm họng cấp, viêm amidan... nên bệnh nhân có thể đến khám lâm sàng sớm, nhưng chúng ta có thể không phát hiện ra được dẫn đến điều trị trễ hơn.

4.6. Mối liên quan giữa CT scan và giải phẫu bệnh của hạch cổ

Di căn hạch trên giải phẫu bệnh với phát hiện hạch trên CT scan: Trong nghiên cứu này, chúng tôi phát hiện có 17 trường hợp có đặc điểm hạch nghi ngờ di căn trên CT scan, trong đó 14 ca có giải phẫu bệnh dương tính. CT scan đã bỏ sót 10 bệnh nhân di căn hạch so với giải phẫu bệnh, do những trường hợp này không phát hiện được hạch trên CT scan hoặc có hạch nhưng có những đặc điểm gợi ý di căn. Điều này có thể do quá trình di căn âm thầm, chưa làm biến đổi về mặt đại thể của hạch để phát hiện trên CT scan, do đó dễ bỏ sót hạch di căn trên nhóm bệnh nhân này.

Kết quả phát hiện hạch trên CT scan và giải phẫu bệnh theo giai đoạn u: Tỷ lệ phát hiện bệnh nhân có hạch di căn cao nhất ở giai đoạn T3, với 100% các trường hợp bệnh nhân có nghi ngờ hạch di căn trên CT scan thì đều có giải phẫu bệnh dương tính. Ở giai đoạn T2, có 4 ca không có hình ảnh nghi ngờ hạch ác tính trên CT scan, nhưng kết quả giải phẫu bệnh dương tính. Một trường hợp bệnh nhân có kết quả mô bệnh học âm tính nhưng hình ảnh trên CT scan gợi ý hạch di căn ở giai đoạn T1.

Điều này có thể giải thích do giai đoạn càng muộn, hình ảnh di căn hạch trên CT scan càng rõ ràng, khả năng chẩn đoán chính xác càng cao. Ngược lại, ở những giai đoạn sớm hơn, CT scan có thể bỏ sót. Việc đánh giá hạch gặp nhiều

khó khăn do hạch có kích thước nhỏ nằm sâu, nhất là các hạch nhóm IIb nằm phía sau thùy đuôi tuyến mang tai, nên rất dễ bỏ sót các hạch thuộc nhóm cảnh cao trong trường hợp bệnh nhân có di căn hạch ở nhóm này.

Kết quả phát hiện hạch trên CT scan và giải phẫu bệnh theo giai đoạn hạch: Ở giai đoạn N0 và N2b đã bỏ sót 3 trường hợp bệnh nhân không có yếu tố nghi ngờ di căn trên CT scan nhưng kết quả giải phẫu bệnh (+). Khả năng phát hiện chính xác hạch di căn cao nhất của CT scan là ở giai đoạn N2c. Điều này có thể do giai đoạn càng trễ thì càng có nhiều hạch và kích thước hạch càng to, có nhiều đặc điểm gợi ý ác tính trên hình ảnh học. Tuy nhiên, do cỡ mẫu còn hạn chế, cần có nhiều nghiên cứu sâu hơn về vấn đề này.

5. Kết luận

Qua nghiên cứu 35 trường hợp ung thư amidan được phẫu thuật có nạo vét hạch cổ từ 2019 đến 2024, chúng tôi rút ra một số kết luận như sau: tuổi trung bình của bệnh nhân là 56,3±9,3 tuổi, chủ yếu nằm trong độ tuổi 40-60. Phần lớn gặp ở nam giới, có liên quan với rượu và thuốc lá. U gặp chủ yếu ở T1 và T2 (chiếm 87,5%). Giai đoạn T1 di căn hạch 40%, T2 có 75%, T3 có 100%, khi giai đoạn càng trễ thì tỷ lệ di căn hạch càng cao.

Tỷ lệ di căn hạch cổ trong amidan còn cao nên cần hóa xạ trị bổ trợ sau khi phẫu thuật đối với những trường hợp có hạch cổ di căn. Nhưng trường hợp ung thư giai đoạn sớm T1-T2 vẫn nên nạo hạch cổ chọn lọc do tỷ lệ hạch cổ di căn âm thầm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] V.T.T. Uyen (2014), *Study of Clinical and Paraclinical Characteristics of Some Risk Factors of Tonsillar Carcinoma*, Master's Thesis, Hanoi Medical University (in Vietnamese).

[2] S.Y. Lee, S.Y. Park, S.H. Kim, et al. (2011), "Expression of matrix metalloproteinases and their inhibitors in squamous cell carcinoma of the tonsil and their clinical significance", *Clin. Exp. Otorhinolaryngol.*, **4**(2), pp.88-94, DOI: 10.3342/ceo.2011.4.2.88.

[3] Union For International Cancer Control (2024), *TNM Classification of Malignant Tumours*, Wiley Blackwell, 272pp.

[4] K.T. Robbins, A.R. Shaha, J.E. Medina, et al. (2008), "Consensus statement on the classification and terminology of neck dissection", *Archives of Otolaryngology - Head & Neck Surgery*, **134**(5), pp.536-538, DOI: 10.1001/archotol.134.5.536.

[5] T.B. Ngoc (2001), *Study of Clinical and Histopathological Characteristics of Radiotherapy Alone in Tonsil Cancer*, Master's Thesis, Hanoi Medical University (in Vietnamese).

[6] R. Amornmarn, T. Prempee, J. Jaiwatana, et al. (2024), "Radiation management of carcinoma of the tonsillar region", *Cancer*, **54**(7), pp.1293-1299, DOI: 10.1002/1097-0142(19841001)54:7<1293::aid-cnrcr2820540711>3.0.co;2-4.

[7] W.M. Mendenhall, R.J. Amdur, S.P. Stringer, et al. (2000), "Radiation therapy for squamous cell carcinoma of the tonsillar region: A preferred alternative to surgery?", *J. Clin. Oncol.*, **18**(11), pp.2219-2225, DOI: 10.1200/JCO.2000.18.11.2219.

[8] G. Calais, D. Goga, O. LeFloch, et al. (1990), "Results of radiotherapy of carcinomas of the tonsillar area: Study of 137 cases", *Revue De Stomatologie Et De Chirurgie Maxillo-Faciale*, **91**(1), pp.60-64.

[9] N.Q. Hung (2012), *Study of Clinical and Histopathological Characteristics and Treatment Results of Tonsillar Carcinoma at K Hospital*, Master's Thesis, Hanoi Medical University.

[10] R. Maltz, D.A. Shumrick, B.S. Aron, et al. (1974), "Carcinoma of the tonsil: Results of combined therapy", *Laryngoscope*, **84**(12), pp.2172-2180, DOI: 10.1288/00005537-197412000-00008.

[11] S.M. Kregar, F.J. Hilgers, P.C. Levendag, et al. (1995), "A nationwide study of the epidemiology, treatment and survival of oropharyngeal carcinoma in the Netherlands", *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*, **252**(3), pp.133-138, DOI: 10.1007/BF00178098.

[12] D.T. Xuan (2003), *Study of Clinical and Ultrasound Imaging Characteristics, Histopathology of The Neck Region*, Specialist Doctor II Thesis, Hanoi Medical University (in Vietnamese).

[13] F. Zanetti, D. Mosto, P.B. Rizzo (2009), "Pattern of lymph node metastases in squamous cell carcinoma of the tonsil: Implication for selective neck dissection", *Oral. Oncol.*, **45**(3), pp.212-217, DOI: 10.1016/j.oraloncology.2008.05.004.

Đánh giá hiệu quả chương trình đào tạo “Cấp cứu sơ sinh” tại các bệnh viện của tỉnh Hà Nam

Nguyễn Thị Quỳnh Nga^{1,2*}, Phan Thị Nga¹, Quách Thị Hoa¹, Chu Lan Hương¹,
Vương Thị Huyền Trang¹, Lê Thị Hồng¹, Nguyễn Huy Phú¹

¹Bệnh viện Nhi Trung ương, 18/879 La Thành, phường Láng, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Y Hà Nội, 1 Tôn Thất Tùng, phường Kim Liên, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 16/1/2025; ngày chuyển phản biện 21/1/2025; ngày nhận phản biện 21/2/2025; ngày chấp nhận đăng 27/2/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu này nhằm đánh giá hiệu quả của chương trình đào tạo “Cấp cứu sơ sinh” tại các bệnh viện của tỉnh Hà Nam (trước sáp nhập), với trọng tâm là cải thiện kiến thức, kỹ năng thực hành của nhân viên y tế và giảm thiểu tỷ lệ bệnh tật cấp cứu, tử vong ở trẻ sơ sinh. Nghiên cứu can thiệp có so sánh trước sau được thực hiện trên 317 trẻ sơ sinh ≤ 30 ngày tuổi trong tình trạng cấp cứu, điều trị tại các bệnh viện thuộc tỉnh Hà Nam từ tháng 6/2023 đến tháng 6/2024. Đồng thời, 116 nhân viên y tế (bao gồm bác sỹ, điều dưỡng và nữ hộ sinh) tham gia chương trình đào tạo và được đánh giá sau đào tạo trong cùng thời gian trên. Kết quả cho thấy, sau chương trình đào tạo, tỷ lệ trẻ sơ sinh nặng lên và tử vong đều giảm (từ 2,3 xuống 0,9% và 0,7 xuống 0,6%), đồng thời số ca chuyển tuyến đến Bệnh viện Nhi Trung ương cũng giảm (từ 16,9 xuống 8,2%). Dù kiến thức lý thuyết của nhân viên y tế được cải thiện, kỹ năng thực hành vẫn cần nâng cao thêm. Chương trình đào tạo “Cấp cứu sơ sinh” đã chứng minh tính hiệu quả trong việc nâng cao chất lượng chăm sóc trẻ sơ sinh tại tỉnh Hà Nam. Tuy nhiên, cần tiếp tục các chương trình đào tạo này và giám sát liên tục để đảm bảo tính bền vững trong việc cải thiện kỹ năng thực hành của nhân viên y tế.

Từ khoá: cấp cứu sơ sinh, sơ sinh, tử vong.

Chỉ số phân loại: 3.2, 3.5

Assess the effectiveness of the “Neonatal resuscitation” training programme at hospitals in Ha Nam province

Thi Quynh Nga Nguyen^{1,2*}, Thi Nga Phan¹, Thi Hoa Quach¹, Lan Huong Chu¹,
Thi Huyen Trang Vuong¹, Thi Hong Le¹, Huy Phu Nguyen¹

¹Vietnam National Children's Hospital, 18/879 La Thanh Street, Lang Ward, Hanoi, Vietnam

²Hanoi Medical University, 1 Ton That Tung Street, Kim Lien Ward, Hanoi, Vietnam

Received 16 January 2025; revised 21 February 2025; accepted 27 February 2025

Abstract:

This study aimed to evaluate the effectiveness of the “Neonatal resuscitation” training programme at hospitals in Ha Nam province (before the administrative merger), focusing on the improvement of healthcare professionals' knowledge and practical skills and the reduction in neonatal morbidity and mortality rates. A before-and-after interventional study was conducted on 317 neonates (≤ 30 days old) in critical condition who were treated at hospitals in Ha Nam province from June 2023 to June 2024. Additionally, 116 healthcare professionals (including doctors, nurses, and midwives) participated in the training programme and were assessed after training during the same period. After the training programme, the rates of neonatal deterioration and mortality decreased (from 2.3 to 0.9% and from 0.7 to 0.6%, respectively), along with a marked reduction in referrals to the National Children's Hospital (from 16.9 to 8.2%). Although theoretical knowledge among healthcare professionals improved, further enhancement of practical skills is needed. The “Neonatal resuscitation” training programme proved effective in improving the quality of neonatal care in Ha Nam province. However, continued training programmes and regular supervision are essential to ensure sustainable improvement in healthcare professionals' practical skills.

Keywords: mortality, neonatal resuscitation, neonate.

Classification numbers: 3.2, 3.5

*Tác giả liên hệ: Email: quynhnga@hmu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Thời kỳ sơ sinh, kéo dài từ khi sinh đến 30 ngày đầu đời, là giai đoạn quan trọng nhất đối với sự sống còn của trẻ [1]. Giai đoạn này được chia thành thời kỳ rất sớm (sinh đến <24 giờ), sớm (24 giờ đến <7 ngày) và muộn (7 ngày đến <28 ngày) [2]. Đây là thời điểm trẻ dễ gặp nguy hiểm nhất, với các nguyên nhân tử vong hàng đầu bao gồm ngạt và chấn thương lúc sinh (29%), nhiễm khuẩn (32%), sinh non hoặc nhẹ cân (24%) và dị tật bẩm sinh (10%). Đáng chú ý, 36% trường hợp tử vong xảy ra trong ngày đầu tiên và 76% trong tuần đầu tiên [3, 4]. Do đó, việc chăm sóc kịp thời và hồi sức sơ sinh đóng vai trò quyết định trong giảm tử vong ở nhóm tuổi này.

Tại Việt Nam, một số mô hình can thiệp đã được triển khai để giảm tử vong mẹ và trẻ sơ sinh. Đặc biệt, chương trình nâng cao chất lượng cấp cứu sơ sinh tại Lào Cai và Hòa Bình (trước sáp nhập) đã mang lại kết quả đáng kể. Sau 2 năm can thiệp, tỷ lệ cấp cứu và chuyển tuyến sơ sinh tại Lào Cai giảm từ 6,3 xuống 3%, tại Hòa Bình giảm từ 30 xuống 8,4% [5, 6].

Hà Nam cũ, một tỉnh thuộc vùng Đồng bằng sông Hồng, hiện đối mặt với nhiều thách thức trong chăm sóc sơ sinh, bao gồm hạn chế về nhân lực và trang thiết bị y tế. Tỷ lệ cấp cứu và chuyển tuyến sơ sinh tăng cao, cho thấy sự cần thiết của việc nâng cao năng lực cấp cứu sơ sinh tại đây. Dựa trên khảo sát thực trạng năm 2022, chúng tôi đã tổ chức các lớp tập huấn về “Cấp cứu sơ sinh” tại các bệnh viện trên toàn tỉnh Hà Nam từ tháng 6/2023 đến tháng 6/2024 nhằm nâng cao kiến thức và kỹ năng thực hành cho nhân viên y tế.

Vì vậy chúng tôi tiến hành nghiên cứu “Hiệu quả của chương trình đào tạo “Cấp cứu sơ sinh” tại các bệnh viện của tỉnh Hà Nam” với mục tiêu: (1) Đánh giá thay đổi kiến thức, kỹ năng của cán bộ y tế Hà Nam sau đào tạo “Cấp cứu sơ sinh”, (2) Nhận xét kết quả điều trị trẻ sơ sinh cấp cứu sau đào tạo.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Đối tượng: Người bệnh: 302 trẻ sơ sinh ≤30 ngày tuổi (từ tháng 1/2022 đến 12/2022) và 317 trẻ sơ sinh ≤30 ngày tuổi (từ tháng 6/2023 đến 6/2024) vào viện trong tình trạng cấp cứu, được điều trị tại các bệnh viện thuộc tỉnh Hà Nam.

116 nhân viên y tế (bao gồm bác sĩ, điều dưỡng, nữ hộ sinh) làm công tác điều trị và chăm sóc trẻ sơ sinh tại các bệnh viện thuộc tỉnh Hà Nam, tham gia chương trình đào tạo và được giám sát sau đào tạo về “Cấp cứu sơ sinh” từ tháng 6/2023 đến tháng 6/2024.

Địa điểm:

Bệnh viện Đa khoa tỉnh Hà Nam và các trung tâm y tế các huyện Thanh Liêm, Duy Tiên, Lý Nhân, Bình Lục, Kim Bảng... (trước sáp nhập).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thiết kế nghiên cứu:

Nghiên cứu can thiệp có so sánh trước sau.

Phương pháp thực hiện:

Đào tạo tại chỗ kết hợp hướng dẫn thực hành trực tiếp.

Quy trình tiến hành cụ thể:

- Đối với bệnh nhân sơ sinh:

Các trẻ sơ sinh ≤30 ngày tuổi được sinh tại bệnh viện hoặc nhập viện trong tình trạng cấp cứu. Tiêu chuẩn cấp cứu (theo hướng dẫn của Bộ Y tế và Tổ chức Y tế Thế giới) bao gồm ít nhất một trong các dấu hiệu sau: suy hô hấp (thở nhanh >60 lần/phút, thở rên, co rút lồng ngực), suy tuần hoàn (tay chân lạnh, thời gian đổ đầy mao mạch >3 giây, mạch nhanh nhỏ), hạ thân nhiệt, co giật, sốt cao, xuất huyết, nôn nhiều, tiêu chảy mất nước, hạ đường huyết, tím trung ương và các dị tật cần xử trí ngay lập tức [7, 8].

- Đối với cán bộ y tế:

Các lớp tập huấn về “Cấp cứu sơ sinh” được tổ chức tại Bệnh viện Đa khoa tỉnh Hà Nam. Tổ chức và quản lý các lớp đào tạo do Sở Y tế tỉnh, Bệnh viện Đa khoa tỉnh Hà Nam phối hợp với Ban quản lý đề tài đảm nhiệm.

Thời gian cho mỗi lớp đào tạo là 10 ngày, trong đó có 3 ngày học lý thuyết và 7 ngày thực hành. Quá trình đào tạo cho 4 lớp đào tạo kéo dài trong 2 tháng từ tháng 6/2023 đến tháng 7/2023.

Giảng viên là các bác sĩ, điều dưỡng sơ sinh của Bệnh viện Nhi Trung ương. Tài liệu giảng dạy của các lớp đào tạo cơ bản được xây dựng riêng cho cán bộ y tế tỉnh Hà Nam trên cơ sở tài liệu được cung cấp của Bộ Y tế và khảo sát thực trạng cấp cứu tử vong sơ sinh, cũng như thực trạng về nhân lực, trang thiết bị, thuốc của các bệnh viện trong tỉnh Hà Nam. Việc thực hành trên lớp được tiến hành trên mô hình và thực hành trên bệnh nhân tại bệnh viện của tỉnh. Nhóm chuyên gia xây dựng tài liệu là những cán bộ có kinh nghiệm lâm sàng và giảng dạy trong lĩnh vực chăm sóc và cấp cứu sơ sinh.

- Chương trình giảng dạy bao gồm:

+ Lý thuyết chung: 9 bài giảng về: hồi sức sơ sinh tại phòng sinh; ổn định trẻ sơ sinh sau hồi sức, chăm sóc sơ sinh thiết yếu, phát hiện các dấu hiệu nặng của trẻ sơ sinh,

vận chuyển an toàn; một số bệnh lý sơ sinh hay gặp nằm trong chương trình “Cấp cứu sơ sinh cơ bản” theo Quyết định số 107 QĐ-K2ĐT của Bộ Y tế.

+ Thực hành: có nội dung riêng cho bác sỹ, điều dưỡng và hộ sinh.

Đối với điều dưỡng và hộ sinh: Quy trình kỹ thuật cơ bản hay gặp trong chăm sóc sơ sinh: thở máy; chiếu đèn; đặt sonde dạ dày cho trẻ sơ sinh; hút nội khí quản; và thực hành trên mô hình kỹ thuật hồi sức sơ sinh tại phòng sinh.

Đối với bác sỹ: Ba quy trình chính: khám lâm sàng cho trẻ sơ sinh; đặt nội khí quản và các kỹ thuật hồi sức sơ sinh tại phòng sinh.

Trước và sau mỗi lớp đào tạo, nhân viên y tế được đánh giá qua các bài kiểm tra lý thuyết và thực hành. Lý thuyết: bộ câu hỏi đánh giá lý thuyết bao gồm 28 câu hỏi với nội dung là những kiến thức về chăm sóc, cấp cứu sơ sinh. Tổng điểm là 20 điểm. Thực hành: quy trình hồi sức sơ sinh tại phòng sinh, quy trình thủ thuật chăm sóc thường xuyên gặp trong chăm sóc và cấp cứu trẻ sơ sinh của điều dưỡng và hộ sinh. Tổng điểm là 10 điểm.

Các biến số nghiên cứu:

- Trẻ sơ sinh: giới, dân tộc, cân nặng lúc sinh, cách thức sinh, tình trạng sau sinh, ngày tuổi khi nhập viện, tình trạng nhập viện.

- Các biến số đánh giá hiệu quả của chương trình đào tạo: tình trạng sau cấp cứu (ổn định, không đổi, nặng lên, tử vong), tỷ lệ chuyển tuyến, điểm đào tạo lý thuyết và thực hành trước và sau đào tạo.

Xử lý số liệu:

Dữ liệu được cập nhật, làm sạch và nhập vào phần mềm SPSS 20.0 để phân tích.

Đạo đức nghiên cứu:

Nghiên cứu đã được phê duyệt bởi Hội đồng Y đức Bệnh viện Nhi Trung ương theo Quyết định số 48/BVNTW-HĐĐĐ. Đây là nghiên cứu không can thiệp trực tiếp lên bệnh nhân ngoài quy trình điều trị chuẩn, nhưng có can thiệp đào tạo trên nhân viên y tế. Các phương pháp thu thập dữ liệu được thiết kế cẩn thận để không ảnh hưởng đến sức khỏe hay an toàn của bệnh nhân, và thông tin cá nhân của họ được bảo mật hoàn toàn.

3. Kết quả

Trong thời gian nghiên cứu, trong nhóm trẻ cấp cứu tại các bệnh viện tỉnh Hà Nam, tình trạng của bệnh nhân khi nhập viện chủ yếu là suy hô hấp, tiếp theo là sốt, nôn. Trên 70% trẻ có cân nặng sơ sinh ≥ 2500 g (bảng 1).

Bảng 1. Đặc điểm chung của bệnh nhân nghiên cứu giai đoạn năm 2022 và giai đoạn từ tháng 6/2023 đến 6/2024.

Đặc điểm chung		Năm 2022		Tháng 6/2023-6/2024	
		n=302	Tỷ lệ (%)	n=317	Tỷ lệ (%)
Giới	Nam	173	57,3	204	64,4
	Nữ	129	42,7	113	35,6
Cân nặng khi sinh	<2500 g	69	22,8	83	26,2
	≥ 2500 g	234	77,2	234	73,8
Cách thức sinh	Sinh thường	188	62,2	189	59,6
	Sinh mổ	114	37,8	128	40,4
Số ngày tuổi khi nhập viện	≤ 1 ngày	215	71,2	196	61,8
	>1 ngày	87	28,8	121	38,2
Tình trạng nhập viện	Suy hô hấp	154	51	192	60,6
	Suy tuần hoàn	13	4,3	7	2,2
	Chảy máu	19	6,3	1	0,3
	Nôn	41	13,6	12	3,8
	Hạ thân nhiệt	10	3,4	9	2,8
	Sốt	27	8,9	26	8,2
	Co giật	12	3,9	13	4,1
	Dị tật	11	3,6	15	4,7
	Khác	170	56,2	180	56,8

Sau khi tập huấn, chỉ có 0,9% bệnh nhân nặng lên và 0,6% bệnh nhân tử vong sau khi được xử trí cấp cứu tại bệnh viện tỉnh. So với năm 2022, có 2 bệnh nhân (chiếm 0,7%) tử vong sau khi cấp cứu tại bệnh viện tỉnh. Sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê ($p>0,05$). Hai trường hợp tử vong sau tập huấn đều là hai trẻ ngạt nặng, có suy thai trước khi sinh. Hai trẻ này đã được cấp cứu tại phòng sinh 30-40 phút nhưng không có tim trở lại.

Trong thời gian nghiên cứu, sau khi tập huấn, số bệnh nhân phải chuyển tuyến đến Bệnh viện Nhi Trung ương giảm rõ rệt, còn 26 bệnh nhân, chiếm 8,2%, thấp hơn so với năm 2022 (16,9%). Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với $p=0,001$ (bảng 2).

Bảng 2. So sánh kết quả xử trí cấp cứu bệnh nhân sơ sinh, tỷ lệ chuyển tuyến trước và sau khi được tập huấn đào tạo.

Đặc điểm		Trước tập huấn		Sau tập huấn		p
		n	%	n	%	
Tình trạng bệnh nhân	Ổn định	227	75,2	229	72,2	0,363
	Không đổi	66	21,8	83	26,2	
	Nặng lên	7	2,3	3	0,9	
	Tử vong	2	0,7	2	0,6	
Bệnh nhân chuyển Bệnh viện Nhi Trung ương	Chuyển	51	16,9	26	8,2	0,001
	Không	251	83,1	289	91,8	

Sử dụng phương pháp so sánh thống kê với giá trị của p cho thấy, kiến thức của tất cả các học viên là bác sỹ, điều dưỡng và hộ sinh ở cả 2 tuyến tỉnh và huyện đều tăng lên sau đào tạo (bảng 3).

Bảng 3. Phân tích sự khác biệt về điểm trung bình lý thuyết trước và sau khóa học giữa bệnh viện các tuyến và giữa các đối tượng.

Đối tượng		n	Min	Max	Mean±SD	p
Bệnh viện tuyến tỉnh						
Bác sỹ	Trước đào tạo	7	10,6	19	13,6±3,01	0,028
	Sau đào tạo	7	15,8	19	17,7±1,07	
Điều dưỡng	Trước đào tạo	11	1	16,8	9,6±4,09	0,001
	Sau đào tạo	11	14,5	18	17±1,09	
Hộ sinh	Trước đào tạo	3	15,7	16,6	16,1±0,37	0,135
	Sau đào tạo	3	17	18	17,5±0,41	
Bệnh viện tuyến huyện						
Bác sỹ	Trước đào tạo	32	6,3	16,7	10,7±2,18	0,001
	Sau đào tạo	32	9,4	16,7	13,1±2,36	
Điều dưỡng	Trước đào tạo	39	4,2	14,2	9,4±2,08	0,001
	Sau đào tạo	39	7	17,9	14,1±2,51	
Hộ sinh	Trước đào tạo	24	4,2	14,7	9,9±2,79	0,017
	Sau đào tạo	24	8,4	18,6	14,1±2,51	
Cả 2 tuyến trên 3 đối tượng (bác sỹ, điều dưỡng, nữ hộ sinh)						
Chung (Tất cả các đối tượng)	Trước đào tạo	116	1	19	10,3±2,91	0,034
	Sau đào tạo	116	7	19	14,4±2,58	

Với tổng điểm thực hành là 10 điểm, điểm trung bình về thực hành của tất cả các học viên ở mức trung bình, thấp nhất là 5 điểm, cao nhất là 6,5 điểm. Không có sự khác biệt rõ rệt giữa các nhóm học viên (bảng 4).

Bảng 4. Điểm trung bình về thực hành của các nhân viên y tế sau khóa học (n=116).

Kết quả thực hành	Bệnh viện tỉnh			Bệnh viện huyện			Cả 2 tuyến
	Bác sỹ	Điều dưỡng	Hộ sinh	Bác sỹ	Điều dưỡng	Hộ sinh	
Số học viên	7	11	3	32	39	24	116
Điểm TB± SD	6,4±0,2	5,7±0,6	5,8±0,2	6±0,5	5,6±0,4	5,7±0,3	5,8± 0,3
Min - Max	6-6,5	5,5-6,5	5,5-6	5,5-6,5	5-6	5-6	

Tỷ lệ đạt các kỹ năng cấp cứu của các nhân viên y tế tại bệnh viện tỉnh cao hơn các bệnh viện huyện, nhìn chung tỷ lệ vẫn còn thấp. Vì vậy cần phải liên tục cập nhật, nâng cao kỹ năng thực hành cho các bác sỹ, điều dưỡng và hộ sinh trong toàn tỉnh (bảng 5).

Bảng 5. Điểm thực hành theo nhóm của các nhân viên y tế sau khóa học (n=116).

Kết quả	Bệnh viện tỉnh		Bệnh viện huyện		Cả 2 tuyến	
Tỷ lệ điểm phân theo nhóm	n	%	n	%	n	%
Đạt	13	61,9	40	42,1	53	45,9
Chưa đạt	8	38,1	55	57,9	63	54,3
Tổng	21	100,0	95	100,0	116	100,0

4. Bàn luận

Năm 2022 có 302 hồ sơ và từ tháng 6/2023 đến tháng 6/2024 có 317 hồ sơ bệnh nhân cấp cứu đủ tiêu chuẩn lựa chọn được đưa vào phân tích. Cùng với đó, kết quả đào tạo của 116 nhân viên y tế cũng được thu thập. Theo đó, kết quả nghiên cứu cho thấy trong thời gian này, trong nhóm trẻ cấp cứu tại bệnh viện tỉnh Hà Nam, tình trạng của bệnh nhân khi nhập viện chủ yếu là suy hô hấp (chiếm 60,6%), tiếp theo là sốt chiếm 8,2%. 73,8% là trẻ có cân nặng sơ sinh ≥2500 g. Nhìn chung, mô hình bệnh tật của tỉnh Hà Nam trong thời gian từ tháng 6/2023 đến tháng 6/2024 tương tự với mô hình bệnh tật của năm 2022 đã được báo cáo trước đó [9].

Nghiên cứu của chúng tôi đã chỉ ra hiệu quả rõ rệt của chương trình đào tạo “Cấp cứu sơ sinh” tại tỉnh Hà Nam, đặc biệt là trong việc cải thiện khả năng xử trí các tình huống cấp cứu và giảm tỷ lệ tử vong ở trẻ sơ sinh. Kết quả nghiên cứu cho thấy, mặc dù trang thiết bị y tế không thay đổi, cơ

sở vật chất như cũ, nhưng sau khi áp dụng chương trình đào tạo, không chỉ tỷ lệ bệnh nhân nặng lên hoặc tử vong giảm đi (từ 0,7 xuống 0,6%), mà tỷ lệ bệnh nhân cần chuyển tuyến lên Bệnh viện Nhi Trung ương cũng giảm mạnh từ 16,9 xuống 8,2%. Điều này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc đào tạo nâng cao năng lực cấp cứu tại chỗ, từ đó giúp giảm gánh nặng cho các bệnh viện tuyến trên và cải thiện kết quả điều trị cho bệnh nhân.

So với các nghiên cứu trước đó tại các địa phương khác như Lào Cai và Hòa Bình, nơi mà các chương trình can thiệp tương tự đã được triển khai, kết quả tại Hà Nam tương tự với sự giảm thiểu đáng kể tỷ lệ chuyển tuyến và cải thiện tình trạng sức khỏe của trẻ sơ sinh [5, 6]. Điều này cho thấy mô hình đào tạo của chương trình có hiệu quả và có thể áp dụng ở các địa phương tương tự.

Một điểm đáng chú ý là sự khác biệt giữa các nhóm nhân viên y tế ở các bệnh viện tuyến tỉnh và huyện trong việc nâng cao kiến thức và kỹ năng sau khóa đào tạo. Kết quả cho thấy, kiến thức của các bác sĩ, điều dưỡng, hộ sinh tại cả hai tuyến tỉnh và huyện đều tăng lên sau đào tạo, với giá trị $p < 0,05$, cho thấy sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê. Tuy nhiên, điểm thực hành của các nhóm vẫn còn ở mức trung bình, với sự chênh lệch nhỏ giữa các tuyến bệnh viện. Điều này gợi ý rằng, mặc dù khóa đào tạo đã giúp nâng cao kiến thức lý thuyết, việc cải thiện kỹ năng thực hành cần phải được tiếp tục và có thể yêu cầu các khóa đào tạo bổ sung, hoặc giám sát thường xuyên hơn. Hơn nữa, nghiên cứu này đặt ra một câu hỏi quan trọng về tính bền vững của những cải thiện đạt được sau tập huấn. Để đảm bảo sự tiếp tục tiến bộ trong lĩnh vực cấp cứu sơ sinh, cần có sự hỗ trợ liên tục từ phía chính quyền và các tổ chức y tế, nhằm đảm bảo rằng các nhân viên y tế tại mọi cấp độ đều được trang bị đầy đủ kiến thức và kỹ năng để đối phó với các tình huống khẩn cấp. Việc tiếp tục đầu tư vào đào tạo và nâng cao năng lực cho nhân viên y tế là chìa khóa để duy trì và nâng cao những kết quả đã đạt được, góp phần giảm thiểu nguy cơ tử vong và biến chứng nghiêm trọng ở trẻ sơ sinh, đặc biệt là ở các khu vực có điều kiện y tế hạn chế.

Những hạn chế của nghiên cứu bao gồm việc không có nhóm đối chứng để so sánh, cũng như việc sử dụng mẫu thuận tiện có thể làm giảm tính tổng quát của kết quả. Vì vậy, chúng tôi không thể khẳng định chắc chắn mối quan hệ nhân quả giữa chương trình đào tạo và kết quả lâm sàng, mà chỉ có thể đưa ra giả định dựa trên mối tương quan quan sát được.

Trong tương lai, các nghiên cứu tiếp theo nên tập trung vào việc đánh giá dài hạn hiệu quả của các chương trình đào tạo này, cũng như tìm hiểu các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng tiếp thu và áp dụng kiến thức của nhân viên y tế. Điều này sẽ giúp tối ưu hóa các chương trình đào tạo và đảm bảo tính bền vững của những cải tiến trong chăm sóc sức khỏe trẻ sơ sinh tại các địa phương có điều kiện y tế tương tự.

5. Kết luận

Chương trình đào tạo “cấp cứu sơ sinh” đã cho thấy hiệu quả bước đầu trong việc cải thiện chất lượng chăm sóc sơ sinh tại tỉnh Hà Nam. Tuy nhiên, để đảm bảo tính bền vững, cần tiếp tục các chương trình đào tạo bổ sung và giám sát thường xuyên nhằm nâng cao kỹ năng thực hành của nhân viên y tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] R. Mushtaq, M. Ramzan, A. Jehan, et al. (2020), “Disease pattern and outcome among neonates in pediatric ward of POF hospital, Wah”, *J. Islamabad. Med. Dent. Coll.*, **9**(1), pp.42-47, DOI: 10.35787/jimdc.v9i1.386.
- [2] A. Jan, S. Ahmad, S. Zahid (2013), “Clinical audit of admission pattern and its outcome in a neonatal ICU”, *Gomal Journal of Medical Sciences*, **11**(1), pp.31-36.
- [3] A. Khan (2023), “Neonatal diseases & disorders: A comprehensive overview”, *J. Neo. Stud.*, **6**(4), pp.92-95, DOI: 10.37532/jns.2023.6(4).92-95.
- [4] World Health Organisation (2020), *Newborns: Improving Survival and Well-Being*, <https://www.who.int/westernpacific/newsroom/fact-sheets/detail/newborns-reducing-mortality>, accessed 25 August 2024.
- [5] K.T.K. Dung, D.P. Hoa, L.T. Ha, et al. (2020), “Resuscitation and morbidity patterns of neonatal emergency deaths in Lao Cai province”, *Journal of Pediatrics*, **13**(2), pp.10-16 (in Vietnamese).
- [6] K.T.K. Dung, D.P. Hoa, L.T. Ha, et al. (2021), “Current emergency morbidity patterns of neonatal hospital levels of Hoa Binh province”, *Journal of Pediatrics*, **14**(1), pp.23-29, DOI: 10.52724/tenk.v14i1.15.
- [7] The World Bank Group (2022), “Mortality rate, neonate (per 1000 live births) - Vietnam”, <https://data.worldbank.org/indicator/SH.DYN.NMRT?end=2022&locations=VN&start=1974>, accessed 27 August 2024.
- [8] World Health Organisation (2018), *Survive and Thrive: Transforming Care for Every Small and Sick Newborn*, <https://www.who.int/publications/i/item/survive-and-thrive-transforming-care-for-every-small-and-sick-newborn>, accessed 27 August 2024.
- [9] N.T.Q. Nga, P.T. Nga, V.T. Tam, et al. (2023), “Current status emergency morbidity patterns of neonatal Ha Nam province in 2022”, *Vietnam Medical Journal*, **532**(2), pp.299-304, DOI: 10.51298/vmj.v532i2.7635 (in Vietnamese).

Thực hành tuân thủ điều trị dự phòng trước phơi nhiễm HIV ở nam quan hệ tình dục đồng giới tại Thanh Hóa

Vũ Phong Túc^{1*}, Bùi Xuân Khánh², Trần Thị Phương¹

¹Trường Đại học Y Dược Thái Bình, 373 Lý Bôn, phường Trần Lãm, tỉnh Hưng Yên, Việt Nam

²Trung tâm Kiểm soát Bệnh tật Thanh Hóa, 474 Hải Thượng Lãn Ông, phường Đông Quang, tỉnh Thanh Hóa, Việt Nam

Ngày nhận bài 25/4/2025; ngày chuyển phản biện 28/4/2025; ngày nhận phản biện 21/5/2025; ngày chấp nhận đăng 28/5/2025

Tóm tắt:

Mục tiêu: Mô tả thực hành tuân thủ điều trị dự phòng trước phơi nhiễm HIV của nam quan hệ tình dục đồng giới (Men who have sex with men - MSM) tại tỉnh Thanh Hóa năm 2024. **Phương pháp nghiên cứu:** Mô tả cắt ngang được tiến hành với 374 nam giới từ 16 tuổi trở lên, có quan hệ tình dục đồng giới đang sử dụng dịch vụ điều trị dự phòng trước phơi nhiễm HIV (PrEP) từ tháng 4/2024 đến tháng 6/2024. Kết quả cho thấy, 21,2% MSM sử dụng PrEP từ 12 tháng trở lên. Trong đó, 87,2% MSM sử dụng PrEP kết hợp với việc dùng bao cao su khi quan hệ tình dục; có 2,9% MSM quên uống thuốc PrEP trong một tháng; có 81,8% MSM quên thuốc trong vòng 1 đến 7 ngày và 18,2% MSM quên thuốc trên 7 ngày. Biện pháp nhắc uống thuốc phổ biến là đặt chuông báo thức (90,9%) và lên lịch uống thuốc (72,7%). Khi gặp tác dụng phụ, 91,4% MSM đã thông báo cho nhân viên phòng khám PrEP. **Kết luận:** Thực hành tuân thủ điều trị dự phòng trước phơi nhiễm HIV của MSM còn thấp. Vì vậy, cần tăng cường truyền thông để duy trì tính bền vững với MSM sử dụng PrEP.

Từ khóa: điều trị dự phòng trước phơi nhiễm HIV, nam quan hệ tình dục đồng giới, Thanh Hóa, tuân thủ điều trị.

Chỉ số phân loại: 3.3, 3.5

Adherence to HIV pre-exposure prophylaxis among men who have sex with men in Thanh Hoa province

Phong Tuc Vu^{1*}, Xuan Khanh Bui², Thi Phuong Tran¹

¹Thai Binh University of Medicine and Pharmacy, 373 Ly Bon Street, Tran Lam Ward, Hung Yen Province, Vietnam

²Thanh Hoa Centre for Disease Control, 474 Hai Thuong Lan Ong Street, Dong Quang Ward, Thanh Hoa Province, Vietnam

Received 25 April 2025; revised 21 May 2025; accepted 28 May 2025

Abstract:

Objectives: To describe adherence to HIV pre-exposure prophylaxis among men who have sex with men (MSM) in Thanh Hoa province in 2024. **Methods:** A cross-sectional study was conducted among 374 men aged 16 years and older who had sex with men and were using HIV pre-exposure prophylaxis (PrEP) services from April 2024 to June 2024. Results showed that 21.2% of MSM had used PrEP for 12 months or longer. Among them, 87.2% of MSM used PrEP in combination with condom use during sexual intercourse; 2.9% of MSM reported forgetting to take their PrEP medication in the past month. Among those who missed doses, 81.8% forgot to take their medication for 1- 7 days, and 18.2% for more than 7 days. Common reminder methods included setting alarms (90.9%) and scheduling medication times (72.7%). When experiencing side effects, 91.4% of MSM reported them to PrEP clinic staff. **Conclusions:** Adherence-related practices still require strengthening in some areas. Therefore, communication interventions should be strengthened to ensure sustainable PrEP use among MSM.

Keywords: HIV pre-exposure prophylaxis, men who have sex with men, Thanh Hoa, treatment adherence.

Classification numbers: 3.3, 3.5

*Tác giả liên hệ: Email: tucvp@tbump.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Điều trị dự phòng trước phơi nhiễm HIV bằng thuốc ARV (PrEP) được giới thiệu lần đầu tiên tại Việt Nam vào đầu năm 2017. Tiếp theo, Bộ Y tế đã ban hành Kế hoạch điều trị PrEP giai đoạn 2018-2020 vào năm 2018 [1]. Đến nay, toàn quốc hiện có trên 200 cơ sở PrEP tại 29 tỉnh, thành phố với lũy tích hơn 67.000 khách hàng tham gia PrEP. Hiện nay, hình thái dịch HIV/AIDS ở Việt Nam chuyển sang lây truyền chủ yếu qua đường tình dục và nhóm MSM được coi là nhóm nguy cơ chính gây dịch [2]. Chính phủ đã phê duyệt Chiến lược quốc gia chấm dứt dịch bệnh AIDS vào năm 2030, trong đó một trong những mục tiêu là “tỷ lệ người MSM được điều trị dự phòng trước phơi nhiễm HIV bằng thuốc ARV đạt 30% vào năm 2025 và 40% vào năm 2030” [3]. Trong bối cảnh HIV/AIDS vẫn là vấn đề y tế mang nhiều thách thức, việc mở rộng chương trình điều trị PrEP được coi là một trong những giải pháp chiến lược góp phần giảm các trường hợp lây nhiễm HIV mới, trong đó, đặc biệt lưu ý tới việc tuân thủ điều trị của người tham gia PrEP. Song cho đến nay vẫn còn ít nghiên cứu về vấn đề này.

Tuân thủ điều trị của người bệnh nhiễm HIV/AIDS là mức độ người bệnh thực hiện đúng theo các chỉ định của nhân viên y tế trong quá trình điều trị. Tại tỉnh Thanh Hóa, PrEP được triển khai từ năm 2020 tại 3 cơ sở y tế tư nhân. Tính đến đầu năm 2024, Thanh Hóa có khoảng 12.000 người MSM nhưng mới chỉ có khoảng 6% trong nhóm này đang tham gia vào các hoạt động can thiệp giảm tác hại dự phòng lây nhiễm HIV, tổng số khách hàng đang sử dụng dịch vụ PrEP chỉ mới dừng lại ở con số 1.838, song việc tuân thủ điều trị của nhóm người bệnh nhiễm HIV/AIDS sử dụng PrEP chưa được đề cập một cách đầy đủ [4].

Xuất phát từ thực tế nêu trên, chúng tôi đã tiến hành đề tài nghiên cứu với mục tiêu: mô tả thực hành tuân thủ điều trị dự phòng trước phơi nhiễm HIV của MSM tại tỉnh Thanh Hóa năm 2024.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng, địa điểm, thời gian nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Nam quan hệ tình dục đồng giới.

Tiêu chuẩn lựa chọn: Nam quan hệ tình dục đồng giới đang sử dụng dịch vụ điều trị dự phòng trước phơi nhiễm HIV (PrEP), từ 16 tuổi trở lên, có đủ sức khỏe và tự nguyện đồng ý tham gia nghiên cứu.

Địa điểm nghiên cứu: Nghiên cứu được thực hiện tại 3 cơ sở y tế tư nhân đã triển khai cung cấp PrEP từ năm 2020 tại Thanh Hóa, bao gồm: Phòng khám 246 Hải Thượng Lãn Ông, Phòng khám 116 Đinh Công Tráng, Phòng khám 161 Quang Trung.

Thời gian nghiên cứu: Nghiên cứu được tiến hành từ tháng 4/2024 đến tháng 6/2024.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

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

Cỡ mẫu và chọn mẫu:

- Cỡ mẫu: Áp dụng công thức tính cỡ mẫu cho một tỷ lệ trong quần thể như sau:

$$n = Z_{1-\alpha/2}^2 \times \frac{p(1-p)}{d^2}$$

trong đó: n: cỡ mẫu tối thiểu cho nghiên cứu; Z: độ tin cậy lấy ở ngưỡng xác suất $\alpha=5\%$ ($Z=1,96$); p: tỷ lệ đối tượng MSM tuân thủ điều trị PrEP (lấy $p=0,70$ [5]); d: sai số tuyệt đối (lấy $d=0,05$).

Thay vào công thức trên tính được $n=323$ MSM, bổ sung 15% dự phòng số MSM bỏ cuộc nên mẫu tính toán là: $n = 323 + (323 \times 15\%) = 374$ người.

- Chọn mẫu: Tính đến đầu năm 2024, số khách hàng đang sử dụng PrEP tại Thanh Hóa là 1.838. Nhóm nghiên cứu đã áp dụng phương pháp chọn mẫu thuận tiện khi MSM đến tái khám và nhận thuốc PrEP. Người điều tra thu thập thông tin là các cán bộ của Trung tâm Kiểm soát Bệnh tật Thanh Hóa. Các cán bộ điều tra đều có kinh nghiệm thu thập thông tin phục vụ cho nghiên cứu khoa học, được tập

huấn đầy đủ về nội dung và mục tiêu nghiên cứu, phương pháp phỏng vấn để nhận được câu trả lời chân thực, chính xác. Người tham gia nghiên cứu được kiểm soát để đảm bảo không bị lấy số liệu 2 lần.

Trong thời gian 3 tháng điều tra số liệu, chọn MSM đầu tiên đến khám đủ tiêu chuẩn tham gia cho đến khi đủ cỡ mẫu theo tính toán ở trên.

Công cụ thu thập thông tin:

Sử dụng bộ phiếu phỏng vấn có cấu trúc cho MSM đang sử dụng dịch vụ PrEP. Phiếu khảo sát ý kiến MSM sử dụng dịch vụ PrEP được xây dựng dựa trên mẫu số 2, ban hành kèm theo Quyết định số 3869/QĐ-BYT ngày 28/8/2019 của Bộ Y tế về Ban hành các mẫu phiếu và hướng dẫn khảo sát hài lòng người bệnh và nhân viên y tế [6].

Biến số nghiên cứu bao gồm các yếu tố về nhân khẩu học, thu nhập của đối tượng nghiên cứu và các nội dung thực hành điều trị dự phòng trước phơi nhiễm như: thời gian sử dụng thuốc điều trị, sự kết hợp thuốc và sử dụng bao cao su khi quan hệ tình dục, xử trí khi gặp tác dụng phụ của thuốc.

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Số liệu được kiểm tra và làm sạch bằng chương trình Epidata 3.1, sử dụng chương trình SPSS 20.0 để phân tích và xử lý số liệu. Các kết quả được biểu thị dưới dạng số lượng và tỷ lệ phần trăm.

2.4. Đạo đức nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện theo Quyết định thông qua đề cương nghiên cứu số 540/QĐ-YDTB ngày 12/3/2024 của Trường Đại học Y Dược Thái Bình. Sự tham gia của MSM là hoàn toàn tự nguyện. MSM được giải thích rõ về mục đích nghiên cứu. Các thông tin thu thập được chỉ phục vụ cho mục đích nghiên cứu.

3. Kết quả

Kết quả bảng 1 cho thấy, MSM chủ yếu ở độ tuổi 16-29 (70,6%), trình độ học vấn từ trung cấp trở lên chiếm 39,4%. Đa số MSM đang ở tình trạng độc thân (74,7%). Hơn một nửa MSM là công nhân (54,3%), với mức thu nhập cá nhân hàng tháng 5-10 triệu đồng (58,6%).

Bảng 1. Đặc điểm chung của đối tượng nghiên cứu (n=374).

Thông tin chung	Số lượng	Tỷ lệ (%)
Nhóm tuổi		
16-29 tuổi	264	70,6
30-39 tuổi	94	25,1
≥40 tuổi	16	4,3
Trình độ học vấn		
Chưa từng đi học	17	4,5
Tiểu học (lớp 1-5)	4	1,1
Trung học cơ sở (lớp 6-9)	51	13,6
Phổ thông trung học (lớp 10-12)	155	41,4
Trung cấp, cao đẳng, đại học...	147	39,4
Tình trạng hôn nhân		
Độc thân	279	74,7
Kết hôn	45	12,0
Ly thân	12	3,2
Ly dị	36	9,6
Góa bụa	2	0,5
Nghề nghiệp		
Nông dân/thợ thủ công	49	13,0
Công nhân	203	54,3
Công chức/viên chức	68	18,2
Học sinh/sinh viên	47	12,6
Thất nghiệp	7	1,9
Thu nhập cá nhân hàng tháng		
Dưới 5 triệu	38	10,2
Từ 5 đến dưới 10 triệu	219	58,6
Từ 10 triệu đến dưới 15 triệu	74	19,8
Trên 15 triệu	43	11,4

Kết quả bảng 2 cho thấy, có 26,2% người mới sử dụng PrEP dưới 6 tháng, 38,8% người sử dụng PrEP từ 6 tháng đến dưới 12 tháng. Trong 1 tháng qua, có 87,2% đối tượng nghiên cứu sử dụng PrEP kết hợp với việc dùng bao cao su khi quan hệ tình dục.

Bảng 2. Thời gian sử dụng thuốc PrEP và kết hợp dùng bao cao su (n=374).

Nội dung	Số lượng	Tỷ lệ (%)
Thời gian sử dụng thuốc PrEP		
Dưới 6 tháng	98	26,2
6 tháng - dưới 12 tháng	145	38,8
12 tháng - dưới 24 tháng	79	21,2
Trên 24 tháng	22	5,8
Không nhớ	30	8,0
Kết hợp PrEP và sử dụng bao cao su		
Có	326	87,2
Không	48	12,8

Kết quả bảng 3 cho thấy, chỉ có 2,9% MSM quên uống thuốc PrEP trong một tháng. Trong đó 9/11 MSM quên thuốc trong vòng 1 đến 7 ngày. Với MSM quên thuốc trong vòng 1 đến 7 ngày, 9/9 MSM đã uống ngay khi nhớ ra, nhưng có tới 4/9 MSM đã uống quá 2 viên vào ngày đầu sau quên thuốc và 2/9 MSM không uống như bình thường vào những ngày sau. Với quên thuốc trên 7 ngày, 1/2 người đã tiếp tục uống khi nhớ ra, đồng thời thông báo cho cán bộ y tế tại phòng khám PrEP để tư vấn lại.

Bảng 3. Thực trạng quên thuốc và xử trí quên thuốc.

Nội dung	Số lượng	Tỷ lệ (%)	
Quên thuốc (n=374)			
Có	11	2,9	
Không	363	97,1	
Số ngày quên thuốc (n=11)			
Từ 1 đến 7 ngày	9	81,8	
Trên 7 ngày	2	18,2	
Xử trí quên thuốc trong vòng từ 1 đến 7 ngày (n=9)			
Uống ngay khi nhớ ra	Có	9	100
	Không	0	0
Không uống quá 2 viên/ngày đầu sau khi quên thuốc	Có	4	44,4
	Không	5	55,6
Những ngày sau uống như bình thường	Có	7	77,8
	Không	2	22,2
Xử trí quên thuốc trên 7 ngày (n=2)			
Tiếp tục uống khi nhớ ra	Có	1	50
	Không	1	50
Thông báo cho cán bộ y tế tại phòng khám PrEP để tư vấn lại	Có	1	50
	Không	1	50

Kết quả bảng 4 cho thấy, trong số 11 đối tượng quên uống thuốc, biện pháp nhắc uống thuốc phổ biến là đặt chuông báo thức (90,9%) và lên lịch uống thuốc (chiếm 72,7%). Chỉ có 2/11 người cho biết họ không làm gì để nhắc việc uống thuốc.

Bảng 4. Các biện pháp nhắc nhở uống thuốc (n=11).

Biện pháp nhắc uống thuốc	Số lượng	Tỷ lệ (%)
Lên lịch uống thuốc	8	72,7
Đặt chuông báo thức	10	90,9
Nhờ người hỗ trợ điều trị nhắc nhở	5	45,5
Không làm gì	2	18,2

Kết quả bảng 5 cho thấy, có 84,5% MSM không thấy tác dụng phụ của thuốc. Trong đó, tác dụng phụ hay gặp nhất là hoa mắt, chóng mặt (10,7%), buồn nôn/nôn (7,2%). Cách xử trí phổ biến của đối tượng nghiên cứu khi gặp tác dụng phụ là thông báo cho nhân viên phòng khám PrEP (91,4%).

Bảng 5. Tác dụng phụ của thuốc gặp phải và xử trí (n=374).

Nội dung	Số lượng	Tỷ lệ (%)
Tác dụng phụ gặp trong một tháng qua		
Nổi mẩn	8	2,1
Buồn nôn/nôn	27	7,2
Tiêu chảy	4	1,1
Đau bụng	9	2,4
Đau đầu	23	6,1
Hoa mắt, chóng mặt	40	10,7
Không thấy tác dụng phụ	316	84,5
Xử trí khi gặp tác dụng phụ của thuốc		
Thông báo cho phòng khám PrEP	53	91,4
Tự đi khám tại cơ sở y tế	5	8,6

4. Bàn luận

Kết quả nghiên cứu này cho thấy, phần lớn MSM đã sử dụng dịch vụ PrEP duy trì thời gian trên 6 tháng, trong đó có 60% đối tượng sử dụng PrEP từ 6 tháng đến dưới 2 năm. Như vậy, phần lớn MSM là các khách hàng đã sử dụng PrEP được một thời gian khá dài, ngay từ những ngày đầu dịch vụ này được triển khai tại Thanh Hóa vào năm 2020. Tỷ lệ tham gia điều trị PrEP trong nghiên cứu này cao hơn trong nghiên cứu tại Bắc Giang với 59,2% khách hàng đã ngưng sử dụng dịch vụ PrEP trong kỳ báo cáo [7].

Thông thường, người điều trị không phải dùng PrEP suốt đời. Thay vào đó cần có một chương trình mà bác sỹ làm việc trực tiếp với từng cá nhân để có được thỏa thuận đồng ý của cá nhân đó với bác sỹ khi muốn gia hạn đơn thuốc. Trong nhiều trường hợp, hoàn cảnh sống thay đổi, nguy cơ nhiễm HIV có thể mất đi hoặc được hạn chế tối đa, mỗi cá nhân có thể thảo luận với bác sỹ về nhu cầu dùng thuốc PrEP trong khoảng thời gian phù hợp. Với những người ở những thời điểm muốn ngưng dùng thuốc PrEP cần tham khảo ý kiến của bác sỹ để có phương án phù hợp nhất, đảm bảo an toàn cho sức khỏe [8].

Có 87,2% MSM sử dụng PrEP kết hợp với việc dùng bao cao su khi quan hệ tình dục. Kết quả này cao hơn so với kết quả trên nhóm MSM tại TP Huế năm 2020 [9]. Trên thực tế, việc điều trị dự phòng trước phơi nhiễm HIV có khả năng làm giảm nguy cơ mắc bệnh, tuy nhiên với những trường hợp không sử dụng bao cao su, khả năng lây nhiễm vẫn có thể xảy ra. Việc điều trị dự phòng trước phơi nhiễm chỉ hỗ trợ dự phòng lây nhiễm HIV chứ không có khả năng dự phòng cho các bệnh lây truyền khác nữa. Dùng bao cao su khi quan hệ tình dục giúp phòng tránh lây nhiễm không chỉ HIV, mà cả với các bệnh lây truyền qua đường tình dục khác như sùi mào gà, lậu, giang mai... Do đó, việc điều trị dự phòng trước phơi nhiễm cần được kết hợp với việc sử dụng bao cao su khi quan hệ tình dục, để tối ưu khả năng bảo vệ cơ thể tránh lây nhiễm HIV như đã được hướng dẫn khi sử dụng PrEP theo tài liệu quốc gia [8].

Kết quả nghiên cứu cho biết, chỉ có 2,9% MSM quên uống thuốc PrEP trong một tháng qua; thấp hơn 14,9% MSM quên thuốc trong vòng một tháng của nghiên cứu tại Trung tâm Y tế Từ Liêm, Hà Nội năm 2012 [10]. Trong số 11 MSM quên uống thuốc PrEP, có 81,8% là quên thuốc trong vòng 1 đến 7 ngày, và 18,2% quên thuốc trên 7 ngày. Cách xử trí đúng nhất đối với quên thuốc trong vòng 1 đến 7 ngày là uống ngay khi nhớ ra và 100% MSM đã thực hiện điều này. Tỷ lệ này cao hơn tỷ lệ 80% bệnh nhân HIV thực hành đúng khi quên uống thuốc ở nghiên cứu tại Hà Nội năm 2012 [10]. Nhưng nghiên cứu cũng cho thấy, có tới 55,6% đã uống quá 2 viên vào ngày đầu sau quên và 22,2% không uống như bình thường vào những ngày sau. Với những trường hợp quên uống thuốc nhiều hơn 7 ngày, chỉ 50% người tiếp tục uống khi nhớ ra, đồng thời thông báo cho cán bộ y tế tại phòng khám PrEP để tư vấn lại. Hoạt động truyền thông tư vấn nên tập trung hướng dẫn về xử trí khi quên thuốc để đảm bảo duy trì tốt nhất tác dụng của điều trị.

Trong số 11 MSM quên uống thuốc trên tổng số 374 MSM thì các biện pháp nhắc uống thuốc phổ biến là đặt chuông báo thức (chiếm 90,9%) và lên lịch uống thuốc

(chiếm 72,7%). Kết quả này cao hơn nghiên cứu tại Trung tâm Y tế Từ Liêm, Hà Nội năm 2012 có 82,6% đặt chuông báo thức và 64,5% lên lịch uống thuốc để hỗ trợ thực hành việc tuân thủ điều trị. Với kết quả này, giải pháp quan trọng để tối ưu hóa hiệu quả chương trình điều trị PrEP là phải tăng cường kiến thức về điều trị PrEP. Đó cũng là đề xuất của tác giả S. Sun sau khi thực hiện nghiên cứu về sự sẵn sàng và tuân thủ điều trị PrEP trên 622 MSM tại Trung Quốc (2021) [11]. Một số nghiên cứu gần đây cho thấy mối quan hệ hai chiều giữa tuân thủ điều trị và chất lượng cuộc sống ở người bệnh đang điều trị ARV, đặc biệt trong nhóm nam quan hệ đồng giới [12]. Tuân thủ điều trị tốt không những góp phần cải thiện kết quả điều trị PrEP, mà còn nâng cao chất lượng sống của nhóm MSM. Ngược lại, chất lượng cuộc sống cũng ảnh hưởng đến việc tuân thủ điều trị, những người có chất lượng cuộc sống tốt hơn, thu nhập ở mức trung bình khá có khả năng tuân thủ điều trị cao hơn.

Có 84,5% MSM không thấy tác dụng phụ nào khi uống thuốc PrEP trong một tháng qua. Tác dụng phụ của thuốc PrEP mà MSM thường gặp là hoa mắt, chóng mặt (10,7%), thấp nhất là tiêu chảy (1,1%). MSM gặp phải tác dụng phụ là những người mới tham gia điều trị PrEP trong vòng 1 đến 3 tháng. Các tác dụng phụ này thường nhẹ, thoáng qua hoặc kéo dài trong vài ngày hoặc vài tuần, nhưng thường không quá 1 tháng nên không cần ngừng sử dụng PrEP.

Các thuốc điều trị HIV có tác dụng ức chế sự nhân lên của virus và giữ cho hàm lượng virus trong máu chỉ duy trì ở mức thấp. Thuốc cũng có tác dụng khôi phục miễn dịch của cơ thể, làm giảm nguy cơ bị các nhiễm trùng cơ hội, từ đó góp phần cải thiện chất lượng sống của người nhiễm HIV. Tuy nhiên, bên cạnh những tác dụng điều trị mà thuốc mang lại, người dùng vẫn có thể gặp phải một số tác dụng phụ như: buồn nôn, tiêu chảy, đau đầu, đau bụng, nổi ban ngứa, thiếu máu, tê bì... Có thể áp dụng một số cách khi dùng thuốc để giảm bớt tác dụng phụ, như uống thuốc sau khi ăn, dùng thuốc chống nôn trước khi uống thuốc ARV. Với triệu chứng tiêu chảy xảy ra khi dùng thuốc, ở mức độ nhẹ người bệnh có thể uống oresol để bù nước, điện giải. Với những người có biểu hiện tiêu chảy nặng có thể phải truyền dịch và đi kèm thuốc điều trị tiêu chảy. Nếu người nhiễm HIV bị tác dụng phụ đau đầu sau khi dùng thuốc ARV, thì dùng thuốc giảm đau cơ bản như paracetamol. Với trường hợp bị đau bụng có thể đến cơ sở y tế để được chẩn đoán và xử lý kịp thời, tránh những biến chứng bất lợi cho sức khỏe [13].

Tác dụng phụ nữa của thuốc ARV là khả năng gây dị ứng cho người dùng như xuất hiện ban đỏ rải rác trên da, cảm giác ngứa, khó chịu... Với các triệu chứng này có thể dùng thuốc kháng histamin để điều trị. Tuy nhiên, các trường hợp

nặng hơn phải lập tức dừng thuốc và đến ngay các cơ sở y tế. Người dùng thuốc ARV cũng có thể bị cảm giác hoa mắt, chóng mặt do một số loại thuốc ARV có thể gây ức chế tủy xương, làm giảm khả năng sinh hồng cầu, gây ra chứng thiếu máu. Những triệu chứng này có thể xuất hiện sau thời gian đầu điều trị ARV. Để cải thiện triệu chứng thiếu máu sau khi dùng thuốc, người bệnh có thể dùng kèm theo vitamin B12, axit folic, viên sắt... [13].

Thuốc điều trị HIV cũng rất độc với gan. Tồn thương gan là một biến chứng khá nghiêm trọng và thường xuyên xảy ra ở những bệnh nhân điều trị HIV bằng thuốc ARV. Các dấu hiệu tổn thương gan bao gồm: đau bụng, nước tiểu sẫm màu, vàng da, phân bạc màu hoặc màu nâu đen... Ngoài ra, nó có thể gây hủy hoại tế bào gan và làm tăng men gan. Cần ngừng thuốc nếu có tăng men gan gấp 5 lần bình thường.

Cách xử trí phổ biến của đối tượng nghiên cứu khi gặp tác dụng phụ của thuốc PrEP là thông báo cho nhân viên y tế tại phòng khám PrEP đạt 91,4%, chỉ có 8,6% là tự đi khám tại bệnh viện/cơ sở y tế tư nhân. Tùy theo tác dụng phụ mà MSM gặp phải, nhân viên y tế phòng khám PrEP sẽ hướng dẫn cách xử trí phù hợp.

Thuốc PrEP hoạt động rất hiệu quả trong việc ngăn chặn một người nhiễm HIV. Tất cả mọi người dùng PrEP nên thực hành uống thuốc theo đúng hướng dẫn của bác sĩ. Để thực hiện công bằng, bình đẳng trong tiếp cận dịch vụ phòng chống HIV/AIDS, hướng tới chấm dứt dịch bệnh AIDS vào năm 2030, rất cần có sự tham gia của từng cá nhân và đội ngũ cán bộ y tế để dịch vụ PrEP đạt được hiệu quả cao nhất.

5. Kết luận

Mặc dù phần lớn MSM có một số thực hành tuân thủ PrEP tương đối tốt, vẫn còn những điểm cần củng cố, đặc biệt là xử trí quên thuốc đúng cách và duy trì sử dụng bền vững. Cần tăng cường truyền thông và tư vấn nhằm duy trì sử dụng PrEP bền vững ở MSM.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Vietnam Ministry of Health (2018), *Decision No. 5866/QĐ-BYT dated 28 September 2018 on Promulgating The Plan for HIV Pre-exposure Prophylaxis with Antiretroviral Drugs (PrEP) for The Period 2018-2020* (in Vietnamese).

[2] Department of HIV/AIDS Prevention and Control - Vietnam Ministry of Health (2021), "HIV infection among men who have sex with men - alarming numbers", <https://vaac.gov.vn/nhiem-hiv-oi-nhom-nam-quan-he-tinh-duc-dong-gioi-con-so-dang-bao-dong.html>, accessed 28 March 2024.

[3] Prime Minister (2020), *Decision No. 1246/QĐ-TTg, 14 August 2020, Approving The National Strategy to End The AIDS Epidemic by 2030* (in Vietnamese).

[4] Thanh Hoa Provincial Centre for Disease Control (2023), *Report on 2023 Activity Performance Results* (in Vietnamese).

[5] N.T.T. Phuong, H.H. Van, H.D. Canh (2020), "Overview of adherence to HIV pre-exposure prophylaxis (PrEP) among men who have sex with men (MSM)", *Journal of Clinical Medicine*, **123**, pp.21-31, DOI: 10.52322/jocmbmh.123.03 (in Vietnamese).

[6] Vietnam Ministry of Health (2019), *Decision No. 3869/QĐ-BYT dated 28 August 2019 on Sample Forms and Instructions for Surveying Patient and Medical Staff Satisfaction* (in Vietnamese).

[7] B. Hop (2025), "Strengthening PrEP implementation: A proactive HIV prevention solution in Bac Giang", https://syt.bacgiang.gov.vn/chi-tiet-tin-tuc/-/asset_publisher/6CWBO9WiZqsQ, accessed 20 May 2025 (in Vietnamese).

[8] T.T. Thuy (2021), "Pre-exposure prophylaxis for HIV (PrEP) by taking a pill every day", *Department of HIV/AIDS Prevention and Control*, <https://vaac.gov.vn/chuyen-trang/du-phong-truoc-phoi-nhiem-hiv-prep-bang-uong-mot-vien-thuoc-moi-ngay.html>, accessed 20 May 2025 (in Vietnamese).

[9] N.V. My, T.N.P. Tra, N.L. Tam, et al. (2020), "Current status of condom use and some related factors among men who have sex with men in Thua Thien Hue province in 2020", *Journal of Preventive Medicine*, **32(8)**, pp.116-124, DOI: 10.51403/0868-2836/2022/892 (in Vietnamese).

[10] L.T.B. Lien (2014), "Knowledge in ARV treatment of HIV/AIDS patients and some community support activities at Tu Liem District Medical Center, Hanoi", *Journal of Practical Medicine*, **907**, pp.25-30 (in Vietnamese).

[11] S. Sun, C. Yang, N. Zaller, et al. (2021), "PrEP willingness and adherence self-efficacy among men who have sex with men with recent condomless anal sex in urban China", *AIDS Behav.*, **25**, pp.3482-3493, DOI: 10.1007/s10461-021-03274-0.

[12] W. Byansi, P. Nabuny, J. Muwanga, et al. (2023), "The relationship between life satisfaction, personal health, quality of life, and medication adherence among adolescents living with HIV in southwestern Uganda", *Journal of Public Health*, **31(7)**, pp.1177-1184, DOI: 10.1007/s10389-021-01632-9.

[13] H.T. Thuy (2025), "Side effects of HIV drugs", <https://tudu.com.vn/vn/y-hoc-thuong-thuc/>, accessed 20 May 2025 (in Vietnamese).

Ảnh hưởng của mật độ cấy và lượng phân bón hóa học đến sinh trưởng và năng suất giống lúa Hương Thanh 10 tại Thanh Hóa

Tổng Văn Giang*, Lê Huy Tuấn

Khoa Nông Lâm Ngư nghiệp, Trường Đại học Hồng Đức, 565 Quang Trung, phường Hạc Thành, tỉnh Thanh Hóa, Việt Nam

Ngày nhận bài 27/3/2025; ngày chuyển phản biện 31/3/2025; ngày nhận phản biện 10/4/2025; ngày chấp nhận đăng 20/5/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu nhằm xác định mật độ cấy và lượng phân bón hóa học thích hợp cho giống lúa Hương Thanh 10 trồng tại tỉnh Thanh Hóa. Thí nghiệm được thực hiện trong vụ Xuân và vụ Mùa năm 2024 và được thiết kế theo kiểu ô lớn - ô nhỏ (split-plot) với 3 lần nhắc lại. Nhân tố ô chính là lượng phân hóa học cho 1 ha theo tỷ lệ N:P₂O₅:K₂O, vụ Xuân ở các mức P1: 80:70:60 kg/ha, P2: 90:80:70 kg/ha, P3: 100:90:80 kg/ha, P4: 110:100:90 kg/ha; vụ Mùa ở các mức P1: 70:60:50 kg/ha, P2: 80:70:60 kg/ha, P3: 90:80:70 kg/ha, P4: 100:90:80 kg/ha. Nhân tố ô phụ là mật độ cấy: M1: 30 khóm/m²; M2: 40 khóm/m²; M3: 50 khóm/m². Kết quả nghiên cứu cho thấy, thời gian sinh trưởng, số nhánh tối đa, số hạt chắc/bông, khối lượng 1000 hạt đạt cao nhất ở mật độ cấy 30 khóm/m² và lượng phân bón ở mức P3. Năng suất thực thu cao nhất ở công thức M2P3 đạt 6,8 tấn/ha ở vụ Xuân và đạt 4,6 tấn/ha ở vụ Mùa, tương ứng với mật độ cấy 40 khóm/m² kết hợp bón phân cho 1 ha ở mức 100 kg N + 90 kg P₂O₅ + 80 kg K₂O trong vụ Xuân và ở mức bón 90 kg N + 80 kg P₂O₅ + 70 kg K₂O trong vụ Mùa.

Từ khóa: giống lúa Hương Thanh 10, mật độ cấy, lượng phân hóa học, năng suất, sinh trưởng.

Chỉ số phân loại: 4.1, 4.6

Effect of transplanting density and chemical fertiliser application rate on the growth and yield of Hương Thanh 10 rice variety in Thanh Hoa province

Van Giang Tong*, Huy Tuan Le

Faculty of Agriculture, Forestry, and Fisheries, Hong Duc University, 565 Quang Trung Street, Hạc Thành Ward, Thanh Hoa Province, Vietnam

Received 27 March 2025; revised 10 April 2025; accepted 20 May 2025

Abstract:

This study aimed to determine appropriate transplanting densities and chemical fertiliser rates for the Hương Thanh 10 rice variety in Thanh Hoa province. The experiment was conducted during the Spring and Summer crops of 2024 using a split-plot design with three replications. The main plot factor was the fertiliser rate per hectare with N:P₂O₅:K₂O ratios. In the Spring crop, the treatments were P1: 80:70:60 kg/ha, P2: 90:80:70 kg/ha, P3: 100:90:80 kg/ha, and P4: 110:100:90 kg/ha. In the Summer crop, the treatments were P1: 70:60:50 kg/ha, P2: 80:70:60 kg/ha, P3: 90:80:70 kg/ha, and P4: 100:90:80 kg/ha. The subplot factor was transplanting density: M1: 30 hills/m², M2: 40 hills/m², and M3: 50 hills/m². The results showed that growth duration, maximum number of tillers, number of filled grains per panicle, and 1,000-grain weight were the highest at a transplanting density of 30 hills/m² with fertiliser treatment P3. The highest actual yield was recorded in the M2P3 treatment, reaching 6.8 tonnes/ha in the Spring crop and 4.6 tonnes/ha in the Summer crop. This corresponded to a transplanting density of 40 hills/m² and fertiliser rates of 100 kg N + 90 kg P₂O₅ + 80 kg K₂O per hectare in the Spring crop, and 90 kg N + 80 kg P₂O₅ + 70 kg K₂O per hectare in the Summer crop.

Keywords: chemical fertiliser rate, growth, Hương Thanh 10 rice variety, transplanting density, yield.

Classification numbers: 4.1, 4.6

*Tác giả liên hệ: Email: tongvangiang@hdu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Cây lúa (*Oryza sativa* L.) được xem là một trong những cây lương thực chính và quan trọng trong nền kinh tế Việt Nam. Năm 2023, năng suất lúa gạo nước ta đạt 6,11 tấn/ha, tổng sản lượng đạt 43,50 triệu tấn [1].

Sự phát triển của các giống lúa mới, gồm lúa lai và lúa thuần, đã mở ra nhiều hướng nghiên cứu nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất. Bên cạnh đó, việc áp dụng các biện pháp kỹ thuật cho giống lúa mới, phù hợp với từng địa phương là rất cần thiết. Trong đó, xác định mật độ cấy và lượng bón phân hóa học là biện pháp kỹ thuật cơ bản trong sản xuất nhưng lại phát huy tối đa tiềm năng năng suất của giống và đáp ứng trình độ thâm canh cho từng vùng. Hương Thanh 10 là giống lúa mới nên cần được nghiên cứu thử nghiệm các biện pháp kỹ thuật tại địa phương. Các nghiên cứu trước đây đã khẳng định, mật độ cấy và lượng phân bón khác nhau không chỉ ảnh hưởng đến năng suất của giống mà còn ảnh hưởng đến môi trường và hiệu quả kinh tế. Mật độ thích hợp là điều kiện cho lúa đẻ nhánh tối đa, giảm chi phí giống và sâu bệnh gây hại, tăng tối đa năng suất [2]. Nghiên cứu của L.V. Huy và cs (2020) [3] khẳng định, năng suất giống lúa thuần ĐH12 đạt cao nhất ở mật độ 40 khóm/m² tại các tỉnh phía Bắc và 45 khóm/m² tại vùng Bắc Trung Bộ. N.T. Van và cs (2021) [4] cho rằng, giống lúa VAAS 16 khi tăng mật độ cấy thì thời gian sinh trưởng có xu hướng giảm. T.V. Giang và cs (2023a) [5] nghiên cứu mật độ cấy cho giống lúa Hương Thanh 8 ở mật độ 40 khóm/m² cho năng suất thực thu cao nhất: vụ Xuân đạt 6,91 tấn/ha, vụ Mùa đạt 5,76 tấn/ha.

Phân bón là yếu tố quan trọng làm tăng 40% năng suất, nhưng chiếm tỷ lệ cao trong chi phí sản xuất, lượng bón phù hợp sẽ tránh lãng phí về kinh tế và ô nhiễm môi trường [6]. Lượng phân bón khác nhau có ảnh hưởng khác nhau đến năng suất lúa. T.V. Giang và cs (2022) [7] nghiên cứu các mức bón phân NPK khác nhau cho giống lúa KBL2 kết luận rằng, năng suất đạt cao khi bón 100 kg N + 80 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O/ha trong vụ Xuân và 90 kg N + 70 kg P₂O₅ + 80 kg K₂O/ha trong vụ Mùa. Do đó, việc xác định mật độ cấy và lượng phân bón hóa học phù hợp là cần thiết nhằm khai thác tiềm năng năng suất của giống Hương Thanh 10, góp phần hoàn thiện quy trình kỹ thuật thâm canh tại địa phương.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Giống lúa Hương Thanh 10 do nhóm tác giả chọn tạo đã được Cục Trồng trọt, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn công nhận giống lưu hành năm 2021 [8], giống có thời

gian sinh trưởng vụ Xuân 130-131 ngày, vụ mùa 101-102 ngày, chiều cao cây trung bình 103,3-116,8 cm.

Phân bón: phân hữu cơ vi sinh (hữu cơ: 15%; axit humic: 2,5%; Ca: 1,0%); vi sinh vật *Bacillus* sp., *Azotobacter* sp. và *Aspergillus* sp. mật độ 1×10⁶ CFU/g; độ ẩm: 30%; đạm urê 46% N; supe lân 16,5% P₂O₅; kali clorua 60% K₂O.

Nền đất thí nghiệm được triển khai trên đất chuyên lúa và phù sa không được bồi hằng năm, kết quả phân tích đất trước khi bố trí thí nghiệm (ngày 3/1/2024) có độ phì trung bình, pH_{KCl}=5,2, hữu cơ OM=4,8%, đạm tổng số (N)=0,27%, lân tổng số (P₂O₅)=0,14%, kali tổng số (K₂O)=1,72%.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thí nghiệm trong vụ Xuân và vụ Mùa năm 2024 tại xã Hoàng Sơn, huyện Hoàng Hóa, tỉnh Thanh Hóa. Thí nghiệm gồm 12 tổ hợp công thức (CT), bố trí theo kiểu ô lớn - ô nhỏ (split-plot) với 3 lần nhắc lại. Nhân tố ô chính là phân hóa học có tỷ lệ N-P-K bón trong vụ Xuân: P1: 80 kg N + 70 kg P₂O₅ + 60 kg K₂O/ha; P2: 90 kg N + 80 kg P₂O₅ + 70 kg K₂O/ha; P3: 100 kg N + 90 kg P₂O₅ + 80 kg K₂O/ha; P4: 110 kg N + 100 kg P₂O₅ + 90 kg K₂O/ha. Trong vụ Mùa: P1: 70 kg N + 60 kg P₂O₅ + 50 kg K₂O/ha; P2: 80 kg N + 70 kg P₂O₅ + 60 kg K₂O/ha; P3: 90 kg N + 80 kg P₂O₅ + 70 kg K₂O/ha; P4: 100 kg N + 90 kg P₂O₅ + 80 kg K₂O/ha. Nhân tố ô phụ là mật độ cấy với 3 mức: M1: 30 khóm/m², M2: 40 khóm/m², M3: 50 khóm/m². Tổng diện tích thí nghiệm là 540 m² (12 CT x 15 m²/ô x 3 lần nhắc lại), trong đó ô nhỏ là 15 m² (3x5 m), ô lớn là 45 m². Lượng phân bón cho 1 ha: 1 tấn phân hữu cơ vi sinh sông Gianh + 400 kg vôi bột + phân hóa học theo công thức thí nghiệm.

Các biện pháp kỹ thuật: Vụ Xuân gieo ngày 12/1/2024, cấy ngày 20/2/2024, thời kỳ cây mạ 38 ngày đạt 4,0 lá và vụ Mùa gieo ngày 4/6/2024, cấy ngày 30/6/2024, thời kỳ cây mạ 26 ngày đạt 3 lá, cấy 1 danh/khóm. Bón lót toàn bộ phân vi sinh hữu cơ + toàn bộ lân supe + 40% lượng đạm + 20% lượng kali. Bón thúc lần 1: cây lúa bén rễ hồi xanh: 50% lượng đạm + 30% lượng kali. Bón đón đồng: lượng đạm urê và kali còn lại.

Theo dõi các chỉ tiêu về sinh trưởng, phát triển và năng suất của cây lúa theo TCVN 13381-1:2023 [9]. Theo dõi 10 khóm/lần nhắc lại theo đường chéo. Thời gian sinh trưởng (ngày): tính từ gieo đến thu hoạch; chiều cao cây (cm): đo từ gốc đến đỉnh lá dài nhất; số nhánh hữu hiệu (nhánh): số nhánh hình thành bông; số bông/khóm (bông); số hạt/bông (hạt); tỷ lệ hạt chắc (%), khối lượng 1000 hạt (g), năng suất lý thuyết (tấn/ha) = số bông/khóm x số hạt/bông x tỷ lệ hạt chắc x khối lượng 1.000 hạt x 10⁻⁵ (trong đó: 10⁻⁵ là hệ số quy đổi tấn/ha). Năng suất thực thu (tấn/ha): Được tính thực

tế từ các ô thu được ở độ ẩm 14% và cân khối lượng thực thu các ô thí nghiệm. Độ cứng cây được đánh giá cho điểm: 1-5-9 (1: không đổ, 5: ít đổ, 9: đổ). Đánh giá mức độ nhiễm sâu bệnh theo QCVN 01-166:2014/BNNPTNT [10]: sâu đục thân (điểm): 0-1-3-5-7-9, sâu cuốn lá (điểm): 0-1-3-5-7-9, rầy nâu (điểm): 0-1-3-5-7-9, bệnh bạc lá (điểm): 0-1-3-5-7-9, bệnh khô vằn (điểm): 0-1-3-5-7-9. Thang điểm đánh giá mức gây hại: điểm 0 không hại, điểm 1 rất nhẹ chiếm >1%, điểm 2 bị nhẹ chiếm 1-3%, điểm 3 nhẹ đến trung bình >5%, điểm 4 trung bình 6-10%, điểm 5 nặng 11-25%, điểm 6 bị nặng 26-50%, điểm 7 rất nặng 51-75%.

Số liệu xử lý thống kê bằng phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) trên phần mềm thống kê sinh học IRRISTAT 5.0. So sánh sự sai khác giữa mật độ cấy, lượng phân bón và tương tác hai nhân tố dựa trên kiểm định Duncan ở mức độ tin cậy 95%.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của mật độ cấy và lượng phân bón hóa học đến một số chỉ tiêu sinh trưởng của giống lúa Hương Thanh 10

Kết quả bảng 1 cho thấy, thời gian sinh trưởng ở mật độ M1 dài nhất đạt 131 ngày ở vụ Xuân và 102 ngày ở vụ Mùa, sai khác có ý nghĩa so với mật độ M2 và M3. Thời gian sinh trưởng ngắn nhất ở mật độ M3 đạt 127 ngày ở vụ Xuân và 100 ngày ở vụ Mùa. Mật độ M2 và M3 thời gian sinh trưởng không sai khác có ý nghĩa thống kê theo kiểm định Duncan ở độ tin cậy 95%. Kết quả nghiên cứu này phù hợp với lý giải của N.V. Hoan (2006) [2], theo đó, cấy thưa cây lúa khoẻ do ít cạnh tranh dinh dưỡng, thời gian sinh trưởng dài hơn khi cấy dày. Lượng phân bón ở mức P3 và P4 cho thời gian sinh trưởng dài nhất đạt 129 ngày ở vụ Xuân, 101 ngày ở vụ Mùa, nhưng sai khác không có ý nghĩa thống kê

Bảng 1. Ảnh hưởng của mật độ cấy và lượng phân bón hóa học đến một số chỉ tiêu sinh trưởng của giống lúa Hương Thanh 10.

Yếu tố thí nghiệm		Thời gian sinh trưởng (ngày)		Số nhánh tối đa (nhánh)		Số nhánh hữu hiệu (nhánh)		Tỷ lệ nhánh hữu hiệu (%)	
		Vụ trồng		Vụ trồng		Vụ trồng		Vụ trồng	
		Xuân	Mùa	Xuân	Mùa	Xuân	Mùa	Xuân	Mùa
Mật độ cấy (M)	M1	131 ^a	102 ^a	7,1 ^a	5,7 ^a	5,4 ^a	4,5 ^a	76,7 ^{bc}	79,1 ^b
	M2	128 ^b	100 ^b	5,9 ^b	5,2 ^{ab}	4,7 ^b	4,2 ^{ab}	79,3 ^b	81,6 ^a
	M3	127 ^b	100 ^b	4,7 ^c	4,5 ^b	4,1 ^{bc}	3,5 ^b	84,7 ^a	77,0 ^{bc}
<i>LSD_{0,05}</i>		1,6	1,0	1,2	0,6	0,7	0,5	4,0	2,3
Lượng phân bón (P)	P1	128 ^b	100 ^b	5,5 ^b	4,6 ^{bc}	4,6 ^b	3,9 ^b	84,1 ^a	84,0 ^a
	P2	128 ^b	100 ^b	5,6 ^b	4,8 ^b	4,6 ^b	3,9 ^b	82,0 ^a	81,7 ^{ab}
	P3	129 ^a	101 ^a	6,5 ^a	5,6 ^a	4,9 ^a	4,2 ^a	79,7 ^{ab}	77,7 ^b
	P4	129 ^a	101 ^a	6,2 ^{ab}	5,4 ^{ab}	4,8 ^{ab}	4,1 ^{ab}	74,9 ^b	73,6 ^{bc}
<i>LSD_{0,05}</i>		0,8	0,7	0,5	0,4	0,2	0,2	4,6	5,2
M1P1		130 ^a	101 ^a	6,4 ^b	4,9 ^b	5,2 ^{ab}	4,2 ^{ab}	81,2 ^{ab}	85,2 ^a
M1P2		130 ^a	101 ^a	6,5 ^{ab}	5,1 ^b	5,2 ^{ab}	4,2 ^{ab}	80,4 ^{ab}	82,4 ^{ab}
M1P3		131 ^a	102 ^a	7,4 ^a	6,1 ^a	5,6 ^a	4,7 ^a	75,3 ^b	77,6 ^b
M1P4		131 ^a	102 ^a	8,2 ^a	6,6 ^a	5,7 ^a	4,7 ^a	69,7 ^{bc}	71,3 ^{bc}
M2P1		127 ^b	99 ^{bc}	5,4 ^{bc}	4,7 ^b	4,5 ^b	4,1 ^{ab}	82,6 ^{ab}	86,5 ^a
M2P2		128 ^b	99 ^{bc}	5,7 ^b	4,9 ^b	4,6 ^b	4,1 ^{ab}	80,5 ^{ab}	84,1 ^a
M2P3		129 ^{ab}	100 ^b	6,2 ^b	5,6 ^{ab}	4,9 ^{ab}	4,4 ^{ab}	79,4 ^{ab}	79,2 ^{ab}
M2P4		129 ^{ab}	100 ^b	6,3 ^b	5,5 ^{ab}	4,7 ^b	4,2 ^{ab}	74,5 ^b	76,4 ^b
M3P1		126 ^{bc}	99 ^{bc}	4,5 ^c	4,2 ^{bc}	4,0 ^{bc}	3,4 ^b	88,5 ^a	80,3 ^{ab}
M3P2		127 ^b	99 ^{bc}	4,7 ^{bc}	4,3 ^{bc}	4,0 ^{bc}	3,4 ^b	85,2 ^a	78,5 ^b
M3P3		128 ^b	100 ^b	5,0 ^{bc}	4,7 ^b	4,2 ^{bc}	3,6 ^b	84,5 ^a	76,2 ^b
M3P4		128 ^b	100 ^b	5,0 ^{bc}	4,8 ^b	4,0 ^{bc}	3,5 ^b	80,5 ^{ab}	73,1 ^{bc}
<i>CV%</i>		8,6	8,4	8,5	7,9	9,7	8,3	7,7	7,4
<i>LSD_{0,05}</i>		2,5	1,5	1,8	1,2	0,9	0,7	9,4	7,6

Các giá trị có chữ cái khác nhau trong cùng một cột của cùng yếu tố (lượng phân bón, mật độ cấy) hoặc tương tác giữa hai yếu tố biểu thị sự sai khác có ý nghĩa theo kiểm định Duncan ở mức ý nghĩa 5%.

so với lượng phân bón P1 và P2. Kết quả nghiên cứu của L.V. Huy và cs (2020) [3] cũng cho thấy, bón phân mức cao kéo dài thời gian sinh trưởng của cây lúa. Xét sự ảnh hưởng tương tác của 2 yếu tố trên cho thấy, thời gian sinh trưởng có xu hướng kéo dài khi tăng lượng phân bón và giảm mật độ cấy (cây thưa). Cây ở mật độ 30 khóm/m² (M1) kết hợp với bón phân ở mức từ P1 đến P4 cho thời gian sinh trưởng dài nhất, dao động 130-131 ngày ở vụ Xuân và 101-102 ngày ở vụ Mùa. Công thức M1P1, M1P2, M1P3, M1P4 có thời gian sinh trưởng dài nhất trong vụ Xuân, dao động 130-131 ngày, trong vụ Mùa dao động 101-102 ngày, nhưng sai khác không có ý nghĩa thống kê ở độ tin cậy 95% giữa các công thức này.

Kết quả bảng 1 cho thấy, số nhánh tối đa và số nhánh hữu hiệu có xu hướng giảm dần khi tăng mật độ cấy, ở mật độ cấy 30 khóm/m² đạt lớn nhất (số nhánh tối đa vụ Xuân đạt 7,1 nhánh/khóm và vụ Mùa đạt 5,7 nhánh/khóm, số nhánh hữu hiệu đạt 5,4 nhánh/khóm, tương ứng 76,7% ở vụ Xuân và 4,5 nhánh/khóm đạt 79,1% ở vụ Mùa). Khi tăng lượng bón phân từ mức bón P1 đến P4, số nhánh tối đa và số nhánh hữu hiệu có xu hướng tăng, đạt cao nhất ở lượng bón P3 (số nhánh tối đa vụ Xuân đạt 6,5 nhánh/khóm và vụ Mùa đạt 5,6 nhánh/khóm, số nhánh hữu hiệu đạt 4,9 nhánh/khóm đạt 79,7% ở vụ Xuân và 4,2 nhánh/khóm đạt 77,7% ở vụ Mùa), bón tăng lên mức P4 số nhánh tối đa (đạt 6,2 nhánh/khóm ở vụ Xuân và 5,4 nhánh/khóm ở vụ Mùa) và số nhánh hữu hiệu (đạt 4,8 nhánh/khóm ở vụ Xuân và 4,1 nhánh/khóm

ở vụ Mùa) giảm. Kết quả nghiên cứu của T.D. Hoa và cs (2016) [11] cho rằng, khi cấy mật độ thưa kết hợp với lượng phân cao, cây lúa đẻ nhánh khoẻ, thân lá phát triển mạnh, độ che phủ cao nên số nhánh hữu hiệu giảm. Ảnh hưởng tương tác giữa mật độ cấy và lượng phân bón hóa học đến khả năng đẻ nhánh cho thấy, công thức M1P4 có số nhánh tối đa (vụ Xuân: 8,2 nhánh, vụ Mùa: 6,6 nhánh) và số nhánh hữu hiệu (vụ Xuân: 5,7 nhánh đạt 69,7%, vụ Mùa: 4,7 nhánh đạt 71,3%) cao nhất, công thức M3P1 cho số nhánh tối đa (vụ Xuân: 4,5 nhánh, vụ Mùa: 4,2 nhánh) và số nhánh hữu hiệu (vụ Xuân: 4,0 nhánh, vụ Mùa: 3,4 nhánh) thấp nhất và sự sai khác có ý nghĩa thống kê giữa các công thức.

3.2. Ảnh hưởng của mật độ cấy và lượng phân bón hóa học đến độ cứng cây và khả năng chống chịu sâu bệnh hại trên giống lúa Hương Thanh 10

Kết quả bảng 2 cho thấy, độ cứng cây của giống lúa Hương Thanh 10 đạt điểm 1 (không đổ) ở mật độ M1 (30 khóm/m²), tăng mật độ lên M2 (40 khóm/m²) ở mức bón phân P4 (công thức M2P4) và mật độ M3 (50 khóm/m²) ở mức bón P3, P4 (công thức M3P3, M3P4) cây lúa đổ ở điểm 5. Như vậy, tăng mức bón phân lên mức P3 và P4 kết hợp cấy dày thì giống lúa Hương Thanh 10 xuất hiện đổ. Nghiên cứu này phù hợp với giải thích của T.D. Hoa và cs (2016) [11] khi lượng bón phân cao thì tuổi thọ của cây lúa dài, lá giữ được màu xanh, độ tàn lá chậm hơn so với bón phân ít, tuy nhiên nếu bón lượng phân cao thì cây lúa phát triển không cân đối, lóng dài, thân yếu dễ đổ.

Bảng 2. Ảnh hưởng của mật độ cấy và lượng phân bón hóa học đến độ cứng cây và khả năng chống chịu sâu bệnh hại trên giống lúa Hương Thanh 10.

Công thức	Độ cứng cây (điểm)		Sâu hại (điểm)		Bệnh hại (điểm)					
					Cuốn lá		Khô vằn		Bạc lá	
	Vụ trồng		Vụ trồng		Vụ trồng		Vụ trồng		Vụ trồng	
	Xuân	Mùa	Xuân	Mùa	Xuân	Mùa	Xuân	Mùa	Xuân	Mùa
M1P1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0
M1P2	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0
M1P3	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0
M1P4	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0
M2P1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0
M2P2	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0
M2P3	1	1	1	0	3	1	1	1	1	0
M2P4	5	5	1	0	3	1	1	1	1	0
M3P1	1	1	1	0	3	1	1	0	1	0
M3P2	1	1	1	0	3	1	1	0	1	0
M3P3	5	5	1	0	3	1	1	1	1	0
M3P4	5	5	1	0	3	1	1	1	1	0

Điểm 0 không bị hại, điểm 1 rất nhẹ ≤1%, điểm 2 bị nhẹ 1-3%, điểm 3 bị nhẹ đến trung bình ≤5%, điểm 4 bị trung bình 6-10%, điểm 5 bị nặng 11-25%, điểm 6 bị nặng 26-50%, điểm 7 rất nặng 51-75%. Độ cứng cây (điểm): 1-5-9, (1: không đổ, 5: ít đổ, 9: đổ).

Bảng 3. Ảnh hưởng của mật độ cấy và lượng phân bón hóa học đến các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất của giống lúa Hương Thanh 10.

Yếu tố thí nghiệm		Số bông/m ²		Số hạt chắc/bông		Khối lượng 1000 hạt (g)		Năng suất lý thuyết (tấn/ha)		Năng suất thực thu (tấn/ha)	
		Vụ trồng		Vụ trồng		Vụ trồng		Vụ trồng		Vụ trồng	
		Xuân	Mùa	Xuân	Mùa	Xuân	Mùa	Xuân	Mùa	Xuân	Mùa
Mật độ (M)	M1	162,8 ^b	133,5 ^b	154,8 ^a	141,5 ^a	25,6 ^a	24,7 ^a	6,4 ^b	4,7 ^b	5,6 ^b	3,6 ^b
	M2	187,0 ^{ab}	168,0 ^a	153,0 ^{ab}	136,5 ^{ab}	25,4 ^a	24,4 ^{ab}	7,3 ^a	5,6 ^a	6,3 ^b	4,3 ^a
	M3	202,5 ^a	173,8 ^a	142,0 ^b	131,5 ^b	24,3 ^b	23,9 ^b	7,0 ^{ab}	5,5 ^{ab}	6,1 ^{ab}	4,2 ^{ab}
	<i>LSD_{0,05}</i>	19,9	20,1	6,4	7,5	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4
Lượng phân bón (P)	P1	178,7 ^b	153,3 ^b	147,0 ^{bc}	135,0 ^b	24,9 ^{bc}	24,2 ^b	6,5 ^{bc}	5,0 ^b	5,7 ^b	3,8 ^b
	P2	180,0 ^b	153,3 ^b	148,0 ^b	134,7 ^b	25,0 ^b	24,2 ^b	6,7 ^b	5,0 ^b	5,8 ^b	3,8 ^b
	P3	191,3 ^a	165,7 ^a	151,7 ^{ab}	138,0 ^a	25,2 ^a	24,4 ^a	7,3 ^a	5,6 ^a	6,3 ^a	4,3 ^a
	P4	186,3 ^{ab}	161,3 ^{ab}	153,0 ^a	138,3 ^a	25,2 ^a	24,4 ^a	7,2 ^a	5,5 ^a	6,1 ^{ab}	4,2 ^{ab}
	<i>LSD_{0,05}</i>	6,3	6,2	2	1,5	0,2	0,1	0,4	0,3	0,3	0,2
M1P1		156,0 ^{bc}	126,0 ^{bc}	151,3 ^{ab}	139,4 ^{ab}	25,3 ^{ab}	24,5 ^{ab}	6,0 ^c	4,3 ^{bc}	5,2 ^c	3,3 ^c
M1P2		156,0 ^{bc}	126,0 ^{bc}	152,2 ^{ab}	138,6 ^b	25,3 ^{ab}	24,5 ^{ab}	6,0 ^c	4,3 ^{bc}	5,2 ^c	3,3 ^c
M1P3		168,0 ^b	141,0 ^b	156,4 ^a	144,5 ^a	25,8 ^a	24,8 ^a	6,8 ^b	5,0 ^b	5,9 ^b	3,9 ^b
M1P4		171,0 ^b	141,0 ^b	160,3 ^a	145,2 ^a	25,8 ^a	24,8 ^a	7,1 ^{ab}	5,1 ^b	6,1 ^{ab}	3,9 ^b
M2P1		180,0 ^{ab}	164,0 ^{ab}	150,5 ^b	135,4 ^b	25,2 ^{ab}	24,3 ^b	6,8 ^b	5,4 ^{ab}	5,9 ^b	4,1 ^{ab}
M2P2		184,0 ^{ab}	164,0 ^{ab}	150,5 ^b	135,6 ^b	25,4 ^{ab}	24,3 ^b	7,0 ^{ab}	5,4 ^{ab}	6,1 ^{ab}	4,1 ^{ab}
M2P3		196,0 ^a	176,0 ^a	156,6 ^a	138,3 ^b	25,5 ^a	24,5 ^{ab}	7,8 ^a	6,0 ^a	6,8 ^a	4,6 ^a
M2P4		188,0 ^{ab}	168,0 ^a	156,8 ^a	138,5 ^b	25,5 ^a	24,5 ^{ab}	7,5 ^a	5,7 ^a	6,5 ^a	4,4 ^a
M3P1		200,0 ^a	170,0 ^a	140,3 ^c	131,3 ^c	24,2 ^b	23,8 ^c	6,8 ^b	5,3 ^{ab}	5,9 ^b	4,1 ^{ab}
M3P2		200,0 ^a	170,0 ^a	142,5 ^{bc}	131,4 ^c	24,2 ^b	23,8 ^c	6,9 ^b	5,3 ^{ab}	6,0 ^b	4,1 ^{ab}
M3P3		210,0 ^a	180,0 ^a	143,1 ^{bc}	132,2 ^{bc}	24,4 ^b	24,0 ^{bc}	7,3 ^{ab}	5,7 ^a	6,4 ^{ab}	4,4 ^a
M3P4		200,0 ^a	175,0 ^a	143,2 ^{bc}	132,3 ^{bc}	24,4 ^b	24,0 ^{bc}	7,0 ^{ab}	5,5 ^{ab}	6,1 ^{ab}	4,3 ^{ab}
<i>CV%</i>		7,2	6,8	7,5	7,7	5,1	5,6	7,3	8,2	5,7	6,3
<i>LSD_{0,05}</i>		22	27	10	7	0,8	0,5	0,9	0,8	0,8	0,6

Các giá trị có chữ cái khác nhau trong cùng một cột của cùng một yếu tố (lượng phân bón, mật độ cấy) hoặc tương tác giữa hai yếu tố biểu thị sự sai khác có ý nghĩa theo kiểm định Duncan ở mức ý nghĩa 5%.

Mức độ gây hại của một số loại sâu và bệnh trên giống lúa Hương Thanh 10 khác nhau trong vụ Xuân và vụ Mùa, mật độ cấy M1, M2, M3 và mức bón phân hóa học P1, P2, P3, P4 đều bị rầy nâu gây hại ở điểm 1 trong vụ Xuân và không gây hại trong vụ Mùa. Sâu cuốn lá xuất hiện và gây hại khi tăng mật độ cấy và tăng lượng bón phân hóa học. Cụ thể, ở mật độ cấy M1 kết hợp với bón phân ở mức P1, P2,

P3, P4 (công thức M1P1, M1P2, M1P3, M1P4) và ở mật độ cấy M2 kết hợp với bón phân ở mức P1, P2 (công thức M2P1 và M2P2), sâu cuốn lá không xuất hiện trong vụ Mùa nhưng xuất hiện gây hại ở điểm 1 trong vụ Xuân, khi tăng mật độ cấy lên M3 ở mức bón phân P1, P2, P3, P4 (công thức M3P1, M3P2, M3P3, M3P4) và mật độ M2 ở mức bón phân P3, P4 sâu cuốn lá gây hại nặng hơn ở điểm 3 trong vụ

Xuân và ở điểm 1 trong vụ Mùa. Bệnh khô vằn và bạc lá lúa gây hại trong vụ Xuân ở các mật độ cấy khác nhau M1, M2, M3 và lượng bón phân khác nhau P1, P2, P3, P4, nghĩa là tất cả các công thức trong thí nghiệm đều bị nhiễm bệnh khô vằn và bạc lá trong vụ Xuân. Trong vụ Mùa bệnh khô vằn không gây hại ở mật độ cấy M1 khi bón phân từ mức P1, P2, P3, P4 và ở mật độ cấy M2, M3 khi bón phân ở mức P1, P2, nhưng tăng lượng bón phân lên mức P3, P4 ở mật độ cấy M2 và M3 (công thức M2P3, M2P4, M3P3, M3P4) bệnh khô vằn gây hại ở điểm 1. Như vậy, lượng phân bón cao ở mức P3 và P4 kết hợp với cây mật độ dày M2 và M3 cây lúa xuất hiện sâu bệnh hại nhiều hơn so với bón ở lượng thấp P1, P2 kết hợp với cây mật độ thưa M1. Kết quả này tương tự với nghiên cứu của T.V. Giang và cs (2023b) [12] trên giống lúa J02, ở mật độ 40 khóm/m² và lượng bón phân hữu cơ vi sinh ở mức 2.000 và 2.200 kg/ha có rầy nâu, sâu cuốn lá gây hại nhẹ hơn so với cây ở mật độ 45 và 50 khóm/m² và ở mức bón 2.400 và 2.600 kg/ha.

3.3. Ảnh hưởng của mật độ cấy và lượng phân bón hóa học đến các yếu tố cấu thành năng suất và năng suất của giống lúa Hương Thanh 10

Kết quả bảng 3 cho thấy, ảnh hưởng riêng rẽ của mật độ cấy đến các yếu tố cấu thành năng suất lúa, số bông/m² có xu hướng tăng từ mật độ cấy M1 đến M3. Ở mật độ M3 cho số bông/m² nhiều nhất, đạt 202,5 bông/m² ở vụ Xuân và 173,8 bông/m² ở vụ Mùa. Ở mật độ M3 có số bông/m² cao nhất và sai khác có ý nghĩa so với mật độ khác trong vụ Xuân, trong khi đó ở vụ Mùa cây mật độ M2 và M3 không có sự sai khác giữa hai mức độ cấy này nhưng có sự sai khác có ý nghĩa so với mật độ cấy M1. Kết quả nghiên cứu của N.V. Hoan (2006) [2] cho thấy, khi tăng mật độ cấy đã làm tăng số khóm/m² và số bông/m². Tương tự, khi tăng mức bón phân từ P1 đến P4 số bông/m² có xu hướng tăng và đạt cao nhất ở mức bón P3 và có sự sai khác có ý nghĩa ở mức 5% so với các mức bón khác. Cụ thể, ở mức bón P1 đạt 179 bông/m² ở vụ Xuân và 153 bông/m² ở vụ Mùa; mức bón P3 đạt 191 bông/m² ở vụ Xuân và 166 bông/m² ở vụ Mùa; mức bón P4 đạt 186 bông/m² ở vụ Xuân và 161 bông/m² ở vụ Mùa. Kết quả này phù hợp với giải thích của T.V. Hoa và cs (2016) [11] là cây lúa đẻ nhánh khỏe khi được cung cấp đủ dinh dưỡng. Đây là cơ sở có số bông trên đơn vị diện tích lớn nhất. Tương tác giữa mật độ cấy và lượng phân bón hóa học cho thấy, công thức M3P3 có số bông/m² nhiều nhất, đạt 210 bông/m² ở vụ Xuân và đạt 180 bông/m² ở vụ Mùa. Khi phân tích thống kê theo kiểm định Duncan thì các công thức M2P3, M3P1, M3P2, M3P3, M3P4 ở cả 2 thời vụ và công thức M2P4 ở vụ Mùa có số bông/m² không sai khác có ý nghĩa ở độ tin cậy 95%.

Số hạt chắc/bông giảm dần khi tăng mật độ cấy từ M1 đến M3, đạt cao nhất ở mật độ cấy M1 (vụ Xuân: 155 hạt/bông, vụ Mùa: 142 hạt/bông) và sự sai khác có ý nghĩa ở mức 5% so với các công thức khác trong thí nghiệm. Khi tăng lượng phân bón từ P1 đến P4, số hạt chắc/bông có xu hướng tăng. Cụ thể, ở vụ Xuân lượng bón P4 đạt nhiều nhất 153 hạt và sai khác so với các lượng bón khác, trong khi ở vụ Mùa lượng bón P3 và P4 không sai khác có ý nghĩa thống kê và đạt nhiều nhất 138 hạt/bông, nhưng sai khác so với lượng bón P1 và P2. Số hạt chắc/bông tại công thức M1P4 nhiều nhất đạt 160 hạt/bông ở vụ Xuân và 145 hạt/bông ở vụ Mùa. Xét ảnh hưởng tương tác giữa mật độ cấy và lượng phân bón hóa học cho thấy, các công thức M1P3, M1P4, M2P3, M2P4 trong vụ Xuân và công thức M1P3, M1P4 trong vụ Mùa có số hạt chắc/bông đạt lớn nhất và không sai khác với nhau nhưng sai khác có ý nghĩa so với các công thức khác ở mức tin cậy 95%.

Ảnh hưởng riêng rẽ của mật độ cấy và lượng phân bón đến khối lượng 1000 hạt (P1000 hạt) cho thấy, P1000 hạt ở mật độ cấy M1 lớn nhất, đạt 25,6 g ở vụ Xuân và 24,7 g vụ Mùa. Ở mức bón P3 và P4 khối lượng 1000 hạt không sai khác có ý nghĩa ở mức tin cậy 95% và đạt lớn nhất cả 2 thời vụ (vụ Xuân: 25,2 g; vụ Mùa: 24,4 g). Ảnh hưởng tương tác giữa 2 yếu tố đến P1000 hạt cho thấy, công thức M1P3, M1P4 có P1000 hạt lớn nhất đạt 25,8 g ở vụ Xuân và 24,8 g ở vụ Mùa. Trong đó, vụ Xuân công thức M1P3, M1P4, M2P3, M2P4 và vụ Mùa công thức M1P3, M1P4 có P1000 hạt lớn nhất và không sai khác có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Ảnh hưởng của mật độ cấy đến năng suất lúa cho thấy, năng suất lý thuyết và năng suất thực thu tăng từ mật độ cấy M1 đến M3, đạt cao nhất ở mật độ M2 sai khác có ý nghĩa ở mức 5%, mật độ M2 năng suất lý thuyết đạt 7,3 tấn/ha ở vụ Xuân và 5,6 tấn/ha ở vụ Mùa, năng suất thực thu đạt 6,3 tấn/ha ở vụ Xuân và 4,3 tấn/ha ở vụ Mùa. Tăng tiếp mật độ cấy lên M3 thì năng suất lý thuyết và năng suất thực thu giảm do mật độ dày nên cây lúa trong quần thể cạnh tranh ánh sáng và dinh dưỡng, kết quả phù hợp với giải thích của T.D. Hoa và cs (2016) [11], cây thưa có số khóm/m² ít, cây sinh trưởng tốt nên năng suất cá thể cao, năng suất quần thể tăng đến mật độ ổn định và giảm ở mật độ dày do cây lúa cạnh tranh dinh dưỡng và ánh sáng. Tương tự, lượng bón phân hóa học, năng suất lý thuyết và năng suất thực thu có xu hướng tăng từ lượng phân bón P1 đến P3, sau đó năng suất có xu hướng giảm khi tăng lượng phân bón lên đến mức P4. Ở lượng phân bón P3 đạt cao nhất là 7,3 tấn/ha ở vụ Xuân và 5,6 tấn/ha ở vụ Mùa, năng suất thực thu đạt 6,3 tấn/ha ở vụ Xuân và đạt 4,3 tấn/ha ở vụ Mùa. Lượng bón P3 và P4 có năng suất lý thuyết cao nhất và không sai khác có ý nghĩa thống kê ở độ tin cậy 95%. Năng suất thực thu ở lượng bón P3 cao nhất và khác biệt có ý nghĩa ở mức 5% so

với các lượng phân bón khác. Kết quả nghiên cứu phù hợp với lý giải của T.D. Hoa và cs (2016) [11], năng suất lúa đạt tối đa khi tăng lượng phân bón đến mức thích hợp, trong khi bón nhiều phân bón làm cho lá và các nhánh phát triển mạnh không tập trung dẫn đến năng suất lúa giảm.

Có sự ảnh hưởng tương tác giữa mật độ cây và lượng phân bón đến năng suất lý thuyết và năng suất thực thu ở mức có ý nghĩa thống kê. Ở cả hai vụ, công thức M2P3 cho năng suất lý thuyết (vụ Xuân: 7,8 tấn/ha, vụ Mùa: 6,0 tấn/ha) và năng suất thực thu (vụ Xuân: 6,8 tấn/ha, vụ Mùa: 4,6 tấn/ha) cao nhất. Năng suất lý thuyết và năng suất thực thu đạt thấp nhất ở công thức M1P1 và M1P2 ở cả vụ Xuân và vụ Mùa. Năng suất thực thu không có sự sai khác có ý nghĩa giữa các công thức M1P4, M2P2, M2P3, M2P4, M3P3, M3P4 ở vụ Xuân và giữa các công thức M2P1, M2P2, M2P3, M2P4, M3P1, M3P2, M3P3, M3P4 ở vụ Mùa. Kết quả nghiên cứu của L.V. Huy (2020) [3] trên giống lúa ĐH12 cũng cho thấy, ở mật độ cây và mức bón phân khác nhau có ảnh hưởng đến năng suất lúa, trong đó cây ở mật độ 40 khóm/m² kết hợp với bón phân 100 kg N + 100 kg P₂O₅ + 75 kg K₂O/ha cho năng suất đạt cao nhất.

4. Kết luận

Mật độ cây và lượng bón phân hóa học đã ảnh hưởng đến sinh trưởng và năng suất của giống lúa Hương Thanh 10 trồng tại Thanh Hóa. Các chỉ tiêu thời gian sinh trưởng, số nhánh tối đa, số hạt chắc/bông, khối lượng 1000 hạt đạt cao nhất ở mật độ cây 30 khóm/m², do cây ở mật độ thưa nên số khóm/m² ít, cây sinh trưởng tốt, năng suất cả thể cao, năng suất quần thể thấp, năng suất thực thu đạt 5,6 tấn/ha trong vụ Xuân và 3,6 tấn/ha trong vụ Mùa. Ở mật độ cây 40 khóm/m² có năng suất thực thu đạt cao nhất 6,3 tấn/ha trong vụ Xuân và 4,3 tấn/ha trong vụ Mùa. Lượng bón phân hóa học ở mức bón P3 có thời gian sinh trưởng, số nhánh tối đa, số nhánh hữu hiệu, số hạt chắc/bông và khối lượng 1000 hạt, năng suất lý thuyết và năng suất thực thu tăng đạt cao nhất, năng suất thực thu ở mức bón P3 đạt 6,3 tấn/ha trong vụ Xuân và 4,3 tấn/ha trong vụ Mùa. Công thức M2P3 (cây ở mật độ 40 khóm/m² kết hợp bón ở mức 100 kg N + 90 kg P₂O₅ + 80 kg K₂O/ha trong vụ Xuân và 90 kg N + 80 kg P₂O₅ + 70 kg K₂O/ha trong vụ Mùa) cây lúa phát triển tốt và năng suất thực thu đạt cao nhất ở vụ Xuân đạt 6,8 tấn/ha và ở vụ Mùa đạt 4,6 tấn/ha.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] National Statistics Office (2023), “Developing rice in an effective and sustainable way”, <https://www.gso.gov.vn/du-lieu-va-so-lieu-thong-ke/2022/05/phan-trien-lua-gao-theo-huong-hieu-qua-ben-vung/#:~:text=Sang%20n%C4%83m%2021%2C%20di%E1%BB%87n%20t%C3%ADch,1%2C8%20t%E1%BA%A1%2Fha>, accessed 2 February 2025 (in Vietnamese).

[2] N.V. Hoan (2006), *Rice Handbook*, Agricultural Publishing House, 68pp (in Vietnamese).

[3] L.V. Huy, T.V. Quang, N.T. Dong, et al. (2020), “Determine appropriate fertilizer dosage and planting density for pure rice variety DH12 in the Northern province”, *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, **18(12)**, pp.1084-1092 (in Vietnamese).

[4] N.T. Van, N.B. Thong, H.T. Minh (2021), “Study on the effects of planting density and nitrogen dosage on growth, development and yield of VAAS 16 rice variety in the Spring crop in Thanh Hoa”, *Science and Technology Journal of Agriculture & Rural Development*, **22(11)**, pp.18-24 (in Vietnamese).

[5] T.V. Giang, N.Q. Tin, N.T. Lan (2023a), “The results of research to determine the suitable planting density for Huong Thanh 8 rice variety in Van Lam district, Hung Yen province”, *Science and Technology Journal of Agriculture & Rural Development*, **456(10)**, pp.10-15 (in Vietnamese).

[6] N.V. Bo (2014), “Solutions to improve fertilizer efficiency in Vietnam”, *National Workshop on Solutions to Improve Fertilizer Use Efficiency in Vietnam*, pp.9-33 (in Vietnamese).

[7] T.V. Giang, N.Q. Tin (2022), “The determination of appropriate N, P, K fertilizer dose for KBL2 rice variety in the Spring and Summer - Autumn crops of 2020 in Thanh Hoa province”, *Science and Technology Journal of Agriculture & Rural Development*, **437(14)**, pp.47-53 (in Vietnamese).

[8] Department of Horticulture, Ministry of Agriculture and Rural Development (2021), *Decision No. 99/QĐ-TT-CLT: 2021/BNNPTNT, Recognition of Circulating Varieties* (in Vietnamese).

[9] Ministry of Agriculture and Rural Development (2023), *TCVN 13381-1:2023 Agricultural Plant Varieties-Testing of Cultivation Value and Use Value-Part 1: Rice Varieties*, <https://luatvietnam.vn/nong-nghiep/tieu-chuan-quoc-gia-tecvn-13381-1-2023-giong-cay-nong-nghiep-khao-nghiem-gia-tri-can-h-tac-va-gia-tri-su-dung-phan-1-giong-lua-347334-d3.html>, accessed 2 February 2025 (in Vietnamese).

[10] Ministry of Agriculture and Rural Development (2014), *QCVN 01-166:2014/BNNPTNT on Monitoring Pests and Diseases on Rice Plants*, <https://luatvietnam.vn/nong-nghiep/quy-chuan-viet-nam-qcvn-01-166-2014-bnnptnt-bo-nong-nghiep-va-phat-trien-nong-thon-157386-d3.html>, accessed 2 February 2025 (in Vietnamese).

[11] T.D. Hoa, T.T.H. Dong (2016), *Rice Planting Techniques*, Agricultural Publishing House, 96pp (in Vietnamese).

[12] T.V. Giang, L.T.T. Huyen (2023b), “Effects of planting density and Tien Nong organic fertilizer dosage on growth, development and yield of J02 rice variety in organic farming direction in Thanh Ho”, *Science and Technology Journal of Agriculture & Rural Development*, **1(3)**, pp.53-60 (in Vietnamese).

Xây dựng hệ thống tái sinh *in vitro* phục vụ chuyển gen ở giống lạc L27 (*Arachis hypogaea* L.)

Vì Thị Xuân Thủy*, Lê Sỹ Bình

Trường Đại học Tây Bắc, phường Tô Hiệu, tỉnh Sơn La, Việt Nam

Ngày nhận bài 12/3/2025; ngày chuyển phản biện 14/3/2025; ngày nhận phản biện 5/4/2025; ngày chấp nhận đăng 10/4/2025

Tóm tắt:

Lạc (*Arachis hypogaea* L.) chứa nhiều giá trị dinh dưỡng tốt cho sức khỏe con người, nhưng phần lớn protein trong lạc có khả năng gây dị ứng cao, đồng thời hàm lượng các amino acid thiết yếu chứa lưu huỳnh thấp. Hơn nữa, sản lượng và giá trị dinh dưỡng ở cây lạc bị ảnh hưởng tiêu cực bởi hạn hán, nhiệt độ khắc nghiệt, độ mặn, lũ lụt và nồng độ CO₂... Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm xây dựng hệ thống tái sinh hiệu quả, phục vụ kỹ thuật chuyển gen qua trung gian *Agrobacterium* để nâng cao khả năng chống chịu và cải thiện chất lượng hạt lạc. Kết quả nghiên cứu cho thấy, hiệu quả khử trùng hạt lạc bằng HgCl₂ 0,1% là tốt nhất với tổng thời gian xử lý là 9 phút (5 phút lần 1 và 4 phút lần 2). Chồi ngọn tái sinh tốt nhất ở nồng độ 1,5 mg/l benzylaminopurine (BAP), còn nách lá mầm là 2,0 mg/l BAP. Chồi nách lá mầm cảm ứng tạo đa chồi tốt nhất ở nồng độ 2,0 mg/l BAP kết hợp với 0,7 mg/l α -naphthaleneacetic acid (α -NAA), đạt 4,43 chồi/mẫu. Ngược lại, chồi ngọn không cảm ứng tạo đa chồi. Chồi cảm ứng ra rễ tối ưu ở 0,7 mg/l α -NAA, đạt 8,32 rễ/chồi. Ngưỡng chọn lọc kanamycin hiệu quả ở giai đoạn tái sinh chồi là 75 mg/l, còn giai đoạn ra rễ là 50 mg/l.

Từ khóa: đa chồi, lạc, *in vitro*, ra rễ, tái sinh chồi.

Chỉ số phân loại: 4.1, 4.6

Development of an *in vitro* regeneration system for genetic transformation in peanut variety L27 (*Arachis hypogaea* L.)

Thi Xuan Thuy Vi*, Sy Binh Le

Tay Bac University, To Hieu Ward, Son La Province, Vietnam

Received 12 March 2025; revised 5 April 2025; accepted 10 April 2025

Abstract:

Arachis hypogaea L. has high nutritional value for human health; however, its proteins are highly allergenic, and the levels of essential sulfur-containing amino acids are relatively low. Moreover, peanut yield and nutritional value are adversely affected by abiotic stresses, including drought, extreme temperatures, salinity, flooding, and elevated CO₂ concentrations. This study aimed to develop an efficient regeneration system for *Agrobacterium*-mediated genetic transformation to enhance stress tolerance and improve seed quality in peanuts. The results indicated that the most effective seed sterilisation was achieved using 0.1% mercury(II) chloride (HgCl₂) for a total of 9 minutes (5 minutes for the first treatment and 4 minutes for the second treatment). The optimal shoot tip regeneration was observed at 1.5 mg/l benzylaminopurine (BAP), while cotyledon axil explants showed the best response at 2.0 mg/l BAP. Multiple shoot induction from cotyledon axil explants was most successful with a combination of 2.0 mg/l BAP and 0.7 mg/l α -naphthaleneacetic acid (α -NAA), producing an average of 4.43 shoots per explant. In contrast, apical shoot tips did not induce multiple shoot formation. The highest rooting efficiency was achieved with 0.7 mg/l α -NAA, resulting in an average of 8.32 roots per shoot. Kanamycin selection was effective at 75 mg/l during shoot regeneration and 50 mg/l during rooting.

Keywords: *Arachis hypogaea* L., *in vitro*, multi-shoot, rooting, shoot regeneration.

Classification numbers: 4.1, 4.6

*Tác giả liên hệ: Email: xuanthuy@utb.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Lạc (*Arachis hypogaea* L.) hay còn gọi là đậu phộng thuộc họ đậu, là một loại cây trồng quan trọng trên toàn thế giới. Châu Á là nơi sản xuất lạc chính, chiếm 60% sản lượng thế giới. Hạt lạc là một loại thực phẩm giàu năng lượng, chứa lượng lớn chất béo, protein, carbohydrate, vitamin tan trong chất béo và tan trong nước, khoáng chất. Hạt lạc được tiêu thụ trên toàn thế giới do giá trị dinh dưỡng cao, sẵn có và giá cả cạnh tranh so với các loại hạt khác. Do hàm lượng dinh dưỡng cao, hạt được sử dụng để chống suy dinh dưỡng ở hầu hết các nước đang phát triển. Lipid, protein và carbohydrate không chỉ cung cấp năng lượng mà còn cung cấp các chất dinh dưỡng thiết yếu cho các chức năng bình thường của cơ thể như tạo chất dự trữ và xây dựng cơ bắp. Vitamin cần thiết cho chức năng tế bào bình thường, tăng trưởng, phát triển, phòng ngừa bệnh tật và hoạt động như coenzyme trong quá trình sản xuất năng lượng [1-3]. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, việc sử dụng hạt lạc thường xuyên có khả năng giảm tỷ lệ mắc các bệnh tim mạch và sỏi mật ở cả hai giới và bệnh tiểu đường ở phụ nữ [4].

Trên thế giới, khoảng 2/3 tổng diện tích trồng lạc nằm ở các vùng khô hạn và bán khô hạn. Hạn hán ảnh hưởng đến đặc điểm hình thái, sinh lý và sinh hóa..., do đó làm giảm sản lượng, chất lượng của lạc [5]. Hạn hán làm giảm nghiêm trọng sự hấp thụ các chất dinh dưỡng như nitơ, photpho và kali... làm cho sự sinh trưởng và phát triển của lạc bị ảnh hưởng, dẫn đến giảm sinh khối, năng suất. Mức độ nghiêm trọng của hạn hán trên cây lạc ngoài phụ thuộc vào thời gian và cường độ của hạn, còn phụ thuộc vào thời điểm sinh trưởng của lạc. Nếu hạn hán kéo dài từ khi bắt đầu ra hoa đến giai đoạn làm hạt, sẽ khiến năng suất giảm tới 50%. Bên cạnh đó, hạn cũng ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng dinh dưỡng của hạt lạc. Oleic là acid béo quan trọng liên quan đến chất lượng, hương vị, thời gian bảo quản của hạt lạc, hàm lượng bị giảm khi bị tác động của hạn [6]. Đặc biệt, hạn có thể gây ra sự gia tăng ô nhiễm aflatoxin (chất có khả năng gây ung thư cao đối với cả động vật và con người) trong hạt lạc, do đó làm giảm nghiêm trọng chất lượng hạt [7].

Lạc có nhiều giá trị dinh dưỡng tốt cho sức khỏe con người, tuy nhiên, phần lớn protein trong lạc có khả năng gây dị ứng cao và những người bị dị ứng với lạc nên tránh ăn hạt lạc hoặc các sản phẩm thực phẩm có thể chứa lạc. Ngoài ra, protein hạt lạc có hàm lượng các amino acid thiết yếu chứa lưu huỳnh thấp [2, 8]. Sản lượng, giá trị

dinh dưỡng bị tác động bởi nhiều yếu tố phi sinh học như hạn, nhiệt độ khắc nghiệt, độ mặn, lũ lụt và nồng độ CO_2 ... [9, 10]. Do đó, cần có nhiều nghiên cứu hơn nữa để tăng các amino acid thiết yếu và giảm hoặc loại bỏ tính gây dị ứng của protein lạc, tăng cường khả năng chống chịu của lạc. Điều này có thể thực hiện được nhờ sự tiến bộ trong công nghệ chỉnh sửa gen.

Đã có nhiều nghiên cứu thành công trong việc xây dựng hệ thống tái sinh từ mô sẹo lạc được cảm ứng từ các bộ phận khác nhau, phục vụ chuyển gen nhờ *Agrobacterium* [11, 12]. Hệ thống tái sinh tạo đa chồi cũng là phương pháp có tiềm năng lớn trong chuyển gen qua *Agrobacterium*, với thời gian tái sinh cây ngắn, cây tái sinh có sức sống tốt, nhưng chưa được quan tâm nghiên cứu. Nghiên cứu này nhằm phát triển một hệ thống tái sinh tạo đa chồi hiệu quả của cây lạc, phục vụ kỹ thuật chuyển gen vào cây lạc thông qua trung gian *Agrobacterium*, để nâng cao khả năng chống chịu, cải thiện chất lượng hạt lạc.

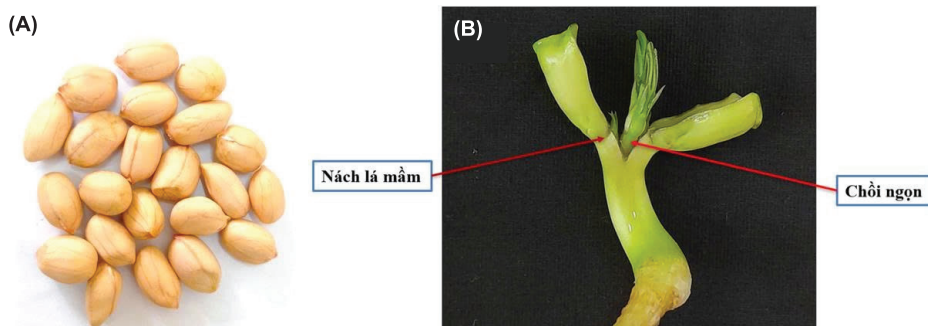
2. Vật liệu, phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Hạt lạc giống L27 của Trạm Khuyến nông thị xã Phú Thọ, tỉnh Phú Thọ được sử dụng trong các thí nghiệm, giống lạc này được trồng phổ biến, có diện tích canh tác lớn và cho năng suất cao (32-45,5 tạ/ha). Sử dụng chồi ngọn, nách lá mầm của mầm lạc 7 ngày tuổi (tính từ ngày vào mẫu) nuôi *in vitro* để làm vật liệu nghiên cứu (hình 1). Môi trường nuôi cấy là MS [13] bổ sung saccharose 20 g/l, agar 7 g/l và bổ sung chất điều hòa sinh trưởng khác nhau tùy theo mục đích thí nghiệm. Điều kiện nuôi cấy với nhiệt độ $25 \pm 2^\circ\text{C}$, cường độ ánh sáng 2.500 lux, thời gian chiếu sáng 14 giờ/ngày.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Khử trùng hạt: Quả lạc giống L27 sau khi phơi khô, bóc vỏ, lựa chọn hạt mẩy, không sâu bệnh. Hạt lạc được rửa sạch dưới vòi nước chảy, sau đó tiến hành khử trùng bằng dung dịch HgCl_2 0,1% trong thời gian khác nhau. Sau lần 1 khử



Hình 1. Hình thái hạt (A), chồi ngọn và nách lá mầm của giống lạc L27 (B).

trùng, tiến hành rửa mẫu bằng nước cất vô trùng ít nhất 5 lần mới tiến hành khử trùng lần 2, sau đó rửa mẫu lại 3-5 lần để khô và hạt được cấy trên môi trường MS.

Ảnh hưởng của nồng độ BAP đến khả năng tái sinh chồi: Chồi ngọn, nách lá mầm được gây tổn thương bằng châm kim nhọn (15 lần/mẫu), sau đó được nuôi trên môi trường MS bổ sung BAP các nồng độ khác nhau.

Ảnh hưởng của nồng độ BAP và α -NAA đến khả năng tạo đa chồi: Chồi tái sinh 21 ngày tuổi được chuyển sang môi trường chứa BAP và bổ sung α -NAA các nồng độ khác nhau.

Ảnh hưởng của nồng độ α -NAA đến khả năng tạo rễ: Chồi đạt kích thước 2-3 cm được nuôi trên môi trường MS, có bổ sung α -NAA với nồng độ khác nhau.

Ngưỡng chọn lọc kanamycin ở giai đoạn chồi: Nách lá mầm sau khi gây tổn thương bằng kim nhọn, được nuôi trên môi trường MS + BAP 2,0 mg/l, được bổ sung kanamycin (0-100 mg/l).

Ngưỡng chọn lọc kanamycin ở giai đoạn ra rễ: Chồi đạt kích thước 2-3 cm được nuôi trên môi trường MS có bổ sung α -NAA 0,7 mg/l, được bổ sung kanamycin với nồng độ 0-100 mg/l.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Khử trùng hạt lạc tạo vật liệu khởi đầu *in vitro*

Kết quả khử trùng hạt lạc L27 để tạo vật liệu khởi đầu cho nuôi cấy *in vitro* bằng HgCl_2 0,1% được trình bày ở bảng 1. Kết quả bảng 1 cho thấy, với khử trùng 1 lần (khử trùng đơn) khi tăng thời gian khử trùng HgCl_2 0,1% từ 3 đến 11 phút thì tỷ lệ mẫu nhiễm giảm rõ rệt từ 100 còn 20%. Điều đó chứng tỏ, HgCl_2 0,1% có khả năng khử trùng tốt. Tuy nhiên, khi tăng thời gian khử trùng thì tỷ lệ mẫu không tái sinh cũng tăng theo. Tỷ lệ mẫu sạch tái sinh ở thời gian khử trùng 9 và 11 phút tương đương nhau, đạt lần lượt 44,45 và 44,44%. Với khử trùng 2 lần (khử trùng kép) cho thấy hiệu quả khử trùng tốt hơn. Cùng thời gian khử trùng 9 phút thì ở khử trùng kép (5 phút lần 1 và 4 phút lần 2) tỷ lệ mẫu nhiễm còn 14,44% và tỷ lệ mẫu sạch, tái sinh đạt tới 67,78%, cao hơn 1,52 lần so với khử trùng đơn và cũng là công thức khử trùng hiệu quả nhất. Kết quả nghiên cứu của C.T. Quyen và cs (2022) [12] khử trùng hạt lạc L14 bằng NaOCl 2,5% cũng cho thấy khử trùng kép hiệu quả hơn so với khử trùng đơn.

Bảng 1. Ảnh hưởng của thời gian xử lý HgCl_2 0,1% đến khả năng tạo mẫu sạch của lạc L27 sau 21 ngày nuôi cấy.

Thời gian (phút)		Số lượng mẫu	Tỷ lệ mẫu nhiễm (%)	Tỷ lệ mẫu không nhiễm (%)	
Lần 1	Lần 2			Tỷ lệ không tái sinh	Tỷ lệ mẫu tái sinh
3		90	100 ^a	0 ^e	0 ^f
5		90	63,33 ^b	11,11 ^d	25,56 ^e
7		90	46,67 ^c	16,67 ^c	36,66 ^d
9		90	32,22 ^d	23,33 ^b	44,45 ^c
11		90	20,00 ^e	35,56 ^a	44,44 ^c
5	3	90	21,11 ^e	16,67 ^c	62,22 ^b
5	4	90	14,44 ^f	17,78 ^c	67,78 ^a
5	5	90	13,33 ^f	22,22 ^b	64,45 ^{ab}

Các chữ cái khác nhau trong cột biểu thị sự sai khác có ý nghĩa thống kê với $p < 0,05$.

3.2. Ảnh hưởng của nồng độ BAP đến khả năng tái sinh chồi

Chồi ngọn, nách lá mầm lạc L27 được gây tổn thương bằng kim nhọn, sau đó tiến hành đánh giá ảnh hưởng của BAP đến khả năng tái sinh chồi. Kết quả sau 30 ngày nuôi cấy được trình bày ở bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của nồng độ BAP đến khả năng tái sinh chồi ngọn, nách lá mầm của lạc L27.

Mẫu	Nồng độ BAP (mg/l)	Số lượng mẫu	Tỷ lệ mẫu tái sinh (%)	Chất lượng chồi
Chồi ngọn	0	90	23,33 ^d	Chồi gầy, lá xanh nhạt
	0,5	90	34,44 ^c	Chồi trung bình, lá xanh
	1,0	90	68,89 ^b	Chồi mập, lá xanh đậm
	1,5	90	86,67 ^a	Chồi mập, lá xanh đậm
	2,0	90	87,78 ^a	Chồi trung bình, lá xanh
	2,5	90	88,89 ^a	Chồi trung bình, lá xanh
Nách lá mầm	0	90	13,33 ^e	Chồi gầy, lá xanh nhạt
	0,5	90	23,22 ^d	Chồi gầy, lá xanh nhạt
	1,0	90	46,67 ^c	Chồi trung bình, lá xanh
	1,5	90	71,11 ^b	Chồi mập, lá xanh đậm
	2,0	90	84,44 ^a	Chồi mập, lá xanh đậm
	2,5	90	85,56 ^a	Chồi trung bình, lá xanh

Các chữ cái khác nhau trong cột biểu thị sự sai khác có ý nghĩa thống kê với $p < 0,05$.

Kết quả bảng 2 cho thấy, với mẫu là chồi ngọn nếu không bổ sung BAP (đối chứng) chồi tái sinh đạt 23,33%, chồi gãy, lá xanh nhạt. Khi bổ sung BAP tỷ lệ tái sinh tăng rõ rệt, ở nồng độ BAP 1,5 mg/l tỷ lệ chồi tái sinh 86,67% (gấp 3,71 lần đối chứng), chất lượng chồi tốt, chồi mập, lá xanh đậm. Khi tăng BAP lên 2,0 và 2,5 mg/l tỷ lệ chồi tái sinh tăng lên lần lượt là 87,78 và 88,89% nhưng không có sự sai khác có ý nghĩa thống kê với $p < 0,05$ với tỷ lệ tái sinh chồi ở 1,5 mg/l BAP, hơn nữa chất lượng chồi lại giảm, chồi trung bình, lá xanh. Với mẫu là nách lá mầm, BAP cũng ảnh hưởng tích cực đến khả năng tái sinh chồi, ở lô đối chứng tỷ lệ tái sinh chỉ đạt 13,33%, chồi gãy, lá xanh nhạt. Nhưng bổ sung BAP tỷ lệ tái sinh và chất lượng chồi tăng lên. Trên môi trường bổ sung BAP 2,0 mg/l, tỷ lệ tái sinh chồi đạt 84,44%, chồi mập mập, lá xanh đậm. Khi tăng BAP lên 2,5 mg/l, tỷ lệ tái sinh đạt 85,56% nhưng chất lượng chồi lại giảm. Do đó, nồng độ BAP thích hợp cho tái sinh chồi ngọn của giống lạc L27 là 1,5 mg/l, tái sinh nách lá mầm là 2,0 mg/l. Theo nghiên cứu của P.T.B. Hoa và cs (2021) [14], nồng độ BAP tái sinh chồi nách lá mầm của giống lạc L14 là 4 mg/l, có thể thấy, nồng độ BAP thích hợp cho tái sinh phụ thuộc vào giống lạc và bộ phận sử dụng.

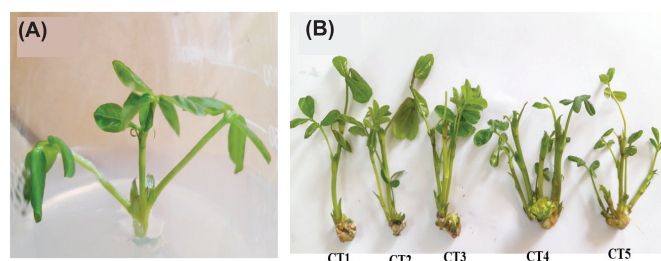
3.3. Ảnh hưởng của nồng độ BAP và α -NAA đến khả năng tạo đa chồi

Khả năng tạo đa chồi là yếu tố quan trọng để tăng hiệu suất chuyển gen nhờ *Agrobacterium* [15], do đó ảnh hưởng của nồng độ BAP và α -NAA đến khả năng tạo đa chồi của chồi ngọn, chồi nách lá mầm lạc L27 được tiến hành, kết quả được trình bày ở bảng 3, hình 2.

Bảng 3. Ảnh hưởng của nồng độ BAP và α -NAA đến khả năng tạo đa chồi lạc L27.

Mẫu	Nồng độ BAP (mg/l)	Nồng độ α -NAA (mg/l)	Số chồi/mẫu	Chiều cao trung bình chồi (cm)	Trạng thái chồi
Chồi ngọn	1,5	0,0	1,00 ^c	10,21 ^a	Mập, xanh đậm
		0,3	1,00 ^c	10,06 ^a	Mập, xanh đậm
		0,5	1,03 ^c	9,96 ^a	Mập, xanh đậm
		0,7	1,01 ^c	10,27 ^a	Mập, xanh đậm
		0,9	1,02 ^c	9,85 ^a	Mập, xanh đậm
Nách lá mầm	2,0	0,0	1,24 ^c	10,34 ^a	Mập, xanh đậm
		0,3	2,12 ^{dc}	10,09 ^a	Mập, xanh đậm
		0,5	3,15 ^c	9,74 ^a	Mập, xanh đậm
		0,7	4,43 ^b	9,24 ^a	Mập, xanh đậm
		0,9	5,54 ^a	8,06 ^{ab}	Trung bình, xanh

Các chữ cái khác nhau trong cột biểu thị sự sai khác có ý nghĩa thống kê với $p < 0,05$.



Hình 2. Ảnh hưởng của nồng độ BAP và α -NAA đến khả năng tạo đa chồi của chồi ngọn (A) và chồi nách lá mầm (B) của lạc L27. CT1: BAP 2,0 mg/l + α -NAA 0,0 mg/l; CT2: BAP 2,0 mg/l + α -NAA 0,3 mg/l; CT3: BAP 2,0 mg/l + α -NAA 0,5 mg/l; CT4: BAP 2,0 mg/l + α -NAA 0,7 mg/l; CT5: BAP 2,0 mg/l + α -NAA 0,9 mg/l.

Kết quả bảng 3, hình 2A cho thấy, chồi ngọn nuôi trên môi trường bổ sung BAP và α -NAA vẫn không cảm ứng tạo đa chồi, các lô thí nghiệm đều đạt 1 chồi/mẫu, chồi mập mập, sinh trưởng tốt đều đạt chiều cao 9,85-10,27 cm. Ở chồi nách lá mầm khi bổ sung 2,0 mg/l BAP vẫn có cảm ứng tạo đa chồi, tuy nhiên chỉ đạt 1,24 chồi/mẫu. Khi bổ sung thêm α -NAA 0,3 mg/l, số chồi/mẫu tăng lên 2,12. Khi tăng α -NAA lên 0,9 mg/l, cảm ứng ra chồi đạt cao nhất với 5,54 chồi/mẫu, nhưng chất lượng chồi có xu hướng giảm, chồi có chiều cao trung bình đạt 8,06 cm. Còn ở công thức bổ sung BAP 2,0 mg/l + α -NAA 0,7 mg/l chồi mập, lá và chồi màu xanh đậm, sinh trưởng tốt và đạt 4,43 chồi/mẫu, đây là công thức cảm ứng chồi tốt nhất trong các nghiệm thức nghiên cứu (không chỉ tối đa số chồi, mà còn xét chất lượng chồi và khả năng sử dụng cho chuyển gen). Như vậy, để chuyển gen vào lạc L27 nhờ vi khuẩn trung gian *Agrobacterium* thì sử dụng tái sinh từ nách lá mầm, do chồi ngọn không cảm ứng tạo đa chồi.

3.4. Ảnh hưởng của nồng độ α -NAA đến khả năng ra rễ

Cảm ứng ra rễ tạo cây hoàn chỉnh có vai trò quan trọng để có thể đưa cây *in vitro* ra ngoài môi trường sống. Nhóm chất điều hòa sinh trưởng auxin có tác dụng kích thích cảm ứng ra rễ của chồi ở nồng độ thích hợp, có nhiều nhóm auxin được dùng trong nuôi cấy mô như: IAA, IBA, α -NAA. Nghiên cứu của P.T.B. Hoa và cs (2021) [14] cho thấy, α -NAA có ảnh hưởng tích cực nhất đến sự ra rễ của giống lạc L14. Do đó, ảnh hưởng của nồng độ α -NAA đến khả năng ra rễ của chồi nách lá mầm lạc L27 được nghiên cứu, kết quả được trình bày ở bảng 4 và hình 3.

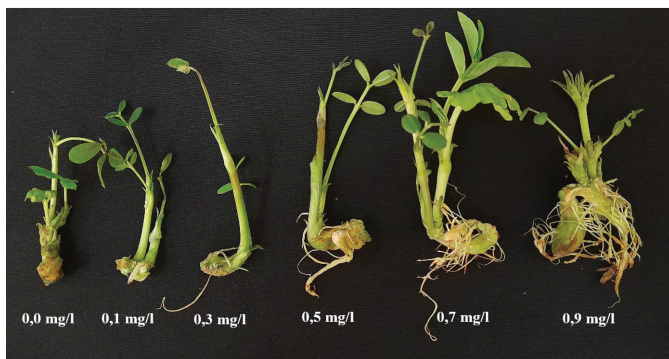
Kết quả bảng 4 và hình 3 cho thấy, chồi nách lá mầm lạc L27 nếu không bổ sung α -NAA sau 21 ngày nuôi cấy bắt đầu ra rễ, chỉ có 6/90 chồi ra rễ đạt 6,67%, đạt 1,20 rễ/chồi,

Bảng 4. Ảnh hưởng của nồng độ α -NAA đến khả năng ra rễ của chồi nách lá mầm lạc L27.

Nồng độ α -NAA (mg/l)	Ngày bắt đầu ra rễ (ngày)	Tỷ lệ ra rễ (%)	Số rễ/chồi	Chất lượng rễ
0,0	21	6,67 ^d	1,20 ^{dc}	Rễ ngắn, mảnh, không có rễ thứ cấp
0,1	12	57,78 ^c	2,34 ^d	Rễ trắng, mập, ít rễ thứ cấp
0,3	11	71,11 ^b	4,32 ^c	Rễ trắng, dài, mập, nhiều rễ thứ cấp
0,5	10	82,22 ^b	6,43 ^b	Rễ trắng, dài, mập, nhiều rễ thứ cấp
0,7	9	100 ^a	8,32 ^b	Rễ trắng, dài, mập, nhiều rễ thứ cấp
0,9	9	100 ^a	12,75 ^a	Rễ nâu, mập, ngắn, nhiều rễ thứ cấp

Các chữ cái khác nhau trong cột biểu thị sự sai khác có ý nghĩa thống kê với $p < 0,05$.

rễ nhỏ, ngắn, không có rễ thứ cấp. Khi bổ sung α -NAA 0,1 mg/l sau 12 ngày đã ra rễ, tỷ lệ ra rễ tăng lên rõ rệt, đạt từ 57,78%, đạt 2,34 rễ/chồi, rễ trắng, mập nhưng ngắn và rất ít rễ thứ cấp. Tăng nồng độ α -NAA lên 0,7 và đạt tỷ lệ ra rễ 100%, số lượng rễ/chồi đạt 8,32, chất lượng rễ tốt, rễ trắng, mập, dài, nhiều rễ thứ cấp. Khi tăng lên 0,9 mg/l đạt 100% mẫu ra rễ, số rễ nhiều tới 12,75/chồi, tuy nhiên chất lượng rễ giảm, rễ màu nâu, ngắn và rất nhiều rễ thứ cấp. Kết quả này cho thấy, nồng độ α -NAA tốt nhất để cảm ứng ra rễ của chồi nách lá mầm là 0,7 mg/l.



Hình 3. Ảnh hưởng của nồng độ α -NAA đến khả năng ra rễ của chồi nách lá mầm lạc L27.

3.5. Ngưỡng chọn lọc kanamycin ở giai đoạn tái sinh chồi và ra rễ

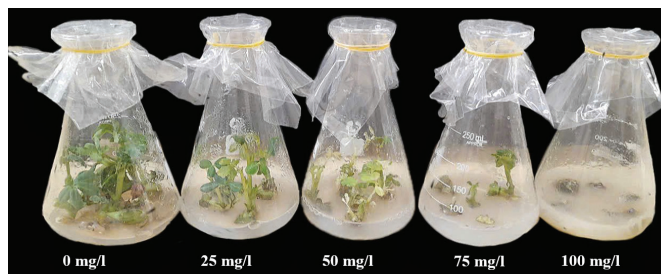
Trong chuyển gen nhờ *Agrobacterium*, thiết kế vector chọn lọc cây chuyển gen kháng sinh kanamycin được sử dụng phổ biến [16], do đó để chọn được cây mang gene chuyển, tiến hành nghiên cứu ngưỡng chọn lọc kanamycin ở giai đoạn tái sinh chồi của nách lá mầm và khả năng ra rễ của giống lạc L27. Kết quả được trình bày ở bảng 5 và hình 4. Kết quả bảng 5 cho thấy, để chọn lọc được cây mang gen

chuyển sử dụng kanamycin ở nồng độ 75 mg/l ở giai đoạn tái sinh chồi nách lá mầm và 50 mg/l ở giai đoạn ra rễ là hiệu quả. Kết quả này cũng tương đồng với nghiên cứu chuyển gen bằng *Agrobacterium* vào giống lạc L12 của N.T.T. Nga và cs (2012) [11] ở giai đoạn tái sinh chồi là 75 mg/l.

Bảng 5. Ảnh hưởng của nồng độ kanamycin đến khả năng tái sinh chồi và ra rễ của giống lạc L27.

Nồng độ kanamycin (mg/l)	Tỷ lệ chồi tái sinh (%)	Trạng thái chồi	Tỷ lệ ra rễ (%)	Chất lượng rễ
0	88,89 ^a	Chồi mập, màu xanh đậm, sinh trưởng tốt	100 ^a	Rễ trắng, dài, mập, nhiều rễ thứ cấp
25	67,78 ^b	Chồi mập, màu xanh, sinh trưởng tốt	46,34 ^b	Rễ nâu, mập, ngắn, nhiều rễ thứ cấp
50	35,56 ^c	Chồi mảnh, màu xanh nhạt, sinh trưởng chậm	16,32 ^b	Rễ nâu, mảnh, ngắn, ít rễ thứ cấp
75	21,11 ^d	Chồi mảnh, thấp, màu vàng nhạt, sinh trưởng kém	0 ^d	0
100	0 ^e	Mẫu đen, không tái sinh	0 ^d	0

Các chữ cái khác nhau trong cột biểu thị sự sai khác có ý nghĩa thống kê với $p < 0,05$.



Hình 4. Ảnh hưởng của kanamycin đến khả năng tái sinh chồi giống lạc L27.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, hiệu quả khử trùng hạt lạc bằng $HgCl_2$ 0,1% tốt nhất, với tổng thời gian xử lý là 9 phút (5 phút lần 1 và 4 phút lần 2), đạt tỷ lệ mẫu tái sinh là 67,78%. Đối với nguyên liệu tái sinh là chồi ngọn, nồng độ BAP 1,5 mg/l là tốt nhất cho tái sinh chồi, còn đối với nách lá mầm là 2,0 mg/l. Chồi nách lá mầm cảm ứng tạo đa chồi tốt nhất với BAP 2,0 mg/l + 0,7 mg/l α -NAA đạt 4,43 chồi/mẫu, ngược lại chồi ngọn không cảm ứng tạo đa chồi. Nồng độ α -NAA cảm ứng ra rễ tối ưu là 0,7 mg/l, đạt 8,32 rễ/chồi, rễ trắng, dài, mập, nhiều rễ thứ cấp. Kanamycin 75 mg/l cho chọn lọc tái sinh chồi và 50 mg/l chọn lọc ra rễ, để chọn lọc được cây mang gen chuyển hiệu quả nhất. Kết quả này là cơ sở để xây dựng quy trình chuyển gen qua trung gian *Agrobacterium*, để nâng cao khả năng chống chịu, cải tạo chất lượng hạt lạc.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ từ nguồn kinh phí khoa học và công nghệ của Bộ Giáo dục và Đào tạo cho đề tài mã số: B2024 -TTB-06. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S.S. Arya, A.R. Salve, S. Chauhan (2015), "Peanuts as functional food: A review", *J. Food Sci. Technol.*, **53**, pp.31-41, DOI: 10.1007/s13197-015-2007-9.
- [2] R. Bonku, J. Yu (2020), "Health aspects of peanuts as an outcome of its chemical composition", *Food Science and Human Wellness*, **9**, pp.21-30, DOI: 10.1016/j.fshw.2019.12.005.
- [3] V. Amba, G. Murphy, A.E.S. Wang, et al. (2019), "Nut and peanut butter consumption and mortality in the national institutes of health-AARP diet and health study", *Nutrients*, **11**, DOI: 10.3390/nu11071508.
- [4] B.J. Azad, E. Daneshzad, L. Azadbakht (2020), "Peanut and cardiovascular disease risk factors: A systematic review and meta-analysis", *Food Sci. Nutr.*, **60**(7), pp.1123-1140, DOI: 10.1080/10408398.2018.1558395.
- [5] M.F. Seleiman, N.A. Suhaibani, N. Ali, et al. (2021), "Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects", *Plants*, **10**(2), pp.259-325, DOI: 10.3390/plants10020259.
- [6] S. Pokhrel, P. Kharel, S. Pandey, et al. (2025), "Understanding the impacts of drought on peanuts (*Arachis hypogaea* L.): Exploring physio-genetic mechanisms to develop drought-resilient peanut cultivars", *Front. Genet.*, **15**, DOI: 10.3389/fgene.2024.1492434.
- [7] L. Hou, W. Liu, Z. Li, et al. (2014), "Identification and expression analysis of genes responsive to drought stress in peanut", *Russ. J. Plant Physiology*, **61**, pp.842-852, DOI: 10.1134/S1021443714060089.
- [8] R.R. Bansode, P.D. Randolph, N.J. Plundrich, et al. (2019), "Peanut protein-polyphenol aggregate complexation suppresses allergic sensitisation to peanut by reducing peanut-specific IgE in C3H/HeJ mice", *Food Chem.*, **299**, DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125025.
- [9] S. Chaudhry, G.P.S. Sidhu (2022), "Climate change regulated abiotic stress mechanisms in plants: A comprehensive review", *Plant Cell Rep.*, **41**(1), pp.1-31, DOI: 10.1007/s00299-021-02759-5.
- [10] S. Sachdev, S.A. Ansari, M.I. Ansari, et al. (2021), "Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms", *Antioxidants*, **10**(2), DOI: 10.3390/antiox10020277.
- [11] N.T.T. Nga, L.T. Binh (2012), "Establishment of a system for regeneration and transformation in peanut (*Arachis hypogaea* L.) using somatic embryo", *Academia Journal of Biology*, **34**(3), pp.370-376, DOI: 10.15625/0866-7160/v34n3.2471.
- [12] C.T. Quyen, H.D. An, N.N. Khanh, et al. (2022), "Studying the possibility of callus induction from peanut (*Arachis hypogaea* L.) for micropropagation", *Can Tho University Journal of Science*, **2**, pp.155-162, DOI: 10.22144/ctu.jvn.2022.132.
- [13] T. Murashige, F. Skoog (1962), "A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures", *Physiologia Plantarum*, **15**(3), pp.473-497.
- [14] P.T.B. Hoa, N.H. Tue, P.T.Q. Trang, et al. (2021), "An efficient protocol for *in vitro* regeneration of peanut (*Arachis hypogaea* L.) cultivar L14", *Bioscience Journal*, **37**, pp.1-6, DOI: 10.14393/BJ-v37n0a2021-56949.
- [15] M.G. Sangari, S.R.H. Chandar, S. Mahalakshmi, et al. (2024), "CRISPR/Cas genome editing in legume crops: Challenges and opportunities: A review", *Legume Research*, **47**(6), pp.875-883, DOI: 10.18805/LR-5321.
- [16] V.T.X. Thuy, B.T.H. Loan, N.H. Quan, et al. (2025), "Characteristics of the constructs designed from the *AhDREB* gene of peanut and the expression vector pBI121 containing the CaMV 35S promoter", *TNU Journal of Science and Technology*, **230**(9), pp.49-57, DOI: 10.34238/tnu-jst.11608 (in Vietnamese).

Đánh giá tính bền vững của mô hình sinh thái tích hợp trong canh tác thanh long bằng phân tích emergy

Hồ Thị Thiên Kim¹, Đồng Thị Thu Huyền², Nguyễn Thanh Hùng¹, Lê Thanh Hải¹,
Trần Thị Hiệu¹, Nguyễn Thị Phương Thảo¹, Trần Trung Kiên^{1*}

¹Viện Môi Trường và Tài nguyên, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 142 Tô Hiến Thành, phường Diên Hồng, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Khoa Công nghệ, Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai, 206 Nguyễn Khuyến, khu phố 5, phường Trảng Dài, tỉnh Đồng Nai, Việt Nam

Ngày nhận bài 3/3/2025; ngày chuyển phản biện 5/3/2025; ngày nhận phản biện 21/3/2025; ngày chấp nhận đăng 28/3/2025

Tóm tắt:

Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá tính bền vững của mô hình sinh thái tích hợp cho các hộ dân canh tác thanh long. Một mô hình sinh thái khép kín theo hướng tuần hoàn vật chất và năng lượng cho các hộ dân trồng cây thanh long đã được đề xuất và triển khai, dựa trên cơ sở xử lý chất thải từ sinh khối thanh long, kết hợp với chất thải chăn nuôi tạo ra các sản phẩm mới có giá trị. Bên cạnh đó, phương pháp phân tích emergy được áp dụng để đánh giá tính bền vững của mô hình sinh thái tích hợp đã triển khai cho các hộ dân. Kết quả cho thấy, hệ số năng suất năng lượng (EYR) của hệ thống là 0,99, nghĩa là không có đơn vị tài nguyên môi trường miễn phí nào có thể được khai thác khi một đơn vị đầu vào được đầu tư vào hệ thống tích hợp. Hệ số sức tải môi trường (ELR) của hệ thống là 0,35, cho thấy năng lượng tái tạo được sử dụng trong hệ thống này nhiều hơn năng lượng không tái tạo. Hơn nữa, chỉ số bền vững (EmSI) của mô hình sinh thái tích hợp đạt 2,8, cao hơn so với hệ thống nông nghiệp thông thường.

Từ khóa: canh tác cây thanh long, mô hình sinh thái tích hợp, phân tích emergy, tính bền vững.

Chỉ số phân loại: 4.1, 4.7

Sustainability evaluation of an integrated ecological system for dragon fruit cultivation using emergy accounting

Thi Thien Kim Ho¹, Thi Thu Huyen Dong², Thanh Hung Nguyen¹, Thanh Hai Le¹,
Thi Hieu Tran¹, Thi Phuong Thao Nguyen¹, Trung Kien Tran^{1*}

¹Institute for Environment and Resources, Vietnam National University - Ho Chi Minh City, 142 To Hien Thanh Street, Dien Hong Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Faculty of Technology, Dong Nai Technology University, 206 Nguyen Khuyen Street, Quarter 5, Trang Dai Ward, Dong Nai Province, Vietnam

Received 3 March 2025; revised 21 March 2025; accepted 28 March 2025

Abstract:

This study aims to evaluate the sustainability of an integrated ecological system for dragon fruit cultivation by farming households. A closed ecological system based on material and energy circulation was proposed and implemented for dragon fruit farming households, utilising waste from dragon fruit biomass combined with livestock waste to generate valuable new products. In addition, emergy accounting analysis was applied for sustainability evaluation of an integrated ecological system. The results show that the emergy yield ratio (EYR) of the system is 0.99, indicating that no free environmental resource can be obtained for each unit of input invested in the integrated system. The emergy loading ratio (ELR) of the system is 0.35, which indicates a relatively low environmental loading, with renewable inputs outweighing non-renewable ones. Furthermore, the environmental sustainability index (EmSI) of the integrated system is 2.8, which is higher than that of conventional agricultural systems.

Keywords: dragon fruit cultivation, emergy accounting, integrated ecological system, sustainability.

Classification numbers: 4.1, 4.7

*Tác giả liên hệ: Email: trungkienmt95@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Việt Nam là nước có diện tích và sản lượng thanh long lớn nhất châu Á và cũng là nước xuất khẩu thanh long hàng đầu thế giới. Diện tích trồng thanh long ở nước ta vào khoảng hơn 25.000 ha, với sản lượng trên 460.000 tấn/năm, tập trung nhiều ở Lâm Đồng, Đồng Tháp và Tây Ninh. Diện tích thanh long của 3 tỉnh này chiếm 92% tổng diện tích và 96% sản lượng của cả nước [1]. Tuy nhiên, lượng chất thải phát sinh từ cây thanh long không chỉ gây ô nhiễm môi trường và phát thải khí nhà kính mà còn tiềm ẩn nhiều mầm bệnh, ảnh hưởng tiêu cực đến mỹ quan các khu vực canh tác [2]. Một số công trình trong những năm gần đây đã nghiên cứu xử lý chất thải này nhằm tạo ra các sản phẩm thứ cấp có giá trị. Chất thải từ vỏ thanh long được phối trộn với cám công nghiệp theo các tỷ lệ khác nhau để làm cơ chất cho quá trình nuôi ruồi lính đen (*Hermetia illucens*). Sau khi áp dụng các phương pháp xử lý sơ bộ như xay nhuyễn, kết quả cho thấy ruồi lính đen thích nghi và sinh trưởng tốt nhất trong môi trường có tỷ lệ chất nền vỏ thanh long: cám công nghiệp là 85:15, với hiệu suất đạt 71,89% [3]. Các chất thải có nguồn gốc sinh khối từ quá trình canh tác cây thanh long có thể được xử lý thành các sản phẩm có giá trị kinh tế và ứng dụng cao như: than sinh học từ cành cây thanh long với khả năng hấp phụ chất ô nhiễm lên đến 95% [4], vỏ thanh long ruột đỏ có khả năng trích ly chất màu betacyanin [5-7], bột thân thanh long ruột trắng có thể được sử dụng làm nguyên liệu chính phối trộn cùng với bột cám và bột bắp lên men chua làm thức ăn bổ sung cho vật nuôi [8].

Mô hình sinh thái tích hợp trong nông nghiệp nhằm tái sử dụng chất thải, tuần hoàn nguyên vật liệu hướng đến nâng cao tính bền vững cho hệ sinh thái đã được nghiên cứu trước đây [9-11]. Tuy nhiên, việc sử dụng hiệu quả chất thải hữu cơ cho mục đích nông nghiệp đòi hỏi phải đánh giá rủi ro kỹ lưỡng và nghiêm ngặt để ngăn ngừa tác động xấu của các chất gây ô nhiễm như kim loại nặng, chất ô nhiễm hữu cơ khó phân hủy nhằm đảm bảo tính bền vững nông nghiệp [12]. Kết quả 1 nghiên cứu điển hình trước đây cho thấy, các chức năng của hệ thống nông nghiệp tích hợp hoặc nông nghiệp tuần hoàn (CA) phải được xác định trước khi vận hành nhằm nâng cao hiệu quả sinh thái của hệ thống. Nếu chỉ tăng diện tích thanh long 10% thì hiệu quả của hệ thống CA sẽ giảm 0,17% mỗi năm, nếu tăng 10% hệ thống chăn nuôi heo thì hiệu quả của CA sẽ tăng 0,20% mỗi năm [13]. Chất thải từ canh tác và chế biến thanh long có thể được tái sử dụng do chứa một số hóa chất và dầu có giá trị gia tăng và có thể là nguồn tài nguyên tái tạo để sản xuất một số hợp chất có giá trị gia tăng có tiềm năng ứng dụng trong các ngành công nghiệp khác nhau theo định hướng kinh tế tuần hoàn [14]. Các hệ thống trồng trọt - chăn nuôi tích hợp

(ICLS) phù hợp cho các trang trại, vì chúng có tiềm năng cải tạo những vùng đồng cỏ rộng lớn bị suy thoái, đồng thời giảm thiểu phát thải khí nhà kính, khuyến khích thâm canh bền vững [15].

Emergy được định nghĩa là “Năng lượng sẵn có của một dạng được sử dụng một cách trực tiếp hoặc gián tiếp trước đó để tạo nên một sản phẩm hoặc dịch vụ”. Đơn vị của emergy là emjoule hoặc solar emjoule (viết tắt là SeJ) [16-19]. Trong nhiều năm qua, đã có nhiều nghiên cứu được thực hiện để chứng minh căn cứ vững chắc của phương pháp phân tích emergy. Phương pháp này cũng có thể được kết hợp với các phương pháp khác như: “phân tích vòng đời” (LCA), “dấu chân sinh thái” (EF), “đánh giá môi trường chiến lược” (SEA) [16-19]. Phân tích emergy có thể lấp đầy những “khoảng trống” thường tồn tại trong các nghiên cứu muốn quy đổi kinh tế và môi trường về cùng một vấn đề. Tính chất này cũng cho phép phương pháp phân tích emergy trở thành một lựa chọn tốt để đánh giá tính bền vững của các hệ thống, từ đó giúp đưa ra các quyết định liên quan đến năng lượng, môi trường và xã hội [20].

Qua việc sử dụng các giá trị chỉ số bền vững emergy (EmSI) để đánh giá sáu hệ thống phát điện khác nhau, phân loại chúng dựa trên nhiệt động lực học và hiệu quả môi trường, cho thấy sử dụng năng lượng tái tạo bền vững hơn so với những công nghệ dựa trên nhiên liệu hóa thạch [21]. Phương pháp phân tích emergy cũng được sử dụng để phân tích việc sử dụng sinh khối làm nguyên liệu cho sản xuất nhiên liệu sinh học và điện [22]. Bên cạnh đó, nhiều nghiên cứu sử dụng emergy để đánh giá hiệu quả sản xuất ethanol sinh học từ ngô, lúa mì và mía [23-25], hay các nghiên cứu sản xuất nhiên liệu sinh học bằng chất thải từ mía và sản xuất biodiesel từ dầu thực vật [26-28].

Ngoài ra, phân tích emergy còn được sử dụng để đánh giá hiệu quả của hệ thống cung cấp nước cho đô thị, các dòng chảy và quy trình hệ thống, dựa trên mô hình hóa và tính toán trên cơ sở khả năng tích lũy năng lượng sẵn có của hệ sinh thái. Các nguồn nước được thực hiện đánh giá bao gồm: nguồn nước mặt, nước ngầm và nước sau khử mặn. Kết quả cho thấy, để vận chuyển được 1 m³ nước cấp phải tiêu tốn khoảng 3,22E+12 SeJ [29]. Trong khi nghiên cứu tính bền vững dựa trên phân tích emergy của nhà máy xử lý nước cấp độc lập lại phụ thuộc vào chất lượng nguồn nước thô, giá trị năng lượng sinh thái của riêng nhà máy nước cấp khoảng 9,03E+11 SeJ/m³ [30]. Khi phân tích hiệu quả của hệ thống xử lý nước thải nhằm hạn chế môi đe dọa cho môi trường địa phương, các kịch bản khác nhau đã được đề xuất, đánh giá hiệu quả dựa trên phân tích emergy. Kết quả cho thấy, các kịch bản đều hạn chế áp lực môi trường, các

giải pháp về tái sử dụng nước đã qua xử lý và bùn thải có thể giúp cải thiện chất lượng môi trường [31-34]. Ngoài ra, phân tích emergy còn được sử dụng để đánh giá tính bền vững cho một số hệ thống nông nghiệp và dịch vụ hệ sinh thái, ô nhiễm nước. Phương pháp này hạn chế sự phức tạp, không chắc chắn và tính trùng lặp dữ liệu của khung tính toán dịch vụ hệ sinh thái. Phương pháp cũng được áp dụng để đánh giá tính bền vững dựa trên tương tác giữa thiên nhiên và con người, khi sử dụng dịch vụ hệ sinh thái nông nghiệp thông qua khả năng tái tạo (RNP%) và không tái tạo (NRP%) [35-37].

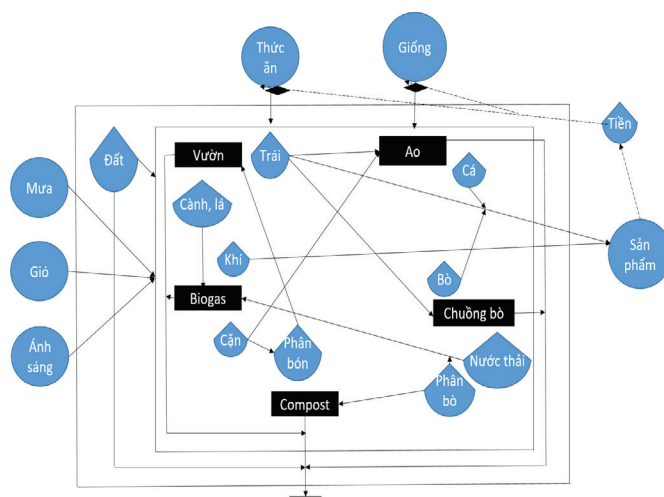
Các nghiên cứu trước đây đã định nghĩa về emergy và ứng dụng vào các hệ thống khác nhau, từ quá trình quản lý năng lượng hệ sinh thái của trang trại đến tổn thất năng lượng của hệ thống cấp nước và xử lý nước thải. Tuy nhiên, các nghiên cứu này vẫn chưa áp dụng phân tích emergy để lượng hóa năng lượng sinh thái của hệ thống sinh thái tích hợp, hướng đến tuần hoàn vật chất và năng lượng. Trong nghiên cứu này, một hệ thống nông nghiệp tích hợp cho hộ dân trồng thanh long kết hợp chăn nuôi được đề xuất, sau đó emergy được sử dụng để đánh giá tính bền vững của mô hình khi áp dụng thực tiễn. Thanh long là loại cây trồng yêu cầu có cường độ chiếu sáng cao, do đó liên quan đến việc sử dụng điện. Emergy là phương pháp phù hợp để tính toán tổng chi phí năng lượng, không chỉ từ việc sử dụng điện mà còn từ nguồn tài nguyên có thể tái tạo khác như nước và đất.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Cách tiếp cận

Mỗi joule năng lượng, dù ở dạng bức xạ mặt trời, điện năng hay lao động con người quy đổi, có thể giống nhau về lượng, nhưng khác nhau về chất lượng và khả năng sử dụng. Hệ số chuyển đổi được định nghĩa là lượng emergy đầu vào cần thiết để tạo ra một đơn vị đầu ra khả dụng. Trong nghiên cứu này, phân tích emergy để đánh giá sự bền vững về mô hình sinh thái tích hợp cho cây thanh long được thực hiện theo các bước sau:

- Bước 1: Vẽ sơ đồ hệ thống tổng quan để xác định ranh giới của hệ thống đã cho và xác định các nguồn đầu vào, đầu ra được đánh giá trên các ký hiệu cơ bản do Odum trình bày (hình 1). Tổng mức sử dụng năng lượng (U) bằng tổng các dòng tái tạo và năng lượng không thể tái tạo trong hệ thống, tương ứng, năng lượng sản xuất (Ep) biểu thị sản lượng của tổng năng lượng được sản xuất bởi hệ thống sinh thái tích hợp. Bên cạnh đó, phân lộn và bã khí được tái chế thông qua hệ thống phụ biogas trong mô hình này, đóng vai trò là nguồn nội lực thúc đẩy quá trình chuyển đổi tuần hoàn chuồng - ao - vườn... Do đó, hệ thống thức ăn chăn nuôi (SF) đại diện cho sự trao đổi vật chất trong hệ thống này.



Hình 1. Sơ đồ ranh giới của hệ thống tích hợp.

- Bước 2: Phân tích giá trị năng lượng thu được của từng hạng mục được xem xét trong hệ thống “sinh thái tích hợp”. Trong bước này, tất cả các dữ liệu thô như jun, kilogam được chuyển thành dạng năng lượng mặt trời, với đơn vị là SeJ nhằm chuyển về đơn vị năng lượng chung của emergy. Đối với sự chuyển đổi này, giá trị đơn vị của emergy là UEV, được coi là lượng mặt trời cần thiết để tạo ra trên một đơn vị (jun, khối lượng hoặc tiền) của một sản phẩm hoặc dịch vụ. UEV là một đối tượng nhất định, có thể có giá trị khác nhau do vị trí địa lý cụ thể hoặc quy trình sản xuất.

- Bước 3: Thiết lập chỉ số năng lượng và định lượng các hành vi sinh thái của hệ thống “sinh thái tích hợp” sẽ được làm rõ.

Sự nóng lên toàn cầu nhằm duy trì sinh quyền được coi là sự tham chiếu cho phân tích emergy, trước đây có giá trị lần đầu là $9,44E+24$ SeJ/yr, sau đó được cập nhật là $1,58E+25$ SeJ/yr và hiện tại là $1,52E+25$ SeJ/yr [13].

2.2. Đối tượng nghiên cứu

Sinh kế chính của hộ dân là trồng thanh long kết hợp với chăn nuôi, cụ thể diện tích trồng thanh long là 10.000 m^2 (tức khoảng 1.100 trụ), số lượng vật nuôi là 9 con bò, diện tích trồng cỏ là 3.000 m^2 (hình 2). Đối với nhu cầu nguyên liệu trong canh tác nông nghiệp của hộ dân bao gồm: thức ăn cho bò, phân bón cho thanh long. Đối với chăn nuôi bò, thức ăn chủ yếu là cỏ voi, ngoài ra hộ chăn nuôi bổ sung thêm 400 kg cám gạo và 200 kg thức ăn chuyên dùng cho vỗ béo bò. Nước uống cho bò khoảng 50-60 lít/con/ngày, nước vệ sinh chuồng trại là 0,9-1,08 m^3 /lần (mỗi ngày vệ sinh 2 lần), nguồn nước được sử dụng là nước ngầm. Đối với quá trình canh tác thanh long, trung bình một hộ dùng khoảng 25 tấn bón phân hữu cơ (phân chuồng)/năm/2 lần bón, toàn bộ lượng phân hữu cơ sử dụng từ chất thải chăn nuôi. Canh

thanh long tía bò mỗi năm 1 lần, trung bình 150 cành/trụ (tương ứng khoảng 50 kg/trụ). Như vậy, mỗi năm một hộ phát thải ra môi trường gần 55 tấn cành thanh long tía bò.



Hình 2. (A) Khu vực chăn nuôi bò, (B) ruộng cỏ voi, (C) vườn thanh long, (D) rơm dự trữ.

2.3. Phương pháp phân tích chỉ số emergy

Trên cơ sở các giá trị được đề cập ở trên bao gồm: năng lượng có thể tái tạo (RR), năng lượng không thể tái tạo (NR), tổng năng lượng sử dụng (U), năng lượng sản xuất (Ep), một loạt các chỉ số được đưa ra như sau để trình bày hiệu suất của hệ thống sinh thái tích hợp.

Sự biến đổi (Tr):

$$Tr = \frac{U}{E_p} \quad (1)$$

trong đó: Sự biến đổi (Tr) là một loại UEV được định nghĩa như đầu vào xuất hiện trên một đơn vị đầu ra năng lượng khả dụng với đơn vị SeJ/J. Nó thu được bằng tỷ số giữa tổng số năng lượng được sử dụng trong một quá trình và năng lượng do quá trình đó tạo ra. Tr đại diện cho chất lượng của chính đầu ra. Độ biến đổi càng cao thì cần càng nhiều nhiệt độ cho hệ thống.

Chỉ số phần trăm tái tạo (Pr):

$$Pr = \frac{RR+RP}{U} \quad (2)$$

trong đó: Renewable resources (RR) là các nguồn năng lượng tái tạo sẵn có trong hệ thống, còn renewable purchased (RP) là các nguồn năng lượng tái tạo được bổ sung từ bên ngoài, thông qua quá trình mua hoặc đưa vào hệ thống. U là tổng năng lượng đầu vào của hệ thống, bao gồm cả các nguồn tái tạo và không tái tạo. Khác với chỉ số phần trăm tái tạo là tỷ lệ giữa năng lượng tái tạo có sẵn (R) và U, chỉ số phần trăm khả năng gia hạn được sửa đổi (Pr) được định nghĩa là tỷ lệ của tất cả các năng lượng đầu vào có sẵn hoặc được thêm

vào trên tổng số năng lượng đầu vào, minh họa sự đóng góp có thể tái tạo trong tổng đầu vào sử dụng cho hệ thống. Hệ thống Pr cao hơn được coi là bền vững hơn về lâu dài.

Tỷ số năng suất năng lượng tích lũy (EYR):

$$EYR = \frac{U}{RP+NP} \quad (3)$$

trong đó: Non-renewable purchased (NP) là các nguồn năng lượng không tái tạo mua từ nền kinh tế bên ngoài, EYR là tỷ số tổng chi phí hiện có so với chi phí thu được từ nền kinh tế bên ngoài, thể hiện hiệu quả của hoạt động sử dụng các yếu tố đầu vào đã mua để khai thác tài nguyên thiên nhiên. Chỉ số này càng cao, lợi tức thu được trên một đơn vị đầu tư emergy càng lớn.

Tỷ số sức tải môi trường (ELR):

$$ELR = \frac{NR+NP}{RR+RP} \quad (4)$$

trong đó: Non-renewable resources (NR) là các nguồn năng lượng không tái tạo sẵn có trong hệ thống, ELR là tỷ số giữa tổng nguyên liệu đầu vào không thể tái sinh trên tổng số nguyên liệu đầu vào có thể tái sinh, cho biết mức độ căng thẳng của hệ thống nhất định đối với môi trường. Tỷ lệ này càng thấp thì áp lực môi trường càng giảm.

Chỉ số bền vững emergy (EmSI):

$$EmSI = \frac{EYR}{ELR} \quad (5)$$

EmSI có tính đến cả khả năng tương thích về sinh thái và kinh tế, cho biết liệu một quy trình cung cấp cho người sử dụng áp lực môi trường thấp hay cao, phản ánh tính bền vững tổng thể của một quy trình sản xuất. Chỉ số này càng cao thì tính bền vững của hệ thống càng cao.

Tỷ lệ phản hồi emergy (EFR):

$$EFR = \frac{SF}{RP+NP} \quad (6)$$

trong đó: System feedback (SF) là emergy phản hồi nội tại của hệ thống, thể hiện các dòng năng lượng được tái sử dụng và tuần hoàn bên trong hệ thống; EFR là tỷ lệ giữa năng suất phản hồi của hệ thống so với sản lượng được mua từ nền kinh tế, thể hiện khả năng tự tổ chức của hệ thống. Chỉ số này càng cao thì hệ thống chuyển động bên trong càng mạnh [28].

Tính bền vững của một hệ thống phản ánh hiệu suất toàn diện của hệ thống về hiệu quả và áp lực môi trường. Một hệ thống bền vững sẽ gây ra ít tải môi trường hơn để duy trì nguồn cung cấp tài nguyên, đồng thời tạo ra nhiều đầu ra hơn để đóng góp cho môi trường. EmSI là tỷ lệ của EYR và ELR, đánh giá tính bền vững qua chỉ số bền vững emergy (EmSI) có các trường hợp sau:

EmSI<1: không bền vững.

1<EmSI<10: ranh giới giữa bền vững và không bền vững.

EmSI>10: bền vững.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Đề xuất mô hình tích hợp cho khu vực canh tác cây thanh long

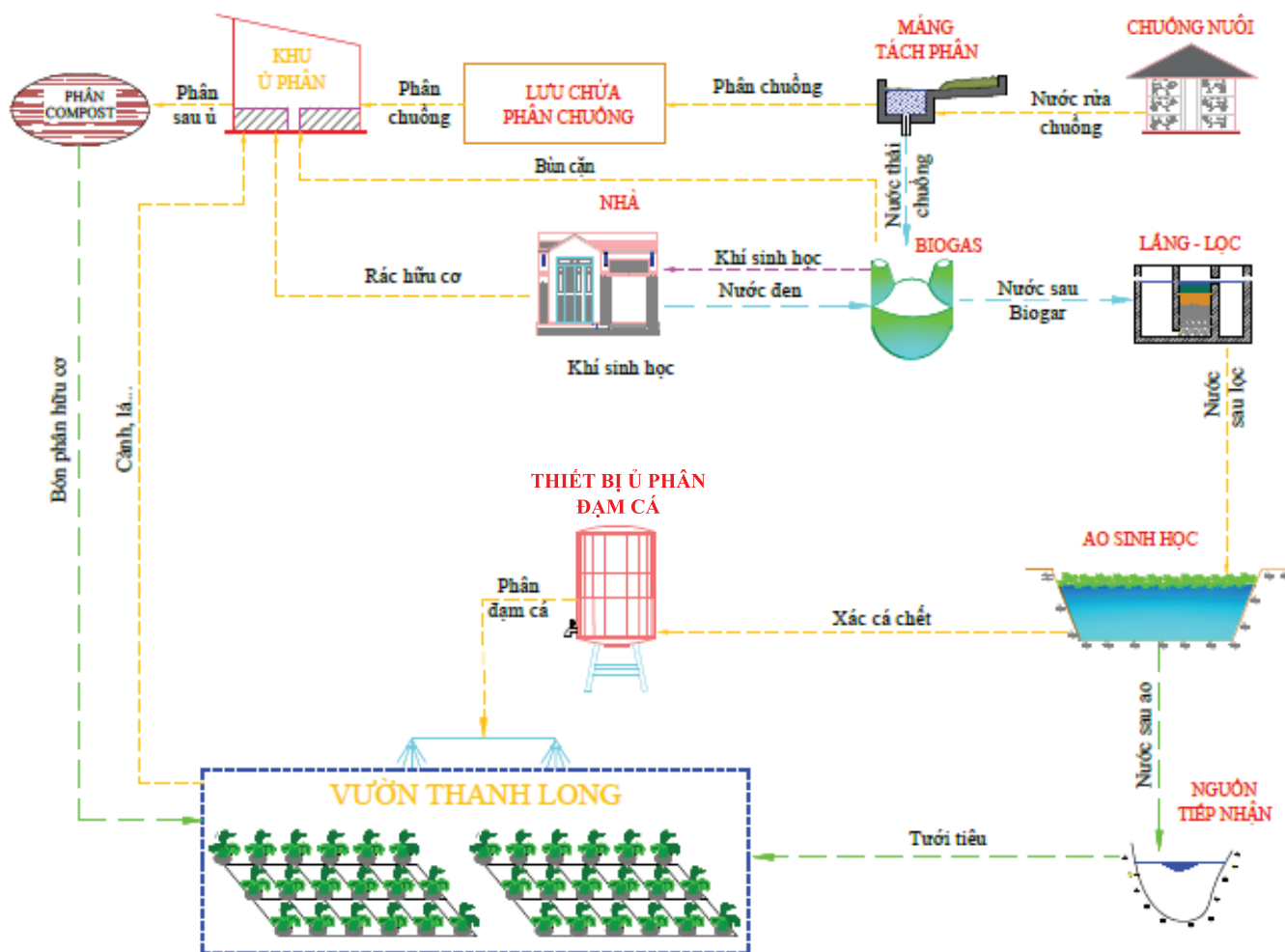
Phương án xử lý ô nhiễm đề xuất dựa vào đặc điểm tự nhiên, hiện trạng môi trường tại chỗ để tạo ra sinh kế bền vững cho hộ trồng thanh long kết hợp chăn nuôi. Mô hình được đề xuất trong hình 3.

Cành thanh long tỉa bỏ: Được thu gom, chặt 3-5 cm, hoặc băm nhỏ bằng máy băm. Sau đó trộn với phân bò theo tỷ lệ 1:4 (1 phân bò:4 cành), bổ sung thêm chế phẩm sinh học Biofert UPC theo tỷ lệ 2-3 lít chế phẩm/tấn. Chế phẩm này chứa các vi sinh vật hiếu khí, *Bacillus* sp., *Lactobacillus* sp. giúp rút ngắn thời gian hoại mục của phân chuồng hoặc các phế, phụ phẩm nông nghiệp, ức chế sự phát triển của các loài vi sinh vật gây bệnh cho cây trồng, con người trong và sau quá trình ủ hoại. Phân bón hữu cơ sau quá trình ủ khoảng 8 tuần, thì khối lượng đạt khoảng 30% so với khối lượng nguyên ủ ban đầu, đồng ủ sẽ được đảo trộn liên tục cách nhau khoảng 7-10 ngày. Như vậy, với 55 tấn cành của

hộ dân sẽ phối trộn với 13,75 tấn phân bò từ chuồng, bổ sung 110 lít chế phẩm sinh học Biofert UPC sẽ được 20,625 tấn phân compost bón cho cây thanh long.

Phân bò: Được thu gom và dùng để ủ phân hữu cơ tại khu ủ phân cùng với cành thanh long. Toàn bộ lượng phân hữu cơ ủ được sẽ được bón cho cây thanh long.

Nước thải từ chuồng nuôi: Trung bình 0,5 m³/ngày đêm được thu toàn bộ vào biogas 8 m³. Nước thải sau biogas được dẫn vào bể lắng - lọc 3 ngăn thể tích trữ nước 3 m³ theo độ cao địa hình, tại đây đảm bảo lắng, lọc cặn cũng như giảm nồng độ COD, BOD₅, TSS sau biogas. Sau đó, toàn bộ nước thải sẽ được dẫn vào ao sinh học thể tích 20 m³, đảm bảo khả năng lưu nước 30-50 ngày trước khi tái sử dụng. Tại ao sinh học thả các loại thực vật dễ thích nghi và trồng các loại cây thủy sinh bản địa, có thể sử dụng để xử lý nước thải như lục bình, bèo, rau muống... Xác cá chết thu được tại ao sinh học sẽ được ủ làm đạm cá, dùng để cung cấp chất dinh dưỡng cho cây thanh long. Khí sinh học sinh ra từ biogas sẽ dùng cho nhu cầu nấu ăn của gia đình. Nước tại ao sinh học sau thời gian lưu chứa khoảng 3-15 ngày, có



Hình 3. Mô hình ứng dụng các sinh khối, điều kiện tự nhiên và môi trường sẵn có cho hộ trồng thanh long kết hợp chăn nuôi.

thể được sử dụng để tưới cho vườn thanh long. Rác hữu cơ từ nhà sẽ dùng làm phân compost. Rác vô cơ được thu gom bán phế liệu.

3.2. Đánh giá tính bền vững của mô hình tích hợp

3.2.1. Tính toán và đưa ra kết quả của chỉ số emergy

Đánh giá emergy là một phương pháp hoàn hảo cho quá trình tương tác giữa hệ thống con người và tự nhiên. Nghiên cứu này nhằm đánh giá tác động môi trường của hệ thống sinh thái tích hợp được triển khai cho hộ dân trồng thanh

Bảng 1. Kết quả tính toán các chỉ số emergy.

STT	Các dòng năng lượng	Giá trị thô	Đơn vị	Hệ số chuyển hóa (SeJ/dv)	Solar emergy (SeJ/yr)
Nguồn tài nguyên tái tạo (RR)					
1	Năng lượng mặt trời	2,64E+08	J/yr	1	2,64E+08
2	Gió	3,54E+05	J/yr	2,45E+03	8,67E+08
3	Mưa	8,46E+08	J/yr	3,10E+04	2,62E+12
Nguồn tài nguyên không tái tạo (NR)					
4	Đất	2,00E+04	J/yr	1,24E+05	2,48E+09
Các đầu vào tái tạo và không tái tạo được (RP+NP)					
Chuồng bò					
5	Thức ăn nhuỷễn	2,00E+02	kg/yr	1,07E+13	2,14E+15
6	Cám gạo	4,00E+02	kg/yr	1,31E+05	5,24E+07
7	Cỏ	4,00E+03	kg/yr	1,15E+05	4,60E+08
8	Nước	2,27E+05	kg/yr	7,49E+08	1,70E+14
9	Xi măng	8,75E+02	kg/yr	4,88E+11	2,74E+14
10	Gạch	5,32E+03	kg/yr	4,88E+11	1,59E+15
Bể biogas					
11	Khí	1,71E+03	kg/yr	1,24E+05	2,12E+08
12	Nước thải	2,92E+03	kg/yr	6,12E+06	1,78E+10
13	Xi măng	5,00E+02	kg/yr	4,88E+11	2,44E+14
14	Gạch	1,14E+03	kg/yr	4,88E+11	5,56E+14
Ao cá					
15	Thức ăn	5,00E+02	kg/yr	1,07E+13	5,35E+15
16	Ấu trùng cá	1,00E+02	kg/yr	5,60E+05	5,60E+07
Vườn thanh long					
17	Phân bón hữu cơ	2,50E+04	kg/yr	1,24E+05	3,10E+09
18	Cây con	1,10E+03	J/yr	2,57E+05	2,83E+08
19	Cây rom	3,40E+03	kg/yr	1,31E+05	4,45E+08
Tổng:					
Năng lượng sản sinh (EP)					
20	Bò	3,97E+10			
21	Trái thanh long	3,50E+07			
22	Khí sinh học	1,37E+10			
23	Cá	1,95E+10			

long, các hệ số chuyển đổi năng lượng là giá trị kế thừa từ các nghiên cứu trước [34]. Trồng thanh long và chăn nuôi kết hợp thủy sản có nhiều tương tác với môi trường xung quanh, sử dụng tài nguyên và tạo ra những thay đổi trong hệ sinh thái khi được đánh giá. Kết quả cho thấy, các nguồn sinh khối tái chế ảnh hưởng đến cấu trúc đầu vào emergy của các hệ thống, mặc dù tất cả chúng đều được bón vào quá trình canh tác thanh long dưới dạng phân hữu cơ. Hơn nữa, dòng emergy cục bộ không tái tạo của hệ thống giảm 30% so với ban đầu, phản ánh rằng sinh khối tái chế góp phần làm giảm việc khai thác tài nguyên không tái tạo từ đất dự trữ.

- Năng lượng mặt trời = Diện tích x Độ chói x (1-Độ phản chiếu) = $(2,00E + 5 \text{ m}^2) \times (1,65E + 3 \text{ cd/m}^2) \times (1-20\%) = 2,64E + 08 \text{ J/yr}$.

- Năng lượng gió = Diện tích x Mật độ không khí x Vận tốc gió trung bình x Thời gian làm việc hằng năm x Hệ số cản = $(2,00E + 5 \text{ m}^2) \times (1,23 \text{ kg/m}^3) \times (6 \text{ m/s})^3 \times (2,40E + 3) \times (0,01) = 3,54E + 05 \text{ J/yr}$.

- Năng lượng mưa = Diện tích x Lượng mưa x Tốc độ dòng chảy x Độ cao trung bình x Tỷ trọng x Trọng lượng = $(2,00E + 5 \text{ m}^2) \times (0,8 \text{ m}) \times (20\%) \times (2,70E + 1 \text{ m}) \times (1,00E + 3 \text{ kg/m}^3) \times 9,8 = 8,46E + 08 \text{ J/yr}$.

- Đất = 2 ha = $2,00E + 04 \text{ J/yr}$

- Chuồng bò (300 m^2):

+ Dài - Rộng - Cao = 15 - 20 - 2 m.

+ Thức ăn nhuỷễn = 200 kg = $2,00E + 2 \text{ kg/yr}$.

+ Cám gạo = 400 kg = $4,00E + 2 \text{ kg/yr}$.

+ Cỏ: $150 \text{ m}^2 = 100 \text{ kg cỏ} \rightarrow 3000 \text{ m}^2 = 2000 \times 2 \text{ kg} = 4000 \text{ kg} = 4,00E + 3 \text{ kg/yr}$.

+ Nước: 1 ngày 70 l cho 9 con $\rightarrow$ năm = $360 \times 9 \times 70 = 226800 \text{ l} = 2,27E + 5 \text{ kg/yr}$.

+ Xi măng: 1 bao = $4 \text{ m}^2 \rightarrow 300 \text{ m}^2$ (xây cho 3 mặt) = $8,75E + 2 \text{ kg/yr}$.

+ Gạch: $1 \text{ m}^2 = 76 \text{ viên} \rightarrow 300 \text{ m}^2 = 5,32E + 3 \text{ kg/yr}$.

- Bể biogas (8 m^3):

+ Khí cho ra là $4,7 \text{ m}^3 \text{ khí} \rightarrow 4,7 \times 365 = 1,71E + 3 \text{ kg/yr}$.

+ Nước thải = $8 \times 360 = 2,92E + 3 \text{ kg/yr}$.

+ Xi măng = $5,00E + 2 \text{ kg/yr}$.

+ Gạch = $1,14E + 3 \text{ kg/yr}$.

- Ao cá ($0,3 \text{ ha}$):

+ Ấu trùng cá = $50 \times 2 = 100 \text{ kg} = 1,00E + 2 \text{ kg/yr}$ (ước tính 50 kg ấu trùng sau khi nuôi ta có khoảng 2500 con cá trưởng thành).

+ Thức ăn cá = 10% khối lượng cá = $5,00E + 2 \text{ kg/yr}$.

- Vườn thanh long:

+ Phân bón hữu cơ = 25 tấn/ năm = $2,50E + 4 \text{ kg/yr}$.

+ Cây con = $1,10E + 3 \text{ J/yr}$.

+ Cây rom (1 cây 10 kg) = $3,40E + 3 \text{ kg/yr}$.

Theo kết quả tính toán emergy chi tiết của các yếu tố trong mô hình (bảng 1), sự cải thiện về tính bền vững của hệ thống thể hiện qua sự khác biệt về nguồn năng lượng đầu vào giữa mô hình canh tác truyền thống và mô hình trồng trọt - chăn nuôi kết hợp. Trong mô hình kết hợp, việc nuôi cá trong ao sinh học làm tăng lượng emergy đầu vào trong quá trình đánh giá hệ thống. Đối với điều kiện khu vực miền Trung, việc bố trí ao nuôi cá cần được đặt tại những khu vực phù hợp, chẳng hạn như vùng đồng bằng, nhằm nâng cao hiệu quả khai thác và sử dụng tài nguyên thiên nhiên. Tuy nhiên, các nguồn sinh khối khác nhau có đặc tính vật lý và hóa học khác nhau, dẫn đến sự khác biệt về chất lượng sinh khối tái chế. Điều này có thể ảnh hưởng đến khả năng cải thiện và duy trì độ phì đất phục vụ canh tác cây trồng. Vì vậy, cần tiến hành tính toán và đánh giá cụ thể mức độ đóng góp thực tế của sinh khối tái chế đối với hoạt động trồng trọt.

Bên cạnh đó, tồn tại 2 trường hợp trong thực tế để đánh giá hiệu quả emergy của hệ thống nông nghiệp được bón các loại phân hữu cơ khác nhau. Nếu sinh khối có thể tái chế thì xem như tuần hoàn bên trong hệ thống được đánh giá chính xác, tuy nhiên nếu sự đóng góp của dòng tái chế được đưa từ nguồn bên ngoài hệ thống thì kết quả đánh giá hiệu suất emergy của hệ thống tích hợp sẽ bị ảnh hưởng đáng kể (bảng 2) [24].

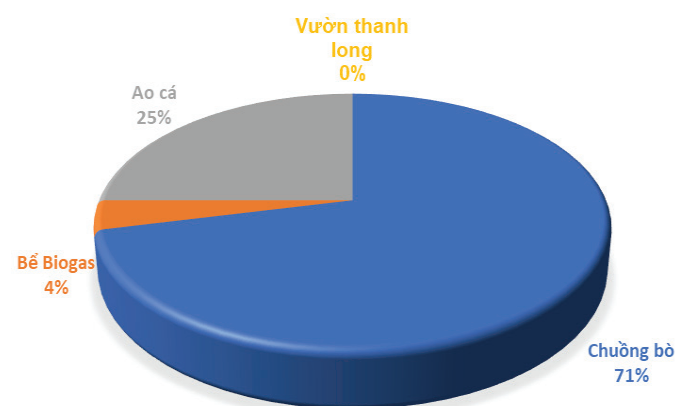
Bảng 2. Chỉ số emergy để đánh giá hệ thống.

Dòng năng lượng (Flux)	Giá trị	Đơn vị
Năng lượng có thể tái tạo (RR)	2,62E+12	SeJ/yr
Năng lượng không thể tái tạo được (NR)	2,48E+09	SeJ/yr
Năng lượng đầu vào tái tạo được (RP)	7,66E+15	SeJ/yr
Năng lượng đầu vào không tái tạo được (NP)	2,66E+15	SeJ/yr
Tổng mức emergy sử dụng (U)	1,03E+16	SeJ/yr
Chỉ số		
Chỉ số phần trăm năng lượng tái tạo (Pr)	0,74	
Tỷ lệ năng suất (EYR)	0,99	
Hệ số sức tải môi trường (ELR)	0,35	
Chỉ số bền vững emergy (EmSI)	2,8	

3.2.2. Đánh giá chung về hiệu quả của mô hình

Bảng 1 liệt kê các chỉ số emergy được đánh giá của các dòng chảy tổng hợp liên quan đến hệ thống. Kết quả cho thấy, hóa năng của mưa cao hơn so với năng lượng bức xạ mặt trời, động năng gió nên giá trị của nó được lấy làm giá trị (2,62E+12) đầu vào của năng lượng có thể tái tạo (RR). Đối với năng lượng không thể tái tạo, ta chỉ có đất nên lấy giá trị (2,48E+09) của đất làm giá trị năng lượng tài nguyên không thể tái tạo. Các đầu vào tái tạo và không tái tạo

được (RP+NP) bao gồm những đầu vào được mua từ nền kinh tế, chẳng hạn như thức ăn chăn nuôi, cám gạo, xi măng, gạch... cung cấp các chi tiết về các yếu tố đầu vào hệ thống (hình 4). Năng lượng sản sinh (Ep) 7,29E+10 J/yr chủ yếu bao gồm bốn sản phẩm là bò, cá, khí sinh học và trái thanh long. Trong đó, cá và thanh long được đưa trực tiếp ra thị trường, khí sinh học được sử dụng bởi hộ gia đình và cắt giảm lượng than mua từ thị trường.



Hình 4. Tỷ lệ phần trăm các chỉ số emergy của hệ thống.

Kết quả cho thấy, tổng mức emergy sử dụng (U) là 1,03E+16 SeJ/yr, trong đó các năng lượng đầu vào tái tạo và không tái tạo chiếm ưu thế cao nhất tới 99,8%. Ngược lại, các năng lượng tài nguyên tái tạo và không tái tạo chỉ chiếm 0,2%, cả hai đều cung cấp bởi môi trường tự do và biểu thị hỗ trợ trực tiếp từ thiên nhiên. Hai phần này được tính tổng cộng là 2,62E+12. Bảng 2 cho thấy, tỷ lệ năng suất của hệ thống là 0,99, có nghĩa là không có đơn vị tài nguyên môi trường miễn phí có thể được khai thác khi một đơn vị đầu vào đã mua được đầu tư vào hệ thống này. ELR của hệ thống là 0,35 cho thấy, năng lượng tái tạo được sử dụng trong hệ thống này nhiều hơn năng lượng không tái tạo, trong khi chỉ số ELR của hệ thống nông nghiệp thông thường không có tuần hoàn chất thải là 1,97. Hơn nữa, kết hợp EYR, ELR, EmSI đưa ra một phân tích toàn diện về tính bền vững của hệ thống này, và được tính là 2,8 cao hơn so với hệ thống nông nghiệp thông thường là 0,57 [34]. Cho thấy rằng, hệ thống xử lý chất thải cho hoạt động nông nghiệp theo hướng tích hợp có tính bền vững cao hơn. Tính bền vững của mô hình được trình bày bởi chỉ số EmSI, chỉ số càng cao thì khả năng bền vững của mô hình càng cao [29]. Kết quả nghiên cứu này cho thấy, điểm mấu chốt đối với một hệ thống nông nghiệp xử lý chất thải tích hợp là khả năng tái chế chất thải nông nghiệp và tài nguyên thiên nhiên tái tạo tại địa phương bằng cách đầu tư vào các nguồn lực bên ngoài và sử dụng các nguồn lực tái tạo tại địa phương.

4. Kết luận

Ảnh hưởng của tài nguyên được tái chế đến hiệu quả emergy và tính bền vững của các hệ thống được nghiên cứu không được thể hiện một cách toàn diện và hợp lý ở một mức độ nào đó. Điểm mấu chốt của việc cải thiện vấn đề là làm thế nào để phân bổ năng lượng được sử dụng, hay quy đổi trên một đơn vị sinh khối chất thải được tái chế trong các mô hình tích hợp. Tuy nhiên, phân tích emergy đã được thực hiện để đánh giá một cách định hướng mối liên hệ giữa môi trường tự nhiên và xã hội con người. Phân tích emergy đã cho thấy rõ vai trò quan trọng của tài nguyên môi trường nước, đất và hoạt động sản xuất nông nghiệp đối với sự phát triển kinh tế của người dân. Ngăn ngừa ô nhiễm môi trường và sử dụng bền vững tài nguyên là rất cần thiết. Phân bổ đầu tư cho các nguồn năng lượng không tái tạo cần được điều chỉnh phù hợp dựa trên sự sẵn có của tài nguyên môi trường. Hơn nữa, nhu cầu sử dụng tài nguyên của người dân cũng nên được duy trì một cách tương xứng với khả năng cung cấp của thiên nhiên. Các giải pháp chiến lược để có được sự phát triển bền vững cho mô hình sinh thái tích hợp khép kín cần được tiếp tục nghiên cứu.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ trong khuôn khổ Đề tài độc lập cấp quốc gia “Nghiên cứu các giải pháp phát triển sinh kế bền vững cho các cộng đồng dân cư nông thôn tỉnh An Giang gắn với sử dụng hợp lý tài nguyên, quản lý chất thải và bảo vệ môi trường” (mã số ĐTĐL.CN-71/21). Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Ministry of Industry and Trade (2024), *Vietnam's Dragon Fruit Export Potential*, Trade Information Center (in Vietnamese).

[2] V. Kiangte, S. Lalmangaihzuala, Z.T. Laldinpuii, et al. (2023), “Novel dragon fruit peel ash-derived solid catalyst for biodiesel production and PET waste recycling”, *Bioresource Technology Reports*, **24**, DOI: 10.1016/j.biteb.2023.101663.

[3] P.N.V. Hoang (2023), “Study on treatment of dragon fruit peel waste using black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) with different substrate mixing ratios”, *Journal of Natural Resources and Environment*, **45**, pp.121-134 (in Vietnamese).

[4] D.H. Sam (2023), “Study on methylene blue adsorption capacity of biochar produced from dragon fruit branches (*Hylocereus* sp.)”, *Can Tho University Journal of Science*, **59(5)**, pp.72-78 (in Vietnamese).

[5] D.T.M. Linh, N.T.Q. Mai, P.T.P. Thuy (2020), “Optimization of microwave-assisted extraction of betacyanin from dragon fruit peel (*Hylocereus undatus*)”, *Hue University Journal of Science: Natural Science*, **129(1A)**, pp.11-20 (in Vietnamese).

[6] N.V.N. Hoa (2024), “Ultrasound-assisted extraction of betacyanin from dragon fruit peel (*Hylocereus undatus*): Extraction parameters, stability and biological activity”, *Can Tho University Journal of Science*, **60**, pp.287-298 (in Vietnamese).

[7] V.T.T. Dao (2017), “Study on extraction and preservation of natural pigments from red-fleshed dragon fruit peel”, *Dong Thap University Journal of Science*, **27**, pp.88-93 (in Vietnamese).

[8] V.V.S. Toan (2020), “Use of dragon fruit stem powder (*Hylocereus undatus*) for fermentation by *Bacillus* spp.”, *Can Tho University Journal of Science*, **56(4)**, pp.61-70 (in Vietnamese).

[9] T.T. Hieu, N.T.P. Thao, L.T. Hai, et al. (2020), “The integrated model of industry-agriculture towards sustainable development: A pilot model in Cho Moi district, An Giang province”, *VNUHCM Journal of Earth Science, Environment and Sustainability*, **4(2)**, pp.188-196, DOI: 10.32508/stdjsee.v4i2.523.

[10] T.T. Kien, H.T.T. Dong, H.T. Nguyen, et al. (2023), “Research on evaluating the efficiency of nutrient recovery (N, P) in an integrated ecological system for catfish farming”, *Science and Technology Development Journal: Science of The Earth and Environment*, **7(2)**, pp.702-714, DOI: 10.32508/stdjsee.v7i2.742.

[11] T. Swarnam, A. Velmurugan, T. Subramani, et al. (2024), “Climate-smart crop-livestock integrated farming as a sustainable agricultural strategy for humid tropical islands”, *International Journal of Agricultural Sustainability*, **22(1)**, DOI: 10.1080/14735903.2023.2298189.

[12] B. Sharma, U.K. Singh, P. Singh, et al. (2019), “Recycling of organic wastes in agriculture: an environmental perspective”, *International Journal of Environmental Research*, **13**, pp.409-429, DOI: 10.1007/s41742-019-00175-y.

[13] Z. Xu, W. Fan, X. Dong, et al. (2020), “Analysis of the functional orientation of agricultural systems from the perspective of resource circulation”, *Journal of Cleaner Production*, **258**, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120642.

[14] M. Tripathi, D. Diwan, A.C. Shukla, et al. (2024), “Valorization of dragon fruit waste to value-added bioproducts and formulations: A review”, *Critical Reviews in Biotechnology*, **44(6)**, pp.1061-1079, DOI: 10.1080/07388551.2023.2254930.

[15] O. Cortner, J. Ferreira, M.T. Niles, et al. (2019), “Perceptions of integrated crop-livestock systems for sustainable intensification in the Brazilian Amazon”, *Land Use Policy*, **82**, pp.841-853, DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.01.006.

[16] G. Liu, Y. Hao, L. Dong, et al. (2017), “An emergy-LCA analysis of municipal solid waste management”, *Resources, Conservation and Recycling*, **120**, pp.131-143, DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.12.003.

[17] N.C. Londono, H. Cabezas, K. Baracza, et al. (2022), “Integrated sustainability assessment: Exergy, emergy, life cycle assessment”, *Frontiers in Sustainability*, **3**, DOI: 10.3389/frsus.2022.921874.

- [18] B. Yang, W. Jia, Y. Yu, et al. (2024), “Sustainability assessment of agricultural waste biogas production system in China based on emergy and carbon evaluation methods”, *Agriculture*, **14**(11), DOI: 10.3390/agriculture14111912.
- [19] X. Lei, B. Liang, L. Feng, et al. (2024), “Emergy-based evaluation of production efficiency and sustainability of diversified multi-cropping systems in the Yangtze River Basin”, *Frontiers in Plant Science*, **15**, DOI: 10.3389/fpls.2024.1454130.
- [20] L.P. Amaral, N. Martins, J.B. Gouveia (2016), “A review of emergy theory, its application and latest developments”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **54**, pp.882-888, DOI: 10.1016/j.rser.2015.10.048.
- [21] M.T. Brown, S. Ulgiati (2002), “Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems”, *Journal of Cleaner Production*, **10**(4), pp.321-334, DOI: 10.1016/S0959-6526(01)00043-9.
- [22] D. Nilsson (1997), “Energy, exergy and emergy analysis of using straw as fuel in district heating plants”, *Biomass and Bioenergy*, **13**(1-2), pp.63-73, DOI: 10.1016/S0961-9534(97)00025-1.
- [23] M.T. Brown, S. Ulgiati (2004), “Emergy analysis and environmental accounting”, *Encyclopedia of Energy*, **2**(1), pp.329-354.
- [24] X. Dong, S. Ulgiati, M. Yan, et al. (2008), “Energy and emergy evaluation of bioethanol production from wheat in Henan Province, China”, *Energy Policy*, **36**(10), pp.3882-3892, DOI: 10.1016/j.enpol.2008.04.027.
- [25] C.L.F. Pereira, E. Ortega (2010), “Sustainability assessment of large-scale ethanol production from sugarcane”, *Journal of Cleaner Production*, **18**(1), pp.77-82, DOI: 10.1016/j.jclepro.2009.09.007.
- [26] W.A. Pippo, J. Rocha, J.M. Perez (2004), “Emergy evaluation of bio-oil production using sugarcane biomass residues at fast pyrolysis pilot in Brazil”, *Proceedings of The IV Biennial International Workshop “Advances in Energy Studies”*, Unicamp, Campinas, Brazil.
- [27] O. Cavalett, E. Ortega (2010), “Integrated environmental assessment of biodiesel production from soybean in Brazil”, *Journal of Cleaner Production*, **18**(1), pp.55-70, DOI: 10.1016/j.jclepro.2009.09.008.
- [28] G. Zhang, W. Long (2010), “A key review on emergy analysis and assessment of biomass resources for a sustainable future”, *Energy Policy*, **38**(6), pp.2948-2955, DOI: 10.1016/j.enpol.2010.01.032.
- [29] G. Liu, Y. Hao, Y. Zhang, et al. (2019), “Emergy analysis of urban domestic water metabolism: A case study in Beijing (China)”, *Journal of Cleaner Production*, **234**, pp.714-724, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.06.231.
- [30] Y. Qi, X. Zhang, X. Yang, et al. (2018), “The environmental sustainability evaluation of an urban tap water treatment plant based on emergy”, *Ecological Indicators*, **94**, pp.28-38, DOI: 10.1016/j.ecolind.2018.06.042.
- [31] F.M. Pulselli, N. Patrizi, S. Focardi (2011), “Calculation of the unit emergy value of water in an Italian watershed”, *Ecological Modelling*, **222**(16), pp.2929-2938, DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2011.04.021.
- [32] X.H. Zhang, J. Wu, W. Jiang, et al. (2010), “A sustainability analysis of a municipal sewage treatment ecosystem based on emergy”, *Ecological Engineering*, **36**(5), pp.685-696, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2009.12.010.
- [33] X. Zhang, Y. Wei, M. Li, et al. (2014), “Emergy evaluation of an integrated livestock wastewater treatment system”, *Resources, Conservation and Recycling*, **92**, pp.95-107, DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.09.003.
- [34] X. Wang, Z. Li, P. Long, et al. (2017), “Sustainability evaluation of recycling in agricultural systems by emergy accounting”, *Resources, Conservation and Recycling*, **117**, pp.114-124, DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.11.009.
- [35] Z. Wu, X. Guo, C. Lv, et al. (2018), “Study on the quantification method of water pollution ecological compensation standard based on emergy theory”, *Ecological Indicators*, **92**, pp.189-194, DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.09.052.
- [36] S.M. Shah, G. Liu, Q. Yang, et al. (2019), “Emergy-based valuation of agricultural ecosystem services and dis-services”, *Journal of Cleaner Production*, **239**, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118019.
- [37] C.D. Delgado, C.R. Fonseca, M.V. Esteller, et al. (2014), “The establishment of integrated water resources management based on emergy accounting”, *Ecological Engineering*, **63**, pp.72-87, DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.12.034.

Đặc điểm cấu trúc, sinh khối và đa dạng sinh học của một số trạng thái rừng tự nhiên trong phân khu phục hồi sinh thái tại Khu Bảo tồn thiên nhiên Hòn Bà

Nguyễn Trọng Minh^{1*}, Nguyễn Toàn Thắng¹, Hoàng Thanh Sơn², Lương Văn Dũng², Trần Hoàng Quý³, Nguyễn Văn Tuấn²

¹Trường Đại học Lâm nghiệp, xã Xuân Mai, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Nghiên cứu Lâm sinh, 46 Đức Thắng, phường Đông Ngạc, Hà Nội, Việt Nam

³Trường Đại học Đà Lạt, 1 Phù Đổng Thiên Vương, phường Lâm Viên - Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng, Việt Nam

Ngày nhận bài 3/1/2025; ngày chuyển phản biện 6/1/2025; ngày nhận phản biện 23/1/2025; ngày chấp nhận đăng 29/1/2025

Tóm tắt:

Phân khu phục hồi sinh thái của Khu bảo tồn thiên nhiên (KBTTN) Hòn Bà có diện tích khoảng 9.553,5 ha, gồm nhiều trạng thái rừng thường xanh núi đất đặc trưng. Bài báo sử dụng phương pháp điều tra trên các ô tiêu chuẩn (OTC) có diện tích 1.000 m² (33,3x30,0 m) được bố trí tạm thời và diễn hình trên các trạng thái của khu vực nghiên cứu để xác định một số đặc điểm về cấu trúc rừng, sinh khối và đa dạng sinh học (ĐDSH). Kết quả cho thấy, phân bố số cây theo cấp đường kính ($n/D_{1,3}$) và số cây theo cấp chiều cao (n/H_{vn}) có sự tương đồng giữa các trạng thái và tập trung nhiều tại cỡ đường kính và chiều cao nhỏ. Trữ lượng dao động từ 36,7 đến 221,7 m³/ha và sinh khối dao động từ 30,16 đến 247,54 tấn/ha. Các trạng thái rừng ghi nhận từ 12 đến 36 loài cây gỗ, trong đó từ 6 đến 10 loài có ý nghĩa cao về sinh thái. Khu vực nghiên cứu có sự giảm mạnh về các chỉ tiêu mật độ, trữ lượng, số lượng loài và chỉ số ĐDSH so với mặt bằng chung. Từ đó cho thấy, khu vực nghiên cứu đang đối mặt với nhiều thách thức trong việc phục hồi và phát triển rừng liên quan đến tốc độ phục hồi của các trạng thái rừng trong phân khu phục hồi sinh thái.

Từ khóa: cấu trúc rừng, đa dạng sinh học, Hòn Bà, phân khu phục hồi sinh thái, sinh khối.

Chỉ số phân loại: 4.4, 4.6

Structure, aboveground biomass and biodiversity of selected natural forest states in the ecological restoration zone of the Hon Ba Natural Reserve

Trong Minh Nguyen^{1*}, Toan Thang Nguyen¹, Thanh Son Hoang², Van Dung Luong², Hoang Quy Tran³, Van Tuan Nguyen²

¹Vietnam National University of Forestry, Xuan Mai Commune, Hanoi, Vietnam

²Forest Science Institute of Vietnam, 46 Duc Thang Street, Dong Ngac Ward, Hanoi, Vietnam

³Da Lat University, 1 Phu Dong Thien Vuong Street, Lam Vien Ward, Da Lat City, Lam Dong Province, Vietnam

Received 3 January 2025, revised 23 January 2025, accepted 29 January 2025

Abstract:

The ecological restoration zone of Hon Ba Nature Reserve covers approximately 9,553.5 hectares and comprises a variety of characteristic evergreen broadleaf forest states. A field survey was conducted using temporary standard plots (1,000 m², 33.3x30.0 m) established in typical forest states of the study area to determine several forest characteristics, including forest structure, biomass, and biodiversity. The results indicated that the distribution of trees by diameter class ($n/D_{1,3}$) and height class (n/H_{vn}) was similar among forest states, exhibiting a concentration in small diameter and height classes. Standing volume ranged from 36.7 to 221.7 m³/ha, while biomass ranged from 30.16 to 247.54 tonnes/ha. The total number of forest tree species observed in the forest states ranged from 12 to 36, of which 6 to 10 species had high ecological significance. The study area exhibited a notable decline in stand density, volume, species richness, and biodiversity index in comparison to general regional levels. This suggests that the study area has confronted considerable challenges pertaining to forest restoration and development, particularly with regard to the recovery rates of forest states distributed within the ecological restoration zone.

Keywords: biodiversity, biomass, ecological restoration zone, forest structure, Hon Ba.

Classification numbers: 4.4, 4.6

*Tác giả liên hệ: Email: minhnguyen1408@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Rừng tự nhiên có vai trò quan trọng trong việc bảo vệ nguồn nước, môi trường và duy trì ĐDSH, từ đó giúp điều hòa khí hậu, giảm lũ lụt và là nơi cư trú của nhiều loài quý hiếm. Giá trị của rừng phụ thuộc vào cấu trúc, trữ lượng và tính ĐDSH [1]. Cấu trúc phức tạp và ĐDSH cao giúp rừng chống chịu tốt hơn trước các tác động tiêu cực và cung cấp các dịch vụ hệ sinh thái quan trọng [2]. Tuy nhiên, rừng đang đối mặt với nhiều mối đe dọa như phá rừng, suy thoái rừng... dẫn đến suy giảm ĐDSH toàn cầu [3].

KBTTN Hòn Bà là khu rừng đặc dụng quan trọng có sự phong phú cao về thảm thực vật và động vật rừng, được xem là nơi còn lưu giữ lại cấu trúc tương đối nguyên sinh của dãy núi Trường Sơn Nam và chứa đựng nhiều giá trị độc đáo về ĐDSH. Thảm thực vật khu vực có khoảng 1445 loài thuộc 708 chi và 174 họ, trong đó có 209 loài quý hiếm thuộc Sách đỏ Việt Nam. Hệ động vật rừng có 402 loài thuộc 29 bộ, 105 họ nằm trong 4 lớp thú, chim, bò sát và ếch nhái, đặc biệt có sự hiện diện các đàn Chà vá chân đen và Vượn bạc má [4]. Để có thể thực hiện tốt công tác bảo vệ và phát triển rừng, các đặc điểm về cấu trúc, ĐDSH cũng như sinh khối có vai trò rất quan trọng để đề xuất được các hoạt động phục hồi rừng hiệu quả. Điều này trở nên quan trọng hơn đối với các khu vực rừng thuộc phân khu phục hồi sinh thái, nơi xuất hiện nhiều sự tác động bất lợi đến sự sinh trưởng và phát triển rừng làm cho cấu trúc rừng không tuân theo quy luật tự nhiên. Ngoài ra, các nghiên cứu tại KBTTN Hòn Bà trước đây thường tập trung vào phân khu bảo vệ nghiêm ngặt nơi được quản lý và bảo vệ tốt. Các đặc điểm cấu trúc, sinh khối và ĐDSH ở trạng thái rừng tự nhiên phân khu phục hồi sinh thái còn nhiều giới hạn. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm làm rõ những đặc trưng về cấu trúc rừng, sinh khối cũng như đặc điểm ĐDSH tại phân khu phục hồi sinh thái tại KBTTN Hòn Bà làm cơ sở cho xây dựng các phương án phục hồi và phát triển rừng tại khu vực.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Địa điểm nghiên cứu

KBTTN Hòn Bà có tọa độ địa lý 12°01'45" đến 12°12'00" vĩ độ Bắc; 108°53'45" đến 109°02'34" kinh độ Đông, được thành lập theo Quyết định số 98/2005/QĐ-UBND của UBND tỉnh Khánh Hòa (trước sáp nhập). Khu vực có tổng diện tích tự nhiên là 19.285,83 ha, thuộc vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa. Khí hậu được chia làm 2 khu vực: (1) vùng đỉnh Hòn Bà (>1.000 m) có đặc trưng của

kiểu khí hậu á nhiệt đới núi trung bình, nhiệt độ trung bình năm dao động 14,1 đến 19,8°C, lượng mưa trung bình năm có thể đạt 2.000-2.750 mm, độ ẩm không khí trung bình năm đạt trên 85%, sương mù xuất hiện gần như quanh năm; (2) Vùng thấp, sườn chân (<1.000 m), có khí hậu nhiệt đới gió mùa, nhiệt độ trung bình năm dao động 23-26°C, lượng mưa trung bình năm 2.000-2.400 mm, độ ẩm không khí trung bình năm đạt 80% [4].

2.2. Phương pháp thu thập số liệu

Xác định trạng thái rừng theo Thông tư số 33/2018/TT-BNNPTNT và số 16/2023/TT-BNNPTNT của Bộ trưởng Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, nay là Bộ Nông nghiệp và Môi trường.

Lập OTC sử dụng phương pháp OTC ngẫu nhiên tạm thời. Vị trí OTC được xác định trên bản đồ và sử dụng GPS cầm tay để xác định vị trí ngoài thực địa đảm bảo vị trí không lệch quá 10 m so với bản đồ. Trên thực địa lập OTC tạm thời có diện tích 1.000 m² (33,3x30,0 m). Tổng số OTC đã thiết lập là 10. Trong OTC, xác định tên loài cây [5]; đo đường kính ngang ngực ($D_{1,3}$) bằng thước dây với độ chính xác 0,1 cm cho tất cả cây có $D_{1,3} \geq 6$ cm và chiều cao vút ngọn (H_{vn}) bằng thước Blume - Leiss với độ chính xác 0,5 m.

2.3. Phương pháp xác định sinh khối và thể tích cây đứng

- Tiết diện ngang bình quân ($G_{1,3}$, m²):

$$\bar{G}_{1,3} = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n} \quad (1)$$

trong đó: $\bar{G}_{1,3}$ là tiết diện ngang trung bình (m²); G_i là tiết diện ngang cây thứ i ($G_i = \pi/4 * (D_{1,3})^2$); n là số cây trong OTC.

- Tỷ lệ tổ thành loài cây trên cơ sở chỉ số Important Value (IV) % được tính như sau [6]:

$$IV\% = \frac{(N\% + G\%)}{2} \quad (2)$$

trong đó: IV% là tỷ lệ % tổ thành của một loài nào đó so với tổng số loài cây; N% là tỷ lệ % theo số cây của một loài trong quần xã thực vật; G% là tỷ lệ % theo tổng tiết diện ngang của loài trong quần xã thực vật.

- Sinh khối khô trên mặt đất cây cá lẻ (AGB, kg) được tính như sau [7]:

$$AGB = 0,12843 \times D_{1,3}^{2,409074} \quad (3)$$

- Thể tích gỗ cây đứng (V , m³) (theo Thông tư 26/2022/TT-BNNPTNT).

$$V = (C_{1,3}^2 / 4\pi) \times H_{vn} \times f \quad (4)$$

trong đó: V là khối lượng gỗ được tính bằng thể tích (m³); C_{1,3} là chu vi tại vị trí 1,3 m của cây (m); π là hằng số pi (3,14); f là hình số thân cây (0,45).

- Chỉ số phong phú Margalef [8]:

$$d = \frac{S-1}{\ln N} \quad (5)$$

trong đó: S là tổng số loài trong mẫu, N là tổng số lượng cá thể trong mẫu.

- Chỉ số Shannon - Wiener (H') [9]:

$$H' = -\sum_{i=1}^m x p_i \ln p_i \quad (6)$$

trong đó: m là số loài; p_i=n_i/N là tỷ lệ số cây của loài i; n_i là số cây của loài i; N là tổng số cây của tất cả các loài.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Sử dụng phần mềm chuyên dụng Excel và SPSS để xử lý số liệu. So sánh đánh giá các chỉ tiêu (D_{1,3}, H_{vn}, G, M...) giữa đối tượng nghiên cứu được thực hiện theo phân tích phương sai ANOVA và so sánh thống kê với độ tin cậy 95%.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Đặc điểm cấu trúc lâm phần

Các trạng thái rừng tự nhiên trong khu vực nghiên cứu đều thuộc loại trạng thái rừng thường xanh núi đất, trong đó trạng thái rừng thường xanh kiệt (TXK) chiếm ~38% diện tích, trạng thái rừng thường xanh trung bình (TXB), chiếm ~16% diện tích, trạng thái rừng thường xanh nghèo (TXN), chiếm ~35% diện tích, rừng thường xanh giàu (TXG), chiếm ~11% diện tích và một số diện tích rừng hỗn giao gỗ tre nứa (HG1) nhỏ lẻ [4]. Kết quả xác định các đặc trưng lâm phần được mô tả tại bảng 1.

Bảng 1. Một số chỉ tiêu đặc trưng lâm phần phân khu phục hồi sinh thái.

Trạng thái	Mật độ (cây/ha)	D _{1,3} (cm)	H _{vn} (m)	G (m ² /ha)	M (m ³ /ha)	Tỷ lệ phẩm chất (%)		
						A	B	C
TXG	170	36,3±28,11	14,1±1,04	27,54	221,7	41	59	0
TXB	345	23,9±13,45	13,6±0,56	20,31	150,2	50	48	2
TXN	300	17,1±9,75	13,1±0,72	9,08	72,5	82	16	2
TXK	493	11,3±5,14	10,6±0,3	5,96	36,7	64	35	1
HG1	290	18,6±8,86	13,2±0,52	9,66	68,1	40	58	2

G: tiết diện ngang; M: trữ lượng.

Sử dụng phương pháp của Kruskal-Wallis trong SPSS cho thấy, có sự khác biệt về giá trị trung bình D_{1,3} giữa các trạng thái rừng (p<0,05) trong khi không có sự khác biệt về giá trị trung bình của H_{vn} (p>0,05). Đường kính bình quân trên các trạng thái dao động 11,3-36,3 cm, chiều cao bình quân dao động 10,6-14,1 m. Xu hướng biến động về D_{1,3}; H_{vn}; G và M của các trạng thái rừng thường xanh là tương tự nhau, đạt giá trị lớn nhất ở kiểu rừng TXG, giảm dần ở TXB, TXN và đạt thấp nhất tại TXK. Tổng G trong lâm phần 5,96-27,54 m²/ha. Trữ lượng dao động từ 36,7 (TXK) đến 221,7 m³/ha (TXG). Rừng TXG có tổng G và M cao nhất vì trạng thái này đã trải qua thời gian dài phục hồi và được bảo vệ tốt. Các kết quả nghiên cứu đặc điểm lâm học các trạng thái rừng cho thấy, trạng thái TXN và TXK đã bị tác động của con người ở các mức độ khác nhau, thể hiện qua sự khác biệt về M của từng OTC. Chỉ tiêu về trữ lượng của khu vực phục hồi sinh thái đều thấp hơn đáng kể ở TXG và TXB, tuy nhiên đường kính bình quân của các trạng thái này lại cao hơn khi so sánh với kết quả nghiên cứu trước đây [10]. Điều này có thể xuất phát từ việc phân khu phục hồi sinh thái nằm ở các khu vực dễ bị tiếp cận nên mức độ ảnh hưởng cao hơn, dẫn tới cấu trúc rừng không tuân theo quy luật tự nhiên. Điểm ghi nhận ở đây chính là việc bảo vệ và phục hồi rừng đã được thực hiện tốt thể hiện qua đặc điểm rừng sau khi bị tác động nhưng vẫn giữ được số lượng lớn các loài cây có cấp đường kính cao.

3.1.1. Cấu trúc mật độ và tổ thành

Cấu trúc mật độ và tổ thành địa điểm nghiên cứu được tổng hợp tại bảng 2.

Bảng 2. Cấu trúc tổ thành tầng cây cao ở các trạng thái rừng.

Trạng thái	Số loài	Mật độ (cây/ha)	Công thức tổ thành (IV%)
HG1	21	290	15,4 Ktn + 10,3 Ng + 9,3 Dea + 6,3 Lom + 6,0 Cuv + 5,9 Vat + 5,3 Trt + 41,5 LK
TXG	26	170	10,4 Cay + 7,2 Bun + 6,8 Ded + 6,8 Mat + 6,8 Ng + 6,5 Goi + 6,3 Vih + 5,5 Lom + 5,5 Sen + 5 Lov + 33,2 LK
TXB	12	345	37,1 Cod + 12,1 Trd + 9,5 Dem + 8,4 Del + 6,5 Chc + 6,1 Dud + 20,3 LK
TXN	16	300	16,8 Sen + 11,7 Dea + 10,9 Cuv + 9,9 Cod + 9,3 Chc + 8,1 Lom + 7,2 Sam + 6,4 Ng + 19,7 LK
TXK	36	493	9,5 Chs + 7,8 Khn + 7,1 Che + 6,4 Lov + 6,3 Lom + 5,0 Chc + 57,9 LK

Ktn: Kha thụ nguyên; Ng: Ngát; Dea: Dẻ ấn; Lom: Lòng mang; Cuv: Cuồng vàng; Vat: Vạng trứng; Trt: Trâm trắng; Cay: Cây; Bun: Bứa lá nhỏ; Ded: Dẻ đầu dài; Goi: Gội; Mat: Máu chó lá to; Vih: Vĩ hùng mã lai; Cod: Cóc đá; Trd: Trâm vỏ đỏ; Dem: Dẻ cọng mảnh; Del: Dẻ lổ; Chc: Chân chim; Dud: Dung đen; Sam: Săng máu; Chs: Chò sọt; Sen: Sến; Khn: Kha thụ nhím; Che: Chẹo tía; LK: loài khác.

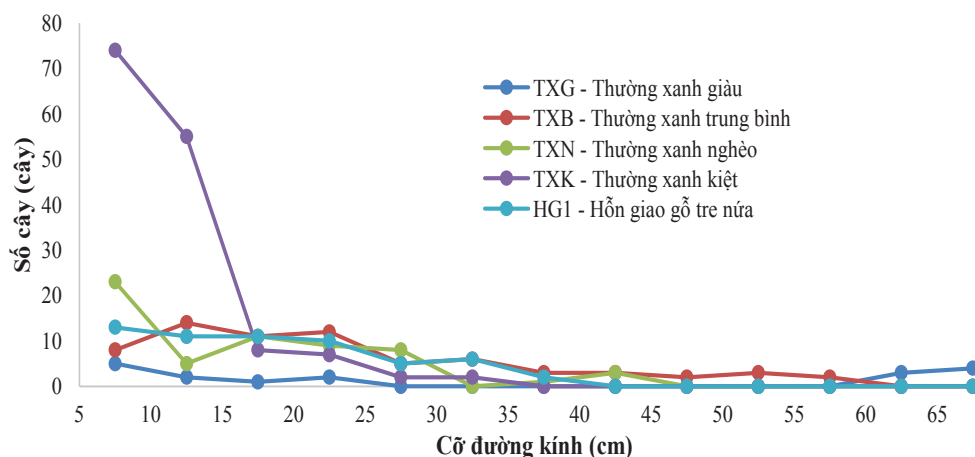
Mật độ cây đứng trong các trạng thái rừng có sự thay đổi rõ ràng, mật độ cao nhất được thấy ở TXK (493 cây/ha), thấp nhất ở TXG (170 cây/ha) và dao động 290-345 cây/ha ở các trạng thái HG1, TXB và TXN. Tổng số loài cây trong các OTC dao động 12-36 loài nhưng số loài tham gia vào cấu trúc tổ thành (CTTT) chỉ từ 6 đến 10 loài, đây là những loài có ý nghĩa về mặt sinh thái. CTTT của 5 trạng thái có một số loài cây có giá trị cao như Sến núi (*Madhuca alpina*), Dung đen (*Symplocos annamensis*), Cóc đá (*Garuga pinnata*)... Nhóm loài cây ưu thế có mặt ở 4/5 trạng thái, với các loài chủ yếu là Kha thụ nguyên (*Castanopsis ferox*), Trâm trắng (*Syzygium wightianum*), Dẻ ấn (*Castanopsis indica*), Dẻ dẫu dài (*Lithocarpus longipedicellatus*), Trâm vỏ đỏ (*Syzygium zeylanicum*), Dẻ cọng mảnh (*Lithocarpus stenopus*)... Những loài cây tham gia vào CTTT không chỉ có giá trị về mặt kinh tế, mà còn có giá trị sinh thái cao trong quá trình phục hồi rừng với vai trò là những cây tiên phong tạo lập và phục hồi hoàn cảnh rừng. Bên cạnh đó,

một số loài như Chân chim (*Schefflera chevalieri*), Ngát (*Gironniera subaequalis*), Lòng mang lá to (*Pterospermum grandiflorum*), Chẹo tía (*Engelhardia roxburghiana*), Lộc vừng (*Barringtonia coccinea*)... là những loài xuất hiện khá phổ biến trong các lâm phần nghiên cứu, tập trung chủ yếu ở các trạng thái TXN và TXK, đây còn là các loài ưa sáng, mọc chiếm ưu thế ở các kiểu rừng thường xanh kiệt. Nhìn chung, khu vực nghiên cứu có các đặc trưng về mật độ và CTTT tương đồng với nghiên cứu trước đây [10].

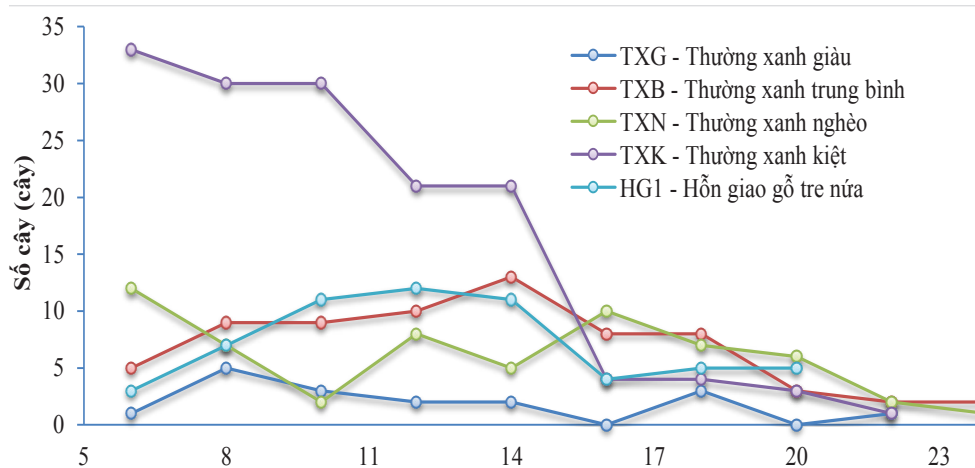
3.1.2. Cấu trúc $n/D_{1,3}$

Cấu trúc $n/D_{1,3}$ của 5 trạng thái rừng tự nhiên đều có dạng phân bố giảm với số cây tập trung nhiều nhất tại các cấp kính nhỏ (5-10; 10-15 cm), sau đó giảm dần về các cấp kính lớn (hình 1).

Kiểm tra bằng tiêu chuẩn χ^2 trong SPSS cho thấy, không có sự khác biệt mang ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$), có nghĩa các trạng thái rừng có phân bố $n/D_{1,3}$ tương đồng. Sự gián đoạn về số cây có $D_{1,3} \geq 27,5$ cm chỉ xuất hiện ở TXG, trong khi không có sự gián đoạn ở các trạng thái khác. Các cỡ đường kính lớn chỉ xuất hiện ở các trạng thái rừng có trữ lượng cao (TXB, TXG) với số cây thấp. Việc các trạng thái có số cây tập trung chủ yếu ở cấp đường kính nhỏ 10-20 cm có thể cho thấy rừng tự nhiên trong khu vực phân khu phục hồi sinh thái vẫn đang trong quá trình phát triển và chưa đạt tới cấu trúc rừng ổn định.



Hình 1. Phân bố $n/D_{1,3}$ cho các trạng thái thuộc phân khu phục hồi sinh thái.



Hình 2. Phân bố n/H_m cho các trạng thái thuộc phân khu phục hồi sinh thái.

Sự gián đoạn về cấp kính tại trạng thái TXG cho thấy, khu vực đã bị tác động mạnh trong quá khứ. Hơn nữa, sự gián đoạn ở nhiều cấp kính liên tục (27,5-57,5 cm), kết hợp với số cây ở các cấp kính lớn ít ($\geq 37,5$ cm) còn là dấu hiệu cho thấy sự phục hồi rừng trong khu vực ở tình trạng tương đối kém. Thực tế cho thấy, các diện tích rừng thuộc các trạng thái TXG hay TXB thường phân bố ở khu vực

cao, khó tiếp cận, làm cho việc thực hiện các biện pháp xúc tiến tái sinh, phục hồi rừng khó thực hiện [4]. Mặt khác, mặc dù số lượng cây tập trung nhiều ở cấp kính nhỏ nhưng sự khác biệt về số lượng cây ở các cấp kính tiếp theo là không lớn (ngoại trừ rừng TXK) cũng cho thấy, các trạng thái rừng này có mức độ cây tái sinh, hay sự phát triển của cây tái sinh là tương đối kém.

3.1.3. Cấu trúc n/H_{vn}

Đặc trưng phân bố n/H_{vn} có sự khác biệt giữa các trạng thái rừng. Đối với các trạng thái TXK, TXN, số cây tập trung nhiều ở cấp chiều cao nhỏ, sau đó giảm dần về cấp chiều cao lớn, trong khi đối với các trạng thái còn lại số cây, có xu hướng thấp ở cỡ chiều cao nhỏ, tăng dần và đạt cực đại, sau đó giảm ở các cấp chiều cao lớn (hình 2). Phần lớn chiều cao của các lâm phần tập trung ở cấp chiều cao nhỏ hơn 15 m.

Đặc trưng về phân bố n/H_{vn} tại khu vực phục hồi sinh thái thể hiện rất rõ cấu trúc chiều cao của các trạng thái rừng tự nhiên phục hồi sau khai thác. Ở các trạng thái rừng này có sự biến động về chiều lớn, không đồng đều. Ở trường hợp nghiên cứu, biến động về chiều dao động 5-24 m và trong nhiều trạng thái (TXN, TXB, TXG và HG1), đường phân bố n/H_{vn} có dạng hình răng cưa với nhiều đỉnh. Biến động này có sự khác biệt ở các trạng thái TXN, TXK so với phân bố n/H_{vn} của toàn vùng [10] và phản ứng mức độ tác động tại khu vực nghiên cứu.

3.2. Đặc điểm sinh khối và đa dạng sinh học của lâm phần

Đặc điểm về mật độ, sinh trưởng, sinh khối và ĐDSH của lâm phần được tổng hợp tại bảng 3 và 4.

Bảng 3. Mật độ, sinh trưởng và sinh khối rừng tự nhiên tại khu vực.

Trạng thái	Số cây (cây/ha)	$D_{1,3}$ (cm)	G (m^2/ha)	M (m^3/ha)	AGB (tấn/ha)
HG1	290	18,6±8,86	9,605	68,1	58,93
TXB	345	23,9±13,45	20,305	150,2	144,40
TXG	170	36,3±28,11	27,54	221,7	247,54
TXN	300	17,1±9,75	9,075	72,5	56,65
TXK	493	11,3±5,14	5,96	36,7	30,16

Biến động về sinh khối trên mặt đất của các trạng thái rừng đạt 30,16-247,54 tấn/ha và xu hướng biến động tương tự với biến động về trữ lượng cây đứng. Sinh khối ở các trạng thái rừng TXK, TXN và HG1 biến động chậm, sau đó

tăng mạnh ở các trạng thái TXB và TXG. Đặc điểm này là do ở các trạng thái rừng TXK mặc dù có số lượng cây lớn nhưng đường kính bình quân lại thấp, trong khi trạng thái TXK và HG1 có số lượng cây gỗ và $D_{1,3}$ khá tương đồng. Lượng AGB bình quân đạt 107,54 tấn/ha, cao nhất tại TXG và thấp nhất tại TXK.

Bảng 4. Chỉ số đa dạng loài của các trạng thái rừng [10].

Trạng thái	Số loài	d (Margalef)	Shannon-Wiener (H')		
HG1	21	4,93	2,87		
TXB	26	5,90	9,19*	3,05	3,57*
TXG	12	3,88	9,58*	2,34	3,64*
TXN	16	3,66	9,66*	2,55	3,56*
TXK	36	7,00		3,26	
Trung bình	22	5,08	9,48	2,82	3,59

*Theo kết quả so sánh với nghiên cứu của T.K. Hieu và cs [10].

Kết quả bảng 4 cho thấy, ở các trạng thái rừng nghiên cứu dao động 12-36 loài. Chỉ số phong phú loài Margalef (d) ở trạng thái rừng TXG là thấp nhất (3,88), cao nhất là ở trạng thái TXK (7,00). Chỉ số đa dạng loài Shannon-Wiener có giá trị 2,55 (TXN) đến 3,26 (TXK). Mức độ đa dạng loài ở khu vực phân khu phục hồi sinh thái chỉ được đánh giá ở mức trung bình. So sánh kết quả của nghiên cứu này với kết quả nghiên cứu trước đây cho thấy, khu vực này có các giá trị ĐDSH loài thấp hơn so với trung bình chung của KBTTN Hòn Bà (5,08 so với 9,48 cho chỉ số d và 2,82 so với 3,59 cho chỉ số H'). Mặc dù vậy, khu vực này vẫn có tính đa dạng cao hơn so với vườn quốc gia Bindoup - Núi Bà [11]. Trong những năm qua, tình hình quản lý rừng tự nhiên tốt hơn rõ rệt, chất lượng, trữ lượng rừng tăng dần theo diễn thế. Tuy nhiên, do tập quán sinh sống dựa nhiều vào rừng, cư trú trên các nương rẫy, người dân sống quanh khu vực có nhiều hoạt động sản xuất nông nghiệp tác động đến rừng [4]. Điều này cho thấy, để phát triển và bảo tồn ĐDSH cho phân khu phục hồi sinh thái, Ban quản lý KBTTN Hòn Bà cần có giải pháp phù hợp, nhằm quản lý bền vững ở phân khu này.

4. Kết luận

Phân khu phục hồi sinh thái tại KBTTN Hòn Bà có hầu hết các trạng thái rừng thường xanh núi đất gồm TXG, TXB, TXN, TXK và HG1. Kết quả phân tích của 10 OTC cho thấy, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê về $n/D_{1,3}$ giữa các trạng thái. Trữ lượng cây đứng dao động 36,7-221,7 m^3/ha và AGB dao động 30,16-247,54 tấn/ha. Mật độ cây tập trung nhiều ở các cấp kính nhỏ và rõ rệt ở

TXK. Các trạng thái rừng có xuất hiện 12-36 loài cây gỗ, nhưng số loài tham gia vào CTTT chỉ từ 6 đến 10 loài. Nhìn chung, khu vực nghiên cứu có sự giảm mạnh về các chỉ tiêu mật độ, trữ lượng, số lượng loài và chỉ số ĐDSH so với trung bình của KBTTN Hòn Bà. Các đặc điểm này đã cho thấy, khu vực phân khu phục hồi sinh thái đang đối mặt với nhiều thách thức trong việc phục hồi và phát triển rừng, liên quan đến tốc độ phục hồi của các trạng thái rừng phân bố trong khu vực nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T.V. Trung (1998), *Tropical Forest Ecosystems in Vietnam*, Science and Technics Publishing House, 179pp (in Vietnamese).
- [2] M.M. Georgina, N. Ken, H.F. Alastair (2012), “Biodiversity and ecosystem service: A multilayered relationship”, *Trends in Ecology and Evolution*, **27**, pp.19-26, DOI: 10.1016/j.tree.2011.08.006.
- [3] E. Dirzo, P.H. Raven (2003), “Global state of biodiversity and loss”, *Annual Review of Environment and Resources*, **28**, pp.137-167, DOI: 10.1146/annurev.energy.28.050302.105532.
- [4] Hon Ba Nature Reserve Management Board (2020), *Sustainable Forest Management Plan, 2020-2029* (in Vietnamese).
- [5] P.H. Ho (1993), *Plants of Vietnam*, Science and Technics Publishing House, 209pp (in Vietnamese).
- [6] D.C. Khanh (1996), *Study on Some Structural Characteristics of Evergreen Broad-leaved Forests in Huong Son - Ha Tinh as a Basis for Proposing Silvicultural Measures for Forest Exploitation and Cultivation*, PhD Thesis in Agricultural Sciences, Vietnam Academy of Forest Sciences (in Vietnamese).
- [7] B. Huy, K. Kralicek, K.P. Poudel, et al. (2016), “Allometric equations for estimating tree aboveground biomass in evergreen broadleaf forests of Viet Nam”, *Forest Ecology and Management*, **382**, pp.193-205, DOI: 10.1016/j.foreco.2016.10.021.
- [8] R. Margalef (1951), “Species diversity in natural communities”, *Publicaciones del Instituto de Biología Aplicada*, **9**, pp.5-28 (in French).
- [9] C.E. Shannon, W. Weaver (1949), *The Mathematical Theory of Communication*, University of Illinois Press, 117pp.
- [10] T.K. Hieu, H.V. Thoi, L.T. Quang, et al. (2022), “Structural characteristics and difference of evergreen broad-leaved forest in Hon Ba Nature Reserve, Khanh Hoa province”, *Journal of Forestry Science*, **4**, pp.78-86 (in Vietnamese).
- [11] N.V. Hop (2017), “Some timber tree characteristics of the pygmy forest type in Bidoup - Nui Ba National Park, Lam Dong province”, *Journal of Forest Science and Technology*, **3**, pp.27-35, DOI: 10.55250/jo.vnuf.2017.3.27-35 (in Vietnamese).

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 68 - Number 3 - March 2026

Ảnh hưởng của chất trợ tương hợp glycidyl methacrylate và khoáng sét montmorillonite đến tính chất và cấu trúc của blend PBAT/PLA.
Trương Thị Nguyệt Ánh, Hoàng Thị Hương, Đoàn Hoàng Linh, Nguyễn Tiến Đạt, Nguyễn Thị Thảo, Nguyễn Ngọc Diệp, Đặng Thảo Yến Linh, Đoàn Văn Hương, Chu Xuân Quang

Tiêu chuẩn đánh giá chất lượng trong nuôi cấy tế bào gốc và ngân hàng tế bào gốc.
Phạm Xuân Đà, Hoàng Thành Chí, Nguyễn Thị Hồng Hạnh, Nguyễn Phước Vinh, Bùi Thị Kim Lý, Vũ Văn Kiên

Nghiên cứu nhân giống loài Lan Hoàng thảo Thái Bình (*Dendrobium moschatum* Buch.-Ham. ex Sw.) bằng phương pháp nuôi cấy *in vitro*.
Julietta Albano Tiago, Phạm Phương Thu, Nguyễn Thị Tuyết Nhung, Phan Thị Thu Hiền, Vũ Thị Thương, Nguyễn Thị Tình

Tổng hợp và nghiên cứu tính chất của composite PbO_2 - SnO_2 trên nền thép không gỉ.
Phạm Thị Tót, Phan Thị Bình, Mai Thị Thanh Thủy

Chế tạo vật liệu hỗn hợp TiO_2 /HAP bằng phương pháp thủy nhiệt và ứng dụng quang xúc tác phân hủy phẩm màu dệt nhuộm.
Trần Minh Hiếu, Lê Đình Nam, Lương Hoàng Minh, Phạm Thị Hằng, Nguyễn Xuân Hoàn

Cảm biến điện hóa với điện cực làm việc biến tính bằng hạt nano siêu thuận từ Fe_3O_4 để phát hiện dư lượng chloramphenicol trong mẫu sữa.
Trần Văn Đình, Nguyễn Văn Khánh, Nguyễn Trường An, Lê Doãn Phúc, Phạm Tiến Thành, Nguyễn Đức Thiệu, Phạm Thế Tân, Hoàng Thị Bích Thủy, Nguyễn Thị Minh Hồng

Đánh giá tỷ lệ di căn hạch cổ trong ung thư amidan tại Bệnh viện Chợ Rẫy (2019-2024).
Trần Anh Bích, Hà Công Chánh

Đánh giá hiệu quả chương trình đào tạo “Cấp cứu sơ sinh” tại các bệnh viện của tỉnh Hà Nam.
Nguyễn Thị Quỳnh Nga, Phan Thị Nga, Quách Thị Hoa, Chu Lan Hương, Vương Thị Huyền Trang, Lê Thị Hồng, Nguyễn Huy Phú

Thực hành tuân thủ điều trị dự phòng trước phơi nhiễm HIV ở nam quan hệ tình dục đồng giới tại Thanh Hóa.
Vũ Phong Túc, Bùi Xuân Khánh, Trần Thị Phương

Ảnh hưởng của mật độ cấy và lượng phân bón hóa học đến sinh trưởng và năng suất giống lúa Hương Thanh 10 tại Thanh Hóa.
Tổng Văn Giang, Lê Huy Tuấn

Xây dựng hệ thống tái sinh *in vitro* phục vụ chuyển gen ở giống lạc L27 (*Arachis hypogaea* L.).
Vũ Thị Xuân Thủy, Lê Sỹ Bình

Đánh giá tính bền vững của mô hình sinh thái tích hợp trong canh tác thanh long bằng phân tích emergy.
Hồ Thị Thiên Kim, Đồng Thị Thu Huyền, Nguyễn Thanh Hùng, Lê Thanh Hải, Trần Thị Huệ, Nguyễn Thị Phương Thảo, Trần Trung Kiên

Đặc điểm cấu trúc, sinh khối và đa dạng sinh học của một số trạng thái rừng tự nhiên trong phục hồi sinh thái tại Khu Bảo tồn thiên nhiên Hòn Bà.
Nguyễn Trọng Minh, Nguyễn Toàn Thắng, Hoàng Thanh Sơn, Lương Văn Dũng, Trần Hoàng Quý, Nguyễn Văn Tuấn

1 Effect of glycidyl methacrylate compatibiliser and montmorillonite reinforcement on the properties and morphology of PBAT/PLA blends.
Thi Nguyet Anh Tuong, Huong Thi Hoang, Hoang Linh Doan, Tien Dat Nguyen, Thi Thao Nghiem, Ngoc Diep Nguyen, Thao Yen Linh Dang, Van Huong Doan, Xuan Quang Chu

10 Quality control standards for stem cell culture and stem cell banking.
Xuan Da Pham, Thanh Chi Hoang, Thi Hong Hanh Nguyen, Phuoc Vinh Nguyen, Thi Kim Ly Bui, Van Kien Vu

20 Research on the *in vitro* propagation of *Dendrobium moschatum* Buch.-Ham. ex Sw..
Julietta Albano Tiago, Phuong Thu Pham, Thi Tuyet Nhung Nguyen, Thi Thu Hien Phan, Thi Thuong Vu, Thi Tinh Nguyen

27 Synthesis and characterisation of PbO_2 - SnO_2 composite on a stainless steel substrate.
Thi Tot Pham, Thi Binh Phan, Thi Thanh Thuy Mai

33 Preparation of a hydroxyapatite-supported titanium oxide via the hydrothermal method for photocatalytic degradation of textile dyes.
Minh Hieu Tran, Dinh Nam Le, Hoang Minh Luong, Thi Hang Pham, Xuan Hoan Nguyen

40 Electrochemical detection of chloramphenicol residues in milk samples using a working electrode modified with Fe_3O_4 superparamagnetic nanoparticles.
Van Dinh Tran, Van Khanh Nguyen, Truong An Nguyen, Doan Phuc Le, Tien Thanh Pham, Duc Thieu Nguyen, The Tan Pham, Thi Bich Thuy Hoang, Thi Minh Hong Nguyen

50 Evaluation of cervical lymph node metastasis in tonsil cancer at Cho Ray Hospital (2019-2024).
Anh Bich Tran, Cong Chanh Ha

58 Assess the effectiveness of the “Neonatal resuscitation” training programme at hospitals in Ha Nam province.
Thi Quynh Nga Nguyen, Thi Nga Phan, Thi Hoa Quach, Lan Huong Chu, Thi Huyen Trang Vuong, Thi Hong Le, Huy Phu Nguyen

63 Adherence to HIV pre-exposure prophylaxis among men who have sex with men in Thanh Hoa province.
Phong Tuc Vu, Xuan Khanh Bui, Thi Phuong Tran

69 Effect of transplanting density and chemical fertiliser application rate on the growth and yield of Hương Thanh 10 rice variety in Thanh Hoa province.
Van Giang Tong, Huy Tuan Le

76 Development of an *in vitro* regeneration system for genetic transformation in peanut variety L27 (*Arachis hypogaea* L.).
Thi Xuan Thuy Vu, Sy Binh Le

82 Sustainability evaluation of an integrated ecological system for dragon fruit cultivation using emergy accounting.
Thi Thien Kim Ho, Thi Thu Huyen Dong, Thanh Hung Nguyen, Thanh Hai Le, Thi Hieu Tran, Thi Phuong Thao Nguyen, Trung Kien Tran

91 Structure, aboveground biomass and biodiversity of selected natural forest states in the ecological restoration zone of the Hon Ba Nature Reserve.
Trong Minh Nguyen, Toan Thang Nguyen, Thanh Son Hoang, Van Dung Luong, Hoang Quy Tran, Van Tuan Nguyen