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

TẬP 68, SỐ 2, THÁNG 2 NĂM 2026
VOLUME 68, NUMBER 2, FEBRUARY 2026

TẠP CHÍ KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

Vietnam Journal of Science and Technology - MOST

TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

Tập 68 - Số 2 - Tháng 2 năm 2026

B

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

Chủ tịch

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

Thành viên

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

Tổng biên tập

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

Phó Tổng biên tập

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

Ban biên tập

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

EDITORIAL BOARD

Chairman

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

Members

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

Editor-in-Chief

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

Deputy Editors-in-Chief

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

Managing Editors

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

TÒA SOẠN

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

GIẤY PHÉP XUẤT BẢN

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

Giá: 18000^{d}

EDITORIAL OFFICE

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

PUBLICATION LICENCE

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

Khảo sát thành phần hóa học, hoạt tính kháng vi sinh vật và kháng oxy hóa của cao chiết từ vỏ lụa hạt điều (*Anacardium occidentale* L.)

Nguyễn Thị Dung, Nguyễn Văn Toàn, Phạm Hải Sơn, Bùi Lê Khả Tú, Nguyễn Thị Liễu, Bùi Bảo Thịnh*

Trung tâm Công nghệ sinh học TP. Hồ Chí Minh, phường Trung Mỹ Tây, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 9/12/2024; ngày chuyển phản biện 11/12/2024; ngày nhận phản biện 15/1/2025; ngày chấp nhận đăng 20/1/2025

Tóm tắt:

Vỏ lụa hạt điều (*Anacardium occidentale* L.) là một phụ phẩm nông nghiệp giàu tiềm năng, chứa nhiều hợp chất tự nhiên với các hoạt tính sinh học quan trọng. Nghiên cứu này khảo sát thành phần hóa học, hoạt tính kháng vi sinh vật và kháng oxy hóa của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều. Phân tích định tính cho thấy, cao chiết chứa các nhóm hợp chất như polyphenol, flavonoid, coumarin, tanin, nhưng không phát hiện alkaloid và saponin. Tổng hàm lượng polyphenol và catechin cùng các dẫn xuất lần lượt đạt 566,50±0,76 mg GAE/g và 517,50 mg/g, trong đó catechin (247,21 mg/g) chiếm tỷ lệ cao nhất, tiếp theo là epigallocatechin gallate (166,27 mg/g) và epicatechin (94,49 mg/g). Cao chiết thể hiện hoạt tính kháng vi sinh vật mạnh, đặc biệt là với *Staphylococcus aureus* (21,00±0,50 mm) và *Candida albicans* (11,33±0,58 mm). Ngoài ra, hoạt tính kháng oxy hóa của cao chiết cũng rất đáng chú ý, với giá trị IC_{50} đạt 10,05±0,06 µg/ml, thấp hơn vitamin C (11,62±0,18 µg/ml). Kết quả nghiên cứu đã chứng minh cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều là nguồn nguyên liệu giàu tiềm năng, hứa hẹn ứng dụng trong dược liệu và thực phẩm chức năng.

Từ khóa: ***Anacardium occidentale* L., catechin, kháng oxy hóa, kháng vi sinh vật, polyphenol, vỏ lụa hạt điều.**

Chỉ số phân loại: **1.4, 2.10, 3.4**

Investigation of the chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of cashew nut testa extracts (*Anacardium occidentale* L.)

Thi Dung Nguyen, Van Toan Nguyen, Hai Son Pham, Le Kha Tu Bui, Thi Lieu Nguyen, Bao Thinh Bui*

Biotechnology Center of Ho Chi Minh City, Trung My Tay Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 9 December 2024; revised 15 January 2025; accepted 20 January 2025

Abstract:

The cashew nut testa (*Anacardium occidentale* L.) is an agricultural byproduct with great potential, containing numerous natural compounds with significant biological activities. This study investigates the chemical composition, antimicrobial properties, and antioxidant capacity of the ethyl acetate extract derived from cashew nut testa. Qualitative analysis revealed the presence of compounds such as polyphenols, flavonoids, coumarins, and tannins, while alkaloids and saponins were not detected. The total polyphenol and catechin contents, along with their derivatives, were 566.50±0.76 mg GAE/g and 517.50 mg/g, respectively, with catechin (247.21 mg/g) being the predominant compound, followed by epigallocatechin gallate (166.27 mg/g) and epicatechin (94.49 mg/g). The extract exhibited strong antimicrobial activity, particularly against *Staphylococcus aureus* (21.00±0.50 mm) and *Candida albicans* (11.33±0.58 mm). Furthermore, the extract demonstrated remarkable antioxidant activity, with an IC_{50} value of 10.05±0.06 µg/ml, which was lower than that of vitamin C (11.62±0.18 µg/ml). These findings suggest that the ethyl acetate extract from cashew nut testa is a promising raw material with potential applications in pharmaceuticals and functional foods.

Keywords: ***Anacardium occidentale* L., antimicrobial, antioxidant, cashew nut testa, catechin, polyphenol.**

Classification numbers: **1.4, 2.10, 3.4**

Tác giả liên hệ: Email: buibaothinh9595@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Điều (*Anacardium occidentale* L.) là một loại cây công nghiệp dài ngày thuộc họ Anacardiaceae, có nguồn gốc từ khu vực Đông Bắc Brazil, hiện được trồng rộng rãi ở các vùng nhiệt đới, đặc biệt là tại Nam Á và Đông Nam Á, trong đó có Việt Nam [1]. Hạt điều chứa hàm lượng dinh dưỡng cao gồm protein, chất béo không bão hòa, khoáng chất và vitamin [1-3]. Không chỉ được sử dụng phổ biến trong ngành thực phẩm, hạt điều còn có tiềm năng ứng dụng trong lĩnh vực dược phẩm. Ngoài nhân hạt, các phụ phẩm từ quá trình chế biến như vỏ hạt, vỏ lụa và dầu vỏ hạt điều cũng đang nhận được nhiều sự quan tâm nhằm tăng cường giá trị sử dụng và giảm thiểu lãng phí [2-4].

Trong số các phụ phẩm, vỏ lụa hạt điều là lớp màng mỏng bao quanh nhân hạt, chiếm khoảng 1-3% tổng trọng lượng hạt và thường bị loại bỏ trong quá trình chế biến [5]. Tuy nhiên, nghiên cứu đã chỉ ra rằng, vỏ lụa chứa nhiều polyphenol, bao gồm catechin, epicatechin, catechin gallate và procyanidin với các đặc tính sinh học như kháng vi sinh vật và kháng oxy hóa [4]. Nhờ những đặc tính này, vỏ lụa trở thành nguồn nguyên liệu tiềm năng cho các ngành công nghiệp thực phẩm, dược phẩm và mỹ phẩm. Trong bối cảnh nhu cầu ngày càng tăng đối với các sản phẩm tự nhiên, việc tận dụng hiệu quả phụ phẩm này đang thu hút sự chú ý của nhiều nhà nghiên cứu.

Việt Nam, một trong những quốc gia xuất khẩu hạt điều lớn nhất thế giới, sản xuất một lượng lớn vỏ lụa hạt điều từ quá trình chế biến. Theo ước tính, từ 80 kg hạt điều thô sẽ tạo ra khoảng 1 kg vỏ lụa [6]. Tuy nhiên, phần lớn nguồn phụ phẩm này vẫn chưa được khai thác hiệu quả, dẫn đến lãng phí trong chuỗi giá trị [7]. Mặc dù trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về thành phần hóa học và hoạt tính sinh học của vỏ lụa hạt điều [8-11], tại Việt Nam, các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào phương pháp chiết xuất [12-15]. Ngoài ra, các yếu tố như điều kiện thổ nhưỡng, khí hậu và phương pháp trồng trọt tại Việt Nam có thể ảnh hưởng đến thành phần và hoạt tính sinh học của vỏ lụa, nhưng chưa được nghiên cứu chi tiết.

Trước bối cảnh toàn cầu hóa và nhu cầu phát triển bền vững, việc tận dụng phụ phẩm nông nghiệp để tạo ra các sản phẩm có giá trị gia tăng đang trở thành xu hướng. Nghiên cứu thành phần hóa học và hoạt tính sinh học của vỏ lụa hạt điều tại Việt Nam không chỉ nâng cao giá trị kinh tế mà còn góp phần phát triển bền vững trong ngành nông nghiệp. Do đó, nghiên cứu này tập trung khảo sát thành phần hóa học, khả năng kháng vi sinh vật và kháng oxy hóa của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều thu thập tại Việt Nam. Dung môi ethyl acetate được lựa chọn do tính phân cực trung bình, phù hợp để chiết xuất các hợp chất polyphenol và flavonoid có hoạt tính sinh học cao, đồng thời là dung môi an toàn, ít độc hại và thân thiện với môi trường [16]. Hơn nữa, các nghiên cứu sử dụng dung môi ethyl acetate để tách chiết các hợp chất từ vỏ lụa hạt điều còn hạn chế. Kết quả này sẽ cung cấp cơ sở khoa học cho việc tận dụng hiệu quả nguồn phụ phẩm này, góp phần phát triển các sản phẩm tự nhiên phục vụ lĩnh vực y học, thực phẩm và công nghiệp trong xu hướng ưu tiên sản phẩm tự nhiên.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Mẫu vỏ lụa hạt điều được thu thập từ một cơ sở chế biến tại tỉnh Bình Phước (trước sáp nhập). Sau khi thu thập, mẫu được rửa kỹ để loại bỏ hoàn toàn cát và bụi bẩn. Vỏ lụa hạt điều sạch được sấy khô ở 60°C trong 24 giờ, sau đó nghiền thành bột mịn với kích thước hạt nhỏ hơn 1 mm bằng máy nghiền trong phòng thí nghiệm. Bột vỏ lụa được bảo quản trong hộp kín ở 4°C nhằm duy trì sự ổn định và bảo toàn các hợp chất sinh học cho các thí nghiệm tiếp theo.

2.2. Chuẩn bị cao chiết ethyl acetate

Để chuẩn bị cao chiết ethyl acetate từ bột vỏ lụa hạt điều, 30 g bột đã xử lý được cân chính xác và cho vào túi dập mẫu. Sau đó, 100 ml dung môi ethyl acetate được thêm vào túi, trộn đều hỗn hợp. Túi chứa mẫu được đặt vào máy dập mẫu cơ học và xử lý trong 5 phút. Hỗn hợp mẫu được chuyển vào bình duran sạch, bổ sung dung môi để đạt tỷ lệ mẫu: dung môi là 1:10 (khối lượng: thể tích w/v). Bình chứa mẫu được đặt trong bể ổn nhiệt (WNB45, Memmert - Đức) và chiết ngâm trong 24 giờ ở 50°C để tối ưu hóa sự khuếch tán các hợp chất vào dung môi. Sau quá trình chiết ngâm, hỗn hợp được ly tâm bằng máy ly tâm (Allegra X-15R, Beckman Coulter - Mỹ) trong 8 phút ở tốc độ 2000 vòng/phút và 25°C để tách phần dịch chiết. Phần dịch chiết tiếp tục được lọc qua máy lọc chân không để loại bỏ bã thô. Phần bã được bổ sung dung môi mới và chiết ngâm thêm hai lần để thu nhận tối đa các hợp chất. Toàn bộ dịch chiết được gom lại và dung môi được loại bỏ bằng hệ thống cô quay chân không (Rotary evaporator, R-300), thu được cao chiết dạng lỏng. Cao chiết sau đó được hòa tan vào nước cất theo tỷ lệ 1:4 (v/v), bảo quản ở -80°C cho đến khi đông hoàn toàn. Mẫu đông lạnh được đưa vào máy đông khô chân không (Low volume lyophilizer, ALPHA 2-4 LSC Basic) và sấy đông khô trong 72 giờ để thu bột cao chiết khô. Thí nghiệm được lặp lại ba lần để đảm bảo tính chính xác với hiệu suất trích ly của cao chiết đạt 13,64±0,18%. Độ ẩm của cao chiết sau đông khô được duy trì <10% trước khi phân tích.

2.3. Định tính các nhóm hợp chất hoá học

Thành phần hóa học của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều được khảo sát bằng các phương pháp định tính. Coumarin được phát hiện bằng thuốc thử NaOH 10% theo phương pháp của D.T.L. Huong và cs (2012) [17]. Alkaloid được nhận diện bằng thuốc thử Wagner và Mayer theo phương pháp của N.H. Phung (1999) [18]. Tanin phản ứng với gelatin, saponin được phát hiện qua phản ứng tạo bọt, polyphenol với thuốc thử $FeCl_3$ 10%, và flavonoid qua thuốc thử H_2SO_4 đặc theo phương pháp của P. Tiwari và cs (2011) [19].

Ngoài ra, sự hiện diện của polyphenol và catechin được xác định bằng phương pháp sắc ký lớp mỏng (TLC) theo V. Rastija và cs (2004) [20]. Hệ dung môi pha động là hỗn hợp chloroform: methanol: acid acetic (9:3:3, v/v/v). Bản TLC Silicagel 60 F254 (Merck, Đức) được nung ở 110°C trong 30 phút trước khi sử dụng. Mẫu cao chiết và chất chuẩn (gallic acid, catechin, nồng độ 10 g/l) được chấm lên bản sắc ký và phát triển trong 25-30 phút. Sau đó, bản sắc ký được làm khô, phun dung dịch $FeCl_3$ 1%, sấy ở 95-105°C trong 5-10 phút. Vệt màu của mẫu được so sánh với chất chuẩn để xác định sự hiện diện của polyphenol hoặc catechin.

2.4. Định lượng polyphenol tổng số

Hàm lượng polyphenol tổng số (TPC) của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều được xác định theo phương pháp đo màu dùng thuốc thử Folin-Ciocalteu với một số sửa đổi [21]. Cụ thể, 1 mg mẫu cao chiết được hòa tan vào 1 ml methanol, tạo thành dung dịch mẫu 1 mg/ml. Từ dung dịch này, lấy 0,1 ml trộn với 0,5 ml thuốc thử Folin-Ciocalteu 10%, để phản ứng trong 10 phút. Sau đó, bổ sung 0,4 ml dung dịch Na_2CO_3 7,5%, ủ hỗn hợp trong điều kiện bóng tối ở nhiệt độ phòng trong 1 giờ. Độ hấp thụ quang học của hỗn hợp được đo tại bước sóng 765 nm bằng thiết bị đọc ELISA (VersaMAX). Đường chuẩn được xây dựng dựa trên dung dịch acid gallic với các nồng độ từ 15,625 đến 500 µg/ml. Kết quả được biểu diễn dưới dạng miligam acid gallic tương đương trên mỗi gam cao chiết (mg GAE/g cao chiết). Thí nghiệm được lặp lại 3 lần.

2.5. Định lượng catechin và các dẫn xuất

Hàm lượng catechin và các dẫn xuất trong cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều được phân tích theo phương pháp của H. Wang và cs (2003) [22]. 100 mg mẫu được chiết siêu âm trong 7 ml dung môi methanol:nước (70:30, v/v) ở 70°C, sau đó định mức đến 10 ml. Mẫu được lọc qua màng lọc 0,45 µm trước khi tiêm vào hệ thống sắc ký lỏng hiệu năng cao (HPLC) Agilent series 1200, trang bị hai bơm ghép nối đầu dò UV (Waters, Mỹ). Quá trình tách được thực hiện trên cột Zorbax Extend C18 (250×4,6 mm, 5 µm) với pha động gồm hai kênh: kênh A (0,1% acid acetic) và kênh B (acetonitrile). Chương trình rửa giải theo gradient bắt đầu với 95% A và 5% B, sau đó thay đổi tỷ lệ pha động qua các mốc thời gian khác nhau, đạt 100% B tại phút thứ 25 trước khi trở về điều kiện ban đầu ở phút thứ 26 và duy trì đến phút thứ 30. Quá trình phân tích được thực hiện ở tốc độ dòng 1 ml/phút, nhiệt độ cột 30°C, thể tích tiêm 20 µl và bước sóng phát hiện 280 nm. Các chất chuẩn sử dụng bao gồm catechin, epigallocatechin gallate, epicatechin gallate, epigallocatechin và epicatechin được mua từ Sigma-Aldrich (Đức).

2.6. Thử nghiệm hoạt tính kháng vi sinh vật

Hoạt tính kháng vi sinh vật của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều được xác định bằng phương pháp khuếch tán trên đĩa thạch theo L.A.J. Bhorgin và cs (2014) [23] với một số điều chỉnh. Phương pháp này dựa trên khả năng ức chế của cao chiết từ vỏ lụa hạt điều đối với các vi sinh vật, thể hiện qua đường kính vòng vô khuẩn (mm) xung quanh giếng thạch. Các vi sinh vật được thử nghiệm bao gồm: *Staphylococcus aureus* ATCC 25923, *Escherichia coli* ATCC 25922, *Salmonella typhimurium* ATCC 13311, *Pseudomonas aeruginosa* ATCC 27853 và *Candida albicans* ATCC 10231. Để chuẩn bị mẫu, các chủng vi khuẩn và nấm được tăng sinh trong môi trường Brain Heart Infusion (BHI) ở 37°C trong 24 giờ, sau đó trải trên đĩa thạch môi trường Mueller Hinton Agar (MHA) vô trùng ở mật độ sinh khối 10^6 CFU/ml. Cao chiết ethyl acetate được pha loãng bằng dung môi nước để đạt nồng độ thử nghiệm là 100 mg/ml. Trên đĩa thạch, tạo các giếng có đường kính 6 mm và thêm vào mỗi giếng 50 µl dung dịch cao chiết ethyl acetate, với mỗi nghiệm thức được lặp lại ba lần trong điều kiện vô trùng. Ampicillin được pha loãng bằng dung môi nước để đạt nồng độ 10 mg/ml sử dụng làm đối chứng dương để so sánh hiệu quả kháng vi sinh vật. Sau 24 giờ ủ ở nhiệt độ phòng, đường kính vòng vô khuẩn xung quanh giếng thạch được đo để đánh giá hoạt tính kháng vi sinh vật của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều. Đối chứng âm sử dụng trong thử nghiệm là dung môi nước.

2.7. Thử nghiệm hoạt tính kháng oxy hóa

Hoạt tính kháng oxy hóa của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều được xác định bằng phương pháp bắt gốc tự do DPPH, dựa trên mô tả của M.X. Hoa và cs (2018) [15], với một số điều chỉnh phù hợp. Trong quá trình thử nghiệm, cao chiết ethyl acetate được pha loãng bằng dung môi ethanol ở các nồng độ khác nhau (0-62,5 µg/ml). Sau đó, hút 1 ml

dung dịch mẫu cho vào ống nghiệm có chứa 4 ml dung dịch DPPH 0,1 mM (D9132-1G, Sigma). Hỗn hợp được ủ trong điều kiện tối, ở nhiệt độ phòng, trong vòng 30 phút. Sau thời gian ủ, độ hấp thụ quang học (OD) của dung dịch được đo tại bước sóng 517 nm. Vitamin C (A92902-100G, Sigma) được sử dụng làm mẫu chuẩn đối chứng dương. Hoạt tính kháng oxy hóa của mẫu được tính dựa trên khả năng trung hòa gốc tự do DPPH, thể hiện qua phần trăm hiệu suất ức chế. Giá trị IC_{50}, biểu thị nồng độ cần thiết để ức chế 50% hoạt tính gốc tự do DPPH, được tính từ đường cong chuẩn để đánh giá mức độ kháng oxy hóa của cao chiết ethyl acetate.

2.8. Xử lý số liệu

Mỗi thí nghiệm được tiến hành lặp lại ba lần, dữ liệu thu được được trình bày dưới dạng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn. Phân tích số liệu được thực hiện bằng cách sử dụng phần mềm Minitab phiên bản 16.2.2.4 và Microsoft Excel 2013 để đảm bảo tính chính xác và đáng tin cậy của kết quả.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Định tính các nhóm hợp chất hoá học của cao chiết ethyl acetate

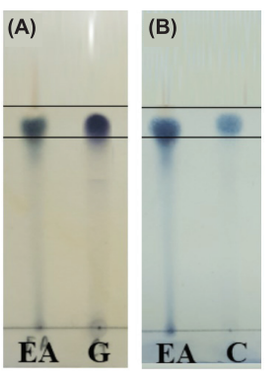
Việc định tính các nhóm hợp chất hóa học trong cao chiết thực vật là bước cơ bản và quan trọng để xác định thành phần hóa học sơ bộ, từ đó định hướng cho các nghiên cứu sâu hơn về tác dụng sinh học và tiềm năng ứng dụng [24]. Trong nghiên cứu này, cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều được kiểm tra qua các phản ứng hóa học đặc trưng, cho thấy sự hiện diện của coumarin, tanin, polyphenol và flavonoid (bảng 1). Ngược lại, các thử nghiệm đặc hiệu đối với alkaloid và saponin không phát hiện thấy sự hiện diện của hai nhóm hợp chất này.

Bảng 1. Định tính các nhóm hợp chất hoá học của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều.

Định tính	Phản ứng	Kết quả	Kết luận
Coumarin	NaOH 10%	+	Có
Alkaloid	Wagner	–	Không
	Mayer	–	Không
Tanin	Gelatin	+	Có
Polyphenol	$FeCl_3$ 10%	+	Có
Saponin	Dầu oliu, đun nóng 90ºC	–	Không
	Phản ứng tạo bọt	–	Không
Flavonoid	H_2SO_4	+	Có

(–): không xuất hiện hợp chất; (+): có xuất hiện hợp chất.

Kết quả phân tích bằng phương pháp TLC củng cố thêm các phát hiện trên. Hình 1A cho thấy, mẫu cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều có vạch trùng với gallic acid (R_f=0,63), xác nhận sự hiện diện của gallic acid, một hợp chất thuộc nhóm polyphenol. Tương tự, hình 1B cho thấy, mẫu có vạch trùng với catechin (R_f=0,68), chứng tỏ sự hiện diện của catechin thuộc nhóm flavonoid.



Hình 1. Định tính hợp chất polyphenol (A) và catechin (B) của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều bằng phương pháp TLC. EA: Cao chiết ethyl acetate; G: chất chuẩn gallic acid; C: chất chuẩn catechin.

Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của N.V. Toan và cs (2023) [25] khi các tác giả ghi nhận sự hiện diện của coumarin, polyphenol, tanin và flavonoid trong cao chiết vỏ lụa hạt điều bằng các dung môi ethanol, methanol và nước. Nghiên cứu của H.V. Thanh và cs (2023b) [26] cũng khẳng định rằng, polyphenol và flavonoid là hai nhóm hợp chất chính trong cao chiết từ nguồn nguyên liệu này. Ngoài ra, các nghiên cứu trước đây cũng đã phát hiện hàm lượng tanin trong các bộ phận khác nhau của hạt điều, bao gồm cả vỏ lụa [2, 27, 28].

Polyphenol, flavonoid, coumarin và tanin trong cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều đều là những hợp chất có hoạt tính sinh học tiềm năng. Polyphenol nổi bật với khả năng kháng oxy hóa mạnh, bảo vệ tế bào khỏi tổn thương do gốc tự do, đồng thời hỗ trợ kháng viêm, kháng khuẩn và phòng ngừa bệnh mãn tính [29]. Flavonoid đóng vai trò quan trọng trong bảo vệ hệ tim mạch, điều hòa miễn dịch và giảm viêm [30]. Coumarin đã được chứng minh có khả năng kháng khuẩn, chống đông máu và điều hòa mạch máu [31]. Tanin nhờ khả năng tạo liên kết với protein có tác dụng bảo vệ niêm mạc tiêu hóa, kháng viêm và ức chế vi khuẩn gây bệnh [32]. Nhìn chung, việc phát hiện các hợp chất như polyphenol, flavonoid, coumarin và tanin trong cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều cho thấy tiềm năng nghiên cứu trong lĩnh vực dược liệu và chăm sóc sức khỏe.

3.2. Hàm lượng polyphenol tổng số của cao chiết ethyl acetate

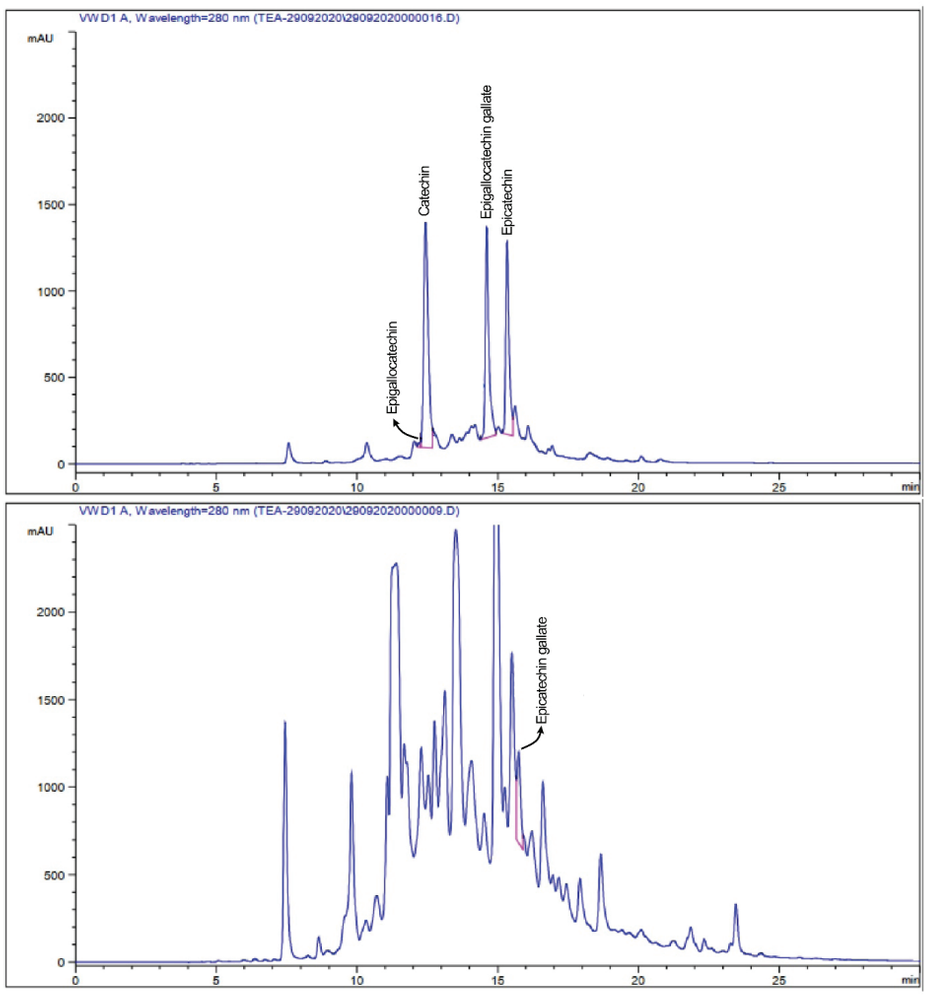
TPC trong cao chiết thực vật là một chỉ số quan trọng, phản ánh khả năng kháng oxy hóa và tiềm năng sinh học của nguồn nguyên liệu [29]. Trong nghiên cứu này, TPC của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều được xác định là 566,50±0,76 mg GAE/g (bảng 2). Kết quả này cao hơn đáng kể so với các nghiên cứu trước đây, cho thấy tiềm năng sinh học lớn của mẫu cao chiết.

So sánh với các nghiên cứu khác, nghiên cứu của N.T. Ngan (2023) [12] sử dụng dung môi ethanol/nước (80/20 v/v) thu được TPC chỉ đạt 376,34±13,53 mg GAE/g, thấp so với nghiên cứu hiện tại. Sự khác biệt này có thể do ethyl acetate ưu tiên chiết xuất các polyphenol ít phân cực. Tương tự, phương pháp sử dụng enzyme cellulase và pectinase của T.H. Phan và cs (2024) [14] chỉ thu được TPC 165,03±1,17 mg GAE/g, có thể vì cấu trúc tế bào không được phá vỡ hoàn toàn, dẫn đến hiệu suất chiết xuất thấp. Phương pháp hỗ trợ vi sóng với dung môi nước cất của M.X. Hoa và cs (2018) [15] cũng cho kết quả thấp hơn với TPC 194,99 mg GAE/g, do tính phân cực cao của nước không phù hợp để chiết xuất các polyphenol ít phân cực.

Ngược lại, nghiên cứu của N.V. Toan và cs (2023) [25] sử dụng dung môi methanol, ethanol và nước lần lượt ghi nhận TPC là 517,81, 495,25 và 481,20 mg GAE/g, gần với giá trị của nghiên cứu hiện tại nhưng vẫn thấp hơn. Kết quả này một lần nữa khẳng định rằng ethyl acetate chiết được nhiều polyphenol hơn các dung môi khác. Sự khác biệt về hàm lượng TPC giữa các nghiên cứu có thể xuất phát từ nhiều yếu tố, bao gồm loại dung môi, tỷ lệ dung môi/nguyên liệu, phương pháp và điều kiện chiết xuất (nhiệt độ, thời gian, pH), cũng như đặc điểm của nguyên liệu như độ ẩm hoặc nguồn gốc. Trong nghiên cứu này, ethyl acetate cho thấy khả năng chiết xuất các polyphenol ít phân cực, góp phần lý giải giá trị TPC cao hơn.

3.3. Hàm lượng catechin và các hợp chất liên quan trong cao chiết ethyl acetate

Catechin và các dẫn xuất là những hợp chất flavonoid quan trọng, nổi bật với khả năng kháng oxy hóa mạnh, trung hòa gốc tự do, bảo vệ sức khỏe tim mạch và hỗ trợ phòng ngừa các bệnh mãn tính [33, 34]. Việc xác định hàm lượng catechin và các dẫn xuất trong cao chiết thực vật không chỉ giúp đánh giá giá trị sinh học của nguyên liệu mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho các ứng dụng tiềm năng trong lĩnh vực dược liệu và thực phẩm chức năng. Trong nghiên cứu này, tổng hàm lượng catechin và các dẫn xuất trong cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều đạt 517,50 mg/g cao chiết, bao gồm catechin (247,21 mg/g), epigallocatechin (8,58 mg/g), epigallocatechin gallate (166,27 mg/g), epicatechin (94,49 mg/g), và epicatechin gallate (0,945 mg/g) (bảng 2 và hình 2). Kết quả này cho thấy, catechin là hợp chất chiếm ưu thế, tiếp theo là epigallocatechin gallate và epicatechin, trong khi epigallocatechin và epicatechin gallate hiện diện với hàm lượng thấp hơn.



Hình 2. Sắc ký đồ của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều.

So sánh với các nghiên cứu trước đây, kết quả này có nhiều khác biệt đáng chú ý. Nghiên cứu của H.Q.V. Le và cs (2021) [8], sử dụng dung môi nước và ethanol, báo cáo hàm lượng (+)-catechin lần lượt là 167,6 và 172,4 mg/g cao chiết, thấp hơn giá trị catechin (247,21 mg/g) trong nghiên cứu này. Tuy nhiên, hàm lượng (-)-epicatechin đạt 93,3 mg/g và 99,8 mg/g, tương đương với epicatechin (94,49 mg/g) của nghiên cứu hiện tại.

Kết quả từ nghiên cứu của N. Chandrasekara và cs (2011) [9] ghi nhận hàm lượng (+)-catechin (47,28 mg/g), (-)-epicatechin (28,29 mg/g) và epigallocatechin (2 mg/g) thấp hơn đáng kể. Sự khác biệt này có thể xuất phát từ việc sử dụng dung môi và điều kiện chiết xuất không tối ưu. Trong khi đó, nghiên cứu của H.V. Thanh và cs (2023b) [26] báo cáo hàm lượng catechin dao động 139-207 mg/g, thấp hơn so với nghiên cứu này. Tuy nhiên, hàm lượng epigallocatechin (8,58 mg/g) trong nghiên cứu hiện tại lại thấp hơn phạm vi 37-95 mg/g mà nhóm này ghi nhận.

Sự khác biệt giữa các nghiên cứu có thể được giải thích bởi các yếu tố như loại dung môi, phương pháp chiết xuất và điều kiện thí nghiệm (nhiệt độ, thời gian, pH). Dung môi ethyl acetate được sử dụng trong nghiên cứu này cho thấy khả năng chiết xuất hiệu quả các flavonoid ít phân cực, dẫn đến hàm lượng catechin và các dẫn xuất cao hơn so với dung môi nước hoặc ethanol.

3.4. Hoạt tính kháng vi sinh vật của cao chiết ethyl acetate

Hoạt tính kháng vi sinh vật của cao chiết thực vật là một chỉ số quan trọng, giúp đánh giá khả năng ngăn chặn sự phát triển của các tác nhân gây bệnh, đồng thời xác định tiềm năng ứng dụng trong lĩnh vực dược liệu và bảo quản thực phẩm [35]. Trong nghiên cứu này, cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều và Ampicillin được thử nghiệm với năm chủng vi sinh vật: *E. coli*, *S. aureus*, *S. typhimurium*, *P. aeruginosa* và *C. albicans* (bảng 2). Kết quả thử nghiệm cho thấy, cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều ở nồng độ 100 mg/ml có khả năng ức chế sự phát triển của các vi sinh vật. Đối với vi khuẩn Gram dương *S. aureus*, cao chiết tạo ra vòng vô khuẩn có đường kính là 21,00±0,50 mm, cho thấy hoạt tính kháng khuẩn rõ rệt. Với các vi khuẩn Gram âm, đường kính vòng vô khuẩn đo được lần lượt là 7,17±0,29 mm đối với *E. coli* và *S. typhimurium*, trong khi *P. aeruginosa* có đường kính vòng vô khuẩn nhỏ hơn, chỉ đạt 6,00±0,00 mm. Đối với nấm *C. albicans*, cao chiết cũng thể hiện hoạt tính kháng nấm với đường kính vòng vô khuẩn đạt 11,33±0,58 mm. Ampicillin được sử dụng làm đối chứng dương ở nồng độ 10 mg/ml cũng cho thấy khả năng kháng vi sinh vật. Cụ thể, với *S. aureus*, Ampicillin tạo ra vòng vô khuẩn có đường kính 18,79±0,89 mm. Đối với vi khuẩn Gram âm, đường kính vòng vô khuẩn đo được là 5,25±0,78 mm đối với *E. coli*, 5,98±0,46 mm đối với *S. typhimurium* và 5,11±0,39 mm đối với *P. aeruginosa*. Ngoài ra, Ampicillin cũng thể hiện hoạt tính kháng nấm nhất định với *C. albicans* với đường kính vòng vô khuẩn đạt 8,95±0,12 mm. Nhìn chung, cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều có khả năng ức chế vi khuẩn Gram dương tốt hơn vi khuẩn Gram âm và nấm men.

Bảng 2. Hoạt tính kháng vi sinh vật của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều.

Vi sinh vật	Đường kính vòng vô khuẩn (mm)	
	Cao chiết	*Ampicillin*
Escherichia coli	7,17±0,29	5,25±0,78
Staphylococcus aureus	21,00±0,50	18,79±0,89
Salmonella typhimurium	7,17±0,29	5,98±0,46
Pseudomonas aeruginosa	6,00±0,00	5,11±0,39
Candida albicans	11,33±0,58	8,95±0,12

So sánh với các nghiên cứu trước đây, kết quả này cho thấy sự khác biệt về hoạt tính kháng vi sinh vật của cao chiết vỏ lụa hạt điều. Nghiên cứu của N.V. Toan và cs (2023) [25] ghi nhận rằng, chiết xuất vỏ lụa hạt điều bằng dung môi methanol, ethanol và nước có khả năng ức chế các vi sinh vật tương tự, nhưng mức độ kháng khuẩn không mạnh bằng, đặc biệt là đối với *S. aureus*. Nghiên cứu của P. Sruthi và cs (2023) [10] đã thử nghiệm các phân đoạn phenolic từ vỏ lụa hạt điều, trong đó phân đoạn phenolic tự do cho vùng ức chế tối đa ở nồng độ thấp (3 mg/ml). Kết quả này tốt hơn hoạt tính kháng vi sinh vật của cao chiết ethyl acetate trong nghiên cứu hiện tại.

Ngoài ra, nghiên cứu của A. Prakash và cs (2018) [11] cho thấy, chiết xuất methanol từ vỏ hạt điều có khả năng ức chế sự phát triển của các vi khuẩn như *E. coli*, *S. enterica*, *S. flexneri* và *S. pyogenes*. So với nghiên cứu hiện tại, cao chiết ethyl acetate cho thấy phổ hoạt tính kháng khuẩn rộng hơn và tốt hơn, đặc biệt đối với *S. aureus* và *C. albicans*. Sự khác biệt về hoạt tính kháng vi sinh vật giữa các nghiên cứu có thể do các yếu tố như loại dung môi, phương pháp chiết xuất, nồng độ hợp chất hoạt tính và đặc điểm vi sinh vật thử nghiệm.

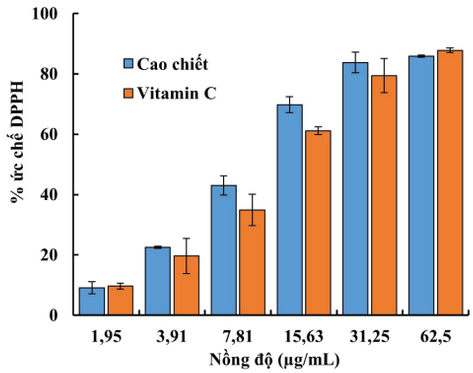
Hoạt tính kháng vi sinh vật của cao chiết ethyl acetate được cho là nhờ thành phần hóa học phong phú, bao gồm polyphenol, flavonoid, catechin và coumarin [35]. Các hợp chất này có thể ức chế sự phát triển của vi khuẩn thông qua nhiều cơ chế như phá vỡ màng tế bào vi khuẩn, ức chế enzyme thiết yếu trong quá trình sinh trưởng và ngăn chặn sự phân chia tế bào [35]. Catechin và các dẫn xuất

như epigallocatechin gallate không chỉ có khả năng kháng oxy hóa mạnh mà còn hỗ trợ tăng cường hoạt tính kháng vi khuẩn [33, 34]. Coumarin với khả năng ức chế sự tổng hợp protein và DNA của vi sinh vật cũng đóng góp quan trọng vào hoạt tính này [35]. Những hợp chất này có thể tương tác cộng hưởng làm gia tăng hiệu quả kháng vi sinh vật của cao chiết vỏ lụa hạt điều.

Sự khác biệt trong hoạt tính kháng vi sinh vật của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều đối với vi khuẩn Gram dương, Gram âm và nấm men có thể được giải thích dựa trên cấu trúc màng tế bào và cơ chế tác động của các hợp chất kháng khuẩn. Vi khuẩn Gram dương như *S. aureus* có thành tế bào dày với lớp peptidoglycan chiếm phần lớn cấu trúc nhưng không có màng ngoài lipopolysaccharide (LPS) giúp các hợp chất kháng khuẩn trong cao chiết dễ dàng thâm nhập và gây tổn thương tế bào giúp hiệu quả kháng khuẩn cao [36]. Trong khi đó, vi khuẩn Gram âm, như *E. coli* và *P. aeruginosa*, có lớp màng ngoài LPS đóng vai trò như một hàng rào bảo vệ, hạn chế sự xâm nhập của các hợp chất kháng khuẩn và làm giảm hiệu quả ức chế của cao chiết [37]. Ngoài ra, vi khuẩn Gram âm còn sở hữu nhiều bơm tống kháng sinh (efflux pumps), giúp loại bỏ nhanh chóng các hợp chất có hoạt tính kháng khuẩn [38]. Đối với nấm men *C. albicans*, thành tế bào của chúng chủ yếu được cấu tạo từ chitin và β-glucan, có khả năng chống chịu tốt hơn so với vi khuẩn, dẫn đến mức độ ức chế của cao chiết thấp hơn so với vi khuẩn Gram dương [39]. Do đó, cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều thể hiện hiệu quả kháng khuẩn mạnh nhất đối với vi khuẩn Gram dương, thấp hơn đối với vi khuẩn Gram âm và chỉ có mức độ kháng nấm trung bình.

3.5. Hoạt tính kháng oxy hóa của cao chiết ethyl acetate

Hoạt tính kháng oxy hóa của cao chiết thực vật là một đặc tính quan trọng, giúp đánh giá khả năng dọn gốc tự do và hỗ trợ nghiên cứu các ứng dụng tiềm năng trong phòng ngừa và điều trị các bệnh liên quan đến stress oxy hóa [40]. Trong nghiên cứu này, khả năng dọn gốc tự do DPPH của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều tăng từ 9,10±1,96% ở nồng độ 1,95 µg/ml đến 85,85±0,34% ở nồng độ 62,5 µg/ml (hình 3). Tương tự, khả năng dọn gốc tự do DPPH của vitamin C tăng từ 9,66±1,02% ở nồng độ 1,95 µg/ml đến 87,80±0,79% ở nồng độ 62,5 µg/ml (hình 3). Đồng thời, giá trị IC_{50} của cao chiết được tính toán đạt 10,05±0,06 µg/ml, thấp hơn so với vitamin C (11,62±0,18 µg/ml), một chất chuẩn kháng oxy hóa. Kết quả này chứng minh rằng, cao chiết ethyl acetate có hoạt tính kháng oxy hóa mạnh, thậm chí vượt trội hơn vitamin C, đồng thời cho thấy tiềm năng lớn trong ứng dụng dược liệu và thực phẩm chức năng.



Hình 3. Hoạt tính kháng oxy hóa của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều bằng phương pháp DPPH.

Giá trị IC_{50} thấp hơn biểu thị hoạt tính kháng oxy hóa tốt hơn. So sánh với các nghiên cứu trước đây, kết quả này nổi bật hơn đáng kể. Nghiên cứu của M.X. Hoa và cs (2018) [15] báo cáo IC_{50} của cao chiết vỏ lụa hạt điều trong thử nghiệm DPPH là 88,68 µg/ml, cao hơn đáng kể so với nghiên cứu hiện tại. Điều này có thể được giải thích bởi dung môi ethyl acetate trong nghiên cứu này đã chiết xuất hiệu quả các hợp chất kháng oxy hóa mạnh hơn so với nước cất.

Nghiên cứu của N.V. Toan và cs (2023) [25] ghi nhận giá trị IC_{50} của chiết xuất methanol, ethanol và nước từ vỏ lụa hạt điều trong thử nghiệm DPPH lần lượt là 11,90, 12,44 và 12,87 µg/ml, cao hơn một chút so với cao chiết ethyl acetate. Điều này khẳng định rằng, ethyl acetate có ưu thế trong việc chiết xuất các hợp chất như polyphenol và flavonoid ít phân cực. Tương tự, nghiên cứu của P. Sruthi và cs (2023) [10] ghi nhận IC_{50} của các phân đoạn phenolic dao động từ 12,35±1,48 µg/ml (phân đoạn phenolic tự do) đến 41,23±2,01 µg/ml (phân đoạn phenolic este hóa), cao hơn so với cao chiết ethyl acetate trong nghiên cứu này. Sự khác biệt này có thể do cao chiết ethyl acetate chứa sự cộng hưởng của nhiều hợp chất kháng oxy hóa, thay vì chỉ tập trung vào một phân đoạn cụ thể. Nghiên cứu của A. Prakash và cs (2018) [11] cho thấy, giá trị IC_{50} của chiết xuất methanol từ vỏ lụa hạt điều là 44 µg/ml, cao hơn đáng kể so với nghiên cứu hiện tại, có thể do phương pháp chiết xuất chưa tối ưu hóa khả năng thu nhận các hợp chất kháng oxy hóa mạnh như catechin và flavonoid.

Hoạt tính kháng oxy hóa tốt của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều có thể được giải thích bởi thành phần hóa học phong phú của nó. Polyphenol và flavonoid đóng vai trò quan trọng trong việc trung hòa gốc tự do thông qua cơ chế cung cấp electron hoặc hydrogen [29, 30]. Trong đó, catechin và các dẫn xuất như epigallocatechin gallate và epicatechin nổi bật với khả năng dọn gốc tự do mạnh, bảo

vệ tế bào khỏi tổn thương do oxy hóa [33, 34]. Ngoài ra, coumarin, dù hiện diện với hàm lượng thấp hơn, cũng tham gia vào cơ chế ức chế các phản ứng tạo gốc tự do thông qua việc phân hủy hydrogen peroxide [41]. Sự cộng hưởng giữa các hợp chất này chính là yếu tố then chốt giúp cao chiết ethyl acetate đạt được hoạt tính kháng oxy hóa tốt.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xác định thành phần hóa học, hoạt tính kháng vi sinh vật và kháng oxy hóa của cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều. Kết quả cho thấy cao chiết chứa các hợp chất quan trọng như polyphenol, flavonoid, coumarin và tanin, với tổng hàm lượng polyphenol đạt 566,50±0,76 mg GAE/g và tổng hàm lượng catechin cùng các dẫn xuất là 517,50 mg/g. Cao chiết thể hiện hoạt tính kháng vi sinh vật mạnh chống lại *S. aureus*, *E. coli*, *S. typhimurium*, *P. aeruginosa* và *C. albicans*. Bên cạnh đó, cao chiết cũng cho thấy hoạt tính kháng oxy hóa tốt với giá trị IC_{50} đạt 10,05±0,06 µg/ml thông qua thử nghiệm DPPH. Những kết quả này khẳng định cao chiết ethyl acetate từ vỏ lụa hạt điều là nguồn nguyên liệu tiềm năng cho các ứng dụng trong lĩnh vực dược liệu và thực phẩm chức năng.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Bình Phước (hợp đồng số 708/HĐ-SKHCN).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] T.K. Lim (2011), "Anacardium occidentale", *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants: Volume 1, Fruits*, Dordrecht: Springer Netherlands, pp.45-68, DOI: 10.1007/978-90-481-8661-7_6.

[2] B. Salehi, M. Gültekin-Özgüven, C. Kırkın, et al. (2019), "Anacardium plants: Chemical, nutritional composition and biotechnological applications", *Biomolecules*, **9(9)**, pp.1-34, DOI: 10.3390/biom9090465.

[3] Y.Y. Chen, N.Y. Li, X. Guo, et al. (2023), "The nutritional and bio-active constituents, functional activities, and industrial applications of cashew (*Anacardium occidentale*): A review", *Food Frontiers*, **4(4)**, pp.1606-1621, DOI: 10.1002/fft2.250.

[4] P. Sruthi, M.M. Naidu (2023), "Cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) testa as a potential source of bioactive compounds: A review on its functional properties and valorization", *Food Chemistry Advances*, **3**, pp.1-9, DOI: 10.1016/j.focha.2023.100390.

[5] N.F. Oliveira, R.S. Leal, T.N.C. Dantas (2015), "The importance of the cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) coat: A review", *American International Journal of Contemporary Scientific Research*, **2(4)**, pp.9-41.

[6] A. Mohod, S. Jain, A.G. Powar (2011), "Cashew nut processing: Sources of environmental pollution and standards", *BIOINFO Environment and Pollution*, **1(1)**, pp.5-11.

[7] M.K. Zafeer, K.S. Bhat (2023), "Valorisation of agro-waste cashew nut husk (Testa) for different value-added products", *Sustainable Chemistry for Climate Action*, **2**, pp.1-6, DOI: 10.1016/j.scca.2023.100014.

[8] H.Q.V. Le, T.D. Tong, X.C. Luu, et al. (2021), "Preliminary extraction of catechin in cashew testa", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **947(1)**, pp.1-11, DOI: 10.1088/1755-1315/947/1/012003.

[9] N. Chandrasekara, F. Shahidi (2011), "Effect of roasting on phenolic content and antioxidant activities of whole cashew nuts, kernels, and testa", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **59(9)**, pp.5006-5014, DOI: 10.1021/jf2000772.

[10] P. Sruthi, C. Roopavathi, M.M. Naidu (2023), "Profiling of phenolics in cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) testa and evaluation of their antioxidant and antimicrobial properties", *Food Bioscience*, **51**, pp.1-9, DOI: 10.1016/j.fbio.2022.102246.

[11] A. Prakash, V. Vadivel, S.F. Banu, et al. (2018), "Evaluation of antioxidant and antimicrobial properties of solvent extracts of agro-food by-products (cashew nut shell, coconut shell and groundnut hull)", *Agriculture and Natural Resources*, **52(5)**, pp.451-459, DOI: 10.1016/j.anres.2018.10.018.

[12] N.T. Ngan (2023), "Preserving An Phuoc rose apples by dipping method with the addition of phenolic extract from cashew nut apple", *Journal of Science and Technology-IUH*, **62(02)**, pp.85-93 (in Vietnamese).

[13] H.V. Thanh, N.X. Hoan, N.H. Dat, et al. (2023a), "Effect of hydrolyzation conditions on extraction capacity of catechin of cashew nut testa with the support of enzyme Viscozyme L and Pectinex ultra-L products", *Journal of Science Technology & Food*, **23(1)**, pp.40-48 (in Vietnamese).

[14] T.H. Phan, T.M.T. Dao, T.P. Nguyen (2024), "Optimization of enzymatic-assisted extraction of polyphenol from cashew nut testa by using cellulase and pectinase", *The Journal of Agriculture and Development*, **23(5)**, pp.72-85 (in Vietnamese).

[15] M.X. Hoa, N.T.T. Minh, N.T.M. Chau, et al. (2018), "Optimisation of microwave-assisted extraction of phenolic compounds from cashew nut coat", *Journal of Science Technology & Food*, **16(1)**, pp.106-116 (in Vietnamese).

[16] S. Tian, Y. Shi, X. Zhou, et al. (2011), "Total polyphenolic (flavonoids) content and antioxidant capacity of different *Ziziphora clinopodioides* Lam. extracts", *Pharmacognosy Magazine*, **7(25)**, pp.65-68, DOI: 10.4103/0973-1296.75904.

[17] D.T.L. Huong, N.T. Phuong, L.T.T. Huong, et al. (2012), "Determining the coumarin and assessing the anti-bacterial activity of the extractive solution from some medicinal plants by Muong ethnic group based on the local people experience in Nho Quan, Ninh Binh province", *CTU Journal of Science*, **24(2)**, pp.140-146 (in Vietnamese).

[18] N.H. Phung (1999), *List of Vietnamese Marine Fish*, Vol. V, Agricultural Publishing House, pp.191-201 (in Vietnamese).

[19] P. Tiwari, B. Kumar, M. Kaur, et al. (2011), "Phytochemical screening and extraction: A review", *Internationale Pharmaceutica Sciencia*, **1(3)**, pp.98-106.

[20] V. Rastija, A. Mornar, I. Jasprica, et al. (2004), "Analysis of polyphenol components in Croatian red wines by thin-layer chromatography", *JPC-Journal of Planar Chromatography-Modern TLC*, **17(1)**, pp.26-31, DOI: 10.1556/jpc.17.2004.1.6.

[21] V.Q. Vuong, H. Sathira, D.R. Paul, et al. (2013), "Effect of extraction conditions on total phenolic compounds and antioxidant activities of *Carica papaya* leaf aqueous extracts", *Journal of Herbal Medicine*, **3(3)**, pp.104-111, DOI: 10.1016/j.hermed.2013.04.004.

[22] H. Wang, G.J. Provan, K. Helliwell (2003), "HPLC determination of catechins in tea leaves and tea extracts using relative response factors", *Food Chemistry*, **81(3)**, pp.307-312, DOI: 10.1016/S0308-8146(02)00510-1.

[23] L.A.J. Bhorgin, K. Uma (2014), "Antimicrobial activity of earthworm powder (*Lampito mauritii*)", *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, **3(1)**, pp.437-443.

[24] K.P. Ingle, A.G. Deshmukh, D.A. Padole, et al. (2017), "Phytochemicals: Extraction methods, identification and detection of bioactive compounds from plant extracts", *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, **6(1)**, pp.32-36.

[25] N.V. Toan, N.T. Dung, N.T. Lieu, et al. (2023), "Extraction and evaluation of total polyphenols, catechin derivatives and antioxidant, antibacterial activities of extract from cashew nut testa (*Anacardium occidentale* L.)", *Proceedings of National Biotechnology Conference*, pp.271-276 (in Vietnamese).

[26] H.V. Thanh, N.T.L. Phi, N.T. Khoi, et al. (2023b), "Green extraction and biological activity of phenolic extracts from cashew nut testa using a combination of enzyme and ultrasound-assisted treatments", *Journal of The Science of Food and Agriculture*, **103(11)**, pp.5626-5633, DOI: 10.1002/jsfa.12641.

[27] S.Z. Mwangi, V.C. Silayo, D.N. Chaula (2024), "Optimization of tannin's extraction from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut testa for use in leather tanning", *Asian Journal of Applied Chemistry Research*, **15(2)**, pp.7-16, DOI: 10.9734/ajacr/2024/v15i2283.

[28] M.K.S. Pillai, K.J. Kedlaya, R. Selvarangan (1963), "Cashew seed skin as a tanning material", *Leather Science*, **10**, pp.317-319.

[29] N.B. Rathod, N. Elabed, S. Punia, et al. (2023), "Recent developments in polyphenol applications on human health: A review with current knowledge", *Plants*, **12(6)**, pp.1-30, DOI: 10.3390/plants12061217.

[30] L. Chen, H. Cao, Q. Huang, et al. (2022), "Absorption, metabolism and bioavailability of flavonoids: A review", *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, **62(28)**, pp.7730-7742, DOI: 10.1080/10408398.2021.1917508.

[31] S.S. Garg, J. Gupta, S. Sharma, et al. (2020), "An insight into the therapeutic applications of coumarin compounds and their mechanisms of action", *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, **152**, pp.1-9, DOI: 10.1016/j.ejps.2020.105424.

[32] A.K. Das, M.N. Islam, M.O. Faruk, et al. (2020), "Review on tannins: Extraction processes, applications and possibilities", *South African Journal of Botany*, **135**, pp.58-70, DOI: 10.1016/j.sajb.2020.08.008.

[33] A. Baranwal, P. Aggarwal, A. Rai, et al. (2022), "Pharmacological actions and underlying mechanisms of catechin: A review", *Mini Reviews in Medicinal Chemistry*, **22(5)**, pp.821-833, DOI: 10.2174/1389557521666210902162120.

[34] J. Bae, N. Kim, Y. Shin, et al. (2020), "Activity of catechins and their applications", *Biomedical Dermatology*, **4**, pp.1-10, DOI: 10.1186/s41702-020-0057-8.

[35] N. Vaou, E. Stavropoulou, C. Voidarou, et al. (2021), "Towards advances in medicinal plant antimicrobial activity: A review study on challenges and future perspectives", *Microorganisms*, **9(10)**, pp.1-28, DOI: 10.3390/microorganisms9102041.

[36] M. Rohde (2019), "The gram-positive bacterial cell wall", *Microbiology Spectrum*, **7(3)**, pp.1-21, DOI: 10.1128/microbiolspec.gpp3-0044-2018.

[37] G.E. Zhang, T.C. Meredith, D. Kahne (2013), "On the essentiality of lipopolysaccharide to gram-negative bacteria", *Current Opinion in Microbiology*, **16(6)**, pp.779-785, DOI: 10.1016/j.mib.2013.09.007.

[38] A.B. Lorusso, J.A. Carrara, C.D.N. Barroso, et al. (2022), "Role of efflux pumps on antimicrobial resistance in *Pseudomonas aeruginosa*", *International Journal of Molecular Sciences*, **23(24)**, pp.1-21, DOI: 10.3390/ijms232415779.

[39] J. Ruiz-Herrera, M. Victoria Elorza, E. Valentín, et al. (2006), "Molecular organization of the cell wall of *Candida albicans* and its relation to pathogenicity", *FEMS Yeast Research*, **6(1)**, pp.14-29, DOI: 10.1111/j.1567-1364.2005.00017.x.

[40] D. Krishnaiah, R. Sarbatly, R. Nithyanandam (2011), "A review of the antioxidant potential of medicinal plant species", *Food and Bioproducts Processing*, **89(3)**, pp.217-233, DOI: 10.1016/j.fbp.2010.04.008.

[41] Y. Al-Majedy, A. Al-Amiery, A.A. Kadhum, et al. (2017), "Antioxidant activity of coumarins", *Systematic Reviews in Pharmacy*, **8(1)**, pp.24-30.

 DOI: 10.31276/VJST.2025.3525

Nghiên cứu và đánh giá tính an toàn của chủng *Bacillus subtilis* Eramic 26 ứng dụng trong sản xuất probiotic

Đoàn Thị Thùy Linh[1], Đào Gia Bách[2], Lưu Thị Thủy Ngân[1], Ngô Bá Bình[1], Hoàng Thị Thanh Hoa[2], Nguyễn Vũ Trung[3], Lê Thị Hội[2*]

[1]Công ty Cổ phần Kỷ nguyên Công nghệ Eramic, phường Chương Mỹ, Hà Nội, Việt Nam
[2]Trường Đại học Y Hà Nội, 1 Tôn Thất Tùng, phường Kim Liên, Hà Nội, Việt Nam
[3]Viện Pasteur TP. Hồ Chí Minh, 167 Pasteur, phường Xuân Hòa, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 8/4/2025; ngày chuyển phản biện 10/4/2025; ngày nhận phản biện 17/4/2025; ngày chấp nhận đăng 20/4/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu này đánh giá tính an toàn của chủng *Bacillus subtilis* Eramic 26 thông qua các thử nghiệm về đặc tính kháng khuẩn, khả năng gây tan máu, độc tính tế bào và phân tích gen độc lực/kháng kháng sinh, dựa theo hướng dẫn của Generally Recognised As Safe (GRAS) do Cơ quan Quản lý Thực phẩm và Dược phẩm Hoa Kỳ (FDA) và Cơ quan An toàn Thực phẩm châu Âu (EFSA) ban hành. Khả năng kháng khuẩn được kiểm tra với 5 chủng vi khuẩn thử nghiệm gồm *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus* và *Shigella flexneri*. Độc tính tế bào được đánh giá trên hai dòng tế bào là HT-29 và Vero. Kết quả cho thấy, *B. subtilis* Eramic 26 không ức chế các vi khuẩn thử nghiệm, cũng như không gây độc cho hai dòng tế bào HT-29 và Vero thử nghiệm. Phân tích di truyền phát hiện các gen kháng kháng sinh như *fosB*, *satA*, *ydhE/norM*, cùng các đột biến trên *gyrA* và *gyrB*, nhưng tất cả đều nằm trên nhiễm sắc thể, không liên quan đến yếu tố di động. Chủng này mang các gen mã hóa bacteriocin như bacilysin và subtilosin, giúp tăng khả năng cạnh tranh sinh học. Tổng hợp kết quả cho thấy, *B. subtilis* Eramic 26 là chủng vi khuẩn an toàn, có tiềm năng ứng dụng trong sản xuất probiotic.

Từ khóa: ***Bacillus subtilis* Eramic 26, độc tính tế bào, gen độc tố, gen kháng kháng sinh, giải trình tự.**

Chỉ số phân loại: **1.6, 2.8, 3.1**

Research and safety evaluation of the *Bacillus subtilis* Eramic 26 strain for application in probiotic production

Thi Thuy Linh Doan[1], Gia Bach Dao[2], Thi Thuy Ngan Luu[1], Ba Binh Ngo[1], Thi Thanh Hoa Hoang[2], Vu Trung Nguyen[3], Thi Hoi Le[2*]

[1]Eramic Technology Era Joint Stock Company, Chuong My Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Hanoi Medical University, 1 Ton That Tung Street, Kim Lien Ward, Hanoi, Vietnam
[3]Pasteur Institute in Ho Chi Minh City, 167 Pasteur Street, Xuan Hoa Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 8 April 2025; revised 17 April 2025; accepted 20 April 2025

Abstract:

This study evaluated the safety of the *Bacillus subtilis* Eramic 26 strain through assessments of antibacterial activity, hemolytic potential, cytotoxicity, and virulence/antibiotic resistance gene analysis, following the Generally Recognised As Safe (GRAS) guidelines of the U.S. Food and Drug Administration (FDA) and the European Food Safety Authority (EFSA). Antibacterial activity was tested against five indicator bacterial strains: *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, and *Shigella flexneri*. Cytotoxicity was evaluated using two cell lines: human HT-29 and Vero. The results showed that *B. subtilis* Eramic 26 did not inhibit the tested bacterial strains and did not exhibit cytotoxic effects in either the HT-29 or Vero cell line. Genomic analysis revealed the presence of antibiotic resistance genes such as *fosB*, *satA*, and *ydhE/norM*, as well as mutations in *gyrA* and *gyrB*; however, all were located on the chromosome and not associated with mobile genetic elements. The strain harboured bacteriocin-encoding genes, including bacilysin and subtilosin, which enhance competitive fitness. Overall, the findings indicate that *B. subtilis* Eramic 26 is a safe bacterial strain with strong potential for application in probiotic production.

Keywords: **antibiotic resistance genes, *Bacillus subtilis* Eramic 26, cytotoxicity, sequencing, toxin genes.**

Classification numbers: **1.6, 2.8, 3.1**

[*]Tác giả liên hệ: Email: lethihoi@hmu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Bacillus subtilis là vi khuẩn Gram dương có khả năng tạo thành bào tử, được sử dụng từ lâu đời trong thực phẩm lên men truyền thống như natto, doenjang, kim chi, các loại mắm và dưa muối, với vai trò cải thiện tiêu hóa và tăng cường miễn dịch nhờ vào khả năng sinh enzyme và các hợp chất kháng khuẩn tự nhiên [1]. Tuy nhiên, ngày càng có nhiều nghiên cứu cảnh báo rằng một số chủng *B. subtilis* có thể mang các gen liên quan đến độc tố, yếu tố độc lực hoặc gen kháng kháng sinh nằm trên yếu tố di động, có thể dẫn đến nguy cơ gây ngộ độc thực phẩm hoặc ảnh hưởng tiêu cực đến sức khỏe người tiêu dùng [2]. Những phát hiện này cho thấy, không phải tất cả các chủng *Bacillus* đều an toàn để sử dụng trong thực phẩm hoặc chế phẩm probiotic. Do đó, yêu cầu về việc đánh giá tính an toàn sinh học của các chủng trước khi ứng dụng thực tế là rất quan trọng. Trên thế giới, các tổ chức như FDA và EFSA đã xây dựng các khung đánh giá các đặc tính an toàn của các chủng vi sinh vật thông qua hệ thống chứng nhận GRAS (Generally Recognized As Safe) và QPS (Qualified Presumption of Safety), trong đó nhấn mạnh đến việc sàng lọc các yếu tố độc lực và kháng kháng sinh đồng thời ở cả mức độ kiểu gen và kiểu hình [3, 4]. Xuất phát từ những yêu cầu nghiêm ngặt trên, nhóm nghiên cứu thực hiện đánh giá các đặc tính an toàn của chủng *B. subtilis* Eramic 26 thông qua các thử nghiệm in vitro như đánh giá khả năng kháng khuẩn, đánh giá tính độc tế bào và phân tích các gen độc lực bao gồm gen kháng kháng sinh/kim loại nặng, gen độc tố, yếu tố độc lực, hoặc các gen liên quan đến phage theo hướng dẫn của GRAS và EFSA. Từ đó, đánh giá tiềm năng của chủng này trong sản xuất các chế phẩm probiotic.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Chủng *B. subtilis* Eramic 26 đã được phân lập và đăng ký trình tự bộ gen trên Ngân hàng Gen thế giới (GenBank) với mã số truy cập GCF_031932205.1. Chủng này đã được báo cáo là không phân giải hồng cầu, có khả năng duy trì sự sống trong điều kiện mô phỏng đường tiêu hóa và thể hiện tính nhạy cảm với các kháng sinh thông dụng ở người [5]. Những đặc điểm này cho thấy, *B. subtilis* Eramic 26 có triển vọng probiotic, đồng thời đáp ứng các tiêu chí sơ bộ để tiếp tục thực hiện các đánh giá về đặc tính an toàn ở mức độ sâu hơn theo hướng dẫn của GRAS và EFSA.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Vật liệu nghiên cứu đánh giá khả năng kháng khuẩn: Sử dụng năm chủng vi khuẩn theo hướng dẫn của GRAS: *Escherichia coli* ATCC 25922, *Salmonella typhimurium* ATCC 14028, *Enterococcus faecium* ATCC 19434, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Shigella flexneri* ATCC 12022.

Phương pháp nghiên cứu khả năng kháng khuẩn: Nghiên cứu khả năng kháng khuẩn được thực hiện theo phương pháp khuếch tán trên đĩa thạch:

Vi khuẩn thử nghiệm được nuôi cấy trên đĩa thạch máu trong 24 giờ ở 37°C. Sau đó, chọn 3-5 khuẩn lạc và hòa vào dung dịch PBS để tạo huyền phù. Mật độ vi khuẩn được điều chỉnh nằm trong khoảng 10^8 CFU/ml (độ đục 0,5 McFarland hoặc OD_{600}=0,3-0,5). Sử dụng tăm bông vô trùng để trải dịch huyền phù vi khuẩn lên bề mặt đĩa môi trường BHI. Đục lỗ có đường kính 7 mm trên đĩa thạch BHI đã được trải dịch vi khuẩn.

Đồng thời, *B. subtilis* Eramic 26 được nuôi cấy trong môi trường LB ở 37°C trong 24 giờ, tốc độ lắc 200 vòng/phút. Tiếp đó, dịch nuôi cấy được ly tâm 30 phút với tốc độ 8.000 vòng/phút, thu lấy dịch nổi. Tiến hành nhỏ 100 µl vào các lỗ trên đĩa thạch đã được chuẩn bị. Tiến hành nhỏ 100 µl môi trường nuôi cấy đối với mẫu đối chứng. Chờ dịch khuếch tán vào lớp thạch khoảng 2 giờ rồi ủ đĩa ở 37°C trong 24 giờ.

Chỉ tiêu theo dõi là quan sát khả năng tạo vòng kháng khuẩn của chủng vi khuẩn *B. subtilis* Eramic 26 sau 24 giờ. Hoạt tính kháng khuẩn được tính bằng công thức: D - d

trong đó: D là đường kính vòng kháng khuẩn (mm); d là đường kính lỗ thạch (mm).

Vật liệu nghiên cứu cho thử nghiệm đánh giá tính độc tế bào: Môi trường nuôi cấy tế bào DMEM hoặc MEM có bổ sung thêm L-glutamine, sodium pyruvate, $NaHCO_3$, penicillin/streptomycin, 10% FBS (Fetal Bovine Serum), Trypsin-EDTA (0,05%); Kit *in vitro* toxicology assay kit MTT based (Sigma), đĩa 24 giếng (Corning), đĩa 96 giếng (Corning).

Dụng cụ, thiết bị cơ bản: kính hiển vi ngược (Axiovert 40 CFL), buồng đếm tế bào (Fisher, Hoa Kỳ), máy quang phổ (BioTek), tủ ấm CO_2, tủ lạnh sâu -80°C, bình nitơ lỏng, cân phân tích, máy đo pH và một số dụng cụ thí nghiệm khác.

Các hóa chất cơ bản khác: DMSO, PBS, ellipticine.

Các dòng tế bào HT-29 (tế bào ung thư đại tràng ở người) và Vero (tế bào thận khỉ) do GS.TS. J.M. Pezzuto - Trường Đại học Long-Island, Hoa Kỳ và GS. Jeanette Maier - Đại học Milan, Italia cung cấp.

Phương pháp đánh giá tính độc tế bào: Phương pháp xác định tính độc tế bào trên tế bào nuôi cấy đơn lớp được thực hiện theo hướng dẫn của EFSA (2014) trong đánh giá an toàn các chủng *Bacillus*. Tế bào được xử lý bằng trypsin để tách rời, sau đó được đếm bằng buồng đếm nhằm điều chỉnh mật độ phù hợp cho thí nghiệm. Chuyển 1.000 µl tế bào/giếng vào đĩa nuôi cấy 24 giếng và ủ trong 48 giờ để tế bào bám đáy và phát triển ổn định. Loại bỏ và thay thế môi trường cũ bằng 1 ml môi trường mới cho mỗi giếng trước khi tiến hành thí nghiệm. Mẫu thử được ly tâm để thu dịch nổi, sử dụng cho thí nghiệm. Dịch nổi sau ly tâm được bổ sung vào các giếng nuôi cấy với các thể tích lần lượt là 100, 80, 60 và 40 µl/giếng, sau đó bổ sung môi trường nuôi cấy để đạt tổng thể tích 1,1 ml/giếng. Tế bào được ủ với mẫu thử trong 2 giờ tại 37°C trong tủ ấm CO_2. Sau thời gian ủ, bổ sung thuốc thử 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) theo hướng dẫn của bộ kit (ống M-5655 được hòa tan trong 3 ml dung dịch Balanced Salt Solution; một lượng dung dịch MTT tương đương 10% thể tích môi trường được thêm vào mỗi giếng). Các giếng nuôi cấy tiếp tục được ủ trong 2-4 giờ. Kết thúc thời gian ủ, thêm vào mỗi giếng 1,1 ml dung dịch hòa tan MTT (MTT solubilization solution), lắc đều để hòa tan hoàn toàn tinh thể formazan. Giá trị mật độ quang học (OD) được đo tại bước sóng 540 nm bằng máy đọc ELISA Plate Reader (Biotek ELx800). Phần trăm ức chế sự phát triển của tế bào khi có mặt mẫu thử được xác định theo công thức sau:

$$\% \text{ tế bào sống} = \frac{OD_{mẫu} - OD_{blank}}{OD_{đc} - OD_{blank}} \times 100\%$$

trong đó: OD_{dc} là OD của giếng chỉ có tế bào; OD_{blank} là OD của giếng chỉ có môi trường nuôi cấy.

Thí nghiệm được lặp lại 3 lần để đảm bảo tính chính xác. Ellipticine ở các nồng độ 10, 2, 0,4, 0,08 µg/ml được sử dụng như là chất đối chứng dương.

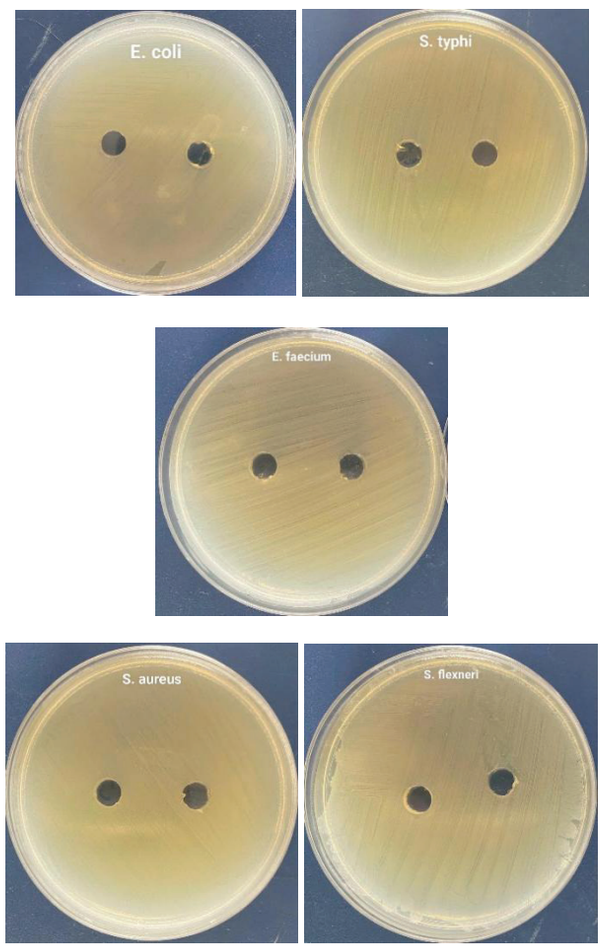
Giải trình tự gen B. subtilis Eramic 26: Chủng *B. subtilis* Eramic 26 được nuôi cấy trong môi trường LB ở 37°C trong 10 giờ, với tốc độ lắc 220 vòng/phút. Ly tâm 8.000 vòng/phút trong 15 phút để thu cặn tế bào. Tách chiết DNA tổng số bằng bộ kit DNeasy Blood and Tissue Kits. Định lượng DNA tách chiết được bằng máy đo huỳnh quang TBS-380 (Turner BioSystems Inc., CA, Hoa Kỳ). Xây dựng thư viện DNA bằng bộ kit Nextera XT DNA Library Preparation Kit. Các mẫu DNA được phân mảnh thành các đoạn có kích thước 400-500 bp, sau đó được giải trình tự bằng hệ thống máy Illumina Miseq sử dụng bộ kit Miseq Reagent Kit v3. Dữ liệu thu được từ Illumina được sử dụng để phân tích tin sinh học.

Lắp ráp, chú giải và phân tích hệ gen: Các đoạn đọc thu được từ quá trình giải trình tự toàn bộ bộ gen được kiểm tra chất lượng bằng FastQC. Loại bỏ các đoạn đọc chất lượng thấp bằng fastp. Sau đó, các đoạn đọc đã qua xử lý được lắp ráp *de novo* bằng SPAdes và đánh giá chất lượng lắp ráp bằng phần mềm QUAST. Chú giải hệ gen bằng hệ thống dữ liệu RAST. Thông qua việc so sánh với các nguồn dữ liệu đã công bố để xác định các gen chức năng. Ngoài ra, các gen kháng kháng sinh được phát hiện và kiểm tra lại bằng công cụ ABRicate.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Thử nghiệm khả năng kháng khuẩn

Đặc tính kháng khuẩn của chủng *B. subtilis* Eramic 26 được đánh giá trên năm chủng vi khuẩn thử nghiệm, bao gồm: *Escherichia coli*, *Salmonella typhimurium*, *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Shigella flexneri*. Kết quả đánh giá được thể hiện trong hình 1.



Hình 1. Kết quả thử nghiệm đặc tính kháng khuẩn của *B. subtilis* Eramic 26.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, các hợp chất kháng khuẩn trong dịch nuôi cấy của chủng *B. subtilis* Eramic 26 không ức chế các chủng vi khuẩn trong thử nghiệm.

Đặc tính không ức chế các chủng vi khuẩn thử nghiệm ở trên không ảnh hưởng đến đặc tính probiotic của *B. subtilis*. Loài này vẫn được ứng dụng rộng rãi trong các sản phẩm men vi sinh nhờ khả năng sống sót và sinh trưởng mạnh mẽ trong đường tiêu hóa. Bào tử *B. subtilis* giúp chúng chịu đựng môi trường khắc nghiệt trong đường ruột như axit dạ dày, muối mật và enzyme tiêu hóa, đảm bảo chúng đến ruột một cách an toàn và phát huy tác dụng [6]. Mặc dù không trực tiếp tiêu diệt vi khuẩn gây bệnh, *B. subtilis* vẫn có khả năng ức chế sự phát triển của các vi sinh vật gây bệnh thông qua cơ chế cạnh tranh về vị trí bám và nguồn dinh dưỡng trong đường ruột. Khả năng sinh trưởng nhanh và hiệu quả của *B. subtilis* giúp chúng chiếm ưu thế trên bề mặt niêm mạc ruột, từ đó làm giảm khả năng bám dính và phát triển của vi khuẩn gây bệnh do hạn chế không gian và chất dinh dưỡng cần thiết cho chúng [7]. Ngoài ra, *B. subtilis* kích thích sản xuất chất nhầy và củng cố hàng rào biểu mô ruột, giúp ngăn chặn vi khuẩn gây bệnh xâm nhập vào cơ thể. Chúng còn kích thích hệ miễn dịch đường ruột bằng cách tăng sản xuất kháng thể IgA và hoạt hóa các tế bào miễn dịch. Điều này giúp giảm nguy cơ viêm nhiễm và các bệnh liên quan đến đường tiêu hóa [8]. Bên cạnh đó, *B. subtilis* hỗ trợ sự phát triển của vi khuẩn có lợi như *Lactobacillus* và *Bifidobacterium*, giúp cân bằng hệ vi sinh đường ruột, giảm triệu chứng rối loạn tiêu hóa như tiêu chảy, chướng bụng, đầy hơi và táo bón [6].

3.2. Thử nghiệm đánh giá tính độc tế bào

Bacillus subtilis là loài vi khuẩn có tính đa dạng cao, bao gồm nhiều chủng khác nhau với những đặc tính riêng biệt. Tuy được coi là lợi khuẩn nhờ tác động tích cực đến sức khỏe vật chủ, nhưng trong một số điều kiện nhất định, chúng vẫn có thể tiềm ẩn nguy cơ gây hại. Hiện nay, chưa có bằng chứng khoa học đáng kể cho thấy *B. subtilis* gây độc tế bào khi sử dụng ở liều lượng và điều kiện thông thường trong các sản phẩm probiotic. Tuy nhiên, khả năng tiềm ẩn về độc tính tế bào của vi khuẩn này vẫn chưa thể hoàn toàn loại trừ. Do đó, FDA và EFSA vẫn yêu cầu các chủng vi sinh vật sử dụng cho con người vẫn cần phải đánh giá tính độc tế bào.

Đối với các loài *Bacillus*, EFSA đề xuất thử nghiệm độc tính tế bào là một chỉ số quan trọng về khả năng gây độc đối với các thành viên của chi *Bacillus* song song với các thử nghiệm tan máu. Thử nghiệm này được sử dụng để quan sát tác động của chủng đối với khả năng sống sót của tế bào HT-29 và VERO. Đây được coi là một thử nghiệm có độ nhạy cao vì chỉ có tế bào sống mới có thể tạo ra các sản phẩm formazan từ phản ứng này (bảng 1).

Bảng 1. Kết quả thử nghiệm độc tính của *B. subtilis* Eramic 26 trên 2 dòng tế bào VERO và HT-29.

Ellipticine (Đối chứng)					*B. subtilis* Eramic 26				
Nồng độ (µg/ml)	*VERO*		*HT-29*		*Thể tích (µl)*	*VERO*		*HT-29*	
	% tb sống	*Sai số*	*% tb sống*	*Sai số*		*% tb sống*	*Sai số*	*% tb sống*	*Sai số*
10	9,12	0,84	11,77	1,02	100	99,19	3,82	99,24	2,14
2	22,93	1,49	27,22	1,17	80	100,19	2,98	100,09	0,49
0,4	48,55	1,07	51,18	1,29	60	101,62	3,79	101,10	1,52
0,08	76,01	1,64	78,92	2,14	40	102,87	3,77	101,74	2,68

Theo hướng dẫn của EFSA, các mẫu có tỷ lệ tế bào sống lớn hơn 80% được xem là không gây độc tính, trong khi các mẫu có tỷ lệ tế bào sống thấp hơn 80% được xếp vào nhóm có độc tính. Kết quả thử nghiệm độc tính tế bào được trình bày trong bảng 1 cho thấy, chủng *B. subtilis* Eramic 26 không có biểu hiện gây độc đối với tế bào Vero và tế bào HT-29. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu trước đây của J. Burtscher và cs (2021) [9].

3.3. Gen kháng kháng sinh và độc lực

Toàn bộ trình tự bộ gen của *B. subtilis* Eramic 26 đã được xác định và đăng ký trên cơ sở dữ liệu GenBank với mã số truy cập GCF_031932205.1. Trình tự này đã được phân tích nhằm đánh giá và báo cáo các đặc tính an toàn theo tiêu chuẩn GRAS, FDA và EFSA.

Đặc điểm mang gen kháng kháng sinh: Theo kết quả chú giải hệ gen bằng hệ thống dữ liệu RAST (bảng 2), chủng *B. subtilis* Eramic 26 được phát hiện mang gen *fosB* và *satA* liên quan đến khả năng kháng fosfomycin và streptothricin cùng với sự hỗ trợ của bơm đẩy, thông qua hoạt động của gen *ydhE* và *norM* [10]. Ngoài ra, chủng cũng mang đột biến điểm trên các gen *gyrA* và *gyrB,* liên quan đến khả năng kháng fluoroquinolones. Các đột biến này thường tập trung ở vùng mã hóa protein DNA gyrase, một enzyme quan trọng tham gia vào quá trình sao chép và sửa chữa DNA. Cụ thể, hai đột biến tại gen *gyrA* gồm: Ser83→Asp (S83D) và Asp87→Tyr (D87Y). Đây là hai vị trí đã được xác nhận là "hotspots" có liên quan trực tiếp đến hiện tượng kháng quinolone trong nhiều loài vi khuẩn. Đột biến Ser83→X là dạng biến đổi phổ biến nhất được ghi nhận trong các chủng *E. coli* và *Salmonella enterica* kháng ciprofloxacin, đặc biệt là các dạng S83L, S83F, S83Y [11]. Đột biến Asp87→Tyr (D87Y) cũng là một biến thể đã được ghi nhận có liên quan đến kháng thuốc. Qua phân tích, đột biến Asp426→Leu (D426L) trong gen *gyrB* cũng được ghi nhận, tương ứng với vùng kháng quinolone mở rộng. Mặc dù các đột biến trên *gyrB* không thường gặp như trên *gyrA*, nhưng khi xuất hiện đồng thời, chúng có thể làm tăng mức độ kháng đáng kể [12]. Tuy nhiên, theo khuyến cáo của EFSA, các đặc điểm

kháng phát sinh từ đột biến trên nhiễm sắc thể có khả năng truyền ngang thấp vì ít liên quan trực tiếp đến các yếu tố di động [13].

Sự hiện diện của các gen kháng kháng sinh liên kết với các yếu tố di động như plasmid, transposon hoặc trình tự chèn (IS) có thể tiềm ẩn nguy cơ truyền ngang gen kháng kháng sinh sang các loài vi khuẩn khác, đặc biệt là các vi khuẩn gây bệnh đường ruột [13]. Tuy nhiên, ở chủng *B. subtilis* Eramic 26, không phát hiện các gen kháng nằm trên các yếu tố di động này. Theo nghiên cứu của S. Seyirt và cs (2023) [14], các chủng *Bacillus* thường không chứa các gen di động có khả năng truyền gen kháng kháng sinh. Do đó, các gen kháng kháng sinh ở *Bacillus* nằm trên nhiễm sắc thể không được xem là vấn đề nghiêm trọng ảnh hưởng đến tính an toàn của các chủng probiotic. EFSA đã đưa ra các nguyên tắc sau: Khi tất cả các chủng trong một nhóm phân loại nhất định đều biểu hiện khả năng kháng lại một loại kháng sinh chung thì khả năng kháng đó có thể là đặc tính nội tại của nhóm phân loại đó (kháng tự nhiên) [13]. Đó là đặc điểm sinh học cơ bản của vi sinh vật thuộc cùng một nhóm phân loại. Các gen kháng kháng sinh không liên kết hoặc không nằm trên plasmid hoặc các yếu tố có thể di động thì nguy cơ lây truyền sang các sinh vật khác có thể được coi là tối thiểu.

Bacteriocins: Một số loài *Bacillus* như *B. licheniformis* và *B. subtilis* có khả năng tổng hợp bacitracin - một loại kháng sinh peptide vòng - giúp ức chế sự phát triển của các vi khuẩn cạnh tranh. Tuy nhiên, để tránh ảnh hưởng bất lợi từ chính kháng sinh mà chúng sản xuất, các vi khuẩn này đã phát triển các cơ chế tự bảo vệ đặc biệt [15]. Chủng *B. subtilis* Eramic 26 mang một số gen liên quan đến cơ chế đề kháng với bacitracin, bao gồm *bceA, bceB, bceS, bceR*.

Khả năng hình thành biofilm: Phân tích trình tự bộ gen của *B. subtilis* Eramic 26 cho thấy, sự hiện diện của gen *tasA*, mã hóa một protein cấu trúc quan trọng trong quá trình hình thành màng biofilm (bảng 2). Điều này chỉ ra rằng chủng vi khuẩn này có khả năng hình thành màng biofilm, một đặc tính quan trọng giúp vi khuẩn bám dính lên các bề mặt, phát triển bền vững trong các môi trường khác nhau và tăng cường khả năng thích nghi cũng như sống sót trong điều kiện khắc nghiệt [16].

Kháng muối mật: Chủng *B. subtilis* Eramic 26 mang gen *bsh*, mã hóa enzyme choloylglycine hydrolase (bile salt hydrolase - BSH). Đây là một enzyme đặc trưng, chủ yếu được tổng hợp bởi vi khuẩn đường ruột, với chức năng xúc tác quá trình thủy phân liên kết amide trong muối mật, từ đó điều hòa chuyển hóa muối mật và tăng cường khả năng sống sót của vi khuẩn trong đường tiêu hóa [17]. Nghiên cứu về

Bảng 2. Bảng chú giải hệ gen của chủng *Bacillus subtilis* Eramic 26.

Gen/protein	Chức năng	*B. subtilis* Eramic 26	*B. clausii* 088AE	*B. subtilis* 168
Kháng kháng sinh				
vanW	Kháng vancomycin	Không	Không	Không
cat	Kháng chloramphenicol	Không	Không	Không
fosB	Kháng fosfomycin	Có	Có	Có
tet-like	Kháng tetracycline	Không	Có	Không
blaI	Kháng beta-lactam	Không	Có	Không
satA	Kháng streptothricin	Có	Không	Có
gyrA (đột biến)	Kháng fluoroquinolones	Có	Có	Có
gyrB (đột biến)	Kháng fluoroquinolones	Có	Có	Có
ydhE/norM	Bơm đẩy đa kháng sinh	Có	Có	Có
Yếu tố độc lực				
Bacteriocins/đáp ứng với bacitracins				
bceA	Protein gắn ATP đào thải bacitracin	Có	Có	Có
bceB				
bceS	Nhận diện và điều hòa bảo vệ chống lại bacitracin	Có	Không	Có
bceR				
Bacilysin	Bacteriocins	Không	Không	Không
Subtilosin				
Hình thành biofilm				
tasA	Cấu tạo màng biofilm	Có	Không	Có
Ly giải muối mật				
bsh	Enzyme chuyển hóa và điều hòa muối mật	Có	Không	Có
Độc tố				
bceT	Độc tố ruột gây tiêu chảy	Không	Không	Không
hbl	Độc tố ruột gây tan máu	Không	Không	Không
nhe	Độc tố ruột không gây tan máu	Không	Không	Không
cytK	Cytotoxin K	Không	Không	Không
entFM	Độc tố ruột FM	Không	Không	Không
cesB	Độc tố gây ngộ độc	Không	Không	Không
Hemolysin				
α-hemolysin		Không	Không	Không
β-hemolysin		Không	Không	Không
γ-hemolytic		Có	Có	Có

enzyme BSH trong các chủng probiotic mở ra nhiều triển vọng trong lĩnh vực y học và dinh dưỡng, đặc biệt trong việc hỗ trợ tiêu hóa, điều hoà chuyển hoá lipid và cải thiện sức khỏe đường ruột.

Các gen độc tố: Nghiên cứu đã tiến hành phân tích bộ gen của *B. subtilis* Eramic 26 nhằm xác định sự có mặt của các gen liên quan đến độc tố thường được ghi nhận ở vi khuẩn *Bacillus*. Các độc tố này bao gồm *bceT* (gây tiêu chảy), *hbl* (*hblA*, *hblC*, *hblD* gây tan máu), *nhe* (*nheA*, *nheB*, *nheC* không gây tan máu), *cytK* (cytotoxin K), *entFM* (độc tố ruột enterotoxin FM) và *cesB* - một độc tố do *Bacillus cereus* sản xuất, có liên quan đến ngộ độc thực phẩm với triệu chứng nôn mửa [18]. Kết quả phân tích cho thấy *B. subtilis* Eramic 26 không mang bất kỳ gen nào trong số các gen mã hóa độc tố kể trên, qua đó góp phần khẳng định tính an toàn của chủng vi khuẩn này trong các ứng dụng tiềm năng.

Kết quả phân tích genome cho thấy, *B. subtilis* Eramic 26 là một chủng an toàn, không mang bất kỳ gen độc tố nào và có tiềm năng ứng dụng trong sản xuất probiotic dành cho con người phù hợp với các tiêu chí đánh giá an toàn theo khuyến nghị của GRAS, FDA và EFSA. Dữ liệu nghiên cứu của chúng tôi phù hợp với các báo cáo về những chủng đã được cấp chứng nhận GRAS, đồng thời tương đồng với nghiên cứu của C. From và cs (2005) [19] thực hiện đánh giá trên 333 chủng *Bacillus* không thuộc nhóm *B. cereus*. Chủng *B. subtilis* Eramic 26 không mang các gen độc tố đặc trưng của *B. cereus*, củng cố bằng chứng về tính an toàn của chủng vi khuẩn này trong các ứng dụng tiềm năng.

Hemolysin và khả năng ly giải hồng cầu: Một số chủng *Bacillus* có khả năng tổng hợp protein hemolysin, đóng vai trò trong quá trình ly giải hồng cầu. Chủng tham chiếu *B. subtilis* 168 được xác định mang một số gen liên quan đến khả năng phân giải hồng cầu như *yhdP, yhdT, yqxC* và *yrkA* [20]. Tuy nhiên, phân tích bộ gen của *B. subtilis* Eramic 26 bằng hệ thống dữ liệu RAST cho thấy, chủng này không mang các gen mã hóa hemolysin có liên quan đến hiện tượng ly giải hồng cầu. *B. subtilis* Eramic 26 cũng đã được đánh giá khả năng ly giải hồng cầu và xác định rằng chủng này không làm ly giải hồng cầu [5]. Qua đó, củng cố thêm tính an toàn của *B. subtilis* Eramic 26 trong các ứng dụng probiotic cho con người.

Các chủng *Bacillus* gây tan máu thường bị loại trừ khỏi các ứng dụng probiotic do tiềm ẩn nguy cơ cao đối với sức khoẻ con người, đặc biệt là ở những người suy giảm miễn dịch. Do đó, EFSA đã đưa ra khuyến cáo bắt buộc về việc kiểm tra hoạt tính tan máu đối với các chủng *Bacillus*, ngay cả khi chủng vi khuẩn đó đã được công nhận theo GRAS Notice hoặc QPS. Hoạt tính tan máu được xem là một yếu tố độc lực quan trọng và phải được đánh giá kỹ lưỡng trước khi tiến hành các nghiên cứu sâu hơn về đặc tính probiotic, nhằm đảm bảo tính an toàn và khả năng ứng dụng của chủng vi khuẩn trong thực phẩm và dược phẩm. Các chủng thể hiện hoạt tính tan máu được coi là không an toàn và không được ứng dụng trong các sản phẩm dành cho người hoặc động vật cho đến khi yếu tố này được loại bỏ, chỉnh sửa hoặc được xác nhận không gây hại cho vật chủ.

Ngoài ra, phân tích trình tự bộ gen của *B. subtilis* Eramic 26 cho thấy, sự có mặt của gen *fab*G, mã hóa enzyme 3-ketoacyl-acyl carrier protein (ACP) reductase, một thành phần thiết yếu trong quá trình sinh tổng hợp axit béo. Enzyme này xúc tác phản ứng khử phụ thuộc NADPH, chuyển đổi β-ketoacyl-ACP thành β-hydroxyacyl-ACP, đánh dấu bước khử đầu tiên trong chu trình kéo dài chuỗi axit béo. Sự hiện diện của *fab*G trong cụm gen tổng hợp axit béo của *B. subtilis* Eramic 26, cùng với các gen *fab*D (mã hóa malonyl CoA:ACP transacylase) và *acp*P mã hóa acyl carrier protein (ACP). *acp*P đóng vai trò là chất mang nhóm acyl, tham gia vào quá trình vận chuyển các đơn vị acyl giữa các enzyme trong chu trình kéo dài chuỗi axit béo, cho thấy vai trò của chủng này trong điều hòa sinh tổng hợp axit béo.

Bên cạnh cụm gen tổng hợp axit béo, bộ gen của *B. subtilis* Eramic 26 cũng chứa gen *gmu*G, mã hóa enzyme mannan endo-1,4-β-mannosidase. Enzyme này đóng vai trò quan trọng trong phân giải glucomannan thông qua thủy phân liên kết β-1,4 trong các polysaccharide như mannan, galactomannan và glucomannan. Operon *gmu*BACDREFG được kích thích phiên mã khi có mặt glucomannan, trong đó *gmu*G là một yếu tố cần thiết cho sự hoạt động của operon này. Bên cạnh đó, các sản phẩm phân giải như cellobiose và mannobiose cũng đóng vai trò là các tín hiệu kích thích mạnh mẽ quá trình phiên mã của operon này.

Ngoài vai trò trong phân giải glucomannan, *gmuG* còn được dự đoán mã hóa một protein có hoạt tính 6-phospho-β-glucosidase, một enzyme tham gia vào quá trình thủy phân β-glucoside phosphorylated thành glucose-6-phosphate, một bước quan trọng trong con đường dị hóa carbohydrate (BSubCyc). Điều này cho thấy, gen *gmuG* không chỉ góp phần vào khả năng sử dụng glucomannan mà còn giúp *B. subtilis* khai thác hiệu quả các nguồn carbon khác nhau trong môi trường, qua đó tăng cường tính thích nghi và khả năng sinh tồn của vi khuẩn trong các điều kiện khắc nghiệt.

Sự hiện diện của các gen như *fabG*, *fabD*, *acpP* và *gmuG* không chỉ phản ánh sự chuyên biệt hóa về mặt chuyển hóa của loài vi khuẩn này, mà còn cho thấy tiềm năng ứng dụng của nó trong lĩnh vực probiotic.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu khảo sát đánh giá toàn diện tính an toàn theo các tiêu chuẩn quốc tế như GRAS, FDA và EFSA cho thấy, *B. subtilis* Eramic 26 là chủng có hồ sơ an toàn: không gây tan máu, không mang các gen kháng kháng sinh nằm trên yếu tố di truyền di động. Đồng thời, kết quả thử nghiệm độc tính trên hai dòng tế bào Vero và HT-29 cũng cho thấy, chủng này không gây ra ảnh hưởng bất lợi nào đến khả năng sống của tế bào. Đặc biệt, chủng *B. subtilis* Eramic 26 không chứa các gen mã hóa độc tố hoặc yếu tố độc lực. Những kết quả ban đầu này cho thấy, *B. subtilis* Eramic 26 là một ứng viên tiềm năng trong lĩnh vực sản xuất probiotic dành cho con người, đồng thời cung cấp nền tảng khoa học quan trọng cho các nghiên cứu tiếp theo trên mô hình động vật và thử nghiệm lâm sàng trên người.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Công ty Cổ phần Kỷ nguyên Công nghệ Eramic. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Z. Li, M. Zheng, J. Zheng, et al. (2023), "*Bacillus* species in food fermentations: An underappreciated group of organisms for safe use in food fermentations", *Current Opinion in Food Science*, **50**, DOI: 10.1016/j.cofs.2023.101007.

[2] F. Deng, Y. Chen, T. Sun, et al. (2021), "Antimicrobial resistance, virulence characteristics and genotypes of *Bacillus* spp. from probiotic products of diverse origins", *Food Research International*, **139**, DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109949.

[3] U.S. Food and Drug Administration (2024), *Generally Recognized as Safe (GRAS)*, https://www.fda.gov/food/food-ingredients-packaging/generally-recognized-safe-gras, accessed 20 October 2024.

[4] European Food Safety Authority (2023), *Updated List of QPS-Recommended Biological Agents*, https://www.efsa.europa.eu/en/topics/topic/qualified-presumption-safety-qps?utm_source=chatgpt.com, accessed 20 October 2024.

[5] D.G. Bach, D.T.T. Linh, L.T.T. Ngan, et al. (2024), "Isolation, selection, and evaluation of characteristics of potential Bacillus strains for probiotic products", *Vietnam Journal of Science and Technology - MOST*, **66(5)**, pp.29-33, DOI: 10.31276/VJST.66(5).29-33 (in Vietnamese).

[6] N. Williams, T.L. Weir (2024), "Spore-based probiotic *Bacillus subtilis*: Current applications in humans and future perspectives", *Fermentation*, **10(78)**, DOI: 10.3390/fermentation10020078.

[7] H.A. Hong, L.H. Duc, S.M. Cutting (2005), "The use of bacterial spore formers as probiotics", *FEMS Microbiology Reviews*, **29(4)**, pp.813-835, DOI: 10.1016/j.femsre.2004.12.001.

[8] N.K. Lee, W.S. Kim, H.D. Paik (2019), "*Bacillus* strains as human probiotics: Characterization, safety, microbiome, and probiotic carrier", *Food Science and Biotechnology*, **28(5)**, pp.1297-1305, DOI: 10.1007/s10068-019-00691-9.

[9] J. Burtscher, D. Etter, M. Biggel, et al. (2021), "Further insights into the toxicity of *Bacillus* cytotoxicus based on toxin gene profiling and Vero cell cytotoxicity assays", *Toxins (Basel)*, **13(4)**, DOI: 10.3390/toxins13040234.

[10] A.C. García, J. Blázquez, A.R. Rojas (2013), "Molecular mechanisms and clinical impact of acquired and intrinsic fosfomycin resistance", *Antibiotics (Basel)*, **2(2)**, pp.217-236, DOI: 10.3390/antibiotics2020217.

[11] J. Ruiz (2003), "Mechanisms of resistance to quinolones: Target alterations, decreased accumulation and DNA gyrase protection", *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, **51(5)**, pp.1109-1117, DOI: 10.1093/jac/dkg222.

[12] J. Strahilevitz, G.A. Jacoby, D.C. Hooper, et al. (2009), "Plasmid-mediated quinolone resistance: A multifaceted threat", *Clin. Microbiol. Rev.*, **22(4)**, pp.664-689, DOI: 10.1128/CMR.00016-09.

[13] European Food Safety Authority (2012), "Guidance on the assessment of bacterial susceptibility to antimicrobials of human and veterinary importance", *EFSA Journal*, **10(6)**, DOI: 10.2903/j.efsa.2012.2740.

[14] S. Seyirt, P. Şanlıbaba, B.U. Tezel (2023), "Antibiotic resistance in probiotic microorganisms", *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, **11(4)**, pp.746-757, DOI: 10.24925/turjaf.v11i4.746-757.5833.

[15] E. Rietkotter, D. Hoyer, T. Mascher (2008), "Bacitracin sensing in *Bacillus subtilis*", *Molecular Microbiology*, **68(3)**, pp.768-785, DOI: 10.1111/j.1365-2958.2008.06194.x.

[16] S. Arnaouteli, N.C. Bamford (2021), "*Bacillus subtilis* biofilm formation and social interactions", *Nature Reviews Microbiology*, **19(9)**, pp.600-614, DOI: 10.1038/s41579-021-00540-9.

[17] N.G. Kapse, A.S. Engineer, V. Gowdaman, et al. (2018), "Genome profiling for health promoting and disease preventing traits unraveled probiotic potential of *Bacillus clausii* B106", *Microbiology and Biotechnology Letters*, **46(4)**, pp.334-345, DOI: 10.4014/mbl.1804.04001.

[18] S. Ceuppens, A. Rajkovic, M. Heyndrickx, et al. (2011), "Regulation of toxin production by *Bacillus cereus* and its food safety implications", *Critical Reviews in Microbiology*, **37(3)**, pp.188-213, DOI: 10.3109/1040841X.2011.558832.

[19] C. From, R. Pukall, P. Schumann, et al. (2005), "Toxin-producing ability among *Bacillus* spp. outside the *Bacillus cereus* group", *Applied and Environmental Microbiology*, **71(3)**, pp.1178-1183, DOI: 10.1128/AEM.71.3.1178-1183.2005.

[20] X. Pan, X. Chen, X. Su, et al. (2014), "Involvement of SpoVG in hemolysis caused by *Bacillus subtilis*", *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **443(3)**, pp.899-904, DOI: 10.1016/j.bbrc.2013.12.069.

Nghiên cứu thiết kế hệ thống thiết bị hiệu chuẩn/kiểm định thước cuộn, thước vạch có phạm vi đo đến 30 m

Trần Xuân Đạt[1], Tống Công Dũng[1*], Lê Xuân Dũng[1], Trần Nam Anh[1], Vũ Khánh Phan[1], Nguyễn Xuân Thái[2], Nguyễn Ngọc Danh[3]

[1]Phòng Đo lường Độ dài, Viện Đo lường Việt Nam, 8 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam
[2]Phòng Đo lường Dung tích Lưu lượng, Viện Đo lường Việt Nam, 8 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam
[3]Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng tỉnh Nghệ An, Km 9+600, Quốc lộ 46, phường Vinh Phú, tỉnh Nghệ An, Việt Nam

Ngày nhận bài 20/5/2025; ngày chuyển phản biện 22/5/2025; ngày nhận phản biện 12/6/2025; ngày chấp nhận đăng 17/6/2025

Tóm tắt:

Để đáp ứng nhu cầu hiệu chuẩn thiết bị đo độ dài lớn như: thước cuộn, thước vạch, thiết bị đo khoảng cách bằng laser… trong các ngành xây dựng, giao thông và công nghiệp, nhóm nghiên cứu đã thiết kế hệ thống thiết bị hiệu chuẩn/kiểm định thước cuộn, thước vạch có phạm vi đo đến 30 m sử dụng giao thoa kế laser dẫn xuất từ chuẩn đầu độ dài. Qua nghiên cứu, phân tích các hệ thống chuẩn hiện đang có tại các viện đo lường quốc gia trên thế giới, nhóm nghiên cứu đã đưa ra cấu tạo, nguyên lý và thiết kế hệ thống phù hợp với điều kiện kỹ thuật, kinh tế và hạ tầng trong nước. Đồng thời cũng đảm bảo tính khả thi, hiệu quả và tính ứng dụng cao trong thực tiễn. Hệ thống gồm: giao thoa kế laser, camera, các bộ phận cơ khí, thiết bị đo môi trường và nhiệt độ vật liệu. Hệ thống này sẽ đảm bảo tính liên kết chuẩn cho các thiết bị đo độ dài lớn như thước cuộn, thước vạch, thiết bị đo khoảng cách bằng laser…, đồng thời đáp ứng yêu cầu thực tiễn ngày càng cao của các ngành sản xuất và xây dựng hiện đại.

Từ khóa: **giao thoa kế laser, hiệu chuẩn/kiểm định độ dài lớn, hiệu chuẩn thước vạch, kiểm định thước cuộn, phạm vi hiệu chuẩn 30 m.**

Chỉ số phân loại: **2.1, 2.3, 2.11**

Research and design of a calibration and verification system for tape measures and rulers with a measurement range of up to 30 metres

Xuan Dat Tran[1], Cong Dung Tong[1*], Xuan Dung Le[1], Nam Anh Tran[1], Khanh Phan Vu[1], Xuan Thai Nguyen[2], Ngoc Danh Nguyen[3]

[1]Laboratory of Length, Vietnam Metrology Institute, 8 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Laboratory of Volume and Flow, Vietnam Metrology Institute, 8 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam
[3]Nghe An Provincial Centre Technical for Standards, Metrology and Quality, Km 9+600, National Highway 46, Vinh Phu Ward, Nghe An Province, Vietnam

Received 20 May 2025; revised 12 June 2025; accepted 17 June 2025

Abstract:

To meet the demand for calibrating large-length measuring instruments, such as tape measures, rulers, and laser distance meters, in the construction, transportation, and industrial sectors, the research team has designed a calibration system with a measuring range of up to 30 metres using a laser interferometer derived from the primary length standard. Based on the research and analysis of standard systems currently in use at national metrology institutes around the world, the study proposes a system structure, operating principle, and design aligned with the technical, economic, and infrastructural conditions in Vietnam. Also, the system ensures feasibility, efficiency, and high applicability in practical use. The system includes a laser interferometer, a camera, mechanical components, and instruments for measuring environmental conditions and material temperature. This system ensures metrological traceability for large-length measuring instruments, including tape measures, line scales, and laser distance meters, while also meeting the growing practical demands of modern manufacturing and construction industries.

Keywords: **laser interferometer, large-length calibration and verification, ruler calibration, tape measure verification, 30-metre calibration range.**

Classification numbers: **2.1, 2.3, 2.11**

[*]Tác giả liên hệ: Email: dungtc@vmi.gov.vn

1. Đặt vấn đề

Hiện nay nhu cầu hiệu chuẩn/kiểm định, đảm bảo độ chính xác cho các chuẩn, phương tiện đo độ dài để đáp ứng yêu cầu của các cơ sở chế tạo, doanh nghiệp, nhà máy sản xuất và nghiên cứu khoa học ngày càng trở nên cấp thiết. Các loại thước cuộn, thước vạch được mua bán và sử dụng rất nhiều trong các ngành xây dựng, giao thông, cơ khí, dầu khí... Theo Thông tư số 03/2024/TT-BKHCN ngày 15/4/2024 của Bộ trưởng Bộ Khoa học và Công nghệ, thước cuộn là phương tiện đo nhóm 2 nên phải thực hiện kiểm định theo quy trình ĐLVN 36:2009 trước khi đưa vào sử dụng [1]. Ở nước ta, hầu hết các tổ chức, đơn vị cung cấp dịch vụ hiệu chuẩn/kiểm định thước cuộn, thước vạch đang sử dụng thước vạch chuẩn có phạm vi đo đến 1 m (phương pháp đo truyền thống) để hiệu chuẩn/kiểm định thước cuộn, thước vạch và chưa có đơn vị nào nghiên cứu về hệ thống thiết bị hiệu chuẩn/kiểm định thước vạch, thước cuộn có phạm vi đo đến 30 m. Để đáp ứng nhu cầu hiệu chuẩn chuẩn đo lường các loại thước vạch chuẩn, thước cuộn chuẩn, Phòng Đo lường Độ dài, Viện Đo lường Việt Nam đã sử dụng máy đo độ dài sử dụng giao thoa kế laser có phạm vi đo đến 3 m phù hợp theo quy trình ĐLVN 283:2015 [2] và ĐLVN 266:2020 [3]. Máy đo độ dài 3 m sử dụng giao thoa kế laser có cấu tạo gồm nguồn laser HP 5519A, hệ gương đo tuyến tính, băng máy có phạm vi làm việc đến 3 m, camera, các cụm đồ gá thước và phần mềm trong máy tính như hình 1. Tuy nhiên, do chuẩn còn hạn chế về phạm vi đo nên đối với thước cuộn, thước vạch có phạm vi đo lớn đến hàng chục mét thì phải thực hiện việc thay đổi gá đặt và căn chỉnh lại rồi tiến hành đo cộng dồn sai số ở vị trí tiếp theo. Điều này sẽ ảnh hưởng đến phép đo do các sai số cosin, Abbe, độ ổn định của tia laser, sự biến thiên nhiệt độ, làm mất nhiều thời gian và có nguy cơ gây nhầm lẫn trong quá trình đo.

Vì vậy, cần có một hệ thống chuẩn đảm bảo được các yêu cầu kỹ thuật về phạm vi đo, độ chính xác có thể đo được toàn bộ phạm vi đo của thước cuộn, thước vạch trong ít lần gá đặt nhất. Do đó, nhóm nghiên cứu đã thực hiện nghiên cứu thiết kế hệ thống thiết bị hiệu chuẩn/kiểm định thước vạch, thước cuộn phạm vi đo đến 30 m với mục đích giải quyết bài toán hiệu chuẩn/kiểm định các loại thước cuộn, thước vạch có phạm vi đo lớn đến 30 m bằng phương pháp đo từng vị trí trên thước trong một lần gá đặt thước. Hệ thống có phạm vi đo đến 30 m vẫn đáp ứng được các thước cuộn có phạm vi đo lớn hơn 30 m như 50 hay 100 m bằng cách thay đổi từ 2 đến 4 lần gá đặt để có thể đo hết phạm vi của thước. Sai số do việc gá đặt thước sẽ ít hơn so với việc gá đặt rất nhiều lần khi sử dụng thước vạch chuẩn (phạm vi đo đến 1 m) hoặc máy đo độ dài sử dụng giao thoa kế laser (phạm vi đo đến 3 m). Hơn nữa, chi phí sản xuất hệ thống chuẩn có phạm vi đo đến 30 m sẽ nhỏ hơn nhiều so với các hệ thống chuẩn có phạm vi đo đến 50 hoặc 100 m.

2. Nghiên cứu thiết kế cơ khí hệ thống chuẩn

2.1. Cấu tạo của hệ thống chuẩn

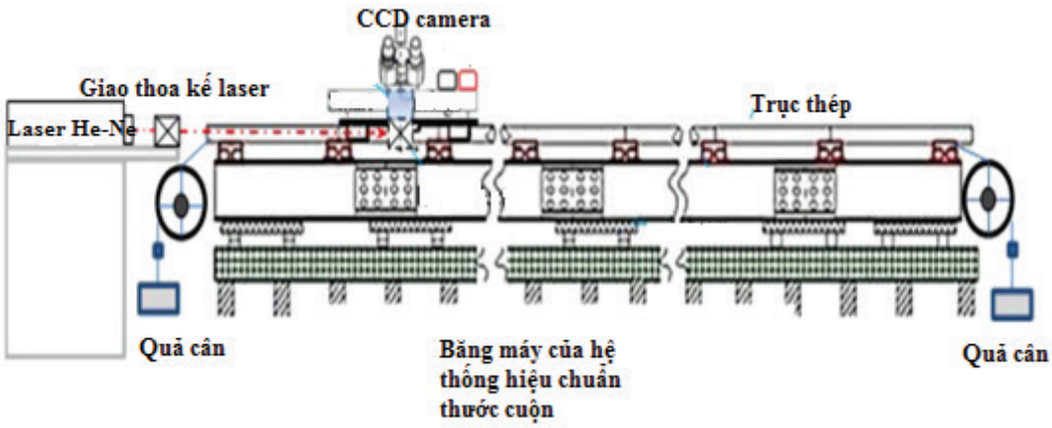
Hiện nay, các loại thước cuộn, thước vạch có phạm vi đo lớn đến hàng chục mét đang được sử dụng ngày càng nhiều. Điều này yêu cầu hệ thống chuẩn cũng phải có phạm vi đo tương ứng đến hàng chục mét. Qua tìm hiểu, nghiên cứu, hiện nay các viện đo lường quốc gia (NMIs) trên thế giới đã nghiên cứu phát triển hệ thống chuẩn để hiệu chuẩn thước cuộn, thước vạch. Ở Thái Lan, bộ phận dịch vụ khoa học (DSS) đã nghiên cứu, chế tạo hệ thống hiệu chuẩn thước cuộn có phạm vi đến 50 m sử dụng giao thoa kế laser [4] có cấu trúc thiết kế như hình 2.

Hệ thống đo giao thoa kế laser 50 m dùng để hiệu chuẩn các loại thước cuộn chuẩn và các máy đo độ dài lớn như máy đo xa laser, máy đo quét laser... được nghiên cứu bởi Viện Đo lường Quốc gia Hàn Quốc (KRISS) [5] có cấu tạo như hình 3.

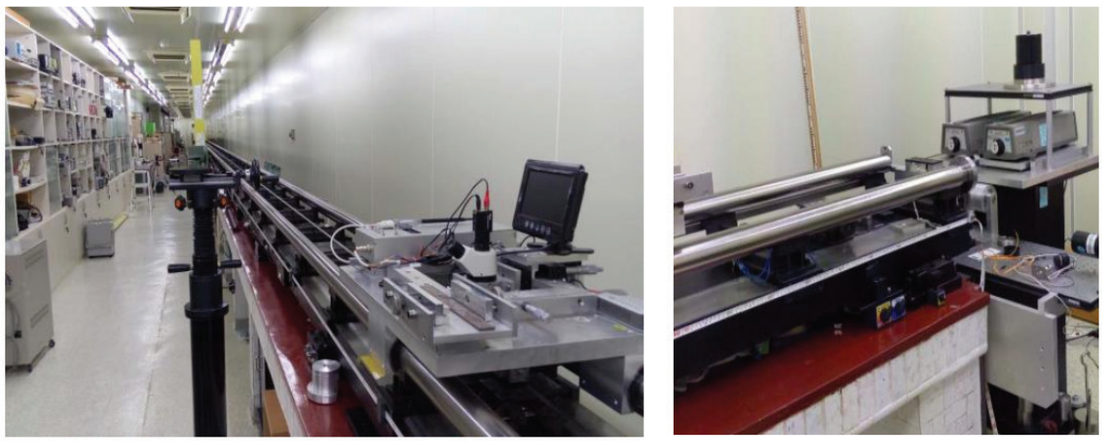
Qua nghiên cứu, phân tích các hệ thống chuẩn sử dụng giao thoa kế laser ở một số nước như Thái Lan, Hàn Quốc



Hình 1. Máy đo độ dài 3 m sử dụng giao thoa kế laser.

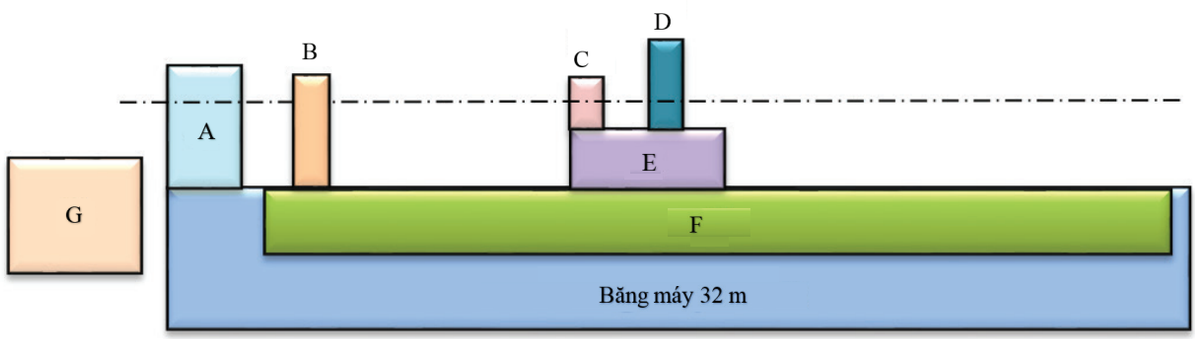


Hình 2. Cấu trúc thiết kế của hệ thống hiệu chuẩn thước cuộn của DSS [4].

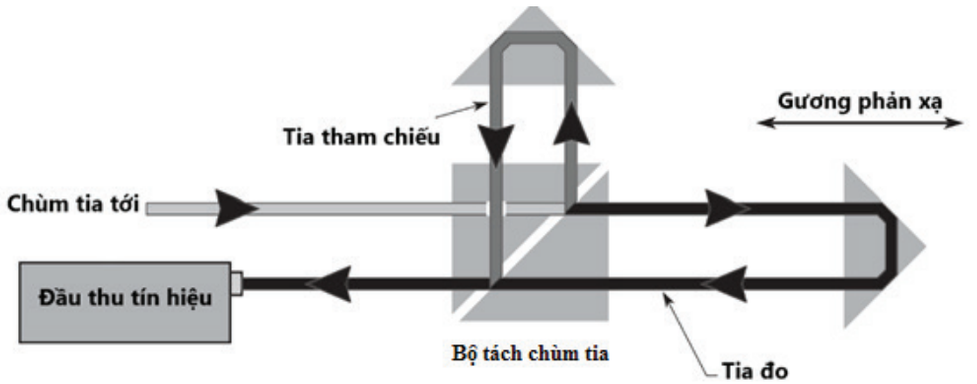


Hình 3. Hệ thống đo giao thoa kế laser 50 m của Viện Đo lường Quốc gia Hàn Quốc [5].

và cũng từ máy đo độ dài 3 m sử dụng giao thoa kế laser (hình 1), nhóm nghiên cứu đã đưa ra cấu tạo hệ thống thiết bị hiệu chuẩn/kiểm định thước vạch, thước cuộn có phạm vi đo đến 30 m. Hệ thống gồm: giao thoa kế laser (nguồn laser He-Ne ổn định tần số bằng I-ốt, hệ gương đo tuyến tính); hệ thống cơ khí gồm có: băng máy 32 m có phạm vi làm việc đến 30 m, cụm bàn dịch chuyển, các cụm đồ gá thước cuộn, thước vạch; camera; thiết bị đo nhiệt độ vật liệu và thông số môi trường (nhiệt độ, độ ẩm, áp suất khí quyển). Các thiết bị được kết nối với máy tính và gửi dữ liệu về phần mềm đo và xử lý số liệu. Sơ đồ khối của hệ thống được thể hiện như hình 4. Hệ thống sử dụng giao thoa kế laser có sơ đồ quang



Hình 4. Sơ đồ khối của hệ thống. A: nguồn laser He-Ne; B: gương tách tia; C: gương phản xạ; D: camera; E: cụm bàn dịch chuyển; F: thước và các cụm đồ gá thước; G: máy tính.



Hình 5. Sơ đồ quang học của hệ thống.

học như hình 5 với chùm tia tới xuất phát từ nguồn laser He-Ne đi qua hệ gương đo tuyến tính và tia đo sẽ đi về đầu thu tín hiệu. Qua bộ xử lý tín hiệu, phần mềm đo hiển thị ra quãng đường dịch chuyển của gương phản xạ di động hay chính là khoảng cách đo được. Việc sử dụng giao thoa kế laser hoàn toàn có thể đo được các khoảng cách lớn, nhưng cần phải có một hệ băng máy có phạm vi làm việc lớn và đảm bảo độ thẳng, để khi gương phản xạ chạy trên toàn bộ chiều dài băng vẫn đảm bảo đường truyền tia laser tốt. Như vậy, hệ băng máy được thiết kế, chế tạo có phạm vi làm việc đến 30 m sẽ hoàn toàn phù hợp để gá lắp các loại thước cuộn đến hàng chục mét và có thể đến 100 m.

2.2. Thiết kế cơ khí

2.2.1. Băng máy 32 m

Trong quá trình nghiên cứu các băng máy của các hệ thống chuẩn, tuy các sai số Abbe, sai số cosin được xác định trong quá trình thực nghiệm, nhưng khi thiết kế ray dẫn hướng, các nhà nghiên cứu đều tuân theo nguyên lý Abbe và tính đến việc làm sao để độ không thẳng của ray dẫn hướng phải càng nhỏ càng tốt. Quá trình nghiên cứu cho thấy, việc lựa chọn ray dẫn hướng cho băng máy là rất quan trọng. Đối với các thiết bị hay đồ gá được lắp đặt lên băng máy không gây ra tải trọng lớn, việc chọn ray dẫn hướng cần đảm bảo độ ổn định lâu dài. Hệ thống chuẩn 50 m của DSS và KRISS đều sử dụng ray dẫn hướng tròn. Với hệ thống của DSS, đường kính trục tròn là 40 mm [4] trong khi hệ thống của KRISS là 60 mm [5]. Việc lựa chọn ray dẫn hướng có đường kính lớn sẽ đảm bảo được độ ổn định lâu hơn. Tuy nhiên, việc sử dụng các ray dẫn hướng tròn có chiều dài lớn sẽ có nhược điểm là dễ bị võng và cong theo thời gian gây ảnh hưởng trực tiếp đến độ thẳng của ray. Do đó, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn ray dẫn hướng tròn có đế như có ưu điểm là độ võng ít hơn so với ray dẫn hướng tròn có cùng đường kính. Ray dẫn hướng tròn có đế kết hợp với cụm ổ trượt bi khuyết sẽ tạo nên một hệ thống dẫn hướng có độ chính xác cao, với khả năng chịu tải lớn, khả năng chuyển động trơn tru, linh hoạt với lực ma sát tạo ra không đáng kể. Hơn nữa, ray dẫn hướng tròn có đế được mạ một lớp crom bên ngoài sẽ tạo ra khả năng chống mài mòn hiệu quả. Mặc dù ray dẫn hướng tròn có đế có những ưu điểm, nhưng về kích thước, loại ray này cũng phải được lựa chọn phù hợp với kinh phí đầu tư, mà vẫn đảm bảo yêu cầu kỹ thuật. Do đó, nhóm nghiên cứu lựa chọn ray dẫn hướng tròn có đế với các đặc tính kỹ thuật theo bảng 1 và hình 6.

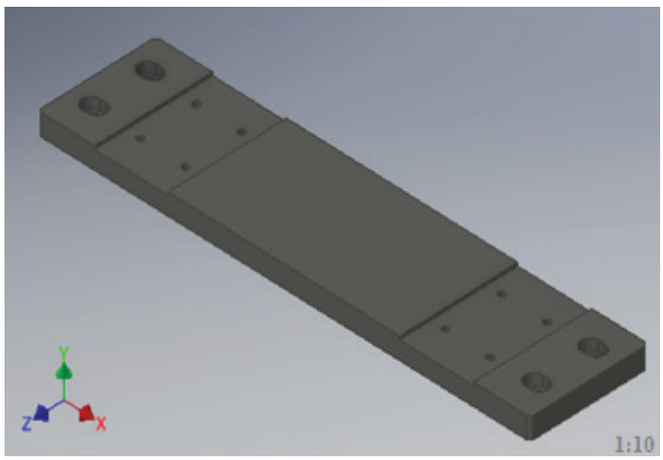
Bảng 1. Đặc trưng kỹ thuật của ray dẫn hướng tròn có đế.

STT	Đặc trưng kỹ thuật
1	Đường kính: 40 mm
2	Độ cứng: HRC58±2
3	Độ thẳng: ≤0,005 mm/100 mm
4	Vật liệu: thép, mạ crom



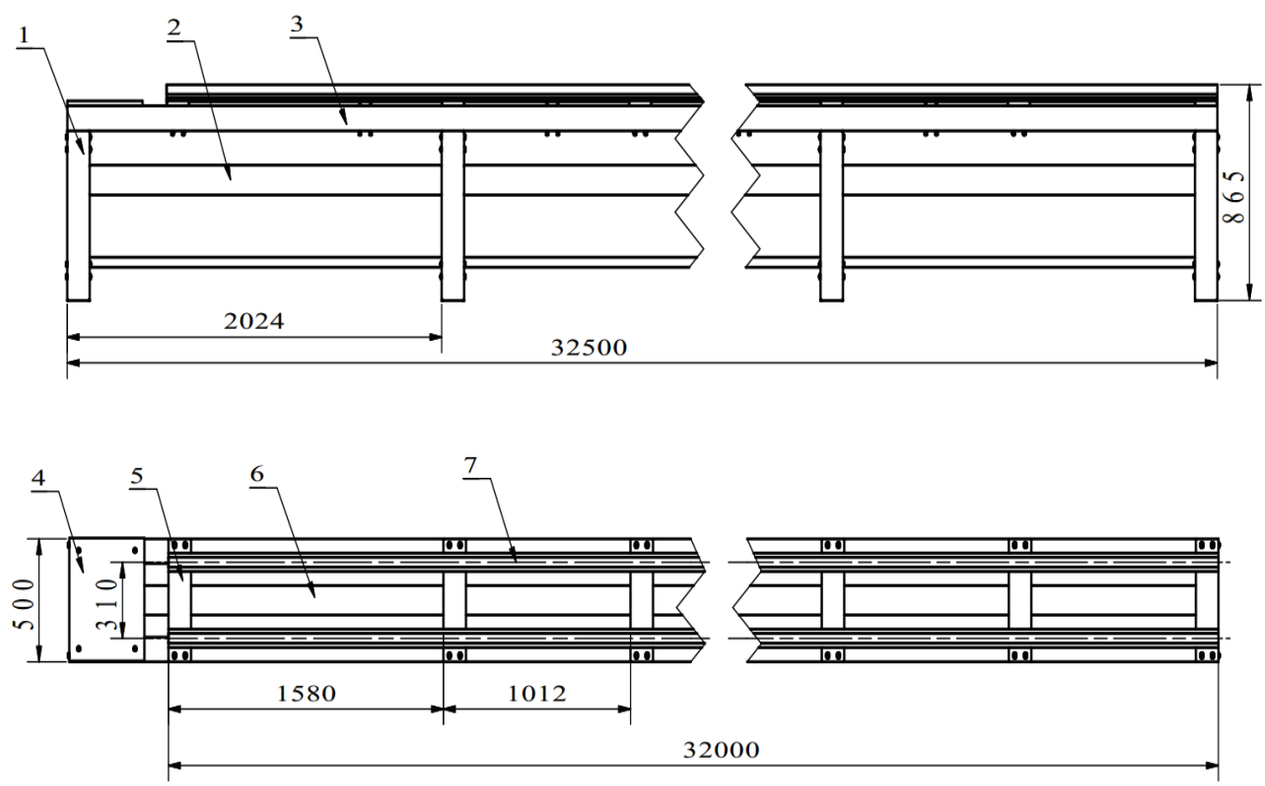
Hình 6. Ray dẫn hướng tròn có đế và cụm ổ trượt bi.

Trên thị trường, một thanh ray dẫn hướng tròn có đế có chiều dài 4 m. Như vậy, sử dụng 4 thanh ray sẽ tạo nên mô đun 8 m. Các thanh ray được đỡ bởi các tấm đỡ ray tinh chỉnh (kích thước 500x120x20 mm) có thể điều chỉnh độ thẳng và độ song song của ray dẫn hướng trong quá trình lắp đặt, tấm đỡ ray được thiết kế như hình 7 và được chế tạo bằng vật liệu thép CT3.



Hình 7. Tấm đỡ ray tinh chỉnh.

Băng máy có cấu tạo gồm 2 ray dẫn hướng (chi tiết số 7) có chiều dài 32 m, đủ phạm vi làm việc đến 30 m khi lắp cụm bàn dịch chuyển; 32 tấm đỡ ray tinh chỉnh với 1 tấm đỡ ở đầu ray dẫn hướng, các tấm đỡ còn lại được bố trí cách đều nhau 1012 mm dọc theo chiều dài ray dẫn hướng; hai ray thép hộp đỡ các tấm đỡ ray tinh chỉnh có chiều dài 32,5 m để có thể gá đặt nguồn laser và đồ gá lên bàn gá (chi tiết số 4). Trên toàn bộ chiều dài băng máy sẽ có 17 cụm trụ đứng chân đỡ được bố trí cách đều nhau 2024 mm và được liên kết với nhau bằng các thanh liên kết trên và dưới. Hơn nữa, mỗi cụm trụ đứng chân đỡ sẽ được liên kết với một bệ bê tông bằng mối ghép bu lông đai ốc, đảm bảo sự chắc chắn và độ cứng vững của băng máy. Do băng máy dài nên trong quá trình lắp đặt, nhóm nghiên cứu sử dụng máy cân bằng laser, đồng hồ rà để chỉnh thô và ni vô điện tử để chỉnh tinh độ thẳng của ray dẫn hướng, đảm bảo cho đầu thu tín hiệu laser phải thu được tối thiểu 70% tia laser để xử lý dữ liệu đo. Đường kính tia laser là 6 mm, độ lệch tia laser lớn nhất trong phạm vi làm việc của băng máy là 1,8 mm. Để đảm bảo cho độ thẳng của tia laser và giảm thiểu các sai số



Hình 8. Cấu tạo Băng máy 32 m. 1: cụm trụ đứng chân đỡ; 2: thanh liên kết trên; 3: thép hộp; 4: bàn gá; 5: tấm đỡ ray tinh chỉnh; 6: thanh liên kết dưới; 7: thanh ray trượt tròn có đế.

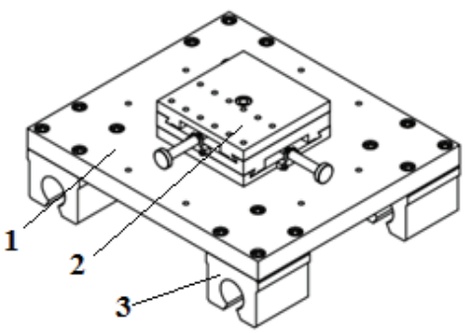
cosin, sai số Abbe lấy hệ số an toàn là 3 thì yêu cầu kỹ thuật về độ thẳng của ray dẫn hướng sau khi căn chỉnh phải đạt $\Delta \leq 0,6$ mm. Cấu tạo của băng máy 32 m được thể hiện trên hình 8.

2.2.2. Cụm bàn dịch chuyển

Cụm bàn dịch chuyển là một bộ phận trong hệ thống, có chức năng thực hiện dịch chuyển thô trên ray dẫn hướng của băng máy và thực hiện dịch chuyển tinh để đưa gương phản xạ, camera đến đúng vị trí cần đo trên thước cuộn/thước vạch. Để đáp ứng chức năng này, khi nghiên cứu thiết kế cụm bàn dịch chuyển phải đáp ứng các yêu cầu kỹ thuật sau:

- Dịch chuyển thô trên toàn bộ phạm vi làm việc của băng máy.

- Phạm vi dịch chuyển tinh hai trục x, y: 120 mm (phạm vi này được lựa chọn phù hợp, do trong quá trình đo sau khi dịch chuyển thô cụm bàn dịch chuyển cần tiến hành điều chỉnh tinh vị trí của gương phản xạ và camera đến đúng vị trí cần đo, nên trong lúc điều chỉnh tinh sẽ có một khoảng thời gian cho tia laser và môi trường đo xung quanh ổn định).



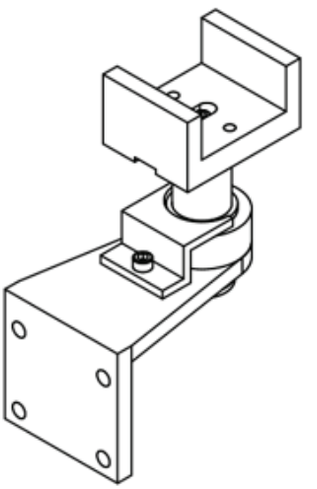
Hình 9. Cụm bàn dịch chuyển. 1: bàn máy; 2: cụm dịch chuyển; 3: cụm ổ trượt bi.

Qua nghiên cứu, cụm bàn dịch chuyển được thiết kế phù hợp với ray dẫn hướng của băng máy 32 m, có cấu tạo như hình 9. Cụm dịch chuyển thực hiện dịch chuyển tinh theo 2 trục x, y, có phạm vi dịch chuyển đến 120 mm và dùng để gá đặt cụm đồ gá giữ camera.

2.2.3. Hệ thống đồ gá thước cuộn, thước vạch

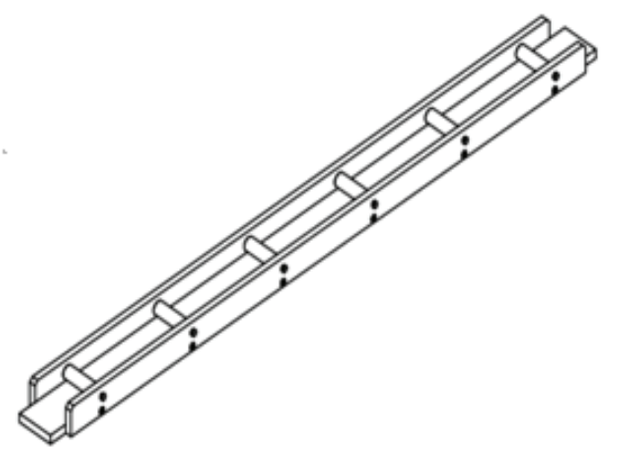
Hệ thống đồ gá thước cuộn, thước vạch thực hiện chức năng kẹp giữ đầu thước, đỡ thân thước, điều chỉnh độ cao và độ thẳng thước, kéo căng thước bằng việc treo quả cân. Ngoài ra, đối với thước cuộn có phạm vi đo lớn hơn 30 m, cần có một cụm đồ gá cuốn đoạn dây thước 30 m để có thể tiến hành đo các vị trí đo lớn hơn 30 m. Như vậy, hệ thống đồ gá thước cuộn, thước vạch sẽ bao gồm các bộ phận sau:

Cụm đồ gá chỉnh cân bằng thước: Được gá đặt dọc theo chiều dài Băng máy, đỡ các thanh dẫn hướng và điều chỉnh từng vị trí của thước lên đúng khoảng lấy nét của camera. Cụm đồ gá chỉnh cân bằng thước được thiết kế có cấu tạo như hình 10, với phạm vi dịch chuyển theo phương thẳng đứng 40 mm.



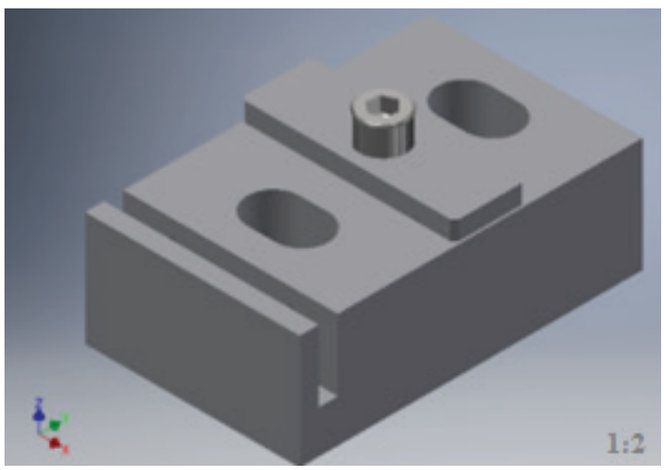
Hình 10. Cụm đồ gá chỉnh cân bằng thước.

Thanh dẫn hướng có con lăn: Được sử dụng để đỡ thước cuộn, thước vạch tránh hiện tượng dây thước bị võng, trùng. Các thanh dẫn hướng được đặt giữa các cụm đồ gá chỉnh cân bằng thước, với phạm vi đo đến 30 m sẽ cần gá đặt 31 thanh dẫn hướng 1 m có cấu tạo như hình 11.

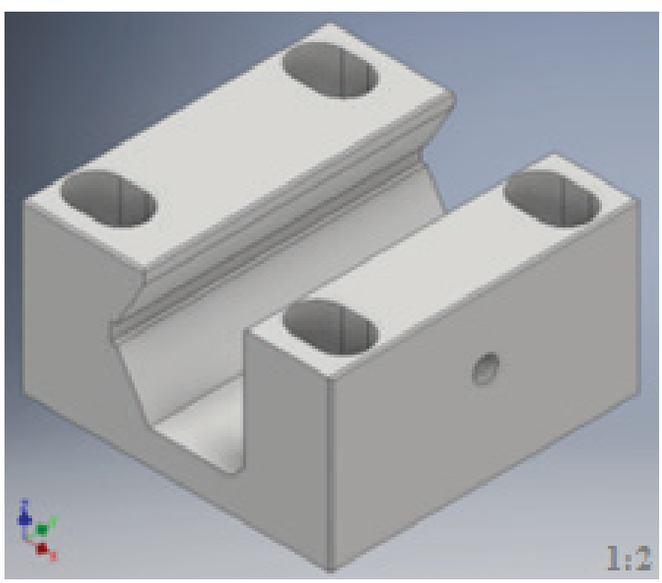


Hình 11. Thanh dẫn hướng có con lăn.

Cụm đồ gá kẹp và giữ thước: Thực hiện công việc kẹp đầu thước và giữ chắc vị trí đầu của thước, hoặc vị trí bất kỳ trên thước cuộn khi thước cuộn có phạm vi đo lớn hơn 30 m. Với hai loại thước cuộn thường và thước cuộn quả dọi được sử dụng phổ biến trên thị trường, nhóm nghiên cứu đưa ra thiết kế cụm đồ gá kẹp và giữ thước dùng cho thước cuộn thường như hình 12 và đế kẹp quả dọi như hình 13, được chế tạo bằng thép CT3.

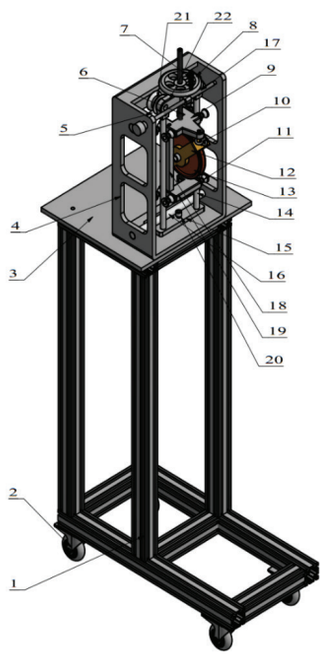


Hình 12. Cụm đồ gá dùng cho thước cuộn thường.



Hình 13. Đế kẹp quả dọi.

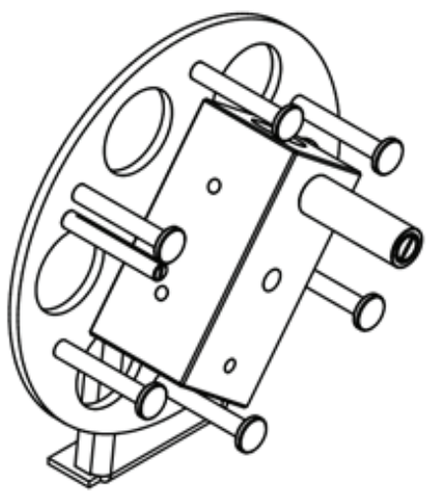
Cụm đồ gá treo quả cân: Được sử dụng để thực hiện treo quả cân kéo căng thước cuộn, thực hiện điều chỉnh độ cao của thước cuộn theo phương thẳng đứng và độ thẳng thước theo phương dọc theo chiều dài băng máy. Cụm đồ gá treo quả cân được thiết kế đáp ứng yêu cầu treo quả cân 10 kg và thực hiện dịch chuyển 40 mm theo phương thẳng đứng, 40 mm theo phương ngang. Cấu tạo chi tiết của cụm đồ gá treo quả cân được thể hiện như hình 14.



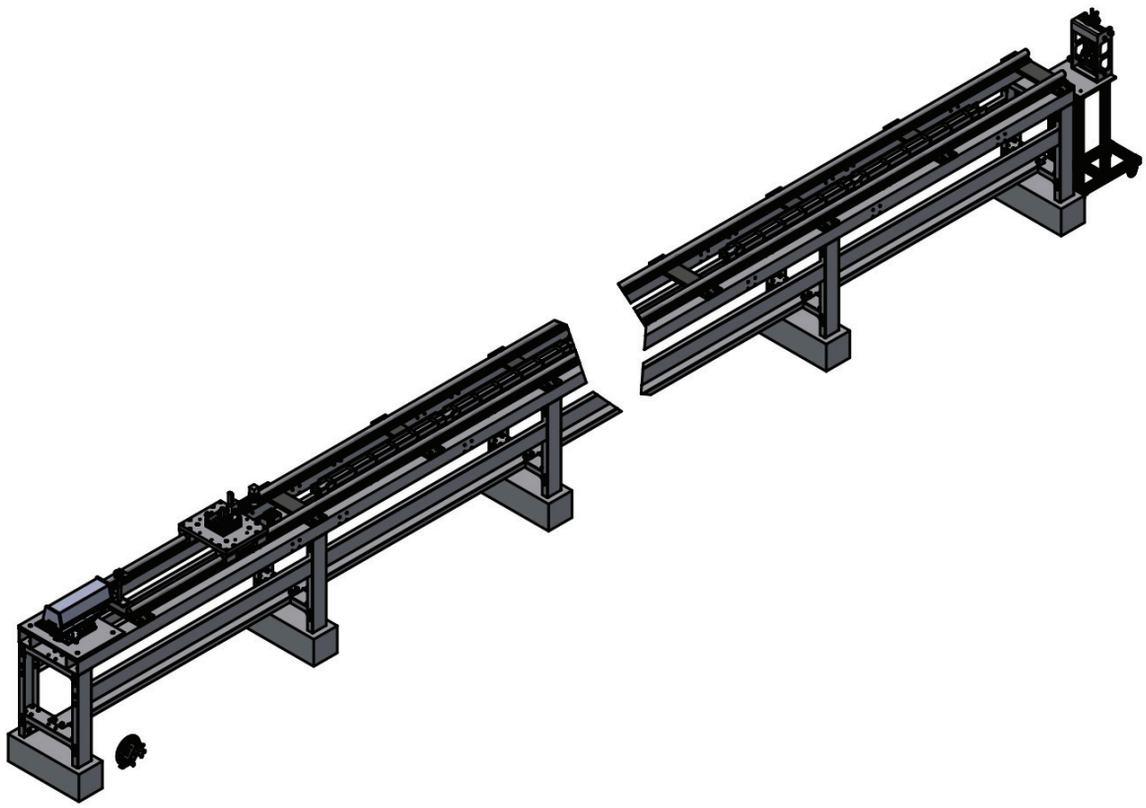
Số	Tên chi tiết
1	Khung nhôm định hình
2	Bộ bánh xe
3	Bàn
4	Thân chính
5	Trục 1
6	Thanh ren
7	Tay xoay
8	Trục xoay
9	Tấm trung gian 1
10	Chốt treo
11	Con lăn 1
12	Chi tiết đỡ Puly
13	Puly
14	Trục 2
15	Tấm chặn 1
16	Trục 3
17	Trục ren dịch chuyển ngang
18	Thanh nối
19	Tấm trung gian 2
20	Con lăn 2
21	Con lăn 3
22	Tấm chặn 2

Hình 14. Cụm đồ gá treo quả cân.

Cụm đồ gá cuốn thước: Thực hiện công việc cuốn thước cuộn trong trường hợp thước cuộn có phạm vi đo lớn hơn 30 m. Cụm đồ gá cuốn thước có vị trí kẹp đầu thước cuộn thường và vị trí kẹp quả dọi của thước cuộn quả dọi. Dây thước cuộn sẽ được cuốn quanh các chốt trụ trên đĩa quay quanh tâm như hình 15.



Hình 15. Cụm đồ gá cuốn thước.



Hình 16. Hệ thống thiết bị hiệu chuẩn/kiểm định thước cuộn, thước vạch.

Hệ thống chuẩn được tích hợp các thiết bị đo và các bộ phận cơ khí như hình 16 có phạm vi đo đến 30 m, đáp ứng yêu cầu hiệu chuẩn/kiểm định thước vạch, thước cuộn có phạm vi đo lớn.

3. Kết luận

Dựa trên quá trình nghiên cứu các hệ thống chuẩn sử dụng giao thoa kế laser trong hiệu chuẩn các phương tiện đo độ dài lớn như thước cuộn, thước vạch, nhóm thực hiện đã nghiên cứu đưa ra cấu tạo, hoàn thiện thiết kế cơ khí của hệ thống (hình 16). Hệ thống chuẩn có phạm vi đo đến 30 m sử dụng giao thoa kế laser được dẫn xuất trực tiếp từ chuẩn đầu quốc gia - một trong những chuẩn có độ ổn định và độ tin cậy hàng đầu hiện nay trong đo lường độ dài. Do đó, việc hiệu chuẩn/kiểm định thước cuộn, thước vạch trên Hệ thống chuẩn này sẽ khắc phục được những hạn chế của phương pháp đo truyền thống, giúp nâng cao độ chính xác của phép đo. Đồng thời hệ thống chuẩn cũng đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo tính dẫn xuất chuẩn từ chuẩn quốc gia tới các phương tiện đo độ dài lớn như thước cuộn, thước vạch, thiết bị đo khoảng cách bằng laser… Qua đó thể hiện tính chủ động nghiên cứu thiết kế, chế tạo trong nước, đồng nghĩa với việc làm chủ công nghệ, tăng tính linh hoạt trong vận hành và bảo trì, bảo dưỡng, góp phần tiết kiệm chi phí đầu tư so với các giải pháp nhập khẩu hệ thống chuẩn từ nước ngoài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] General Department of Standards, Metrology and Quality (2009), *DLVN 36:2009, Measuring Tapes - Verification Procedure* (in Vietnamese).

[2] General Department of Standards, Metrology and Quality (2015), *DLVN 283:2015, Standard Scales - Calibration Procedure* (in Vietnamese).

[3] General Department of Standards, Metrology and Quality (2020), *DLVN 266:2020, Standard Measuring Tapes - Calibration Procedure* (in Vietnamese).

[4] W. Chinchusak, V. Tipsuwanporn (2018), "Investigation of yaw errors in measuring tape calibration system", Measurement, **125**, pp.142-150, DOI: 10.1016/j.measurement.2018.04.053.

[5] J.W. Kim, D.Y. Jeong, H.S. Suh, et al. (2008), **"**A 50 m laser interferometer for automatic calibration of surveying tapes using wireless communication", *Measurement Science and Technology*, **19(1)**, pp.305-340, DOI: 10.1088/0957-0233/19/1/017003.

Đánh giá khả năng kháng xuyên của một số vật liệu cát ứng dụng đắp ụ bảo vệ tàu bay

Nguyễn Văn Hiếu[1], Dương Duy Khánh[1*], Nguyễn Xuân Bàng[1], Trần Công Bình[2]

[1]Học viện Kỹ thuật Quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, phường Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam
[2]Khoa Ra đa, Học viện Phòng không Không quân, xã Đoài Phương, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 20/3/2025; ngày chuyển phản biện 24/3/2025; ngày nhận phản biện 14/4/2025; ngày chấp nhận đăng 18/4/2025

Tóm tắt:

Giải pháp đắp ụ dã chiến sử dụng vật liệu địa phương để bảo vệ tàu bay trước khả năng xuyên phá của vật thể xuyên nhọn là giải pháp thường được áp dụng khi triển khai nhanh kết cấu bảo vệ tại các sân đỗ tàu bay. Giải pháp này có ưu điểm là tính linh hoạt, cơ động cao, dễ thi công và tiết kiệm chi phí so với các giải pháp kết cấu bảo vệ tàu bay khác. Bài báo tập trung mô phỏng số bằng phần mềm Abaqus khả năng xuyên của các vật thể xuyên bằng thép, khi sử dụng vật liệu nhồi là cát sạn san hô ở vùng biển Đông và cát đỏ tại khu vực Phan Thiết ở Việt Nam. Kết quả nghiên cứu mô phỏng số chỉ ra rằng, vật liệu cát sạn san hô tại khu vực quần đảo xa bờ của Việt Nam có khả năng kháng xuyên tốt hơn so với cát đỏ Phan Thiết vốn có mô đun cỡ hạt nhỏ. Chiều sâu xuyên của vật thể xuyên trong trường hợp môi trường cát đỏ và cát sạn san hô lần lượt là 0,700 và 0,495 m, tương ứng với hệ số K_x tính toán là $69{,}3.10^{-7}$ và $49{,}0.10^{-7}$. Đây là cơ sở ban đầu cho việc nghiên cứu thiết kế và ứng dụng dạng kết cấu ụ dã chiến bảo vệ tàu bay sử dụng vật liệu địa phương.

Từ khóa: **Abaqus, ụ dã chiến, vật liệu nhồi, vật thể xuyên.**

Chỉ số phân loại: **2.1, 2.5**

Assessment of the penetration resistance of sand materials for aircraft protection fortifications

Van Hieu Nguyen[1], Duy Khanh Duong[1*], Xuan Bang Nguyen[1], Cong Binh Tran[2]

[1]Military Technical Academy, 236 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Radar Faculty, Air Defense-Air Force Academy, Doai Phuong Commune, Hanoi, Vietnam

Received 20 March 2025; revised 14 April 2025; accepted 18 April 2025

Abstract:

Constructing field fortifications using local materials to protect aircraft from sharp penetrating objects is a common practice when rapidly deploying protective structures at aircraft aprons. This approach offers several advantages of high flexibility, mobility, ease of construction, and cost-effectiveness compared to other aircraft protective structural solutions. This article focuses on numerical simulations using Abaqus to analyse the penetration capability of steel penetrators when coral sand from the East Sea of Vietnam and red sand from the Phan Thiet area are used as filling materials. The numerical simulation results indicate that coral sand from the offshore islands of Vietnam exhibits higher penetration resistance than Phan Thiet red sand, which has a smaller grain size modulus. The penetration depths of the penetrator in red sand and coral sand are 0.70 m and 0.495 m, respectively, corresponding to calculated penetration resistance coefficients (K_x) of $69.3.10^{-7}$ and $49.0.10^{-7}$, respectively. These findings provide an initial basis for the design and application of field fortification structures for aircraft protection using local materials.

Keywords: **Abaqus, field fortification, filling material, penetrating object.**

Classification numbers: **2.1, 2.5**

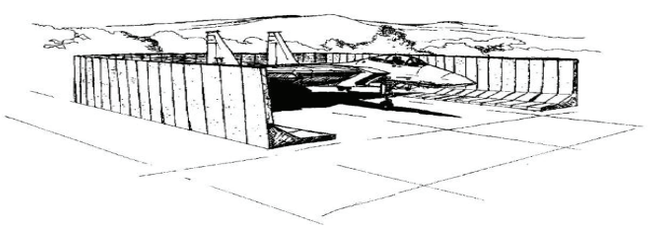
[*]Tác giả liên hệ: Email: khanhduong@lqdtu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

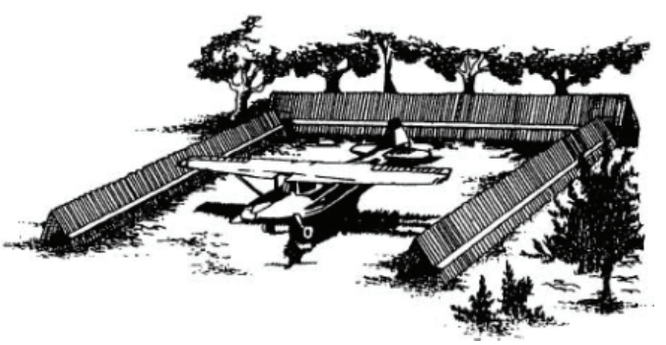
Tàu bay là phương tiện quan trọng và có giá trị cao, đặc biệt tại các sân bay nằm trong khu vực có an ninh phức tạp. Thông thường, tàu bay được bố trí riêng lẻ và áp dụng các biện pháp bảo vệ chuyên biệt.

Các giải pháp bảo vệ hiện có cho tàu bay quân sự trên sân đỗ chủ yếu sử dụng các loại ụ kiên cố bằng bê tông cốt thép đổ tại chỗ. Loại kết cấu này, tuy có khả năng chịu lực tốt và bền vững, lại gặp nhiều hạn chế về thời gian và chi phí lắp đặt, đồng thời không thể di chuyển hoặc điều chỉnh một cách nhanh chóng khi có yêu cầu thay đổi vị trí bảo vệ. Trong các trường hợp cần thiết phải mở rộng hoặc di chuyển kết cấu bảo vệ, các giải pháp kiên cố hiện tại bộc lộ rõ nhược điểm về tính cơ động.

Ngoài ra, một số giải pháp khác sử dụng các vật liệu tạm thời như khối bê tông đúc sẵn (hình 1) hoặc các module bảo vệ di động dạng Landing mat shield (tấm chắn bằng kim loại hoặc composite) (hình 2) cũng gặp phải các hạn chế nhất định đó là nặng nề, thiếu linh hoạt trong việc cơ động. Do đó, việc phát triển một giải pháp bảo vệ vừa có khả năng chống xuyên phá, vừa có thể lắp ráp và tháo dỡ nhanh chóng là điều cần thiết để đáp ứng yêu cầu trong các tình huống đặc biệt.



Hình 1. Kết cấu ụ chứa tàu bay bằng các khối bê tông đúc sẵn lắp ghép.



Hình 2. Kết cấu ụ chứa tàu bay bằng các tấm kim loại lắp ghép.

Ở các quốc gia có nền quân sự phát triển như Mỹ, Nga, Trung Quốc... việc bảo vệ tàu bay quân sự trong điều kiện tác chiến thường được đảm bảo bằng các hệ thống ụ lắp ghép, nhằm giảm thiểu nguy cơ phá hủy hàng loạt chiến đấu cơ khi căn cứ không quân bị tấn công. Các ụ lắp ghép này thường ứng dụng vật liệu địa kỹ thuật và tận dụng vật liệu sẵn có tại sân bay như đất, cát, đá, sỏi... (hình 3), mang lại nhiều thuận lợi trong tác chiến và ít chịu ảnh hưởng từ thay đổi quy hoạch khu vực sân đỗ khi triển khai các nhiệm vụ khác nhau.



Hình 3. Ụ lắp ghép dã chiến bảo vệ máy bay trên căn cứ không quân của Nga.

Từ những lý do trên, nghiên cứu này sử dụng phương pháp mô phỏng số bằng phần mềm Abaqus để đánh giá khả năng kháng xuyên của một số loại cát, làm cơ sở đề xuất một giải pháp kết cấu bảo vệ dạng ụ lắp ghép từ các mô đun cấu kiện địa kỹ thuật chứa vật liệu trơ. Đây là loại kết cấu lắp ghép nhanh, dễ tháo dỡ và có khả năng kháng xuyên tương đối tốt. Ưu điểm của giải pháp đề xuất là chi phí thấp, khả năng cơ động cao, có thể dễ dàng thay đổi vị trí hoặc điều chỉnh cấu trúc bảo vệ mà không cần mất nhiều thời gian thi công, đáp ứng yêu cầu linh hoạt trong các điều kiện phức tạp.

2. Cơ sở lý thuyết bài toán tính xuyên

Khi tính toán bài toán xuyên của vật thể xuyên trong môi trường được nghiên cứu bởi nhiều nước như Nga, Anh, Mỹ, Thụy Điển, Úc,... Trong đó, tại Việt Nam hiện nay, khi xét đến bài toán xuyên của vật thể xuyên, phổ biến nhất có thể xem xét sử dụng công thức lý thuyết thực nghiệm của Bê-rê-gian (1) [1-4].

$$h_x = \lambda_1.\lambda_2.K_x.\frac{P}{d^2}.V_0.\cos\left(\frac{1+n}{2}\right)\alpha \quad (1)$$

trong đó: h_x là chiều sâu xuyên của vật thể xuyên (m); P là trọng lượng vật thể xuyên (kg); V_0 là tốc độ của vật thể xuyên ngay trước khi va chạm (m/s); α là góc chạm của vật thể xuyên (độ); n là hệ số đối hướng của vật thể xuyên trong môi trường tính theo kết quả thực nghiệm, đối với các môi trường đất mềm thì chọn n=1.

λ_1 là hệ số phụ thuộc phần thon của vật thể xuyên được tính theo công thức (2).

$$\lambda_1 = \sqrt{\frac{l_t}{1,5d}} \quad (2)$$

trong đó: l_t là chiều dài phần thon đầu vật thể xuyên (m), với $1,5d \le l_t \le 2,5d$; d là đường kính thân vật thể xuyên (m); λ_2 là hệ số xác định theo công thức (3).

$$\lambda_2 = 2,8\sqrt[3]{d} - 1,3\sqrt{d} \quad (3)$$

K_x là hệ số xuyên được xác định cho các loại vật liệu đất, cát tại bảng 1.

Bảng 1. Xác định hệ số xuyên K_x đối với vật liệu đất, cát [1].

STT	Loại môi trường	Hệ số K_x
1	Cát chặt có độ ẩm tự nhiên	45.10^{-7}
2	Cát ngậm nước	68.10^{-7}
3	Cát lấp (không đầm lèn)	90.10^{-7}
4	Á cát	50.10^{-7}
5	Á sét	60.10^{-7}
6	Đất sét chặt trung bình	70.10^{-7}

Để xác định chiều sâu xuyên theo lời giải giải tích, ta sử dụng các thông số của vật thể xuyên theo bảng 2.

Bảng 2. Thông số cơ bản của vật thể xuyên [5, 6].

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Thông số
1	Đường kính d	mm	12,979
2	Chiều dài L	mm	64,6
3	Chiều dài phần thon L_t	mm	33,30
4	Khối lượng	g	51,30
5	Tốc độ chạm mục tiêu	m/s	500
6	Góc chạm mục tiêu	độ	0

Khi đó, với các loại vật liệu đất, cát ở trạng thái khác nhau (bảng 1), xác định được chiều sâu xuyên khác nhau theo lời giải giải tích theo công thức (1), nhận được kết quả tại bảng 3.

Bảng 3. Tổng hợp kết quả chiều sâu xuyên đối với các loại môi trường.

STT	Loại môi trường	Hệ số K_X	Chiều sâu xuyên h_X (m)
1	Cát chặt có độ ẩm tự nhiên	45.10^{-7}	0,45
2	Cát ngậm nước	68.10^{-7}	0,69
3	Cát lấp (không đầm lèn)	90.10^{-7}	0,91
4	Á cát	50.10^{-7}	0,51
5	Á sét	60.10^{-7}	0,61
6	Đất sét chặt trung bình	70.10^{-7}	0,71

3. Thiết lập mô hình tính và mô phỏng số

3.1. Các thông số đầu vào thiết lập mô hình tính

Các thông số hình học mô đun điển hình: Trên cơ sở tính toán theo phương pháp lý thuyết, chiều sâu xuyên lớn nhất là 0,91 m đối với loại vật liệu cát lấp (không đầm lèn). Để đảm bảo an toàn khi thiết kế, chế tạo mô đun cấu kiện, nhóm tác giả đề xuất kích thước điển hình cho 1 mô đun cấu kiện là 1x1x1,1 m. Việc lựa chọn kích thước thành có thể lắp ụ đạt chiều cao từ 3,3÷4,4 m khi xếp từ 3÷4 tầng, đáp ứng cơ bản cho phần thân chính của các loại tàu bay quân sự, là các đối tượng cần được bảo vệ trong các tình huống đặc biệt.

Thông số vải địa kỹ thuật lớp bảo vệ: Nhóm tác giả đề xuất sử dụng loại vải địa kỹ thuật không dệt ART25. Vải địa kỹ thuật không dệt ART25 được sản xuất từ polypropylene (PP), một loại polymer bền bỉ, có tính kháng cao với môi trường và khả năng chịu lực tốt. Chất liệu polypropylene giúp vải ART25 chống lại hóa chất và độ ẩm, đồng thời giữ ổn định trong các điều kiện khắc nghiệt, giúp duy trì hiệu quả trong các ứng dụng dài hạn (bảng 4).

Bảng 4. Các chỉ tiêu kỹ thuật vải địa kỹ thuật không dệt ART25 [7].

STT	Chỉ tiêu	Phương pháp thử	Đơn vị	ART25
1	Cường độ chịu kéo (Tensile strength)	ASTM D 4595	kN/m	25
2	Dãn dài khi đứt (Elongation at break)	ASTM D 4595	%	50/80
3	Kháng xé hình thang (Trapezoidal tear strength)	ASTM D 4533	N	520
4	Sức kháng thủng thanh (Puncture resistance)	ASTM D 4833	N	750
5	Sức kháng thủng CBR (CBR puncture resistance)	DIN 54307	N	4000
6	Rơi côn (Cone drop)	BS 6906/6	mm	11
7	Hệ số thấm tại 100 mm (Permeability at 100 mm)	BS 6906/3	l/m^2/giây	60
8	Kích thước lỗ O_{90} (Opening size O_{90})	EN ISO 12956	micron	70
9	Độ dày P=2 kPa (Thickness under 2 kPa)	ASTM D 5199	Mm	2
10	Trọng lượng (Mass per unit area)	ASTM D 5261	g/m^2	315

Thông số vật liệu nhồi: Vật liệu trơ được đề xuất để đổ đầy vào các bao vải địa kỹ thuật là các vật liệu địa phương, có sẵn, nhờ đó tận dụng tối đa nguồn vật liệu tự nhiên ngay tại chỗ. Loại vật liệu này không chỉ đáp ứng tiêu chuẩn trơ về mặt hóa học, nghĩa là không phản ứng hoặc phân hủy khi tiếp xúc với các yếu tố môi trường, mà còn có ưu điểm ổn định cơ học cao khi được đầm nén vào các cấu kiện bao.

Trong bài toán xét hai loại vật liệu đổ đầy bao gồm cát đỏ tại TP Phan Thiết (Bình Thuận) và là cát sạn san hô tại các quần đảo xa bờ ở khu vực biển Đông, Việt Nam. Các thông số cơ lý của hai loại vật liệu này được thể hiện ở bảng 5.

Bảng 5. Chỉ tiêu cơ lý đối với cát đỏ Phan Thiết [8-12] **và cát sạn san hô** [13].

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị	
			Cát đỏ Phan Thiết	*Cát sạn san hô*
1	Khối lượng riêng	kg/m^3	1610	2077
2	Mô đun Young	N/m^2	$20,59x10^6$	$30,86x10^6$
3	Hệ số Poisson		0,35	0,34
4	Lực dính	N/m^2	$28,85x10^3$	$29,83x10^3$
5	Góc ma sát trong	độ	34,8	46,49
6	Góc trương nở	độ	-	9,52
7	Góc ma sát ngoài với thép	độ	-	30,66

Do chưa có số liệu thí nghiệm về hệ số ma sát giữa cát đỏ Phan Thiết và thép nên nhóm tác giả tính toán hệ số ma sát giữa cát và bề mặt thép theo công thức (4) [14-16].

$$\mu = tg\phi \quad (4)$$

trong đó: μ là hệ số ma sát giữa cát và bề mặt thép; ϕ là góc ma sát ngoài giữa cát và bề mặt thép, được tính theo công thức (5) [15].

$$\phi = \frac{2}{3}\varphi \quad (5)$$

trong đó: φ là góc ma sát trong của đất, cát.

Ta có hệ số ma sát giữa cát đỏ Phan Thiết và bề mặt thép:

$$\phi_{PT} = \frac{2}{3}\varphi_{PT} = \frac{2}{3}\cdot 34,8° = 23,2° \rightarrow \mu_{PT} = tg\phi_{PT} = tg23,2° = 0,43$$

Hệ số ma sát giữa thép và cát sạn san hô được tính theo công thức (4) và cho kết quả như sau:

$$\mu_{SH} = tg\phi_{SH} = tg30,66° = 0,59$$

3.2. Mô phỏng số bằng phần mềm Abaqus

Abaqus là một phần mềm mô phỏng số sử dụng các phương pháp phần tử hữu hạn (FEM), phần tử rời rạc (DEM) và phần tử hạt không lưới (SPH) để giải quyết cho các bài toán khác nhau. Đặc biệt, thích hợp cho việc phân tích các bài toán động lực học phi tuyến với các sự kiện va chạm và biến dạng phức tạp. Phần mềm này sử dụng phương pháp phân tích theo bước thời gian ngắn để giải quyết các vấn đề liên quan đến va chạm, nổ và các hiện tượng động lực học khác. Nhờ vào khả năng xử lý các điều kiện biên và tải trọng phức tạp, Abaqus được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, từ thiết kế kết cấu đến phân tích an toàn cho các thiết bị quân sự và công nghiệp, hỗ trợ tối ưu hóa thiết kế và nâng cao độ tin cậy của sản phẩm.

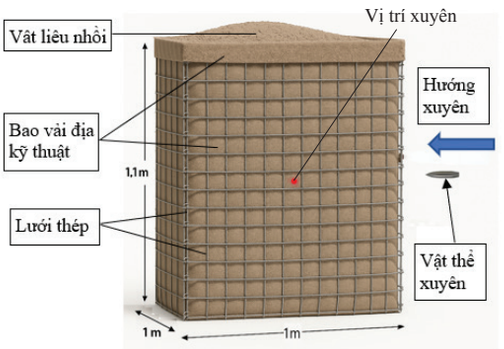
Nghiên cứu này sử dụng phương pháp hạt không lưới hay thủy động lực học hạt mịn (Smoothed Particle Hydrodynamics-SPH), một phương pháp mô phỏng được tích hợp sẵn trong Abaqus nhằm mô phỏng các bài toán biến dạng lớn, đặc biệt là hiện tượng xuyên phá trong môi trường hạt rời như cát sạn san hô, cát đỏ. Phương pháp SPH cho phép vật liệu biến dạng tự do, không bị phụ thuộc vào dạng hình học phần tử như FEM, nhờ đó tránh được hiện tượng suy biến phần tử (element distortion) trong các bài toán xuyên sâu, năng lượng cao. Hơn nữa, SPH có thể mô tả tốt hiện tượng dòng chảy hạt rời, phân tán vật liệu, rất phù hợp với môi trường đất rời.

Nghiên cứu này tập trung mô phỏng bài toán vật thể xuyên vào cấu kiện ụ dã chiến bảo vệ tàu bay. Trong bài toán xuyên này, sự đóng góp của bao vải địa kỹ thuật và lưới thép vào tác dụng chống xuyên là không đáng kể [16], do đó để đơn giản hóa nhưng vẫn đạt được độ chính xác ở mức chấp nhận được, nhóm tác giả không xét đến sự làm việc của bao vải địa kỹ thuật. Ngoài ra, chiều dày vải 2 mm rất nhỏ so với chiều dày khối cát, giả thiết vị trí xuyên vào giữa ô lưới, do đó quá trình mô phỏng xác định chiều sâu xuyên, để thiên về an toàn, bỏ qua ảnh hưởng lớp vật liệu vỏ và lớp lưới.

Đối với bài toán va chạm của vật thể xuyên với vật liệu đất, cát có thể mô phỏng theo mô hình Mohr - Coulomb; mô hình Cam Clay; mô hình tái bền động học Hypoplastic. Trong phạm vi nghiên cứu của bài báo, các tác giả sử dụng mô hình đàn dẻo lý tưởng Mohr - Coulomb để mô hình hoá vật liệu đất, cát do tính đơn giản, các tham số dễ xác định qua thí nghiệm và khả năng mô phỏng phù hợp với ứng xử cơ học của vật liệu trong bài toán xuyên.

Loại vật thể xuyên được sử dụng trong mô phỏng là vật thể xuyên bằng vật liệu thép với các thông số kỹ thuật được thể hiện trong bảng 2. Trong mô phỏng này, coi vật thể xuyên là tuyệt đối cứng và giả thiết vật thể xuyên bay thẳng vuông góc với cấu kiện, không xét đến chuyển động xoay của vật thể xuyên. Mô phỏng với trường hợp vật thể xuyên va chạm với kết cấu ụ bảo vệ tàu bay với vận tốc của vật thể khi va chạm là 500 m/s.

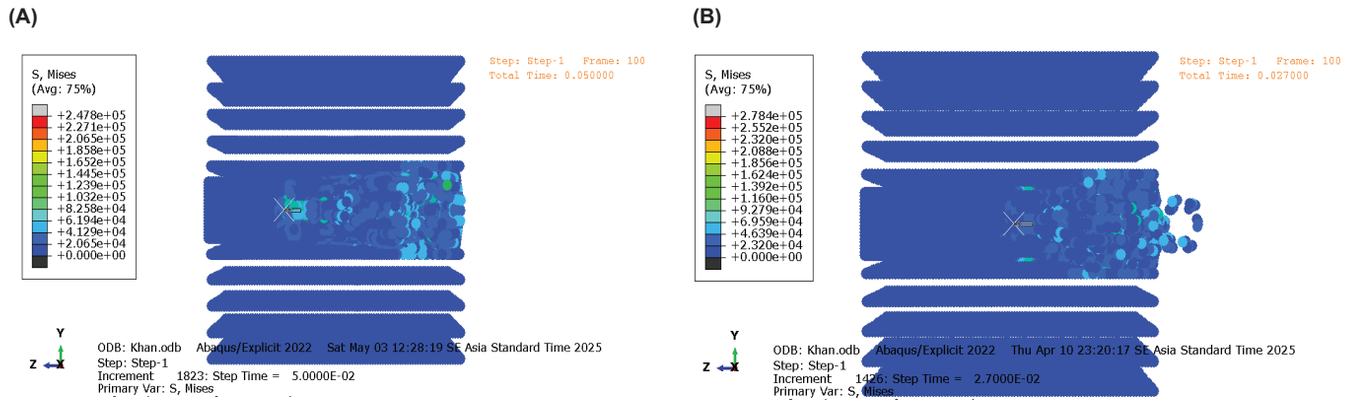
Vật thể xuyên có kích thước rất nhỏ so với môi trường xuyên, do vậy điều kiện biên được khống chế theo các phương của cạnh khối lập phương bao cát (hình 4).



Hình 4. Mô hình bài toán.

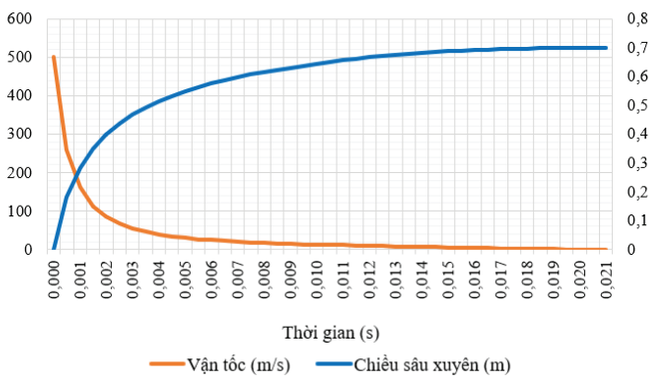
4. Kết quả và bàn luận

Kết quả mô phỏng số bằng phần mềm Abaqus được thể hiện trong hình 5A đối với cát đỏ Phan Thiết và hình 5B đối với cát sạn san hô tại các quần đảo ở khu vực biển Đông, Việt Nam.

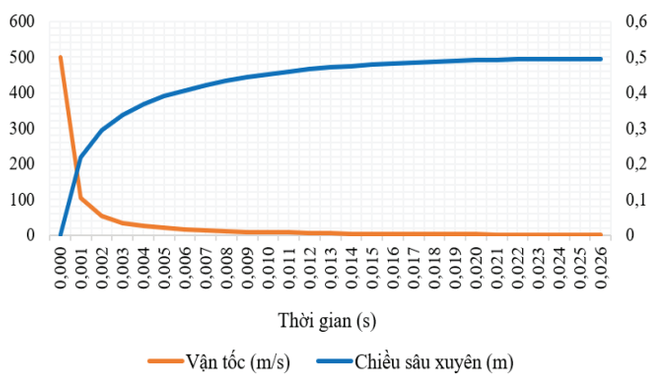


Hình 5. Mô phỏng số tác dụng xuyên của vật thể xuyên vào vật liệu cát đỏ Phan Thiết (A) và cát sạn san hô (B).

Căn cứ kết quả mô phỏng, ta thiết lập được biểu đồ xác định sự phụ thuộc của chiều sâu xuyên với thời gian chuyển động và vận tốc của vật thể xuyên trong hai môi trường vật liệu nghiên cứu thể hiện trên các hình 6 và 7.



Hình 6. Chiều sâu xuyên và vận tốc đầu đạn theo thời gian đối với cát đỏ Phan Thiết.



Hình 7. Chiều sâu xuyên và vận tốc đầu đạn theo thời gian đối với cát sạn san hô.

Kết quả mô phỏng số chỉ ra rằng: Chiều sâu xuyên đối với trường hợp vật liệu cát đỏ Phan Thiết là 0,700 m đạt được tại thời điểm t=0,021 giây; đối với vật liệu cát sạn san hô tại các quần đảo ở khu vực biển Đông, Việt Nam là 0,495 m tại thời điểm t=0,026 giây.

Thông qua kết quả chiều sâu xuyên, có thể xác định hệ số K_x của cát đỏ Phan Thiết và cát sạn san hô tại quần đảo xa bờ của Việt Nam theo công thức (1), nhận được kết quả như sau: $K_X^{PT} = 69{,}3x10^{-7}$; $K_X^{SH} = 49{,}0x10^{-7}$.

Thông qua kết quả mô phỏng, có thể nhận thấy cát sạn san hô có khả năng kháng xuyên tốt hơn so với cát đỏ Phan Thiết, điều này do mô đun cỡ hạt và đặc tính móc xếp của các hạt với nhau đối với cát sạn san hô tốt hơn nhiều so với các hạt mịn của cát đỏ Phan Thiết. Điều này cũng đã được khẳng định qua các nghiên cứu về cát sạn san hô [13, 17-24] và cát đỏ Phan Thiết [8-12].

Kết quả h_x, K_x đối với 2 loại vật liệu thông qua mô phỏng là cơ sở ban đầu để lựa chọn mô hình thử nghiệm. Để có được kết quả chính xác, cần thông qua thí nghiệm nhiều lần về hệ số ma sát giữa vật liệu vật thể xuyên và cát, thí nghiệm thực tế khả năng xuyên của vật thể xuyên tốc độ cao vào môi trường các loại vật liệu cát khác nhau, với các độ chặt, độ ẩm khác nhau.

Trong khuôn khổ nghiên cứu mô phỏng của bài báo bằng phần mềm Abaqus, kết quả cho thấy hiệu quả chống xuyên đáng kể của vật liệu cát sạn san hô. Điều này mở ra khả năng tận dụng vật liệu này tại các vị trí biển đảo xa bờ của Việt Nam, đặc biệt trong việc xây dựng các kết cấu dã chiến bảo vệ con người, bảo vệ các phương tiện có giá trị cao tại vùng biển đảo.

5. Kết luận

Trên cơ sở nghiên cứu mô phỏng số bằng phần mềm Abaqus, xác định chiều sâu xuyên của vật thể xuyên vào môi trường cát sạn san hô tại vùng biển đảo xa bờ Việt Nam và cát đỏ Phan Thiết nhận thấy, khả năng kháng xuyên của vật liệu cát sạn san hô tốt hơn so với cát đỏ Phan Thiết với hệ số xuyên lần lượt là $K_X^{PT}=69{,}3x10^{-7}$, $K_X^{SH}=49{,}0x10^{-7}$ và chiều sâu xuyên tương ứng là $h_X^{PT}=0{,}700$ m, $h_X^{SH}=0{,}495$ m.

Hệ số xuyên này cũng phù hợp với các hệ số xuyên đối với môi trường đất, cát theo công bố trong các tài liệu của Nga và Việt Nam.

Dựa trên kết quả nghiên cứu về chiều sâu xuyên và hệ số xuyên, có thể đề xuất các phương án thử nghiệm thực tế để đánh giá khả năng kháng xuyên của các loại vật liệu khác nhau. Những kết quả này sẽ là cơ sở quan trọng để đưa ra giải pháp kết cấu ụ lắp ghép hiệu quả, đảm bảo bảo vệ tàu bay trong các điều kiện khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] A.A. Lisogor (1958), *Protective Structures of Defensive Structures and Their Calculation (Manual for Students on Fortification)*, Bibliography, Moscow, 67pp (in Russian).

[2] N.N. Thuy, V.D. Loi, T.M. Hoang (2021), "Experimental study on determining the penetration depth of projectiles into concrete", *Journal of Building Materials Research and Development*, **11(3)**, pp.62-66, DOI: 10.54772/jomc.3.2021.74 (in Vietnamese).

[3] N.X. Bang, N.T. Ta (2021), "Studying the effect of projectile velocity on penetration depth in concrete with the simplified concrete damage plasticity model by abaqus software", *Journal of Science and Technique, Section on Special Construction Engineering*, **4(1)**, pp.109-117, DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v4.n01.337.sce.

[4] N.T. Ta, H.Q. Tuan (2017), "Calculate the penetration depth of bomb into different structure by particle flow code", *Journal of Construction*, **7**, pp.152-154 (in Vietnamese).

[5] M.S. Pešić, A.B. Živković, A.D. Aničić, et al. (2022), "Numerical analysis of a frontal impact of a 12.7 mm projectile on an armor plate", *Vojnotehnicki Glasnik/Military Technical Courier*, **70(4)**, pp.897-923, DOI: 10.5937/vojtehg70-38412.

[6] T. Børvik, S. Dey, L. Olovsson (2014), "Penetration of granular materials by small-arms bullets", *International Journal of Impact Engineering*, **75**, pp.1-15, DOI: 10.1016/j.ijimpeng.2014.07.016.

[7] H.T. Viet (2025), "ART25 geotextile fabric", https://hatangviet.com/san-pham/vai-dia-ky-thuat-art25/, accessed 9 March 2025 (in Vietnamese).

[8] D.V. Thuy, N.V. Hieu, P.D. Tiep, et al. (2023a), "Research on applicability natural red sand for the subgrade of highway construction by experiment in the laboratory", *Journal of Science and Technique, Section on Special Construction Engineering*, **6(2)**, pp.7-20, DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v6.n02.735.sce.

[9] Airport Design and Construction Consultancy One Member Limited Liability Company ADCC (2021), *Design Explanation for The Construction Drawing of The Investment Project for a Military Airport in Phan Thiet, Binh Thuan Province, Including: Groundworks and Coordination, Temporary Access Roads for Construction, and Construction of a Water Supply System for Construction Activities* (in Vietnamese).

[10] D.V. Thuy, P.D. Tiep, N.V. Hieu, et al. (2023b), "Influence of loading and relative compaction on liquefaction behavior of reconstituted sand in cyclic triaxial tests", *Yantu Lixue/Rock and Soil Mechanics*, **45(6)**, pp.1813-1823, DOI: 10.16285/j.rsm.2023.0673 (in Chinese).

[11] N.Q. Loc (2012), *Study on Stratigraphy and Sediments of Red Sand in The Phan Thiet Area and Assessment of Related Mineral Potential*, Master's Thesis in Geology, University of Science - VNU - HN (in Vietnamese).

[12] Department for Roads of Vietnam (2022), *TCCS 38:2022/TCDBVN Flexible Pavement Design - Specification and Guidelines*, 53pp (in Vietnamese).

[13] N.T. Sang (2024), *Study on The Performance of Helical Steel Pipe Piles in a Coral Sand-Gravel Foundation*, Doctoral thesis in engineering, Le Quy Don Technical University, 150pp (in Vietnamese).

[14] C. Yang, L. Ding, D. Tang, et al. (2020), "Improved Terzaghi-theory-based interaction modeling of rotary robotic locomotors with granular substrates", *Mechanism and Machine Theory*, **152**, DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2020.103901.

[15] Ministry of Science and Technology of Vietnam (2014), *TCVN 10304:2014 Pile Foundation - Design Standard*, 81pp (in Vietnamese).

[16] G. Maselli (2017), *Mitigation of Blast Wave in Drainage of War Devices Near Civil Structures*, Master of civil engineering, University of Rome "La Sapienza", 106pp.

[17] V.A. Tuan, P.D. Phong, V.V. Hoang (2022), "Shear strength behaviour of a coral sand in Vietnam", *Proceedings of The 20th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Australian Geomechanics Society, Sydney, Australia, pp.251-254.

[18] M.D. Nhan, V.A. Tuan, P.D. Tiep, et al. (2019), "Study on shear strength characteristics of coral sand subjected to cyclic load by direct shear test", *Journal of Science and Technique, Section on Special Construction Engineering*, **2(1)**, pp.22-29, DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v2.n01.316.sce.

[19] P.D. Tiep, N.T. Lai, V.A. Tuan (2019), "Experimental study on strength parameters of coral sand by automatic direct shear device", *Journal of Science and Technique, Section on Special Construction Engineering*, **2(2)**, pp.7-16, DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v2.n02.225.sce.

[20] K. Dewi, V.A. Tuan, T. Matsumoto (2016), "Numerical study on behaviour of single piles in a coral sand", *Soft Soils*, pp.27-28.

[21] V.A. Tuan (2021), "Shear strength behaviour of coral gravelly sand subjected to monotonic and cyclic loading", *Geomechanics and Engineering*, **25(2)**, pp.89-98, DOI: 10.12989/gae.2021.25.2.089.

[22] P.D. Tiep, T.N. Hung, N.T. Lai (2024), "Dynamic characteristics of saturated dense coral sand samples", *Journal of Science and Technique, Section on Special Construction Engineering*, **7(2)**, pp.94-105, DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v7.n02.884.sce.

[23] C.V. Hoa, V.A. Tuan, N.T. Sang, et al. (2021), "Effect of grain size on shear strength of coral gravel sand", *Proceedings of The 3rd International Conference on Sustainability in Civil Engineering, Lecture Notes in Civil Engineering*, **145**, pp.87-95, DOI: 10.1007/978-981-16-0053-1_11.

[24] N.T. Sang, N.T. Lai, P.D. Tiep (2023), "Experimental study of interface shear characteristics between calcareous soil and steel, application to estimate axial bearing capacity of steel pile", *Journal of Building Science and Technology*, **1**, pp.41-48, DOI: 10.59382/j-ibst.2023.en.vol1-5.

Ảnh hưởng của chất lượng nước tưới đến tính chất đất trồng rau khu vực Gia Lâm, Hà Nội

Dương Thị Kim Thư[1], Nguyễn Thị Hằng Nga[2], Nguyễn Thị Ngọc Dinh[3*]

[1]Viện Nước, Tưới tiêu và Môi trường, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2/165 Chùa Bộc, phường Kim Liên, Hà Nội, Việt Nam
[2]Khoa Kỹ thuật tài nguyên nước, Trường Đại học Thủy lợi, 175 Tây Sơn, phường Kim Liên, Hà Nội, Việt Nam
[3]Khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam, xã Gia Lâm, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 10/11/2025; ngày chuyển phản biện 12/11/2025; ngày nhận phản biện 4/12/2025; ngày chấp nhận đăng 10/12/2025

Tóm tắt:

Nghiên cứu được thực hiện thông qua thí nghiệm chậu trong nhà lưới kết hợp lấy mẫu khảo sát ngẫu nhiên tại khu vực tưới nước sông Cầu Bây, để so sánh đặc tính của đất trước và sau 3 vụ thí nghiệm bằng các loại nước khác nhau, gồm nước thải sinh hoạt đã xử lý, nước sông Cầu Bây và nước giếng khoan có bón phân hóa học cho một số loại rau ăn lá trồng trên đất phù sa sông Hồng, vùng Gia Lâm (Hà Nội). Kết quả cho thấy, việc sử dụng nước thải và nước sông Cầu Bây có thể bổ sung hàm lượng nitơ (N), phốt pho (P) và chất hữu cơ cho đất. Các chỉ số về pH, độ ẩm và dinh dưỡng trong đất đều được cải thiện so với công thức tưới nước giếng khoan. Tuy nhiên, tưới bằng nước sông Cầu Bây thường xuyên, hàm lượng N và P tích lũy trong đất cao hơn từ 1,4 đến 1,5 lần so với tưới nước giếng khoan. Đây là nguy cơ gây tích lũy nitrat vào đất và rau nếu không được kiểm soát đầy đủ cân bằng dinh dưỡng trong nước tưới, đất và phân bón.

Từ khoá: **an toàn nông sản, chất lượng nước tưới, Gia Lâm, rau ăn lá, tích lũy nitrat.**

Chỉ số phân loại: **2.1, 4.1**

The impact of irrigation water quality on soil properties in vegetable-growing areas of Gia Lam, Hanoi

Thi Kim Thu Duong[1], Thi Hang Nga Nguyen[2], Thi Ngoc Dinh Nguyen[3*]

[1]Institute for Water and Environment, Vietnam Academy for Water Resources, 2/165 Chua Boc Street, Kim Lien Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Department of Water Resources Engineering, Thuyloi University, 175 Tay Son Street, Kim Lien Ward, Hanoi, Vietnam
[3]Faculty of Agronomy, Vietnam National University of Agriculture, Gia Lam Commune, Hanoi, Vietnam

Received 10 November 2025, revised 4 December 2025, accepted 10 December 2025

Abstract:

The research was conducted through pot experiments in a greenhouse combined with random sampling in the Cau Bay river irrigation area to compare soil characteristics before and after three experimental seasons using different types of water: treated domestic wastewater, Cau Bay river water, and well water supplemented with chemical fertilisers for several leafy vegetables grown on Red river alluvial soil in Gia Lam (Hanoi). The results showed that irrigation with wastewater and Cau Bay river water increased soil nitrogen (N), phosphorus (P), and organic matter contents. Soil pH, moisture, and nutrient levels were all improved compared with well water irrigation. However, with regular irrigation using Cau Bay river water, the accumulated N and P content in the soil was 1.4 to 1.5 times higher than with well water irrigation. This poses a potential risk of nitrate accumulation in soil and vegetables if nutrient balance among irrigation water, soil, and fertilisers is not adequately controlled.

Keywords: **agricultural product safety, Gia Lam, irrigation water quality, leafy vegetables, nitrate accumulation.**

Classification numbers: **2.1, 4.1**

[*]Tác giả liên hệ: Email: ngocdinhhau1@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Nghiên cứu của H.T. Trinh và cs (2017) [1] về chất lượng nước lũ tại các ruộng lúa ở Thanh Hóa và Thừa Thiên Huế cho thấy, nước lũ - vốn có thể được sử dụng cho tưới tiêu, chứa nhiều chất ô nhiễm vô cơ và hữu cơ có nguồn gốc từ hoạt động nông nghiệp và sinh hoạt. Trong số 940 hợp chất hữu cơ được sàng lọc, có tới 277 vi ô nhiễm được phát hiện, bao gồm thuốc trừ sâu, chất hóa dẻo, sản phẩm dầu mỏ, dược phẩm và các kim loại nặng như As, Cd, Pb, Cu, Zn. Đồng thời, hiện tượng ngập lũ làm thay đổi điều kiện oxy hóa - khử của đất, thúc đẩy quá trình hòa tan và giải phóng các kim loại như Fe, Mn và asen từ trầm tích vào nước. Đồng thời, thuốc bảo vệ thực vật sử dụng trên đồng ruộng (như isoprocarb, fenobucarb, metalaxyl) được phát hiện với tần suất cao trong nước lũ, phản ánh nguy cơ phát tán và tái phân bố các hóa chất này trong môi trường đất - nước. Kết quả cho thấy, việc sử dụng nguồn nước không đảm bảo chất lượng có thể làm gia tăng tích lũy kim loại nặng và dư lượng thuốc bảo vệ thực vật trong đất, từ đó ảnh hưởng tiêu cực đến hệ sinh thái đất và cây trồng.

Khu vực Gia Lâm có 1.354,49 ha đất phù sa trung tính trồng lúa, chiếm 49,9% diện tích đất sản xuất nông nghiệp. Do đó nhu cầu nước tưới cho khu vực rất lớn. Tuy nhiên, nhiều hệ thống tưới cho vùng Gia Lâm đang trong tình trạng ô nhiễm. Điển hình là nước trên hệ thống Bắc Hưng Hải có hàm lượng N và P cao hơn QCVN 08:2023/BTN&MT 2,48-4,15 lần [2]. Bên cạnh đó, việc sử dụng phân bón thiếu kiểm soát của người dân đã dẫn tới tình trạng dư thừa dinh dưỡng trong đất. Tưới nước ô nhiễm có nguy cơ gây ô nhiễm đất, ô nhiễm Cd ở tầng đất mặt (độ sâu 0-20 cm) của đất lúa (1 vụ lúa chính và 1 vụ màu) trên địa bàn thôn Đông Mai, xã Chỉ Đạo, huyện Văn Lâm, tỉnh Hưng Yên (trước sáp nhập) có ô nhiễm Cd ở mức độ cao, đạt 9,51 mg/kg, cao hơn so với quy chuẩn Việt Nam về chất lượng đất [3, 4]. Nguyên nhân tích luỹ Cd trong đất chủ yếu là do sử dụng nước tưới ô nhiễm Cd. Một nghiên cứu khác của Q.H. Phan và cs (2016) [5], trên đất nông nghiệp trồng lúa tại Duy Tiên, Hà Nam (trước sáp nhập) cho thấy, hàm lượng Cd trong đất phát hiện cao nhất đạt 0,86 mg/kg, nhỏ nhất đạt 0,28 mg/kg, trung bình đạt 0,52 mg/kg, thấp hơn quy chuẩn cho phép (4 mg/kg). Trong bối cảnh đó, việc đánh giá các tác động môi trường do chất lượng nước tưới ô nhiễm gây ra trở nên đặc biệt cần thiết.

Mặc dù đã có các nghiên cứu đề cập đến ô nhiễm nước tưới hoặc biến đổi tính chất đất dưới tác động của nước thải và nguồn nước ô nhiễm, nhưng chưa có nghiên cứu nào đánh giá một cách định lượng mức độ tích lũy dinh dưỡng trong đất do các nguồn nước tưới hiện đang sử dụng tại Gia Lâm. Khoảng trống này hạn chế việc xây dựng các khuyến nghị khoa học phục vụ quản lý đất - nước trong sản xuất rau.

Trong nghiên cứu này, ba nguồn nước tưới được lựa chọn gồm nước sông Cầu Bây (đại diện cho nguồn nước ô nhiễm), nước thải sinh hoạt sau xử lý (nguồn nước tuần hoàn có khả năng tái sử dụng) và nước giếng khoan (nguồn nước sạch). Nhóm rau ăn lá (cải xanh, rau chân vịt, hành lá) được lựa chọn vì đây là nhóm cây trồng có tốc độ sinh trưởng nhanh, nhu cầu dinh dưỡng cao, đặc biệt dễ tích lũy nitrat, có nguy cơ ảnh hưởng đến an toàn thực phẩm nếu nguồn nước tưới mang hàm lượng dinh dưỡng. Nghiên cứu này chỉ tập trung đánh giá ảnh hưởng của chất lượng nước tưới đến sự biến đổi tính chất đất và mức độ tích lũy dinh dưỡng (N, P, K) trong đất sau quá trình canh tác. Các phân tích liên quan đến hàm lượng nitrat trong sản phẩm rau không nằm trong phạm vi của nghiên cứu hiện tại, và sẽ được trình bày trong các công bố tiếp theo. Đồng thời, do giới hạn về thời gian và phạm vi nghiên cứu, các chỉ tiêu về vi sinh vật gây hại và kim loại nặng trong đất cũng như trong rau chưa được phân tích, nên sẽ được thực hiện trong các nghiên cứu kế tiếp nhằm hoàn thiện đánh giá toàn diện về rủi ro môi trường và an toàn thực phẩm.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu

Đất nền sử dụng cho các thí nghiệm trong nhà lưới được lấy tại cánh đồng Trâu Quỳ, Gia Lâm, Hà Nội. Đất dùng làm thí nghiệm được phơi khô, loại bỏ sỏi đá, rễ và lá cây, làm ẩm đến 15%. Tính chất đất nền dùng cho thí nghiệm như sau: Đất có phản ứng ít chua đến trung tính (pHKCl 6,1-6,4), hàm lượng hữu cơ (OC) và đạm tổng số ở lớp mặt khá cao (OC tầng mặt dao động 0,4-1,15%, N 0,05-0,12%) và giảm dần theo chiều sâu phẫu diện. Tổng số các loại lân khá giàu, nhưng hàm lượng lân dễ tiêu không cao 23-29%. Kali tổng khá cao, kali dễ tiêu ở mức trung bình 14-35%. Lượng cation Ca, Mg trao đổi và dung tích hấp thụ cation (CEC) ở mức trung bình. Hàm lượng kim loại nặng dưới ngưỡng cho phép QCVN 03:2023/BTNMT [4].

Nước tưới: gồm nước sông Cầu Bây, nước thải sinh hoạt sau xử lý đạt tiêu chuẩn xả thải, nước giếng khoan (nước ngầm) tại khu vực Trâu Quỳ, Gia Lâm, Hà Nội. Chất lượng nước được phân tích trung bình 3 lần/vụ. Bảng 1 thống kê trung bình qua 3 vụ của các nguồn nước tưới.

Bảng 1. Chất lượng nước tưới sử dụng trong thí nghiệm.

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Nước sông Cầu Bây	Nước thải sinh hoạt	Nước giếng khoan	Tham chiếu QCVN 08:2023/ BTNMT [3]
1	pH	-	7,1-7,4	7,07	6,8-6,9	**6,5-8,5**
2	DO	mg/l	**4,1-4,5**	-	**4,1-4,3**	**≥5,0**
3	TSS	mg/l	**147,2-189,0**	19,0	53,6-61,8	**≤100**
4	NH_4^+	mg/l	**1,5-1,9**	**0,467**	**0,3-0,4**	**0,3**
5	NO_3-	mg/l	5,3-6,7	-	0,2-0,3	**10**
6	NO_2-	mg/l	**0,1-0,4**	-	**0,1**	**0,05**
7	PO_4^{3-}	mg/l	**1,5**	**1,69**	0,1-0,3	**≤0,3**
8	COD	mg/l	**140-142,4**	**27,1**	**30,7-34**	**≤15**
9	BOD_5	mg/l	**75-79**	**14,9**	**16-18**	**≤6**
10	Coliform	MPN /100ml	**8.400-9.100**	-	**5.100-6.600**	**≤5.000**
11	Độ màu	Pt/Co	-	17,2	-	-
12	Sắt	mg/l	-	0,047	-	**0,5**
13	Tổng Xianua	mg/l	-	KPH	-	-
14	Sunfua tính theo H_2S	mg/l		KPH	-	

*: Các kết quả được in đậm là các kết quả vượt giới hạn cho phép so với QCVN 08:2023/BTNMT [3].

Tổng lượng nước tưới và tổng lượng N quy đổi dựa trên giá trị trung bình hàm lượng N có trong nước tưới được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Lượng nước tưới và tổng lượng nitơ dùng cho thí nghiệm.

Đối tượng	Tổng lượng nước tưới trong 1 chậu thí nghiệm (l)	Tổng lượng N quy đổi dựa trên nồng độ trung bình và lượng nước tưới (g)
Nước sông Cầu Bây	72,5	0,62
Nước thải sau xử lý	72,5	0,55
Nước giếng khoan	72,5	0,06

Kết quả phân tích cho thấy, nước sông Cầu Bây có chỉ tiêu N cao hơn từ 3 đến 10 lần so với QCVN 08:2023/ BTNMT [3]. Nguồn nước đang bị ô nhiễm chất hữu cơ, không đảm bảo yêu cầu tưới (mức B1). Nước thải sinh hoạt sau xử lý có hàm lượng N thấp hơn nhiều. Nước giếng khoan có các thông số chất lượng nước đạt tiêu chuẩn, đáp ứng được điều kiện dùng cho tưới.

- Cây rau: Nhóm rau ăn lá gồm cải xanh (*Brassica Juncea* L.), cải chân vịt (*Spinacia oleracea*) và hành lá (*Allium fistulosum*) được canh tác phổ biến ở Việt Nam. Nhóm rau có đặc điểm sinh trưởng phù hợp với điều kiện thổ nhưỡng và khí hậu của vùng Đồng bằng sông Hồng.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Bố trí thí nghiệm chậu vại trong nhà lưới tại khu thử nghiệm đồng ruộng Khoa Nông học, Học viện Nông nghiệp Việt Nam.

Bố trí thí nghiệm theo kiểu khối ngẫu nhiên đầy đủ với 3 lần nhắc lại, với 4 công thức thí nghiệm (bảng 3).

Bảng 3. Các công thức thí nghiệm.

Công thức	Nội dung
CT1	Tưới nước sông Cầu Bây không bón phân hóa học
CT2	Tưới nước thải sinh hoạt không bón phân hóa học
CT3	Tưới nước giếng khoan/nước ngầm không bón phân hóa học
CT4	Tưới nước giếng khoan/nước ngầm có bón phân hóa học (theo khuyến cáo)

Sơ đồ bố trí thí nghiệm được thể hiện ở bảng 4.

Bảng 4. Sơ đồ bố trí thí nghiệm.

Lần	Thứ tự sắp xếp, bố trí			
Nhắc lại lần 1	CT1	CT3	CT4	CT2
Nhắc lại lần 2	CT4	CT2	CT1	CT3
Nhắc lại lần 3	CT3	CT4	CT2	CT1

Nghiên cứu đã tiến hành thu thập 10 mẫu đất tại một số vị trí ô nhiễm nặng trên hệ thống thủy lợi Bắc Hưng Hải, sông Cầu Bây (bảng 5).

Bảng 5. Thông tin vị trí, tọa độ, hình ảnh địa điểm khảo nghiệm.

TT	Tên mẫu	Địa điểm, Tọa độ vị trí lấy mẫu
1	Vị trí 1	Hà Nội, 21,01515°B, 105,92542°Đ
2	Vị trí 2	Hà Nội, 21,01485°B, 105,92573°Đ
3	Vị trí 3	Hà Nội, 21,01391°B, 105,92239°Đ
4	Vị trí 4	Hà Nội, 20,97639°B, 105,93784°Đ
5	Vị trí 5	Hà Nội, 20,97823°B, 105,93820°Đ
6	Vị trí 6	Hà Nội, 20,97614°B, 105,93784°Đ
7	Vị trí 7	Hà Nội, 20,97671°B, 105,93812°Đ
8	Vị trí 8	Hà Nội, 20,97692°B, 105,93822°Đ
9	Vị trí 9	Hà Nội, 20,97692°B, 105,93828°Đ
10	Vị trí 10	Hà Nội, 20,97720°B, 105,93858°Đ

Thời gian thí nghiệm nhà lưới và khảo nghiệm đồng ruộng: Nghiên cứu được thực hiện trong khu nhà lưới trong thời gian 3 vụ canh tác, đông xuân 2023 và hè thu 2024. Thời gian lấy mẫu khảo nghiệm tại cánh đồng khu vực Cầu Bây trong vụ đông 2024.

Phương pháp lấy mẫu và thí nghiệm mẫu đất: Sử dụng các công cụ lấy mẫu đất, nước và cây trồng; kỹ thuật lấy mẫu, quan trắc hiện trường áp dụng theo tài liệu Sổ tay phân tích đất, nước, phân bón, cây trồng năm 1999 của Viện Thổ nhưỡng Nông hóa [6]. Phương pháp lấy mẫu, bảo quản và xử lý mẫu đất áp dụng theo các tiêu chuẩn: TCVN 7538-2:2005 (ISO 10381-2:2002) về kỹ thuật lấy mẫu đất, TCVN 6647:2007 (ISO 11464:2006) về xử lý đất sơ bộ để phân tích lý hóa, TCVN 6663-1:2011 (ISO 5667-1:2006) về kỹ thuật lấy mẫu nước mặt [7-9]; Thử nghiệm mẫu đất và cây trồng theo tài liệu Sổ tay phân tích đất, nước, phân bón, cây trồng năm 1999 của Viện Thổ nhưỡng Nông hóa và các tài liệu tham khảo khác [6-9]. Mẫu đất nền được phân tích 1 lần trước thí nghiệm và sau mỗi vụ thí nghiệm.

Phương pháp xử lý thống kê: Số liệu được xử lý bằng phần mềm Excel và phân tích phương sai (ANOVA) sử dụng phần mềm thống kê sinh học Minitab 16. Tiêu chuẩn Tukey được sử dụng để so sánh sự sai khác giữa giá trị trung bình ở độ tin cậy 95%.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Ảnh hưởng của các nguồn nước tưới đến tính chất đất tại khu thí nghiệm

Bảng 6. Kết quả tính chất đất nền và đất sau 3 vụ thí nghiệm.

Chỉ tiêu	pH KCl	Chất hữu cơ OM (%)	N tổng số (Nts) (%)	P tổng số (%)	K tổng số (%)	N_{dt} (mg/100 g đất)	P_{dt} (mg/100 g đất)	K_{dt} (mg/100 g đất)
Trước thí nghiệm (đất nền)								
-	6,1	0,94	0,19	0,1	1,12	6,7	10,6	10,3
Sau thí nghiệm (vụ 1)								
CT1	6,50	1,04	0,26±0,02	0,14±0,01	1,10	7,2	11,8	9,9
CT2	6,23	1,02	0,25±0,01	0,15±0,01	0,93	8,1	11,2	10,1
CT3	6,14	0,86	0,13±0,03	0,09±0,03	0,89	3,2	9,8	8,9
CT4	6,10	0,88	0,28±0,02	0,18±0,02	1,14	8,3	11,9	12,4
Sau thí nghiệm (vụ 2)								
CT1	6,40	1,12	0,25±0,02	0,16±0,01	1,12	8,1	11,6	10,1
CT2	6,20	1,15	0,23±0,01	0,14±0,01	0,98	7,8	11,4	9,6
CT3	6,30	0,89	0,12±0,03	0,08±0,03	0,82	5,6	9,3	8,6
CT4	6,13	0,92	0,27±0,03	0,16±0,02	1,16	8,4	13,2	12,3
Sau thí nghiệm (vụ 3)								
CT1	6,42	1,23	0,25±0,02	0,14±0,01	1,03	7,6	11,9	10,9
CT2	6,14	1,21	0,23±0,01	0,16±0,01	0,96	7,9	11,6	11,2
CT3	6,22	0,89	0,12±0,03	0,09±0,03	0,88	5,1	8,7	8,8
CT4	6,16	0,93	0,28±0,02	0,18±0,02	1,13	8,2	12,8	13,1

Chỉ tiêu pH của đất sau thí nghiệm nằm trong khoảng 6,20-6,50, nằm trong khoảng pH thích hợp với rau cải xanh [10]. Chỉ tiêu pH của đất không ảnh hưởng đến rau cải xanh, rau chân vịt, hành lá, cây vẫn sinh trưởng và phát triển bình thường đồng thời không gây ảnh hưởng đến môi trường đất (bảng 6).

Nhận xét: Thí nghiệm phân tích hàm lượng chất hữu cơ của đất nền và đất sau thí nghiệm, kết quả nghiên cứu cho thấy, hàm lượng chất hữu cơ đất OM% tại đất sau trồng dao động 0,9-1,3%, cao hơn so với đất nền trước thí nghiệm 0,1-0,5%, cho đất trồng sau thí nghiệm được bổ sung thêm chất hữu cơ. Việc trồng các loại rau (cải xanh, chân vịt, hành lá) có sử dụng nước sông Cầu Bây đều cao hơn so với khu vực đất tưới nước giếng khoan.

Hàm lượng N_{ts} sau khi thí nghiệm đều cho giá trị cao hơn so với đất nền ở hầu hết các công thức (CT1, CT2, CT4), CT3 cho kết quả N_{ts} thấp hơn trong đất nền. Khu vực đất trồng có tưới nước sông Cầu Bây (CT1) và kết hợp phân vô cơ (CT4) đều cho hàm lượng N_{ts} cao hơn so với các công thức khác (CT2, CT3). Riêng đất khu vực tưới nước giếng khoan thấp rõ ràng ở hàm lượng N_{ts} thấp hơn 0,14%.

Hàm lượng P_{ts} sau khi thí nghiệm các CT1, CT2, CT4 đều cho giá trị cao hơn so với đất nền. Còn CT3 lại cho giá trị thấp hơn đất nền. Hàm lượng P_{ts} của khu vực đất trồng có tưới nước sông Cầu Bây (CT1), và kết hợp phân vô cơ (CT4) đều cho hàm lượng cao hơn so với các công thức khác (CT2, CT3). Đất khu vực tưới nước giếng khoan có hàm lượng P_{ts} thấp rõ ràng, dưới 0,01%. Từ đó có thể thấy, việc tưới nước sông Cầu Bây cho các loại rau cải xanh, rau chân vịt và hành lá sẽ làm tăng hàm lượng P trong đất.

Hàm lượng K_{ts} sau khi thí nghiệm đều cho giá trị thấp hơn hoặc bằng so với đất nền tại hầu hết các công thức CT1, CT2, CT3 qua cả 3 vụ. Còn ở tại công thức CT4, giá trị sau thí nghiệm cao hơn đất nền, tuy nhiên cao hơn với hàm lượng rất ít, chỉ 0,01%-0,04%.

Hàm lượng N dễ tiêu cao hơn đất nền. Hàm lượng N dễ tiêu tại CT1 dao động 7,2-8,1 mg/100 g đất khô; CT2 dao động 7,8-8,1 mg/100 g đất khô; CT3 dao động 3,2-5,6 mg/100 g đất khô; CT4 dao động 8,2-8,4 mg/100 g đất khô. Như vậy, CT4 tích lũy hàm lượng N dễ tiêu cao nhất, tiếp đến là CT1, CT2 và thấp nhất là CT3.

Hàm lượng P dễ tiêu thấp nhất tại CT3 và thấp hơn đất nền khá nhiều. Trong khi đó, CT1 (11,6-11,9) và CT2 (11,2-11,6) có hàm lượng P chỉ vượt quá hàm lượng P dễ tiêu có trong đất nền ở mức 0,6-1,0 mg/100 g đất khô. CT4 có tỷ lệ vượt hàm lượng P dễ tiêu lớn nhất 11,9-12,8 tức là vượt đất nền 1,3-2,2 mg/100 g đất khô sau 3 vụ canh tác.

Hàm lượng K dễ tiêu trong CT4 tăng cao và vượt tỷ lệ so với đất nền, cao nhất 2-2,8 mg/100 g đất khô tức là vượt 1,2-1,3 lần so với đất nền. CT3 lại có xu hướng ngược lại là hàm lượng K dễ tiêu giảm mạnh, giảm 1,4-1,7 mg/100 g đất khô so với đất nền. CT1 và CT2 trong 2 vụ đầu canh tác có xu hướng giảm nhẹ 0,2-0,7 mg/100 g đất khô, nhưng đến vụ 3 lại vượt đất nền thí nghiệm 0,6-0,9 mg/kg khô.

CT1 và CT2 làm tăng đáng kể OM, hàm lượng N tổng số, hàm lượng P tổng số và các dạng N, P dễ tiêu, chứng tỏ khả năng cải thiện độ phì của đất.

3.2. Kết quả phân tích mẫu đất khảo nghiệm tại các khu vực tưới nước sông Cầu Bây

Kết quả phân tích các chỉ tiêu trong đất được thể hiện ở bảng 7.

Bảng 7. Kết quả phân tích các chỉ tiêu trong đất lấy mẫu khảo nghiệm.

TT	Tên mẫu	Dung trọng	pH	OM (%)	N_{ts} (%)	P_{ts} (%)	K_{ts} (%)	N_{dt} (mg/ 100 g)	P_{dt} (mg/ 100 g)	K_{dt} (mg/ 100 g)
1	Vị trí 1	1,1	6,8	2,5	0,19	0,14	1,7	10,2	9,80	12,4
2	Vị trí 2	1,0	7,6	2,9	0,24	0,10	1,8	11,5	9,20	15,2
3	Vị trí 3	0,9	7,2	1,8	0,20	0,16	1,8	9,5	10,7	20,1
4	Vị trí 4	1,0	7,1	2,5	0,22	0,14	1,7	11,4	9,50	15,4
5	Vị trí 5	0,9	6,8	1,8	0,22	0,10	1,5	11,2	10,5	14,6
6	Vị trí 6	1,0	7,1	1,9	0,18	0,12	1,8	10,5	12,4	15,4
7	Vị trí 7	0,9	7,0	2,7	0,39	0,34	1,9	10,4	10,0	15,2
8	Vị trí 8	1,1	7,8	3,1	0,44	0,30	2,0	11,7	9,40	20,1
9	Vị trí 9	1,0	7,4	2,0	0,40	0,36	2,0	9,7	10,9	15,4
10	Vị trí 10	1,0	7,6	2,7	0,41	0,32	1,8	10,2	10,2	14,8

Việc tưới nước sông Cầu Bây (nước ô nhiễm) đều có hàm lượng chất hữu cơ trong đất ở mức khá - giàu; N tổng số % ở mức giàu (0,1-0,25) và rất giàu (>0,25), P tổng số % ở mức giàu (>0,1%) theo thang đánh giá năm 2010 của Viện Thổ nhưỡng Nông hóa. Các chỉ số dễ tiêu N, P, K đều rất cao so với đất nền. Các vị trí khảo nghiệm càng gần sông Cầu Bây thì mức độ tích lũy cao hơn so với các vị trí khác (bảng 7).

Các kết quả mẫu đất khu vực trồng rau gần sông Cầu Bây có P_{ts}>0,3% và N_{ts}>0,25%, mức rất giàu - tiềm ẩn nguy cơ ảnh hưởng đến cây rau (bảng 7).

Kết quả nghiên cứu cho thấy, việc tưới bằng nước thải trong thời gian ngắn đã làm tăng đáng kể hàm lượng N và P trong đất so với công thức đối chứng không bón phân hoặc tưới bằng nước sạch (bảng 6). Sự gia tăng này có thể được lý giải bởi nhiều cơ chế tác động diễn ra đồng thời trong môi trường đất, bao gồm quá trình khoáng hóa N, phân giải N và P trong đất, hấp phụ N, P trong keo đất. Việc tưới nước thải trong thời gian ngắn đã làm tăng đáng kể hàm lượng N dễ tiêu và P dễ tiêu trong đất cát [11]. Trong nước thải có hệ vi sinh vật đa dạng, mật độ cao nên phản ứng khoáng hóa các hợp chất hữu cơ mạnh hơn trong đất nhờ hệ vi sinh vật hoạt động. Do vậy, việc tưới nước thải có thể làm tăng hàm lượng N và P trong đất nhờ phản ứng khoáng hóa chất hữu cơ [12].

Tưới rau với thời gian ngắn (30-40 ngày/vụ), và thời gian tưới gián đoạn trong ngày, nên các dạng N và P dễ tiêu chưa bị rửa trôi, mất đi do bốc hơi. Đồng thời, chúng lại được hấp phụ bởi keo đất nên phần lớn lượng đưa vào từ nước thải vẫn tồn tại trong đất, đặc biệt ở tầng mặt (0-20 cm) [13]. Do vậy, hàm lượng N và P tổng số được giữ lại trong đất và gia tăng theo thời gian và lưu lượng nước tưới đưa vào đất (bảng 6).

Một số nghiên cứu chỉ ra rằng, khi tưới bằng nước thải sẽ làm tăng CEC (dung tích trao đổi cation) và điều chỉnh pH đất, giúp đất giữ lại được các ion dinh dưỡng như NH_4^+ và PO_4^{3-} [14]. Tác giả cũng kết luận, tưới nước thải cải thiện khả năng giữ dinh dưỡng của đất nhờ tăng CEC và khả năng đệm pH của đất.

4. Kết luận

Sử dụng nước ô nhiễm, nước thải để tưới có thể mang lại lợi ích về mặt bổ sung N, P và chất hữu cơ cho đất, cải thiện độ phì nhiêu đất, tăng độ ẩm, giảm chi phí phân bón. Kết quả cho thấy, một số đặc tính của đất được cải thiện nhờ việc tưới nước sông Cầu Bây và nước thải sinh hoạt như pH, chất hữu cơ, nito, phốt pho trong đất so với công thức tưới bằng nước giếng khoan. Tuy nhiên, sự tích lũy hàm lượng N, P quá cao trong đất đã xuất hiện ở khu vực tưới nước thường xuyên từ sông Cầu Bây, do hàm lượng N và P trong nước tưới tích luỹ một phần lên các bộ phận của cây, phần còn lại sẽ tích luỹ trong đất. Hàm lượng N, P tích lũy trong đất tăng cao hơn khoảng 1,4-1,5 lần so với tưới nước giếng khoan. Đây là nguy cơ gây tích lũy nitrat vào rau nếu không được kiểm soát đầy đủ cân bằng dinh dưỡng trong nước tưới, đất và phân bón.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo này được thực hiện trên cơ sở kết quả của luận án nghiên cứu: "Đánh giá tích luỹ nitrat trong rau ăn lá trồng trên đất phù sa sông Hồng do ảnh hưởng của các nguồn nước tưới" do NCS Dương Thị Kim Thư thực hiện. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] H.T. Trinh, H. Marcussen, H.C.B. Hansen, et al. (2017), "Screening of inorganic and organic contaminants in floodwater in paddy fields of Hue and Thanh Hoa in Vietnam", *Environmental Science and Pollution Research*, **24(8)**, pp.7348-7358.

[2] T.T.H. Vu (2021), *Final Report on The Study of The Impact of Water Supply Sources on Water Pollution in Irrigation Systems in The Red River Delta and Proposed Mitigation Solutions* (in Vietnamese).

[3] Ministry of Agriculture and Environment (2023a), *QCVN 08:2023/BTNMT - National Technical Regulation on Surface Water Quality*, Vietnam (in Vietnamese).

[4] Ministry of Agriculture and Environment (2023b), *QCVN 03:2023/BTNMT - National Technical Regulation on Soil Quality*, Vietnam (in Vietnamese).

[5] Q.H. Phan, T.T.H.T. Tran (2016), "Assessment of characteristics and pollution levels of agricultural soils in the Nhue River basin, Duy Tien district, Ha Nam province", *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*, **14(11)**, pp.1741-1752 (in Vietnamese).

[6] National Institute of Soils and Fertilisers (1999), *Handbook of Soil, Water, Fertiliser and Crop Analysis*, Agricultural Publishing House, 146pp (in Vietnamese).

[7] Vietnam Standards and Quality Institute (2005), *TCVN 7538-2:2005 (ISO 10381-2:2002) - Soil Quality - Sampling - Part 2: Guidance on Sampling Techniques* (in Vietnamese).

[8] Vietnam Standards and Quality Institute (2007), *TCVN 6647:2007 (ISO 11464:2006) - Soil Quality - Pretreatment of Samples for Physico-chemical Analysis* (in Vietnamese).

[9] Vietnam Standards and Quality Institute (2011), *TCVN 6663-1:2011 (ISO 5667-1:2006) - Water Quality - Sampling - Part 1: Guidance on The Design of Sampling Programmes and Sampling Techniques* (in Vietnamese).

[10] T.T.C. Ta (2007), *Vegetable Crops Textbook*, Agricultural Publishing House, 187pp (in Vietnamese).

[11] T.H.X. Le, L.M. Mosley, D.T. Nguyen, et al. (2020), "Effect of short-term irrigation of wastewater on wheat growth and nitrogen and phosphorus in soil", *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, **20**, pp.1589-1595.

[12] U.Y. Zhang, C.Y. Fu, X.L. Liu, et al. (2018), "Effect of poultry wastewater irrigation on nitrogen, phosphorus and carbon contents in farmland soil", *Open Chemistry*, **16(1)**, pp.968-977, DOI: 10.1515/chem-2018-0111.

[13] F.M. Kiziloglu, M. Turan, U. Sahin, et al. (2008), "Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of soils in Turkey", *Agricultural Water Management*, **95(6)**, pp.716-724, DOI: 10.1016/j.agwat.2008.01.008.

[14] L.A. Jaoude, F. Kamaleddine, R. Dbaibo, et al. (2025), "Treated wastewater reuse and its impact on soil properties and potato and corn growth", *Science of The Total Environment*, **958**, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2024.178130.

Đổi mới quy trình may đáp túi thông qua nghiên cứu, thiết kế, chế tạo hệ thống cữ, gá, dưỡng bán tự động lắp cho máy lập trình Juki AMS-221EN/2516

Hoàng Xuân Hiệp, Nguyễn Sỹ An*, Nguyễn Văn Lâm, Đỗ Xuân Chữ, Dương Thị Hoàn

Trường Đại học Công nghiệp và Thương mại Hà Nội, xã Gia Lâm, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 25/12/2025; ngày chuyển phản biện 28/12/2025; ngày nhận phản biện 25/1/2026; ngày chấp nhận đăng 30/1/2026

Tóm tắt:

Công đoạn may đáp túi trong sản xuất veston/jacket thường thực hiện trên máy một kim. Khi may, người vận hành phải gấp mép và giữ mép đáp liên tục để bảo đảm độ chính xác đường may mí, đồng thời lấy và sắp xếp bán thành phẩm sau may. Các thao tác này làm tăng thời gian chu trình may và gây biến động chất lượng. Bài báo đề xuất đổi mới quy trình may đáp túi trên máy Juki AMS-221EN/2516 bằng hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động. Hệ thống tích hợp cơ cấu gấp mép và ép giữ vải dùng khí nén, điều khiển PLC (bộ điều khiển logic khả trình) theo mô hình chu trình-trạng thái để đồng bộ với chuyển động may và tự động lấy, sắp xếp bán thành phẩm sau may; nhờ đó quản lý liên động rõ ràng và tăng độ tin cậy khi vận hành lặp lại. Thử nghiệm sản xuất được thực hiện 30 lần trong 30 ngày (mỗi lần 4 giờ; n=30 cho mỗi phương án). Kết quả cho thấy, thời gian chu trình trung bình giảm từ 11,9±0,7 giây/chi tiết xuống 8,3±0,5 giây/chi tiết (giảm 30,3%; Welch t-test, p<0,001), tương ứng sản lượng tăng từ 1212 lên 1739 chi tiết/4 giờ (tăng 43,5%). Đường may mí ổn định hơn và ít phụ thuộc tay nghề nhờ loại bỏ thao tác giữ mép.

Từ khóa: **cữ-gá-dưỡng, Juki AMS-221EN/2516, khí nén, may đáp túi, máy may lập trình, Programmable Logic Controller, tự động hóa may.**

Chỉ số phân loại: **2.3, 2.11**

Innovation of the pocket attachment sewing process through research, design, and fabrication of a semi-automatic jig-fixture-template system for the Juki AMS-221EN/2516 programmable sewing machine

Xuan Hiep Hoang, Sy An Nguyen*, Van Lam Nguyen, Xuan Chu Do, Thi Hoan Duong

Hanoi Industrial and Trade University, Gia Lam Commune, Hanoi, Vietnam

Received 25 December 2025; revised 25 January 2026; accepted 30 January 2026

Abstract:

Pocket facing attachment in veston/jacket production is commonly performed on single-needle sewing machines. During sewing, operators must manually fold and continuously hold the facing edge to ensure stitch-line accuracy, while retrieving and arranging semi-finished parts after sewing. These manual operations increase the sewing cycle time and lead to quality variation. This study proposes an innovative pocket-facing sewing process on the Juki AMS-221EN/2516 programmable sewing machine using a semi-automatic jig-fixture-template system. The system integrates a pneumatic edge-folding and clamping mechanism controlled by a PLC using a cycle-state control scheme synchronised with the sewing motion, and automatically retrieves and arranges semi-finished parts after sewing; consequently, interlocks are clearly managed and operational reliability is improved under repeated operation. Production trials were conducted 30 times over 30 days (4 hours per trial; n=30 for each method). Results show that the mean cycle time decreased from 11.9±0.7 s/part to 8.3±0.5 s/part (-30.3%; Welch's t-test, p<0.001), corresponding to an output increase from 1212 to 1739 parts per 4 hours (+43.5%). The topstitch line became more stable and less dependent on operator skill due to the elimination of manual edge holding.

Keywords: **automation in garment manufacturing, computer-programmable sewing machine, jig-fixture-template system, Juki AMS-221EN/2516, pneumatic actuator, pocket attachment sewing, Programmable Logic Controller.**

Classification numbers: **2.3, 2.11**

Tác giả liên hệ: Email: anns@hict.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Ngành may mặc giữ vai trò quan trọng trong cơ cấu sản xuất công nghiệp và xuất khẩu của Việt Nam. Ở nhóm sản phẩm có yêu cầu thẩm mỹ cao như veston, jacket…, bộ phận túi áo (đáp túi) vừa có chức năng sử dụng vừa quyết định cảm quan thẩm mỹ, do đó đòi hỏi độ chính xác và tính đồng đều cao của mép gấp và đường mí.

Trong quy trình may áo veston, công đoạn may đáp túi thường gồm các bước:

Bước 1: Kiểm tra thứ tự bán thành phẩm; đặt lót túi bên phải và đáp túi bên trái vị trí người may.

Bước 2: Đặt lót túi lớn lên bàn máy (dấu bấm hướng về trụ kim); gấp 1 cm cạnh dưới đáp túi và đặt lên lót túi theo dấu bấm.

Bước 3: May mí đáp túi cách mép 1,5 mm.

Bước 4: Kiểm tra độ trùng khít cạnh trên của đáp túi với cạnh trên của lót túi.

Bước 5: Lấy và sắp xếp bán thành phẩm sau may theo thứ tự để chuyển sang công đoạn kế tiếp.

Với phương pháp truyền thống, công nhân phải gấp mép thủ công và đồng thời giữ - căn chỉnh mép gấp trong suốt chu trình may. Các thao tác này phụ thuộc nhiều vào tay nghề, làm tăng thời gian chu trình và dễ phát sinh sai lệch đường mí khi vật liệu trượt hoặc mép gấp không ổn định, từ đó ảnh hưởng đến chất lượng và tính đồng đều của sản phẩm.

Trên thị trường đã có các máy chuyên dụng may túi tự động với mức tự động hóa khá cao, tuy nhiên chi phí đầu tư lớn, tính chuyên biệt cao, tốn nhiều thời gian và chi phí thay thế khuôn dưỡng khi kích thước túi thay đổi. Trong khi đó, nhiều doanh nghiệp trong nước vẫn khai thác máy may lập trình để may các chi tiết theo quỹ đạo lập trình sẵn, nhưng phần lớn thao tác chuẩn bị bán thành phẩm (gấp mép, giữ mép, lấy và sắp xếp sau may) vẫn được thực hiện thủ công hoặc bằng dưỡng thao tác thủ công. Vì vậy, hướng tiếp cận cải tạo trên nền máy sẵn có bằng hệ thống cữ - gá - dưỡng bán tự động nhằm tự động hóa các thao tác thủ công nêu trên và vẫn giữ được tính linh hoạt khi thay đổi mã hàng là cần thiết. So với hướng đề xuất cải tiến, máy chuyên dụng thường có chi phí đầu tư và chi phí thay đổi mã hàng (thay cữ - gá - dưỡng) cao hơn, thời gian chuyển đổi dài hơn và mức linh hoạt thấp hơn khi sản xuất nhiều mã hàng nhỏ lẻ.

Trong nghiên cứu này, máy may lập trình Juki AMS-221EN/2516 được chọn làm nền tảng do có khả năng may theo quỹ đạo lập trình, cơ cấu ép giữ vải và vùng làm việc phù hợp để tích hợp đồ gá, cữ dưỡng mà không làm thay đổi kết cấu nguyên bản của máy [1].

Mục tiêu của nghiên cứu là thiết kế, chế tạo và tích hợp hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động gồm cơ cấu gấp mép, ép giữ và cơ cấu lấy, xếp sản phẩm được tự động hoá, điều khiển bằng PLC để đồng bộ với chu trình may; qua đó rút ngắn thời gian chu trình và nâng cao tính ổn định chất lượng trong điều kiện sản xuất.

Các đóng góp chính của nghiên cứu gồm: (i) Đề xuất kiến trúc cơ cấu gấp mép tự động dùng khí nén phù hợp công đoạn may đáp túi; (ii) Xây dựng logic điều khiển PLC theo mô hình chu trình - trạng thái để đồng bộ hóa chuyển động gấp/ép/thu hồi với chu trình may; (iii) Đánh giá định lượng trong điều kiện sản xuất thông qua so sánh thời gian chu trình và năng suất giữa hai phương án.

2. Tổng quan nghiên cứu

Tự động hóa trong may mặc gặp nhiều thách thức do vật liệu vải mềm, dễ biến dạng và yêu cầu thẩm mỹ cao, khiến việc kẹp, dẫn, định vị chi tiết trong quá trình may khó đạt độ lặp như các vật liệu cứng. Nhiều hướng nghiên cứu gần đây tập trung vào robot/thiết bị gắp mềm kết hợp thị giác máy nhằm chủ động bù sai lệch đường may và thao tác với vật liệu mềm [2-5].

Đối với tự động hóa ở mức xưởng sản xuất, một hướng tiếp cận hiệu quả là sử dụng đồ gá/tem (template) để ổn định chi tiết và/hoặc cơ cấu cấp phôi tự động tích hợp với máy may công nghiệp (đặc biệt là máy may lập trình). Các nhà khoa học đã phát triển hệ thống cấp phôi tự động và template tự chế cho máy may lập trình nhằm giảm thao tác thủ công, đồng thời phân tích ảnh hưởng của tính chất vải tới khả năng may tự động [6, 7]. Điểm mới của nghiên cứu này là tích hợp đồng thời (i) cơ cấu gấp mép và ép giữ dùng khí nén, (ii) cơ cấu lấy - xếp bán thành phẩm sau may, và (iii) logic điều khiển PLC theo mô hình chu trình - trạng thái để đồng bộ hóa với chu trình may - tập trung riêng cho công đoạn may đáp túi trong điều kiện sản xuất.

Riêng với công đoạn túi áo, các nhà sản xuất cung cấp nhiều máy chuyên dụng may túi tự động (automatic pocket/welting machines), có khả năng tự động định vị, may và xử lý một số thao tác sau may. Ví dụ, Juki cung cấp dòng máy may túi tự động APW và Automated Sewing Systems (A-S-S) cung cấp các máy may túi tự động BASS. Các thiết bị này có mức tự động hóa cao nhưng thường yêu cầu đầu tư lớn, độ linh hoạt không cao khi thay đổi mã hàng nên chỉ phù hợp cho dây chuyền chuyên môn hóa cao [8, 9].

Trong bối cảnh nhiều doanh nghiệp đang sở hữu máy may lập trình, hướng cải tạo (retrofit) bằng hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động là lựa chọn tối ưu, nhằm tự động hóa các thao tác tốn thời gian nhưng vẫn giữ được tính linh hoạt của

máy. Bảng 1 tóm tắt một số hướng tiếp cận tiêu biểu và vị trí của giải pháp đề xuất trong nghiên cứu này.

Bảng 1. So sánh một số hướng tiếp cận tự động hóa công đoạn may túi và vị trí của giải pháp đề xuất.

Hướng tiếp cận	Ví dụ/ nguồn	Mức tự động hóa và phạm vi	Nhận xét so sánh (chi phí/linh hoạt)
Máy chuyên dụng may túi tự động	[8, 9]	Tự động hóa cao, thực hiện nhiều bước trong chu trình may túi, độ linh hoạt không cao khi mã hàng thay đổi liên tục.	Đầu tư lớn, tính chuyên biệt cao; phù hợp dây chuyền chuyên môn hóa
Robot/thiết bị gắp mềm + thị giác máy	[2, 3, 5]	Tự động hóa cao, hướng tới thao tác vật liệu mềm và bù sai lệch	Phức tạp, chi phí cao; chủ yếu ở mức nghiên cứu/ thử nghiệm
Máy may lập trình + đồ gá/tem (template) + cơ cấu phụ trợ	[6, 7], nghiên cứu này	Tự động hóa bán tự động: hỗ trợ gấp mép, ép giữ/định vị, lấy, xếp sau may	Chi phí cải tạo thấp hơn; linh hoạt theo mã hàng nhưng cần hiệu chỉnh thông số

Nhìn chung, giải pháp của nghiên cứu này nằm giữa hai cực: tự động hóa cao nhưng chi phí lớn (máy chuyên dụng/ robot) và thao tác thủ công phụ thuộc tay nghề; ưu thế cốt lõi là cải tạo chi phí thấp trên máy lập trình sẵn có, vẫn giữ tính linh hoạt khi đổi mã hàng, đồng thời tự động hóa các thao tác tốn thời gian (gấp - ép - lấy - xếp).

3. Đề xuất hệ thống và phương pháp nghiên cứu

3.1. Đối tượng, vật liệu và phạm vi thử nghiệm

Đối tượng nghiên cứu là công đoạn may đáp túi trong quy trình may áo veston, với yêu cầu gấp mép 1 cm và may mí cách mép 1,5 mm; đường may thẳng, mũi may đều, mật độ 4 mũi/cm.

Nghiên cứu so sánh hai phương án: (i) may thủ công trên máy 1 kim và (ii) may trên máy may lập trình Juki AMS-221EN/2516 có lắp hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động.

Thử nghiệm được thực hiện trên một số mã hàng veston tại doanh nghiệp; vật liệu và kích thước đáp túi giữ cố định trong suốt quá trình đo và sử dụng cùng một công nhân vận hành để bảo đảm tính so sánh giữa hai phương án. Phương pháp thí nghiệm, chỉ tiêu đánh giá và cách xử lý số liệu được trình bày ở mục 3.5.

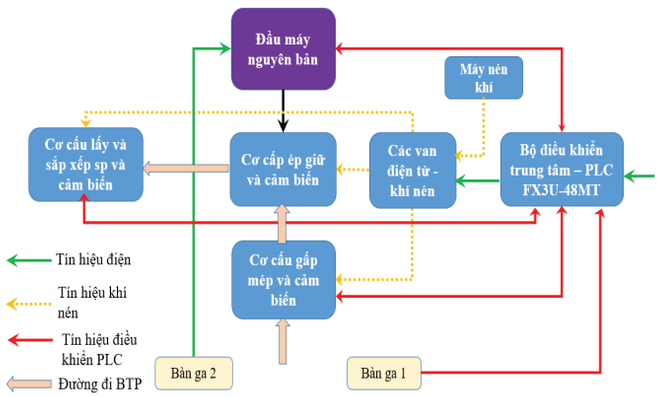
3.2. Đề xuất hệ thống

Hệ thống cữ-gá-dưỡng được đề xuất để tự động hóa một phần công đoạn may đáp túi áo trên máy lập trình Juki AMS-221EN/2516. Hệ thống được tích hợp trực tiếp lên máy và không làm thay đổi kết cấu nguyên bản, bao gồm 2 phần chính:

Phần cơ cấu chấp hành gồm các cơ cấu cơ khí kết hợp với truyền động bằng khí nén thông qua các xi lanh.

Phần điều khiển: Sử dụng PLC để điều khiển việc cấp khí nén cho xi lanh thông qua các van điện từ bộ lọc khí và điều áp.

Các thành phần trên được thiết kế và phối hợp đồng bộ để thực hiện các chức năng gấp mép, ép giữ, định vị sản phẩm, điều khiển chu trình may theo trình tự xác định, sắp xếp bán thành phẩm sau khi may. Sơ đồ tổng thể cấu trúc hệ thống cải tiến được trình bày tại hình 1.



Hình 1. Sơ đồ hệ thống cữ, gá, dưỡng bán tự động. Nguồn: Nhóm nghiên cứu.

Máy may lập trình Juki AMS-221EN/2516 được lựa chọn làm nền tảng nghiên cứu đổi mới quy trình may đáp túi trong nghiên cứu này. Hình dạng và kết cấu tổng thể của máy trước và sau khi lắp thêm hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động được thể hiện ở hình 2.

(A) **(B)**

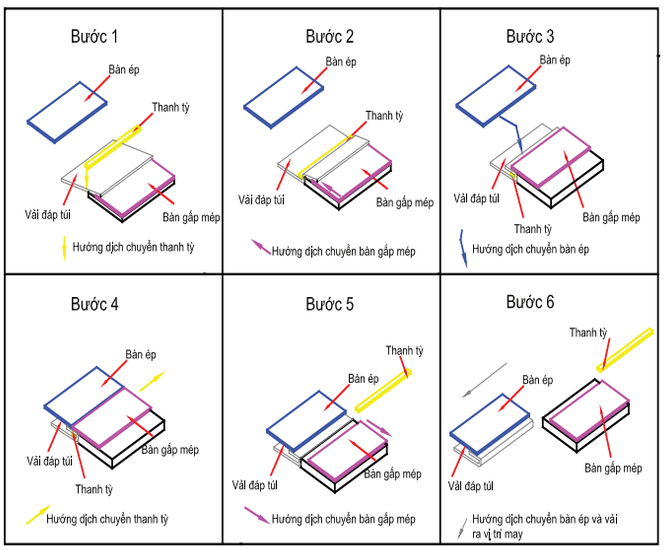


Hình 2. Máy lập trình Juki AMS-221EN/2516 trước và sau khi lắp thêm hệ thống cữ, gá, dưỡng bán tự động. (A) Máy trước khi cải tiến; **(B)** Máy sau khi lắp hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động.

3.3. Cơ cấu chấp hành

3.3.1. Phần cơ khí

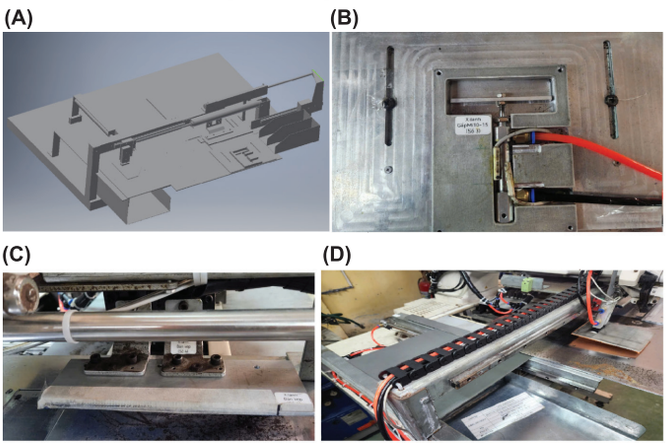
Bài toán đặt ra đối với phần cơ khí là cần chế tạo bộ dưỡng gấp mép để bảo đảm có thể gấp mép tự động đạt yêu cầu kỹ thuật của đường may mí. Cơ cấu gấp mép tự động làm việc trên nguyên lý 6 bước như hình 3.



Hình 3. Nguyên lý gấp mép tự động. Nguồn: Nhóm nghiên cứu.

Phần cơ khí của hệ thống được thiết kế, chế tạo bao gồm cơ cấu gấp mép tự động, cơ cấu ép giữ sản phẩm trong quá trình may và cơ cấu lấy và sắp xếp sản phẩm sau may. Cấu trúc và nguyên lý làm việc của các cơ cấu cơ khí được thiết kế và mô phỏng trên phần mềm Inventor (hình 4A). Cơ cấu gấp mép được thiết kế với các chi tiết dẫn hướng và bề mặt tiếp xúc phù hợp với vật liệu vải, để bảo đảm mép gấp đều, chính xác và không gây hư hỏng bề mặt vải trong suốt chu trình làm việc (hình 4B).

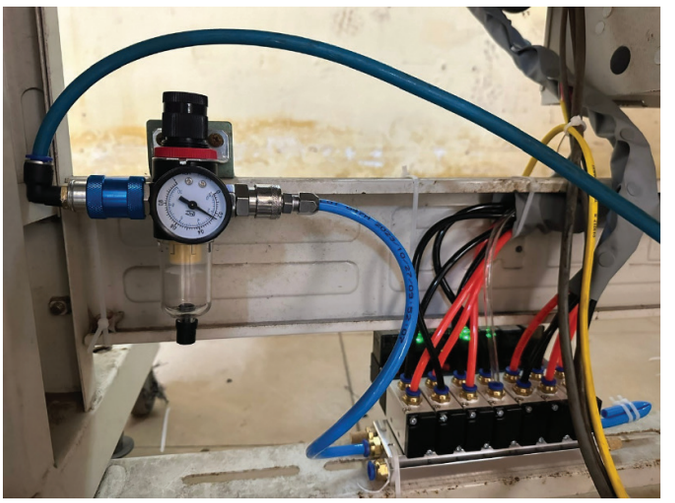
Cơ cấu ép giữ có nhiệm vụ cố định và dẫn hướng sản phẩm theo đúng quỹ đạo may đã được lập trình sẵn trên máy Juki AMS-221EN/2516 (hình 4C). Nhờ đó, đường mí đáp túi được bảo đảm thẳng, đúng vị trí thiết kế và có độ lặp cao giữa các sản phẩm. Cơ cấu lấy và sắp xếp sản phẩm sau khi may xong giúp giảm thao tác cho công nhân để họ có thời gian đặt vải cho sản phẩm tiếp theo (hình 4D).



Hình 4. Cơ cấu cơ khí chính của hệ thống cữ, gá, dưỡng bán tự động. (A) Mô phỏng thiết kế trên Inventor; **(B)** Cơ cấu gấp mép; **(C)** Cơ cấu ép; **(D)** Cơ cấu lấy và xếp bán thành phẩm. Nguồn: Nhóm nghiên cứu.

Các cơ cấu được bố trí gọn gàng, dễ tháo lắp và điều chỉnh, không ảnh hưởng đến kết cấu nguyên bản của máy. Thiết kế này cho phép hệ thống cải tiến có thể triển khai thực tế trong môi trường sản xuất mà không yêu cầu thay đổi lớn về thiết bị hiện có; đồng thời khi kích thước túi thay đổi, doanh nghiệp chỉ cần linh hoạt chế tạo nhanh phần dưỡng may cho phù hợp là có thể tiến hành sản xuất.

3.3.2. Phần khí nén



Hình 5. Van điện từ và bộ lọc khí nén. Nguồn: Nhóm nghiên cứu.

Hệ thống khí nén trong nghiên cứu này được thiết kế để thực hiện các chức năng gấp mép, ép giữ và định vị sản phẩm trong suốt chu trình may đáp túi. Đây là hệ thống chấp hành chính, đóng vai trò trực tiếp trong việc thay thế các thao tác thủ công của công nhân, đồng thời bảo đảm tính ổn định và khả năng lặp của quá trình công nghệ.

Hệ thống sử dụng các xi lanh khí nén làm cơ cấu chấp hành, được bố trí tương ứng với từng công đoạn như xếp vải, ép giữ, gấp mí và kéo, định vị sản phẩm. Mỗi xi lanh đảm nhiệm một chức năng cụ thể và được lựa chọn về đường kính, hành trình và lực đẩy dựa trên đặc tính vật liệu vải cũng như yêu cầu công nghệ của công đoạn may đáp túi áo veston. Cụ thể, lực kẹp được chọn đủ lớn để chống trượt khi may nhưng không gây biến dạng vải; hành trình xi lanh bảo đảm hết biên độ gấp-ép theo kích thước đáp túi; áp suất làm việc được giới hạn theo đặc tính vật liệu và được hiệu chỉnh thực nghiệm để bảo đảm chuyển động êm.

Các xi lanh được điều khiển thông qua van điện từ và kết hợp với bộ lọc, điều áp (hình 5) để bảo đảm áp suất làm việc ổn định, chuyển động êm và kéo dài tuổi thọ thiết bị. Tốc độ chuyển động của xi lanh được điều chỉnh bằng van tiết lưu để phù hợp với từng giai đoạn của chu trình may, tránh hiện tượng va đập cơ khí hoặc làm xô lệch vật liệu.

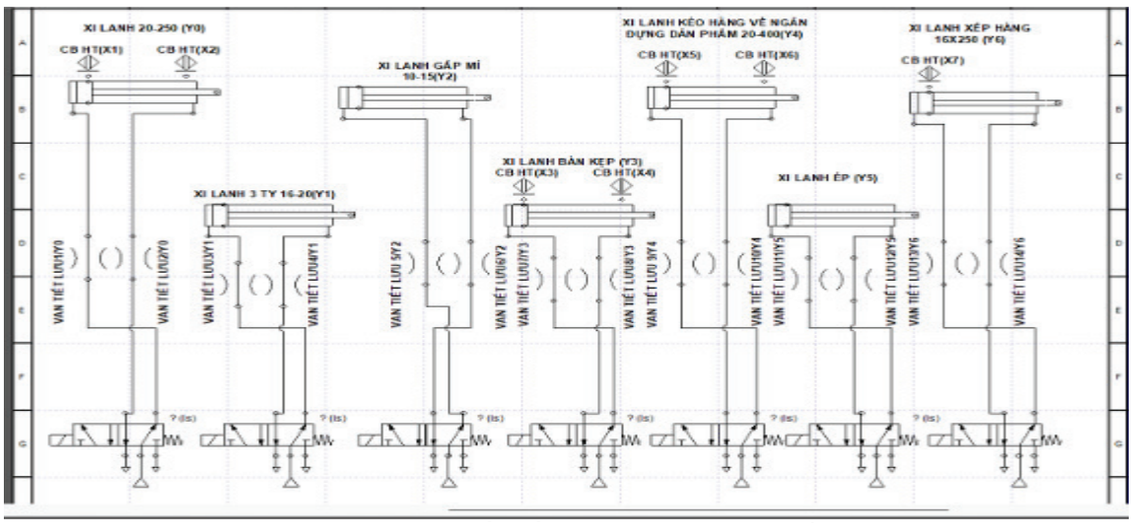
Nguyên tắc hoạt động của hệ thống khí nén được xây dựng theo trình tự tuần tự, trong đó các cơ cấu gấp và ép giữ chỉ được kích hoạt khi sản phẩm đã được định vị ổn định. Việc phân chia rõ ràng chức năng và trình tự làm việc của từng xi lanh góp phần hạn chế xung đột cơ khí, giảm rung động và nâng cao độ chính xác của quá trình tạo hình đáp túi.

Hệ thống khí nén được mô phỏng trên phần mềm Automation Studio để kiểm tra logic làm việc và sự phối hợp giữa các cơ cấu chấp hành. Kết quả mô phỏng cho thấy các xi lanh hoạt động đúng trình tự thiết kế, chuyển động ổn định và đáp ứng yêu cầu công nghệ của quá trình may đáp túi bán tự động (hình 6).

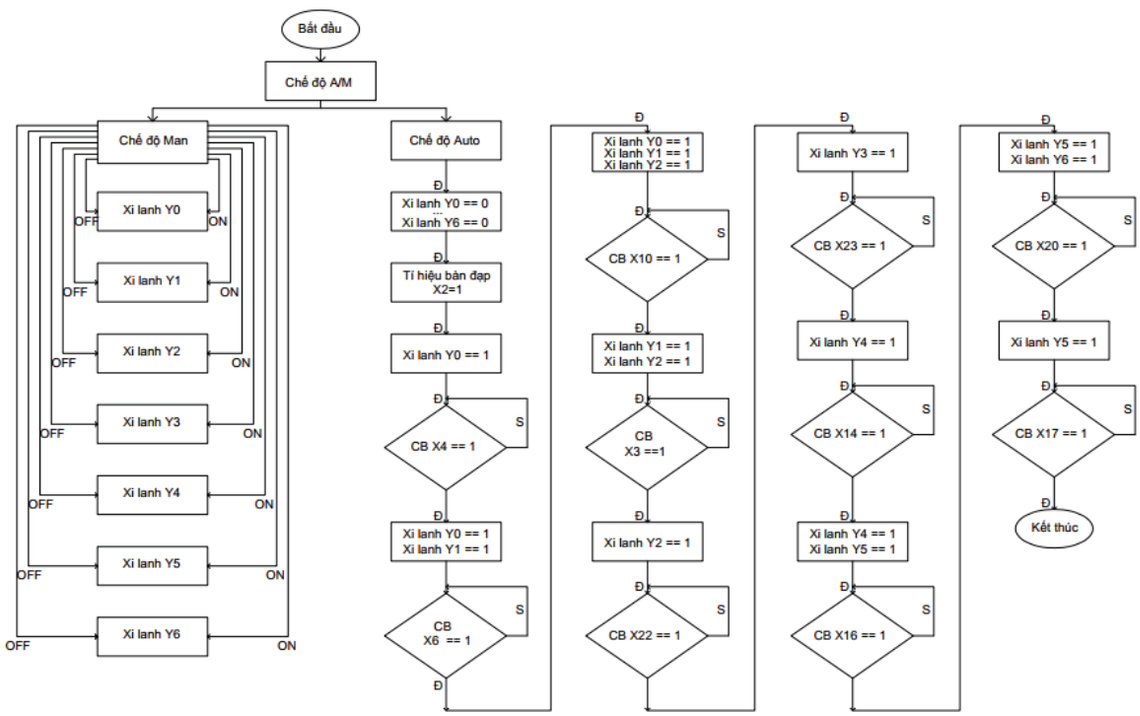
3.4. Phần điều khiển điện - điện tử

3.4.1. Thiết kế, chế tạo tủ điện điều khiển

Để tích hợp hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động, một tủ điện điều khiển được thiết kế và lắp bổ sung cho máy Juki AMS-221EN/2516. Tủ điện là trung tâm cấp nguồn, xử lý tín hiệu điều khiển và điều khiển các cơ cấu chấp hành khí nén của hệ thống (hình 7). Nguồn điện lưới được đưa vào tủ



Hình 6. Mô phỏng hoạt động của các xi lanh khí nén trên phần mềm Automation Studio. Nguồn: Nhóm nghiên cứu.



Hình 7. Lưu đồ thuật toán điều khiển. Nguồn: Nhóm nghiên cứu.

điện qua MCB tổng để đóng cắt và bảo vệ. Từ nguồn AC, bộ nguồn chuyển đổi tạo điện áp DC ổn định (ví dụ 24 VDC) cấp cho PLC, cảm biến và cuộn hút van điện từ, bảo đảm hệ thống làm việc ổn định và giảm nguy cơ suy giảm tín hiệu khi tải thay đổi.

Các mạch công suất và mạch điều khiển được tách riêng; tín hiệu vào/ra được gom nhóm theo chức năng để thuận tiện đấu nối, kiểm tra và bảo trì. Cách tổ chức này làm giảm nhiễu điện từ, tăng độ tin cậy khi làm việc liên tục trong môi trường sản xuất.

Bên cạnh đó, các phần tử như relay trung gian, terminal đấu nối và thiết bị bảo vệ được bố trí theo nguyên tắc phân tầng chức năng, bảo đảm khoảng cách an toàn và khả năng mở rộng khi cần bổ sung tín hiệu hoặc cơ cấu trong các nghiên cứu tiếp theo.

3.4.2. Logic điều khiển PLC

PLC được sử dụng làm bộ điều khiển trung tâm, tiếp nhận tín hiệu từ cảm biến (tiệm cận, hành trình) và trạng thái chu trình may, sau đó phát lệnh điều khiển các van điện từ để kích hoạt xi lanh khí nén theo đúng trình tự công nghệ.

PLC FX3U-48MT được lựa chọn do đáp ứng số lượng tín hiệu vào/ra để điều khiển các cơ cấu gấp mép, ép giữ và lấy-xếp bán thành phẩm; đồng thời cho phép mở rộng/hiệu chỉnh thuận tiện khi thay đổi yêu cầu công nghệ.

Chu trình điều khiển được tổ chức theo mô hình chu trình-trạng thái (cycle-state), gồm các trạng thái: chuẩn bị, xếp-gấp mép, ép giữ, thực hiện chu trình may và lấy-xếp bán thành phẩm. Chuyển trạng thái dựa trên tín hiệu cảm biến và điều kiện liên động để bảo đảm an toàn và tính lặp.

Cách tổ chức điều khiển theo trạng thái góp phần đồng bộ hóa chuyển động cơ cấu với chu trình may, đồng thời cho phép hiệu chỉnh nhanh các tham số như thời gian trễ, áp suất kẹp và hành trình khi thay đổi vật liệu hoặc kích thước chi tiết.

Bài toán điều khiển hệ thống làm việc ở hai chế độ như lưu đồ thuật toán:

Chế độ Man: Dùng để kiểm tra và điều khiển từng cơ cấu/xi lanh riêng lẻ (bật/tắt theo hành trình) trong quá trình lắp đặt và bảo trì.

Chế độ Auto: Điều khiển theo trình tự logic dựa trên tín hiệu cảm biến để vận hành chu trình may bán tự động.

3.5. Phương pháp thí nghiệm, chỉ tiêu đánh giá và xử lý số liệu

Thí nghiệm được tiến hành trong điều kiện sản xuất với hai phương án (may thủ công bằng máy 1 kim và may bằng máy lập trình Juki AMS-221EN/2516 lắp hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động). Mỗi phương án được vận hành liên tục 4 giờ cho một phiên đo; thực hiện 30 phiên đo trong 30 ngày (mỗi ngày một ca), do đó cỡ mẫu n=30 cho mỗi phương án. Trong suốt quá trình thử nghiệm, mã hàng, vật liệu, kích thước đáp túi và người vận hành được giữ không đổi. Việc kiểm soát này nhằm loại trừ ảnh hưởng của khác biệt vật liệu và tay nghề, qua đó bảo đảm so sánh công bằng hiệu quả giữa hai phương án.

Trong mỗi phiên đo, ghi nhận tổng số bán thành phẩm hoàn thành (N), số sản phẩm đạt yêu cầu (N-đạt) và số sản phẩm không đạt (N-không-đạt). Tiêu chí đạt/không đạt dựa trên yêu cầu kỹ thuật công đoạn (mép gấp đúng 1 cm, đường may mí cách mép 1,5 mm, đường mí thẳng, mũi đều và không có lỗi ngoại quan ảnh hưởng chất lượng).

Thời gian chu trình trung bình cho một sản phẩm được quy đổi từ số lượng sản phẩm hoàn thành trong 4 giờ theo công thức: t=14.400/N (giây/chi tiết). Tỷ lệ đạt yêu cầu và không đạt lần lượt được tính:

$$p = \frac{N_{đạt}}{N};\ q = \frac{N_{không\ đạt}}{N}$$

Số liệu được mô tả bằng trung bình ±SD. So sánh giữa hai phương án sử dụng kiểm định t hai mẫu độc lập hiệu chỉnh Welch cho chỉ tiêu thời gian chu trình; cỡ ảnh hưởng báo cáo bằng Hedges' g. Đối với chỉ tiêu sản lượng (BTP/4 giờ), tỷ số tốc độ sản xuất được ước lượng theo mô hình Poisson và báo cáo kèm khoảng tin cậy 95%; mức ý nghĩa thống kê chọn α=0,05.

4. Kết quả

Hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động được lắp đặt và thử nghiệm trên máy may lập trình Juki AMS-221EN/2516 tại công đoạn may đáp túi áo veston trong điều kiện sản xuất. Mỗi phương án được vận hành liên tục 4 giờ; thử nghiệm lặp trong 30 ngày (n=30 cho mỗi phương án). Trong toàn bộ thời gian thử nghiệm, mã hàng, vật liệu và công nhân vận hành được giữ cố định để bảo đảm tính so sánh. Các chỉ tiêu đánh giá gồm thời gian chu trình (giây/chi tiết), sản lượng (chi tiết/4 giờ) và quan sát định tính về độ ổn định đường may mí và mép gấp.

Đối với phương pháp may thủ công trên máy 1 kim, tổng thời gian dự kiến hoàn thành một sản phẩm xấp xỉ 12 giây, bao gồm thời gian các thao tác kiểm tra, gấp mép, may mí và sắp xếp bán thành phẩm sau may (bảng 2).

Bảng 2. Thời gian may thủ công.

Bước may	Nội dung bước may	Thời gian thực hiện (giây)
1	Kiểm tra thứ tự bán thành phẩm	1
	Đặt lót túi bên phải, đáp túi bên trái người may	1
2	Đặt lót túi lớn lên bàn máy, dấu bấm hướng về trụ kim	2
	Bẻ gấp 1 cm cạnh dưới đáp túi, đặt lên lót túi theo dấu bấm	3
3	May mí đáp túi cách 1,5 mm	3
4	Kiểm tra cạnh trên của đáp túi bằng cạnh trên của lót túi	1
5	Đặt bán thành phẩm may xong sang bên trái người may	1
	Tổng thời gian	**12**

Nguồn: Nhóm nghiên cứu.

Sau khi tích hợp hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động, thao tác gấp mép và giữ mép trong quá trình may được thay bằng cơ cấu gấp-ép tự động; đồng thời thao tác lấy và sắp xếp bán thành phẩm sau may được hỗ trợ tự động. Nhờ đó, thời gian dự kiến để hoàn thành một sản phẩm giảm xuống khoảng 8 giây (bảng 3).

Bảng 3. Thời gian may bằng máy may lập trình Juki AMS-221EN/2516 cải tiến.

Bước may	Nội dung bước may	Thời gian thực hiện (giây)
1	Kiểm tra thứ tự bán thành phẩm	1
2	Đặt đáp túi lên bàn máy theo dấu bàn ép, cơ cấu tự động gấp mép đáp túi	3
	Đặt lên lót túi theo dấu (mép vải lót bằng mép vải đáp)	2
3	May mí đáp túi cách 1,5 mm	2
	Tổng thời gian	**8**

Nguồn: Nhóm nghiên cứu.

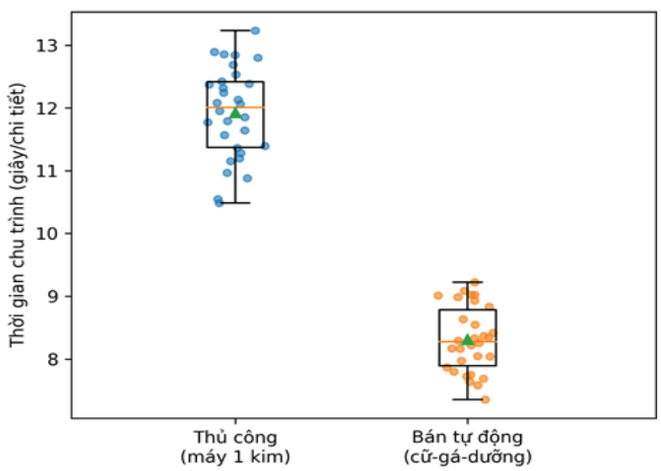
So sánh giữa phương án truyền thống và phương án cải tiến cho thấy thời gian chu trình trung bình giảm từ 11,9±0,7 giây xuống 8,3±0,5 giây/chi tiết (giảm 30,3%; kiểm định t hiệu chỉnh Welch, $p<0,001$). Mức ảnh hưởng của giải pháp đối với chỉ tiêu thời gian chu trình là rất lớn (Hedges' $g=5,62$; KTC 95%: 4,48-6,75). Tương ứng, sản lượng bán thành phẩm (BTP) tăng từ 1212 lên 1739 BTP trong 4 giờ (tăng 43,5%). Mô hình hóa sản lượng trong khoảng thời gian cố định theo phân bố Poisson cho thấy tỷ số tốc độ sản xuất đạt 1,435 (KTC 95%: 1,33-1,54; $p<0,001$), khẳng định mức cải thiện có ý nghĩa thống kê trong điều kiện thử nghiệm. Các số liệu tổng hợp được trình bày trong bảng 4.

Bảng 4. So sánh năng suất khi may thủ công và may bằng Juki AMS-221EN/2516 cải tiến trong 4 giờ.

STT	Phương pháp may	Sản lượng (BTP/4 giờ)	Thời gian trung bình/ BTP (giây)	Năng suất tương đối (%)
1	May thủ công bằng máy 1 kim	1212	11,9	100,0
2	May bằng Juki AMS-221EN/2516 lắp hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động	1739	8,3	143,5

BTP: bán thành phẩm. Nguồn: Số liệu đo trong điều kiện sản xuất, n=30.

Trong quá trình thử nghiệm, hệ thống điện - điều khiển và các cơ cấu chấp hành khí nén hoạt động ổn định, không phát sinh sự cố. Các chuyển động gấp mép, ép giữ và định vị sản phẩm diễn ra đồng bộ với chu trình may của máy, bảo đảm tính lặp và độ chính xác cao. Đồng thời, chất lượng đường may và độ đồng đều của mép đáp túi sau cải tiến được cải thiện rõ rệt, ít phụ thuộc vào tay nghề người vận hành. Quá trình sắp xếp bán thành phẩm sau khi may được thực hiện tự động và tiết kiệm thời gian thao tác cho công nhân (hình 8).



Hình 8. Phân bố thời gian chu trình (giây/chi tiết) của hai phương án (n=30 mỗi phương án).

5. Bàn luận

Thử nghiệm được thực hiện trên một mã hàng, một loại vật liệu và một công nhân vận hành; do đó, kết quả phản ánh hiệu quả trong điều kiện kiểm soát và có thể thay đổi khi vật liệu, kích thước túi hoặc người vận hành thay đổi. Đây là cơ sở để mở rộng thử nghiệm ở các điều kiện sản xuất khác nhau trong các nghiên cứu tiếp theo. Nhìn chung, kết quả phản ánh hiệu quả trong điều kiện kiểm soát; khi thay đổi vật liệu hoặc người vận hành, cần nghiên cứu bổ sung để xác nhận tính tổng quát và phạm vi áp dụng rộng hơn

Khi thay đổi loại vải (độ dày, độ trơn, độ bai giãn) hoặc kích thước đáp túi, các thông số công nghệ cần được hiệu chỉnh (áp suất kẹp, thời gian trễ, hành trình và vị trí dưỡng) để tránh trượt vật liệu và bảo đảm mép gấp/đường mí ổn định; do đó kết quả hiện tại nên được hiểu là hiệu quả trong miền thông số đã kiểm soát.

Kết quả thực nghiệm cho thấy việc tự động hóa thao tác gấp mép và cơ cấu ép giữ-định vị trong suốt chu trình may là yếu tố then chốt góp phần rút ngắn thời gian chu trình và ổn định chất lượng. Kết luận này phù hợp với các nghiên cứu về tự động hóa may dựa trên đồ gá/tem (template) trên máy may công nghiệp, trong đó việc ổn định chi tiết trước và trong khi may làm giảm phụ thuộc vào kỹ năng thao tác của người vận hành [6, 7].

So với các máy chuyên dụng may túi tự động trên thị trường, giải pháp đề xuất có mức tự động hóa thấp hơn (không thay thế hoàn toàn chu trình may túi), nhưng ưu điểm là có thể triển khai dạng cải tạo (retrofit) trên máy may lập trình sẵn có, phù hợp khi doanh nghiệp cần nâng năng suất, linh hoạt khi thay đổi mã hàng nhưng hạn chế đầu tư thiết bị chuyên dụng [8, 9]. Tính linh hoạt của máy may lập trình vẫn được giữ lại, trong khi các thao tác gây tốn thời gian (gấp mép, giữ mép, lấy-xếp sau may) được hỗ trợ tự động.

Về mặt điều khiển, việc tổ chức PLC theo mô hình chu trình-trạng thái và thiết kế liên động dựa trên tín hiệu cảm biến góp phần hệ thống đạt tính lặp và độ tin cậy trong vận hành liên tục. Tuy nhiên, do đặc tính vật liệu mềm và biến thiên theo loại vải, hiệu quả của hệ thống phụ thuộc vào hiệu chỉnh áp suất kẹp, hành trình và thời gian điều khiển; đây cũng là vấn đề được nhấn mạnh trong các nghiên cứu về may tự động theo tính chất vải [6].

Hiệu quả kinh tế: Để đánh giá khả năng triển khai trong sản xuất, nghiên cứu ước tính hiệu quả kinh tế dựa trên chi phí nhân công trực tiếp quy đổi theo thời gian (đơn giá theo giây). Trong tính toán, giả thiết sản lượng kế hoạch 2400 chi tiết/ngày, 26 ngày công/tháng (tương đương 62.400 chi tiết/tháng) và đơn giá công đoạn k=8,2 đồng/giây. Các kết quả kinh tế được tính trên các giả định về sản lượng kế hoạch, đơn giá theo giây và thời gian chu trình trung bình; chưa bao gồm chi phí bảo trì, khấu hao, dừng máy, đào tạo và biến động đơn hàng, vì vậy nên xem như ước lượng tham khảo cho điều kiện tương tự.

Chi phí nhân công trực tiếp hàng tháng cho công đoạn được ước tính theo biểu thức: C_tháng = t × Q_tháng × k, trong đó t là thời gian may trung bình cho một chi tiết (giây/chi tiết), Q_tháng là sản lượng kế hoạch theo tháng và k là đơn giá theo giây. Kết quả tính toán được tổng hợp trong bảng 5.

Bảng 5. Ước tính hiệu quả kinh tế của giải pháp dựa trên chi phí theo giây và sản lượng kế hoạch (62.400 chi tiết/tháng).

Phương án	Thời gian trung bình/1 BTP (giây)	Sản lượng kế hoạch (BTP/tháng)	Đơn giá (đồng/giây)	Chi phí nhân công trực tiếp (đồng/tháng)
May thủ công bằng máy 1 kim	11,9	62400	8,2	6.088.992
Juki AMS-221EN/2516 lắp hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động	8,3	62400	8,2	4.246.944

BTP: bán thành phẩm. Nguồn: Số liệu đo trong điều kiện sản xuất, n=30.

Theo bảng 5, khi áp dụng bộ cữ-gá-dưỡng bán tự động, chi phí nhân công trực tiếp cho công đoạn giảm từ 6.088.992 xuống 4.246.944 đồng/tháng, tương ứng tiết kiệm 1.842.048 đồng/tháng. Mức tiết kiệm này tương đương khoảng 224.640 giây (~62,4 giờ) lao động/tháng cho cùng sản lượng kế hoạch.

Với chi phí chế tạo và lắp đặt hệ thống ước tính khoảng 55.000.000 đồng, thời gian hoàn vốn ước tính T-HV=55.000.000/1.842.048≈29,8 tháng. Nếu sử dụng giá trị thời gian chu trình trung bình đo được trong thử nghiệm (8,3 giây/chi tiết), thời gian hoàn vốn xấp xỉ 2-2,5 năm. Do đó, có thể xem thời gian hoàn vốn nằm trong khoảng 2-2,5 năm. Các tính toán trên chưa tính đến lợi ích từ việc giảm sản phẩm lỗi, giảm thời gian sửa lại và khả năng tận dụng thời gian tiết kiệm để tăng sản lượng. Bên cạnh đó, có thể thấy rằng đáp túi là chi tiết rất điển hình trong các sản phẩm

may mặc nên nếu nghiên cứu này được nhân rộng ra nhiều nhà máy may thì hiệu quả thu được sẽ tăng lên đáng kể thông qua năng suất may đáp túi tăng lên.

Giới hạn của nghiên cứu là thử nghiệm định lượng được thực hiện trên một số mã hàng điển hình; do đó cần mở rộng đánh giá trên nhiều nhóm vật liệu (độ dày, độ trơn, độ bai giãn) và nhiều kích thước túi để xác lập miền thông số công nghệ. Trong các nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả đề xuất bổ sung mô-đun giám sát quá trình, chất lượng (đo lệch đường mí, kiểm soát mép gấp) và mở rộng phân tích hiệu quả kinh tế theo hướng tính đến chi phí vận hành, bảo dưỡng, cũng như các kịch bản quy mô sản xuất khác nhau để hỗ trợ quyết định triển khai ở doanh nghiệp.

6. Kết luận

Nghiên cứu đã đề xuất và triển khai giải pháp đổi mới quy trình may đáp túi trên máy may lập trình Juki AMS-221EN/2516 thông qua thiết kế, chế tạo và tích hợp hệ thống cữ-gá-dưỡng bán tự động. Hệ thống sử dụng cơ cấu gấp mép và ép giữ bằng khí nén, điều khiển bằng PLC theo mô hình chu trình-trạng thái để đồng bộ với chu trình may; đồng thời hỗ trợ lấy và sắp xếp bán thành phẩm sau may.

Kết quả thử nghiệm trong điều kiện sản xuất trong 30 ngày, mỗi ngày một ca dài 4 giờ (4 giờ vận hành liên tục cho mỗi phương án) cho thấy thời gian chu trình trung bình/chi tiết giảm từ 11,9±0,7 xuống 8,3±0,5 giây/chi tiết (giảm 30,3%), và sản lượng tăng từ 1212 lên 1739 BTP/4 giờ (tăng 43,5%). Chất lượng đường mí ổn định hơn và ít phụ thuộc tay nghề nhờ loại bỏ thao tác giữ mép trong quá trình may.

Trong các nghiên cứu tiếp theo, có thể định lượng chất lượng bằng các chỉ tiêu như độ lệch đường mí so với mép (mm), độ thẳng đường may (sai số hình học), độ đồng đều mép gấp (độ lệch chiều rộng gấp), tỷ lệ lỗi ngoại quan và phân tích lặp lại theo nhiều loại vải/người vận hành.

Giải pháp đề xuất có thể triển khai theo hướng cải tạo trên máy sẵn có, không làm thay đổi kết cấu nguyên bản của máy, phù hợp với điều kiện đầu tư của nhiều doanh nghiệp may trong nước. Khi áp dụng cho vật liệu hoặc kích thước túi khác, cần hiệu chỉnh các thông số khí nén và tham số điều khiển PLC để bảo đảm độ ổn định.

Trong các nghiên cứu tiếp theo cần mở rộng phạm vi thử nghiệm theo nhóm vật liệu và kích thước túi, đồng thời thực hiện phân tích hiệu quả kinh tế để đánh giá khả năng nhân rộng ở quy mô doanh nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] JUKI Corporation (2025), *AMS-221EN Series-Pattern Stitching Machine*. https://www.juki.co.jp/industrial_e/products_e/apparel_e/cycle_e/detail.php?cd=AMS-221EN_E, accessed 1 December 2025.

[2] J. Shen, Z. Zhou, Z. Wang, et al. (2025), "Autonomous sewing technology and system: A new strategy for the garment industry by integrating soft fingers and machine vision technology", *Textiles*, **5(4)**, DOI: 10.3390/textiles5040045.

[3] Y.W. Choi, J. Lee, S. Lee, et al. (2025), "A vision-guided adaptive and optimized robotic fabric gripping system for garment manufacturing automation", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, **92**, DOI: 10.1016/j.rcim.2024.102874.

[4] R. Nayak, R. Padhye (2015), *Automation in Garment Manufacturing*, Woodhead Publishing, 426pp.

[5] M. Kudo, Y. Nasu, K. Mitobe, et al. (2000), "Multi-arm robot control system for manipulation of flexible materials in sewing operation", *Mechatronics*, **10(3)**, pp.371-402, DOI: 10.1016/S0957-4158(99)00047-1.

[6] S. Lee, S. Rho, D. Lim, et al. (2021a), "A basic study on establishing the automatic sewing process according to textile properties", *Processes*, **9(7)**, DOI: 10.3390/pr9071206.

[7] S. Lee, S. Rho, D. Lim, et al. (2021b), "Implementation of an automated manufacturing process for smart clothing: The case study of a smart sports bra", *Processes*, **9(2)**, DOI: 10.3390/pr9020289.

[8] JUKI Corporation (2023), *APW-895N/APW-896N-Automatic Welting Machine*, https://www.juki.co.jp/industrial_e/products_e/apparel_e/automatic_e/detail.php?cd=APW-895N_APW-896N_E, accessed 1 December 2025.

[9] Automated Sewing Systems (A-S-S) GmbH (2023), *Bass 3204-Sewing System for Pocket Openings (Product Brochure)*, https://assag.de/pdfs/machines/bass3204_eng.pdf, accessed 1 December 2025.

 DOI: 10.31276/VJST.2024.3106

Chế tạo và nghiên cứu tính chất quang của vật liệu $MgGa_2O_4$ pha tạp Cr^{3+}

Nguyễn Ánh Tuyết[1], Vũ Hồng Đăng[1], Trần Việt Hùng[1], Dương Thị Hảo Dung[1], Ngô Mai Chi[1], Hoàng Minh Tuấn[2], Nguyễn Văn Quang[1*], Vũ Thị Kim Liên[3]

[1]Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2, 32 Nguyễn Văn Linh, phường Xuân Hòa, tỉnh Phú Thọ, Việt Nam
[2]Sở Giáo dục và Đào tạo Phú Thọ, 1166 Hùng Vương, phường Thanh Miếu, tỉnh Phú Thọ, Việt Nam
[3]Trường Đại học Duy Tân, 254 Nguyễn Văn Linh, phường Thanh Khê, TP. Đà Nẵng, Việt Nam

Ngày nhận bài 1/4/2025; ngày chuyển phản biện 3/4/2025; ngày nhận phản biện 22/4/2025; ngày chấp nhận đăng 28/4/2025

Tóm tắt:

LED ánh sáng đỏ xa hiện đang được quan tâm nghiên cứu nhờ những tác động tích cực đến sự phát triển của cây trồng. Khi cây được chiếu sáng bằng ánh sáng đỏ xa, PFR sẽ hấp thụ ánh sáng này và chuyển hóa thành PR, từ đó kích thích sự sinh trưởng của cây. Trong nghiên cứu này, vật liệu $MgGa_2O_4:Cr^{3+}$ phát xạ ánh sáng đỏ xa đã được tổng hợp bằng phương pháp khuếch tán nhiệt. Giản đồ nhiễu xạ tia X cho thấy, ở nhiệt độ nung 1400°C, vật liệu thu được là đơn pha và có chất lượng tinh thể tốt. Ảnh hiển vi điện tử quét phát xạ trường cho thấy, vật liệu có kích thước hạt lớn (1-3 µm). Phổ kích thích phát quang cho thấy, vật liệu hấp thụ mạnh trong vùng ánh sáng nhìn thấy, với hai đỉnh hấp thụ cực đại xung quanh bước sóng 415 và 574 nm. Dưới kích thích tại bước sóng 415 nm, vật liệu phát xạ ánh sáng đỏ mạnh với đỉnh phát xạ tại 707 nm, tương ứng với quá trình chuyển mức $^2E \rightarrow {}^4A_2$. Thử nghiệm LED sử dụng vật liệu này kết hợp với chip LED 430 nm đã được thực hiện thành công. Các kết quả thu được cho thấy, vật liệu $MgGa_2O_4$ pha tạp Cr^{3+} là ứng viên tiềm năng cho việc chế tạo đèn LED phát xạ ánh sáng đỏ xa, hướng tới ứng dụng trong chiếu sáng nông nghiệp.

Từ khóa: **LED ánh sáng đỏ xa, $MgGa_2O_4:Cr^{3+}$, phản ứng pha rắn cải tiến.**

Chỉ số phân loại: **2.4, 2.5, 4.1**

Synthesis and research on optical properties of Cr^{3+}-doped $MgGa_2O_4$ phosphors

Anh Tuyet Nguyen[1], Hong Dang Vu[1], Viet Hung Tran[1], Thi Hao Dung Duong[1], Mai Chi Ngo[1], Minh Tuan Hoang[2], Van Quang Nguyen[1*], Thi Kim Lien Vu[3]

[1]Hanoi Pedagogical University 2, 32 Nguyen Van Linh Street, Xuan Hoa Ward, Phu Tho Province, Vietnam
[2]Phu Tho Department of Education and Training, 1166 Hung Vuong Street, Thanh Mieu Ward, Phu Tho Province, Vietnam
[3]Duy Tan University, 254 Nguyen Van Linh Street, Thanh Khe Ward, Da Nang City, Vietnam

Received 1 April 2025; revised 22 April 2025; accepted 28 April 2025

Abstract:

Far-red light-emitting diodes (LEDs) have attracted increasing attention due to their positive effects on plant growth. When plants are exposed to far-red light, phytochrome far-red (PFR) absorbs the radiation and is converted into phytochrome red (PR), thereby stimulating plant growth. In this study, a far-red-emitting $MgGa_2O_4:Cr^{3+}$ phosphor was synthesised using a thermal diffusion method. X-ray diffraction (XRD) analysis confirmed that at a calcination temperature of 1400°C, the material forms a single phase with good crystalline quality. Field-emission scanning electron microscopy (FESEM) images showed that the material possesses relatively large grains, ranging from 1 to 3 µm in size. Photoluminescence excitation (PLE) spectra revealed strong visible-light absorption, with two prominent peaks at approximately 415 and 574 nm. When excited at 415 nm, the material exhibited intense red emission, peaking at 707 nm, corresponding to the $^2E \rightarrow {}^4A_2$ transition. Furthermore, an LED experiment using this material in combination with a 430 nm LED chip was successfully conducted. These findings indicate that Cr^{3+}-doped $MgGa_2O_4$ is a promising candidate for far-red light-emitting LEDs in agricultural lighting applications.

Keywords: **far red LED light, improved solid-state reaction, $MgGa_2O_4:Cr^{3+}$.**

Classification numbers: **2.4, 2.5, 4.1**

[*]Tác giả liên hệ: Email: nguyenvanquang83@hpu2.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Ánh sáng đóng vai trò quan trọng đối với sự phát triển của cây trồng [1, 2]. Các nghiên cứu chỉ ra rằng, diệp lục trong cây trồng hấp thụ ánh sáng xanh dương, đỏ và đỏ xa [1]. Với mong muốn cây trồng ra hoa, kết trái sớm người ta thường tăng thời gian chiếu sáng cho cây trồng bằng ánh sáng nhân tạo [3]. Ánh sáng nhân tạo kích thích ra hoa trái vụ thường sử dụng ánh sáng đỏ hoặc đỏ xa [3-7] . Hiện nay, người ta thường sử dụng đèn LED vì có nhiều ưu điểm nổi trội như: độ sáng cao, thân thiện môi trường và đặc biệt là tiết kiệm điện năng tiêu thụ [8, 9].

Các LED ánh sáng đỏ hoặc đỏ xa được chế tạo bằng cách phủ bột huỳnh quang phát xạ đỏ hoặc đỏ xa phủ trên các chip LED. Bột huỳnh quang sử dụng cho LED ánh sáng đỏ, đỏ xa hiện nay dựa trên các ion phát quang đất hiếm Eu^{3+}, Ce^{3+}… [10, 11] hoặc ion của các nguyên tố chuyển tiếp Mn^{4+}, Cr^{3+} [12, 13] hoặc các chấm lượng tử [14, 15]. Trong đó, ion Cr^{3+} có cấu hình $3d^3$ dễ dàng được pha tạp vào các mạng nền khác nhau và cho phát xạ vùng khác nhau, từ đỏ đậm, đỏ xa đến hồng ngoại gần.

Mạng nền $MgGa_2O_4$ được tạo từ các oxide MgO, Ga_2O_3 là hợp chất bền, thân thiện môi trường, chúng có cấu trúc spinel với nhóm không gian Fd3m là hệ tinh thể lập phương [5].

Theo tìm hiểu của chúng tôi, vật liệu $MgGa_2O_4$ pha tạp Cr^{3+} được nghiên cứu chế tạo bằng phương pháp phản ứng pha rắn [5], tuy nhiên trong nghiên cứu này, sử dụng phản ứng pha rắn truyền thống, chưa thử nghiệm và đánh giá LED phát xạ đỏ xa [5].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi chế tạo $MgGa_2O_4$ pha tạp Cr^{3+} bằng phương pháp phản ứng pha rắn cải tiến, kết hợp với thiêu kết ở nhiệt độ cao có quy trình đơn giản, độ lặp hóa học cao. Thử nghiệm chế tạo LED và đo thông số điện quang của LED.

2. Thực nghiệm và phương pháp nghiên cứu

2.1. Thực nghiệm

Vật liệu $MgGa_2O_4$ pha tạp 0,5%Cr^{3+} được tổng hợp dựa trên phương pháp phản ứng pha rắn truyền thống, sử dụng hoá chất gồm MgO, Ga_2O_3 và $Cr(NO_3)_3.9H_2O$. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, nhóm đã cải tiến phản ứng pha rắn bằng cách trộn các tiền chất với nước và khuấy để các chất ban đầu được phân bố đều vào nhau, giúp quá trình phản ứng dễ dàng hơn. Quy trình thực nghiệm được mô tả như sau: Cho hỗn hợp gồm 0,1773 g MgO và 0,8239g Ga_2O_3 trong cốc thuỷ tinh 100 ml, thêm 50 ml nước cất hai lần, khuấy đều, thêm tiếp 44 microlit dung dịch $Cr(NO_3)_3$ 1M; nâng nhiệt độ 100°C tiếp tục khuấy đến cạn. Sấy mẫu trong tủ sấy ở 200°C trong 5 giờ, ở điều kiện nhiệt độ thường, nghiền đều mẫu bằng cối mã não. Nung mẫu ở 1400°C trong 5 giờ ở điều kiện thường, tốc độ nâng nhiệt 300°C/giờ, thu được vật liệu $MgGa_2O_4$:Cr^{3+}.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Bột huỳnh quang $MgGa_2O_4$ pha tạp 0,5% Cr^{3+} sau khi chế tạo được khảo sát cấu trúc tinh thể bằng phép đo nhiễu xạ tia X (XRD) sử dụng thiết bị D8 Advance với nguồn bức xạ CuKα. Hình thái bề mặt vật liệu được nghiên cứu bằng hiển vi điện tử quét phát xạ trường (FESEM) với thiết bị JEOL/JSM-7600F. Các tính chất quang của vật liệu được khảo sát bằng phương pháp đo phổ huỳnh quang (PL) và phổ kích thích huỳnh quang (PLE) sử dụng nguồn sáng Xe-non, công suất 450 W, với độ mở khe 2 và 1 nm, thời gian 0,2S. Đặc tính quang học của nguyên mẫu LED được khảo sát bằng máy quang phổ kế GS-1290-3 (Gamma Scientific, Mỹ) kết hợp với quả cầu tích phân. Các mẫu khảo sát được đo ở nhiệt độ phòng.

2.3. Quy trình chế tạo LED

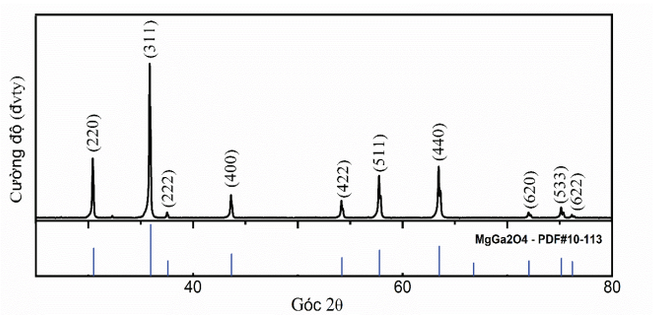
Trước tiên, dung dịch polydimethylsiloxane (PDMS) được điều chế bằng cách trộn đều chất đàn hồi và chất đóng rắn theo tỷ lệ 1:1. Tiếp theo, một dung dịch trong suốt được tạo ra bằng cách phối trộn vật liệu phát quang đỏ $MgGa_2O_4$:Cr^{3+} với dung dịch PDMS theo tỷ lệ 1:4, sử dụng máy trộn hành tinh. Hỗn hợp thu được sau đó được phủ lên bề mặt của chip 430 nm bằng thiết bị phun định lượng. Cuối cùng, thiết bị được sấy trong lò ở nhiệt độ 150°C trong vòng 4 giờ để hoàn tất quá trình chế tạo.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Cấu trúc tinh thể của vật liệu

Để xác định rằng hợp chất tổng hợp đã được hình thành, cần phải xác định cấu trúc tinh thể của chúng và so sánh với tiêu chuẩn của vật liệu đã được công bố [5]. Cấu trúc tinh thể của vật liệu được xác định thông qua phép đo giản đồ nhiễu xạ tia X. Giản đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu $MgGa_2O_4$ pha tạp 0,5% Cr^{3+} thiêu kết ở 1400°C, 5 giờ trong không khí được trình bày ở hình 1. Kết quả tại hình 1 cho thấy, vật liệu tồn tại các đỉnh nhiễu xạ có cường độ mạnh, đặc

trưng cho cấu trúc spinel của pha tinh thể $MgGa_2O_4$ với nhóm không gian Fd3m thuộc hệ tinh thể lập phương tại các góc 2θ=18,55°; 30,51°; 35,96°; 37,60°; 43,69°; 54,23°; 57,81°; 63,52°; 66,79°; 72,08°; 75,18° và 76,21° ứng với các mặt phẳng (111), (220), (311), (222), (400), (422), (511), (440), (531), (620), (533), (622) và phù hợp với thẻ chuẩn (PDF#10-0113–$MgGa_2O_4$) [10]. Điều này chứng tỏ vật liệu $MgGa_2O_4$ đã hình thành và chất lượng tinh thể tốt ở 1400°C. Ở nhiệt độ nung mẫu 1400°C chỉ quan sát thấy đỉnh nhiễu xạ của tinh thể $MgGa_2O_4$, không thấy xuất hiện pha tinh thể nào khác, chứng tỏ vật liệu chế tạo được là đơn pha. Kết quả giản đồ nhiễu xạ tia X cũng cho thấy, ở nhiệt độ 1400°C không xuất hiện pha tinh thể của Cr_2O_3, điều này gián tiếp khẳng định ion Cr^{3+} đã thay thế ion Ga^{3+} trong mạng nền tinh thể $MgGa_2O_4$. Từ kết quả này chứng tỏ, chúng tôi đã chế tạo thành công bột huỳnh quang $MgGa_2O_4$ đơn pha và ion Cr^{3+} đã thay thế ion Ga^{3+} trong mạng nền $MgGa_2O_4$.



Hình 1. Giản đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu $MgGa_2O_4$ pha tạp Cr^{3+} 0,5% được ủ nhiệt ở 1400°C, 5 giờ trong không khí.

Để nghiên cứu sự thay thế Cr^{3+} vào vị trí của ion Mg^{2+} hay vị trí của Ga^{3+} trong mạng nền $MgGa_2O_4$ chúng tôi tính giá trị sai lệch Dr, Dr có giá trị nhỏ hơn 30% mới có khả năng thay thế, và Dr càng nhỏ khả năng thay thế càng dễ [16].

$$D_r = \frac{R_h(CN) - R_d(CN)}{R_h(CN)} \quad (1)$$

trong đó, R_h và R_d tương ứng bán kính của ion được thay thế trong mạng nền và ion pha tạp; CN là số phối trí. Bán kính của các ion Mg^{2+}=0,72 Å; Ga^{3+}=0,62 Å; Cr^{3+}=0,615 Å [5], dựa vào công thức (1) tính được Dr ở bảng 1.

Bảng 1. Giá trị tỷ lệ phần trăm sai lệch (Dr) khi Cr^{3+} thay thế các ion trong mạng nền.

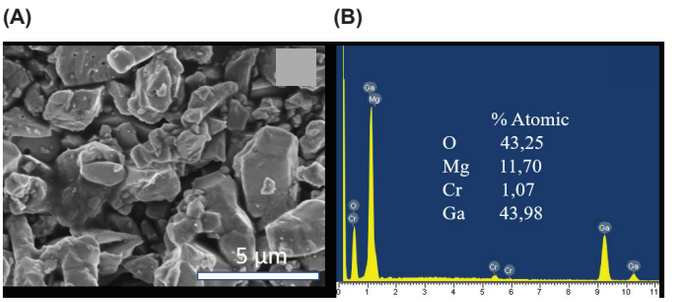
	Ga^{3+}	Mg^{2+}
D_r	0,81%	14,58%

Từ giá trị bảng 1, khi ion Cr^{3+} thay thế ion Ga^{3+} trong mạng nền có giá trị phần trăm sai lệch nhỏ nhất và nhỏ hơn rất nhiều 30%, nên ion Cr^{3+} ưu tiên thay thế Ga^{3+} trong mạng nền [16].

3.2. Hình thái bề mặt và thành phần hóa học của vật liệu

Hình thái bề mặt cho biết, vật liệu có hình dạng như thế nào và cho biết kích thước của vật liệu. Phân tích thành phần hóa học khẳng định thành phần nguyên tố trong vật liệu, giúp xác định vật liệu chế tạo được có tinh khiết hay lẫn tạp chất khác.

Hình 2A là hình thái bề mặt của vật liệu $MgGa_2O_4$ pha tạp Cr^{3+}, được ủ nhiệt ở 1400°C, 5 giờ trong không khí. Kết quả trên hình 2A cho thấy, vật liệu thu được dạng hạt, có biên độ rõ ràng, kích thước trung bình từ 1 đến 3 µm. Kết quả hình 2B là kết quả phân tích thành phần hóa học của vật liệu $MgGa_2O_4$ pha tạp Cr^{3+}, kết quả cho thấy vật liệu chỉ chứa các nguyên tố Mg, Ga, O và Cr mà không xuất hiện các nguyên tố khác, điều này cho thấy vật liệu thu được tinh khiết.

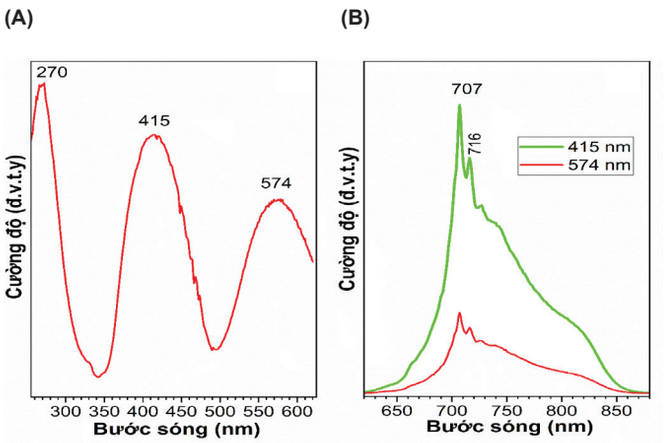


Hình 2. Hình thái bề mặt (A) và thành phần hóa học (B) của vật liệu $MgGa_2O_4$ pha tạp Cr^{3+}0,5%.

3.3. Tính chất quang của vật liệu

Phổ kích thích huỳnh quang và phổ phát xạ huỳnh quang của vật liệu $MgGa_2O_4$ pha tạp Cr^{3+} thiêu kết ở 1400°C trong 5 giờ trong không khí được trình bày ở hình 3. Kết quả phổ trong hình 3A cho thấy, khi bị kích thích ở bước sóng 707 nm, vật liệu thể hiện hai dải kích thích trong khoảng 350-490 nm và 500-600 nm, với các cực đại lần lượt tại bước sóng 415 nm và 574 nm. Dải kích thích quan sát được tại 415 nm là do quá trình chuyển mức năng lượng $^4A_2g(^4F) \rightarrow {}^4T_1g(^4F)$ [5, 17], trong khi đỉnh hấp thụ tại 574 nm là do quá trình chuyển mức $^4A_2g(^4F) \rightarrow {}^4T_2g(^4F)$. Ngoài ra, vật liệu còn hấp thụ mạnh tại bước sóng 270 nm, đỉnh này được gán cho các chuyển tiếp spin-cho phép $^4A_2\ (^4F) \rightarrow {}^4T_1\ (^4P)$ [5, 17]. Kết quả nhận được tương đồng với công bố trước đó [5, 17].

Hình 3B phổ huỳnh quang của vật liệu khi kích thích ở bước sóng 415 nm cho thấy, vùng phát xạ đỏ - đỏ xa trong khoảng từ 600-850 nm, đạt cực đại tại 707 nm, do bước chuyển $^2E \rightarrow {}^4A_2$ bị cấm quay và cho phép spin của Cr^{3+}, và dải phát xạ tại 716 nm được quy cho quá trình chuyển đổi mức năng lượng $^4T_2 \rightarrow {}^4A_2$ cấm quay và cho phép spin của Cr^{3+} [5, 8, 17, 18]. Ngoài ra, kích thích bởi bước sóng 415 nm cho cường độ phát xạ mạnh hơn so với khi kích thích bởi bước sóng 574 nm. Từ những kết quả này càng khẳng định rằng ion Cr^{3+} đã thay thế vào mạng nền $MgGa_2O_4$. Như vậy, chúng tôi chế tạo thành công vật liệu $MgGa_2O_4$:Cr^{3+} bằng pha rắn cải tiến, giúp quá trình hình thành tinh thể dễ dàng hơn, phân bố hạt cũng đồng đều thể hiện qua hình ảnh FESEM. Quy trình này có thể chế tạo mẫu với số lượng lớn/mẻ, độ lặp cao, có tiềm năng sản xuất quy mô lớn và ứng dụng trong thực tiễn.



Hình 3. (A) Phổ kích thích huỳnh quang, (B) phổ huỳnh quang của vật liệu $MgGa_2O_4$:0,5% Cr^{3+} ủ nhiệt ở 1400°C, 5 giờ trong không khí.

Cấu hình lớp ngoài của ion Cr^{3+} là $3d^3$ chưa được điền đầy, do đó tồn tại một số mức năng lượng thấp tạo ra các chuyển đổi quang học. Các mức năng lượng của Cr^{3+} trong trường tinh thể của mạng nền $MgGa_2O_4$ được thể hiện trên giản đồ Tanabe - Sugano trong hình 4.

Trạng thái $^4A_{2g}$ có năng lượng thấp nhất (gọi là trạng thái cơ bản). Các mức $^2T_{1g}$ và ^2E_g có năng lượng gần như không đổi, trong khi đó các mức năng lượng $^2A_{1g}$, $^4T_{1g}$ và $^4T_{2g}$ phụ thuộc mạnh vào giá trị D_q/B, trong đó D_q là thông số trường tinh thể và B là thông số Racah. Tỷ số $D_q/B>2,2$ khi Cr^{3+} trong trường tinh thể mạnh và $D_q/B<2,2$ trong trường tinh thể yếu [4, 7].

Thông số Dq được xác định theo công thức (1):

$$D_q = \frac{E(^4A_{2g} \rightarrow {}^4T_{2g})}{10} \quad (2)$$

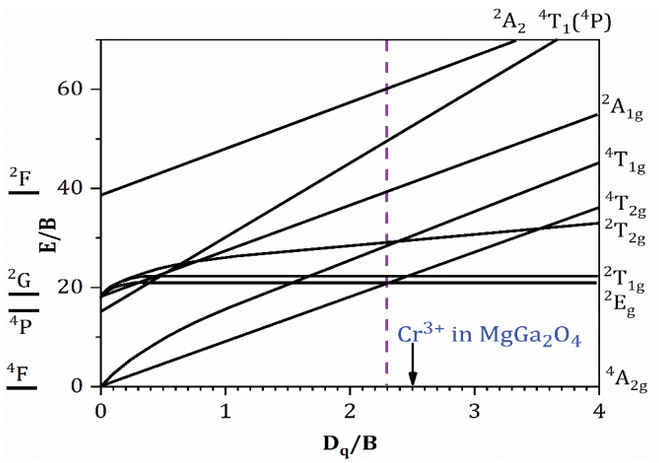
Hằng số Racah tính theo công thức (2):

$$\frac{D_q}{B} = \frac{15(x-8)}{x^2-10x} \quad (3)$$

Với:

$$x = \frac{E(^4A_{2g} \rightarrow {}^4T_{1g}) - E(^4A_{2g} \rightarrow {}^4T_{2g})}{D_q} \quad (4)$$

trong đó, $E(^4A_{2g} \rightarrow {}^4T_{2g})$ và $E(^4A_{2g} \rightarrow {}^4T_{1g})$ lần lượt là năng lượng của chuyển dời kích thích $^4A_{2g} \rightarrow {}^4T_{2g}$ và $^4A_{2g} \rightarrow {}^4T_{1g}$. Dựa vào phổ kích thích trên (hình 3) và các công thức (2-4) thông số mạng tinh thể tính toán được lần lượt là D_q=1745,2 cm^{-1}, B=654,25 cm^{-1}, D_q/B= 2,66. Ta thấy $D_q/B>2,2$ chứng tỏ rằng, ion Cr^{3+} được định xứ trong trường tinh thể mạnh của mạng nền $MgGa_2O_4$ nên phổ phát xạ Cr^{3+} dạng vạch hẹp.

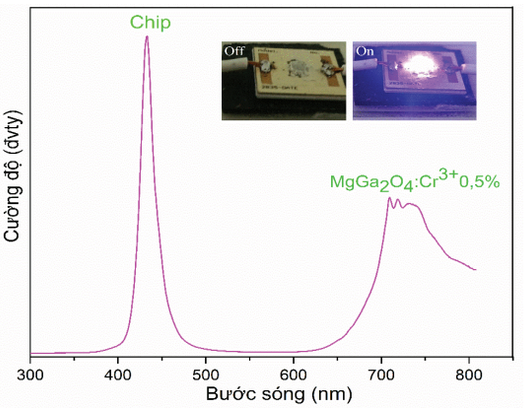


Hình 4. Giản đồ Tanabe-Sugano biểu hiện các mức năng lượng của ion Cr^{3+} trong trường tinh thể của mạng nền $MgGa_2O_4$.

3.4. Thử nghiệm chế tạo LED

Để nghiên cứu khả năng ứng dụng của bột huỳnh quang đã chế tạo, chúng tôi đã tiến hành phủ mẫu bột $MgGa_2O_4$ pha tạp 0,5% Cr^{3+}, được thiêu kết ở 1400°C trong 5 giờ, lên chip LED 430 nm. Nguồn điện sử dụng cho LED là nguồn một chiều với các thông số tương ứng là 9 V, 150 mA. Hình 5 thể hiện phổ điện quang của chip kết hợp với bột huỳnh quang và ảnh thực tế của LED. Kết quả thu được từ hình 5 cho thấy, khi sử dụng chip 430 nm và phủ bằng vật liệu này,

đã xuất hiện vùng phát xạ đỏ xa và ảnh LED quan sát được có màu đỏ. Kết quả này cho thấy tiềm năng của vật liệu trong việc chế tạo LED phát xạ ánh sáng đỏ xa, hướng tới ứng dụng trong chiếu sáng nông nghiệp.



Hình 5. Phổ điện quang và đèn LED chế tạo khi phủ bột $MgGa_2O_4$: Cr^{3+} lên chip LED 430 nm.

4. Kết luận

Bằng phương pháp phản ứng pha rắn cải tiến, chúng tôi đã chế tạo thành công bột huỳnh quang $MgGa_2O_4:Cr^{3+}$. Bằng giản đồ nhiễu xạ tia X cho thấy, vật liệu đã hình thành và đơn pha ở nhiệt độ nung 1400°C, 5 giờ trong không khí, hình ảnh FESEM cho thấy ở nhiệt độ nung mẫu này, kích thước hạt ~1-3 µm. Bột huỳnh quang chế tạo được cho phát xạ đỏ đậm đến đỏ xa, với bước sóng phát xạ cực đại ở đỉnh 707nm và hấp thụ ở hai vùng 350-490 nm; 500-600 nm và đạt cực đại ở bước sóng 415 và 574 nm. Kết quả tính Dq/B=2,66 chứng tỏ ion Cr^{3+} chịu tác dụng trường tinh thể mạnh trong mạng nền $MgGa_2O_4$. Thử nghiệm chế tạo được LED phát xạ đỏ đậm - đỏ xa trên cơ sở bột $MgGa_2O_4:Cr^{3+}$ và chíp LED 430 nm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ bởi Trường Đại học Sư phạm Hà Nội 2 qua Đề tài có mã số SV.2024.HPU2.05. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] R.B. Peterson, V. Oja, A. Laisk (2001), "Chlorophyll fluorescence at 680 and 730 nm and leaf photosynthesis", *Photosynth. Res.*, **70**, pp.185-196, DOI: 10.1023/A:1017952500015.

[2] N.V. Quang, H.Q. Bac, D.T.T. Huyen, et al. (2021), "A high quantum efficiency plant growth LED by using a deep-red-emitting α-$Al_2O_3:Cr^{3+}$ phosphor", *Dalt. Trans.*, **50**, pp.12570-12582, DOI: 10.1039/d1dt00115a.

[3] N.T. Huyen, M.T. Tran, N.V. Quang, et al. (2022), "Far-red-emitting Cr^{3+}-doped $CaAl_{12}O_{19}$ phosphors with excellent color purity and good quantum efficiency for plant growth LEDs", *Opt. Mater. (Amst).*, **133**, DOI: 10.1016/j.optmat.2022.113002.

[4] K.T. Thu, N. Tu, D.Q. Trung, et al. (2024), "Harnessing the brilliance of Cr^{3+} doped $LaAlO_3$-Al_2O_3 phosphors with exceptional responsiveness to far-red phytochrome for plant growth LEDs", *Ceram. Int.*, **50**, pp.27064-27079, DOI: 10.1016/j.ceramint.2024.05.003.

[5] Y. Zhao, J. Du, X. Wu, et al. (2020), "Enhanced near-infrared persistent luminescence in $MgGa_2O_4:Cr^{3+}$ through codoping", *J. Lumin.*, **220**, DOI: 10.1016/j.jlumin.2020.117035.

[6] N.T.K. Chi, N.V Quang, N.T. Tuan, et al. (2019), "Deep red emitting $MgAl_2O_4:Cr^{3+}$ phosphor for solid state lighting", *J. Electron. Mater*, **48**, pp.5891-5899, DOI: 10.1007/s11664-019-07358-5.

[7] M.T. Tran, D.Q. Trung, N. Tu, et al. (2021), "Single-phase far-red-emitting $ZnAl_2O_4:Cr^{3+}$ phosphor for application in plant growth LEDs", *J. Alloys Compd.*, **884**, pp.1-13, DOI: 10.1016/j.jallcom.2021.161077.

[8] Z. Wu, Z. Xia (2018), *Phosphors for White LEDs*, Elsevier Ltd, DOI: 10.1016/B978-0-08-101942-9.00005-8.

[9] J.R. Pryde, D.C. Whalley, W. Malalasekera (2014), "A review of LED technology trends and relevant thermal management strategies", *Fourteenth Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITherm)*.

[10] B.S. Tsai, Y.H. Chang, Y.C. Chen (2004), "Nanostructured red-emitting $MgGa_2O_4:Eu^{3+}$ phosphors", *J. Mater. Res.*, **19**, pp.1504-1508, DOI: 10.1557/JMR.2004.0201.

[11] L. Mancic, V. Lojpur, I. Barosso, et al. (2012), "Synthesis of cerium-activated yttrium aluminate based fine phosphors by an aerosol route", *Eur. J. Inorg. Chem.*, **2012**, pp.2716-2724, DOI: 10.1002/ejic.201101053.

[12] S.X. Liu, F.B. Xiong, H.F. Lin, et al. (2018), "A deep red-light-emitting phosphor $Mn^{4+}:CaAl_4O_7$ for warm white LEDs", *Optik (Stuttg).*, **170**, pp.178-184, DOI: 10.1016/j.ijleo.2018.05.127.

[13] L. Meng, L. Liang, Y. Wen (2015), "A novel red phosphor Na^+, Mn^{4+} co-doped $Sr_4Al_{14}O_{25}$ for warm white light emitting diodes", *Mater. Chem. Phys.*, **153**, pp.1-4, DOI: 10.1016/j.matchemphys.2014.12.041.

[14] J.H. Song, T.P. Nguyen, D.K. Nguyen, et al. (2024), "Hydrothermal synthesis of CdTe quantum dots using ammonia as a reducing agent", HPU2 *J. Sci. Nat. Sci. Technol.*, **3**, pp.3-9, DOI: 10.56764/hpu2.jos.2024.3.2.3-9 (in Vietnamese).

[15] T.H.D. Thi, D.N. Cao, T.H. Nguyen, et al. (2023), "Control the solubility of carbon quantum dots by solvent engineering", *HPU2 J. Sci. Nat. Sci. Technol.*, **2**, pp.51-58, DOI: 10.56764/hpu2.jos.2023.2.3.51-58 (in Vietnamese).

[16] L. Shi, Y.J. Han, Z.G. Zhang, et al. (2019), "Synthesis and photoluminescence properties of novel $Ca_2LaSbO_6:Mn^{4+}$ double perovskite phosphor for plant growth LEDs", *Ceram. Int.*, **45**, pp.4739-4746, DOI: 10.1016/j.ceramint.2018.11.166.

[17] X. Yu, X. Yang, J. Huan, et al. (2024), "Intense NIR mechanoluminescence from Al^{3+}-regulated $MgGa_2O_4:Cr^{3+}$", *Chem. Eng. J.*, **491**, DOI: 10.1016/j.cej.2024.152155.

[18] S. Yu, S. Fang, L. Zhao, et al. (2023), "Self-recoverable and cyclically stable near-infrared mechanoluminescence for dual-mode mechanics visualisation and biomechanics detection", *Chem. Eng. J.*, **474**, DOI: 10.1016/j.cej.2023.145542.

Phân tích methanol trong xăng bằng kỹ thuật chiết lỏng - lỏng kết hợp sắc ký khí detector ion hóa ngọn lửa (GC-FID)

Hoàng Thị Hương Thảo[1*], Nguyễn Diệu Xuân[2], Mai Thị Phương Thảo[1], Khuất Ngọc Hải[1], Vũ Đức Lợi[3]

[1]Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam
[2]Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 18 Hoàng Quốc Việt, Nghĩa Đô, Hà Nội, Việt Nam
[3]Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam - Hàn Quốc, Km29 Đại lộ Thăng Long, xã Hòa Lạc, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 17/3/2025; ngày chuyển phản biện 19/3/2025; ngày nhận phản biện 9/4/2025; ngày chấp nhận đăng 14/4/2025

Tóm tắt:

Trong nghiên cứu này, methanol trong xăng được phân tích bằng kỹ thuật chiết lỏng - lỏng kết hợp phương pháp sắc ký khí - detector ion hóa ngọn lửa (GC-FID). Methanol trong mẫu được chuyển sang pha nước bằng kỹ thuật chiết lỏng - lỏng trước khi được phân tách trên cột Restek Rtx-Wax và được phát hiện bằng detector FID. Các điều kiện sắc ký khí bao gồm: chương trình nhiệt độ cột tách, tỷ lệ chia dòng, tốc độ khí mang được khảo sát và lựa chọn để phù hợp với mục tiêu phân tích methanol trong xăng. Nồng độ methanol trong xăng tuyến tính tốt trong khoảng 3,96-7920 mg/l với R^2>0,99. Giới hạn phát hiện (MDL) và giới hạn định lượng (MQL) của phương pháp lần lượt là 1,49 và 4,96 mg/l. Độ lặp của phương pháp đạt 4,60-6,99%, hiệu suất thu hồi methanol trong xăng đạt 92,4-98,6%. Các kết quả này cho thấy, phương pháp phân tích đã phát triển đáp ứng được các yêu cầu về độ chính xác và có thể áp dụng để xác định hàm lượng methanol trong các mẫu xăng.

Từ khóa: **chiết lỏng - lỏng, hóa phân tích, methanol, sắc ký khí - detector ion hóa ngọn lửa, xăng.**

Chỉ số phân loại: **2.4, 2.7, 2.11**

Determination of methanol in gasoline using liquid-liquid extraction and gas chromatography-flame ionisation detector (GC-FID)

Thi Huong Thao Hoang[1*], Dieu Xuan Nguyen[2], Thi Phuong Thao Mai[1], Ngoc Hai Khuat[1], Duc Loi Vu[3]

[1]Institute of Chemistry, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Graduate University of Science and Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 18 Hoang Quoc Viet Street, Nghia Do Ward, Hanoi, Vietnam
[3]Vietnam - Korea Institute of Science and Technology, Km29 Thang Long Avenue, Hoa Lac Commune, Hanoi, Vietnam

Received 17 March 2025; revised 9 April 2025; accepted 14 April 2025

Abstract:

The concentration of methanol in gasoline was determined using liquid-liquid extraction and gas chromatography-flame ionisation detector (GC-FID). Methanol was transferred into the aqueous phase by liquid-liquid extraction before being separated on a Restek Rtx-Wax column and detected using a flame ionisation detector (FID). Gas chromatographic conditions, including column temperature programme, split ratio, and carrier gas flow rate, were investigated and selected to meet the requirement for methanol analysis. The methanol concentration in gasoline showed good linearity over the range of 3.96-7920 mg/l, with R^2>0.99. The method detection limit (MDL) and method quantification limit (MQL) were 1.49 and 4.96 mg/l, respectively. The method precision, expressed as RSD, ranged from 1,49 to 4,96. The extraction recovery of methanol in gasoline ranged from 92.4 to 98.6%. The results indicated that the developed method meets accuracy requirements and is suitable for the determination of methanol in gasoline samples.

Keywords: **analytical chemistry, gas chromatography-flame ionisation detector, gasoline, liquid-liquid extraction, methanol.**

Classification numbers: **2.4, 2.7, 2.11**

[*]Tác giả liên hệ: Email: huongthao@ich.vast.vn

1. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, methanol là một trong những phụ gia tiềm năng trong ngành sản xuất xăng. Methanol có thể được trộn vào xăng để tăng chỉ số octane - chỉ số đặc trưng cho tính chống kích nổ của xăng [1]. Khi đốt cháy, xăng trộn methanol cho khí thải sạch hơn so với xăng thông thường [2, 3]. Ngoài ra, methanol có giá thành rẻ và dễ tiếp cận, do có thể được sản xuất từ các nguồn năng lượng phi dầu mỏ như khí tự nhiên hay sinh khối [4]. Tuy nhiên, methanol cũng là hóa chất độc hại, cần có sự kiểm soát chặt chẽ. Khi xâm nhập cơ thể, methanol chuyển hóa thành formaldehyde và axit formic, gây tổn thương hệ thần kinh, thị giác và nội tạng [5]. Đối với xăng, methanol trong xăng có thể kết hợp với hơi ẩm tạo thành pha methanol - nước ăn mòn các bộ phận nhựa, kim loại trong hệ thống phân phối nhiên liệu và động cơ, làm rò rỉ nhiên liệu và tăng nguy cơ cháy nổ [6]. Điều này đặc biệt nguy hiểm đối với phương tiện và người sử dụng phương tiện khi các cơ sở kinh doanh tự ý thêm methanol vào xăng. Hiện nay, các quốc gia có quy định khác nhau về hàm lượng cho phép của methanol trong xăng. Theo quy định của châu Âu và Cơ quan Bảo vệ môi trường Mỹ (EPA), nồng độ tối đa của methanol trong xăng là 3 và 2,67% [7]. Tại Việt Nam, theo QCVN 1:2015/BKHCN giới hạn hàm lượng methanol trong xăng phải ở ngưỡng không phát hiện [8]. Vì vậy, để kiểm soát chặt chẽ hàm lượng methanol trong xăng, việc phát triển phương pháp phân tích phù hợp là thực sự cần thiết.

Hiện nay, methanol trong xăng được xác định bằng một số phương pháp như quang phổ hồng ngoại [9, 10], sắc ký lỏng [11], sắc ký khí - detector dẫn nhiệt hoặc detector ion hóa ngọn lửa sử dụng nhiều cột tách ghép nối nhau [12, 13]. Tuy nhiên, các phương pháp này đều có nhiều hạn chế như giới hạn phát hiện lớn, dễ bị ảnh hưởng bởi nền mẫu, quá trình xử lý mẫu phức tạp, tốn nhiều thời gian, chi phí cao. Phương pháp GC-FID nổi bật nhờ độ nhạy cao, khả năng xử lý nền mẫu phức tạp, và tính chính xác, là lựa chọn hiệu quả trong phân tích methanol. Do đó, trong nghiên cứu này, chúng tôi đã xây dựng quy trình phân tích methanol trong xăng bằng kỹ thuật chiết lỏng - lỏng kết hợp phương pháp GC-FID.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Thiết bị và hóa chất

Các thiết bị thực hiện nghiên cứu bao gồm: Hệ thống sắc ký khí GC-1310 trang bị bộ tiêm mẫu tự động AOC 20i, cột tách Restek Rtx-Wax (cột có chiều dài 30 m, đường kính 0,32 mm, bề dày pha tĩnh 1 µm) và detector ion hóa ngọn lửa (Shimadzu, Nhật Bản); máy lắc WhirliMixer (Fisher, Anh), máy ly tâm (Janectzki T32A).

Các hóa chất sử dụng trong nghiên cứu này bao gồm Methanol (99,9%), Etanol (99,9%) do Hãng Merck cung cấp, nước cất siêu sạch và mẫu xăng chuẩn M-GRO-CAL-IS-SET ASTM/EPA Gasoline Refinery Oxygenates Calibration Kit, Lot 221039035 do AccuStandard cung cấp.

2.2. Thực nghiệm

Lựa chọn điều kiện chiết methanol trong xăng sang pha nước: Trong khảo sát này, methanol trong xăng được chiết sang pha nước bằng kỹ thuật chiết lỏng - lỏng với tỷ lệ thể tích xăng:nước lần lượt là 5:1, 2:1, 1:1, 1:2 và 1:5. Hỗn hợp xăng - nước được lắc đều trong 2 phút, ly tâm với tốc độ 1500 vòng/phút trong 10 phút, sau đó loại bỏ pha xăng, lấy pha nước để đo GC-FID. Hiệu suất chiết được tính dựa trên mẫu thêm chuẩn theo công thức sau:

$$H = \frac{C_{m+c} - C_m}{C_c} \times 100\%$$

trong đó, H là hiệu suất chiết methanol (%); C_{m+c} là nồng độ mẫu thêm chuẩn (mg/l); C_m là nồng độ mẫu ban đầu (mg/l); C_c là nồng độ thêm chuẩn (mg/l).

Lựa chọn các điều kiện GC-FID để phân tích methanol trong xăng: Các điều kiện sắc ký khí phân tích methanol trong xăng được lựa chọn khảo sát bao gồm: 4 tỷ lệ chia dòng (không chia dòng, 1:5, 1:10 và 1:20), 3 chương trình nhiệt độ (bảng 1) và tốc độ dòng khí mang (1, 2 và 3 ml/phút).

Bảng 1. Các chương trình nhiệt độ phân tích methanol trong xăng.

Chương trình nhiệt độ	Thông số
Chương trình nhiệt độ 1	- Nhiệt độ đầu: 40°C, giữ trong 7 phút - Nhiệt độ cuối: 200°C, giữ trong 60 phút - Tốc độ tăng nhiệt độ: 30°C /phút
Chương trình nhiệt độ 2	- Nhiệt độ đầu: 40°C giữ trong 10 phút - Nhiệt độ cuối 200°C, giữ trong 20 phút - Tốc độ tăng nhiệt độ: 15°C /phút
Chương trình nhiệt độ 3	- Nhiệt độ đầu: 40°C, giữ trong 8 phút - Nhiệt độ cuối: 200°C, giữ trong 20 phút - Tốc độ tăng nhiệt độ: 10°C /phút

Đánh giá giá trị sử dụng của phương pháp: Các mẫu xăng có nồng độ methanol trong khoảng 3,96 đến 7920 mg/l được sử dụng để xác định khoảng tuyến tính và đường chuẩn. MQL và MDL của phương pháp được xác định trên cơ sở làm lặp 10 lần mẫu xăng có hàm lượng methanol thấp. Độ lặp lại và độ thu hồi được tính toán dựa trên kết quả phân tích lặp 7 lần mẫu thêm chuẩn ở các nồng độ thấp, trung bình và cao. Các kết quả được so sánh với quy định của Hiệp hội các nhà hóa học phân tích (AOAC) để đánh giá giá trị sử dụng của phương pháp.

Phân tích methanol trong một số mẫu xăng: Quy trình phân tích đã phát triển được áp dụng để phân tích methanol trong một số mẫu xăng trên địa bàn Hà Nội. Quy trình lấy mẫu được thực hiện dựa theo TCVN 2715:1995. Mẫu được lấy trực tiếp từ vòi bơm tại các trạm xăng vào chai chứa mẫu chuyên dụng, bảo quản lạnh ở 0-5°C cho đến khi phân tích. Methanol trong mẫu được chiết lỏng - lỏng và phân tích trên thiết bị GC-FID theo quy trình đã khảo sát và lựa chọn. Các phép đo lặp, đo mẫu thêm chuẩn được thực hiện trên một số mẫu để kiểm soát và đảm bảo chất lượng phân tích. Để quy đổi từ nồng độ mg/l sang % khối lượng, tỷ trọng của mẫu xăng được đo bằng phương pháp tỷ trọng kế theo TCVN 6594:2000.

3. Kết quả và bàn luận

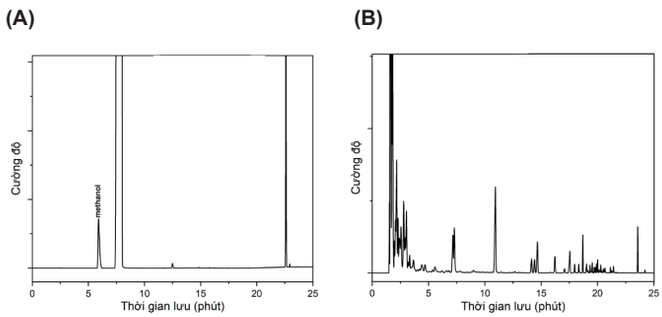
3.1. Lựa chọn điều kiện chiết methanol trong xăng sang pha nước

Do xăng có nền mẫu phức tạp gồm nhiều loại hợp chất hữu cơ khác nhau nên việc xây dựng phương pháp định lượng methanol trong xăng đòi hỏi phải sử dụng phương pháp có độ nhạy và độ chọn lọc cao, đồng thời loại bỏ được ảnh hưởng của nền mẫu. Dựa trên sự khác biệt về tính tan trong nước của methanol với đa phần các hợp chất hữu cơ khác trong xăng, trong nghiên cứu này, chúng tôi lựa chọn dung môi nước để phân tách methanol ra khỏi xăng theo kỹ thuật chiết lỏng - lỏng. Methanol trong xăng được chiết sang pha nước với các tỷ lệ thể tích xăng:nước là 1:5, 1:2, 1:1, 2:1 và 5:1. Hiệu suất chiết methanol thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Hiệu suất chiết methanol trong xăng với tỷ lệ dung môi chiết khác nhau.

Tỷ lệ thể tích xăng:nước	Hiệu suất chiết methanol (%)
1:5	71,2
1:2	80,0
1:1	97,1
2:1	84,1
5:1	87,2

Hình 1A là sắc ký đồ của mẫu xăng có qua xử lý qua quá trình chiết nước. Hình 1B là mẫu xăng không qua quá trình xử lý chiết nước. Sắc ký đồ của mẫu xăng được phân tích trực tiếp bằng GC-FID không qua quá trình chiết nước xuất hiện nhiều pic chồng lấn nhau do thành phần phức tạp của mẫu xăng. Trong khi đó, sắc ký đồ của mẫu xăng có xử lý bằng phương pháp chiết lỏng - lỏng xuất hiện ít pic hơn, các pic phân tách rõ ràng. Kết quả này cho thấy, quá trình chiết nước có hiệu quả cao trong việc loại bỏ nền mẫu phức tạp của xăng.



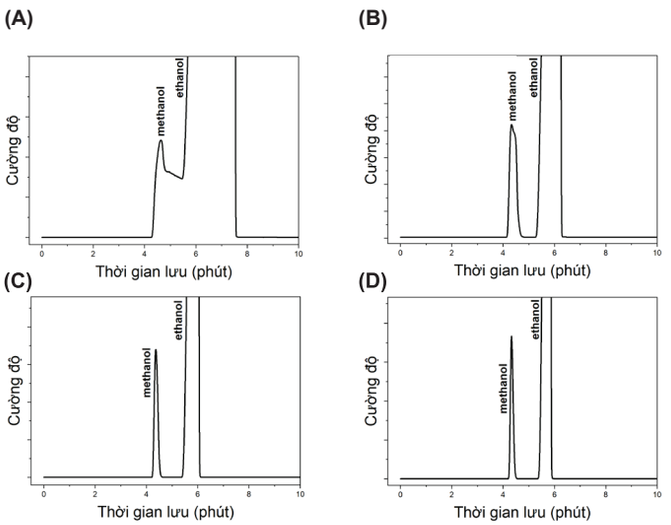
Hình 1. Sắc ký đồ của (A) mẫu xăng chiết nước và (B) mẫu xăng không chiết nước.

Để lựa chọn điều kiện chiết lỏng - lỏng cho quy trình phân tích methanol trong xăng, 5 tỷ lệ thể tích xăng:nước (5:1, 2:1, 1:1, 1:2 và 1:5) đã được tiến hành khảo sát và so sánh hiệu suất chiết methanol. Kết quả thí nghiệm cho thấy, tại tất cả các tỷ lệ thể tích khảo sát, hiệu suất chiết methanol đều đạt trên 70%, trong đó hiệu suất chiết methanol cao nhất là 97,1% với tỷ lệ xăng:nước là 1:1 (bảng 2). Vì vậy, nghiên cứu lựa chọn chiết methanol trong xăng theo phương pháp chiết lỏng - lỏng như sau: lấy chính xác 2 ml xăng, thêm 2 ml nước, lắc đều trong 2 phút, ly tâm dung dịch thu được với tốc độ 1500 vòng/phút trong 10 phút, sau đó loại bỏ pha xăng, lấy pha nước để đo GC-FID.

3.2. Lựa chọn các điều kiện phân tích methanol trong xăng bằng phương pháp GC-FID

Do ethanol là một thành phần trong xăng và có các tính chất tương tự như methanol, nên khi sử dụng nước làm dung môi chiết mẫu xăng, ethanol sẽ đi cùng methanol sang pha nước. Điều này đặt ra yêu cầu về lựa chọn các điều kiện sắc ký để các pic methanol và ethanol được phân tách rõ ràng. Vì vậy, các điều kiện sắc ký khảo sát gồm: tỷ lệ chia dòng chương trình nhiệt độ và tốc độ dòng khí mang. Các điều kiện sắc ký chung bao gồm: nhiệt độ cổng bơm mẫu 200°C, nhiệt độ detector 220°C, thể tích bơm mẫu 1 µl, tốc độ dòng khí đốt cháy H_2 30 m/phút, tốc độ dòng khí phụ trợ N_2 30 ml/phút. Các mẫu sử dụng cho các khảo sát là mẫu chuẩn nồng độ methanol 396 mg/l.

Khảo sát tỷ lệ chia dòng: Hình 2 là sắc ký đồ của mẫu xăng khi phân tích methanol bằng GC-FID với các điều kiện không chia dòng, chia dòng 1:5, 1:10 và 1:20. Kết quả cho thấy, tại chế độ không chia dòng, pic methanol và ethanol không tách rõ, dễ gây nhầm lẫn. Với các tỷ lệ chia dòng 1:5, 1:10 và 1:20, các pic được tách rõ ràng. Kết quả tính toán độ phân giải của pic (bảng 3) cho thấy, khi tỷ lệ chia dòng tăng, độ phân giải cải thiện nhưng diện tích pic giảm. Do đó, tỷ lệ 1:10 được chọn để đảm bảo cả độ phân giải và diện tích pic tối ưu.

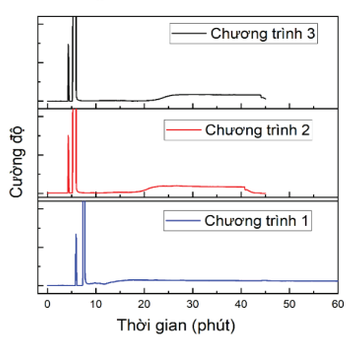


Hình 2. Sắc ký đồ của mẫu xăng không chia dòng (A), chia dòng tỷ lệ 1:5 (B), chia dòng tỷ lệ 1:10 (C), chia dòng tỷ lệ 1:20 (D).

Bảng 3. Độ phân giải pic methanol và ethanol theo các tỷ lệ chia dòng khác nhau.

Tỷ lệ chia dòng	Diện tích pic (µV×phút)	Độ phân giải
Không chia dòng	26237368	2,00
1:5	10086845	2,20
1:10	701965	2,83
1:20	341529	3,35

Khảo sát chương trình nhiệt độ cột tách: Để đánh giá khả năng tách pic, 3 chương trình nhiệt độ cột tách đã được lựa chọn để khảo sát (bảng 1). Kết quả trên sắc ký đồ (hình 3) cho thấy, cả 3 chương trình đều phân tách rõ pic methanol và ethanol. Tuy nhiên, mỗi chương trình có thời gian khác nhau để đường nền trở về vị trí ban đầu, loại bỏ hoàn toàn pic nước khỏi cột. Hình 3 cho thấy, chỉ có chương trình nhiệt độ cột 2 có thể loại bỏ hoàn toàn pic nước khỏi cột tách sau 45 phút, cho kết quả phân tích mẫu methanol và hiệu quả loại bỏ nước khỏi cột tốt nhất. Do đó, chương trình nhiệt độ cột 2 được chọn để phân tích mẫu xăng: giữ nhiệt độ cột tại 40°C trong 10 phút, sau đó tăng nhiệt độ lên 200°C với tốc độ 15°C/phút, giữ nhiệt độ 200°C trong 20 phút.

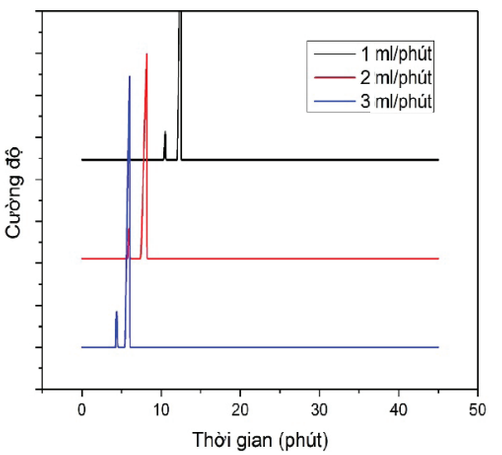


Hình 3. Sắc ký đồ GC-FID của methanol và ethanol trong xăng sau khi được chiết sang pha nước, với các chương trình nhiệt độ khác nhau.

Khảo sát tốc độ khí mang: Hình 4 là sắc ký đồ của methanol và ethanol với tốc độ khí mang lần lượt là 1, 2 và 3 ml/phút. Hình ảnh sắc ký đồ cho thấy, khi tốc độ khí mang tăng, thời gian lưu giảm và diện tích pic tăng. Kết quả tính toán độ phân giải của pic (bảng 4) cho thấy, độ phân giải cao nhất đạt được ở tốc độ 2 ml/phút (3,92). Vì vậy, tốc độ khí mang 2 ml/phút được chọn để phân tích methanol trong xăng.

Bảng 4. Kết quả diện tích pic và độ phân giải của 3 tốc độ khí mang.

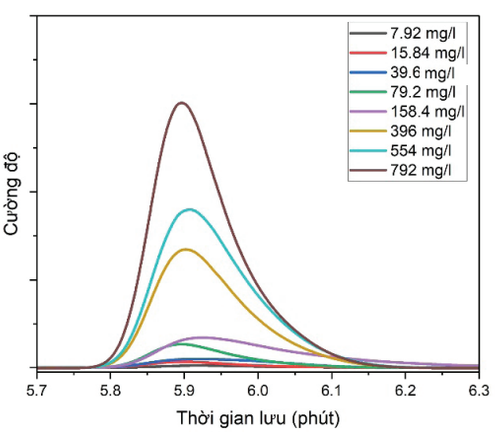
Tốc độ khí mang (ml/phút)	Diện tích pic (µV×phút)	Độ phân giải
1	252803	3,10
2	261681	3,92
3	274621	3,64



Hình 4. Sắc ký đồ GC-FID methanol và ethanol trong xăng sau khi được chiết sang pha nước với các tốc độ khí mang khác nhau.

3.3. Đánh giá phương pháp phân tích

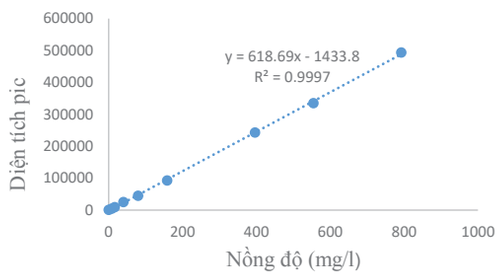
Khoảng tuyến tính và đường chuẩn: Các mẫu xăng có nồng độ methanol trong khoảng 3,96 đến 7920 mg/l được sử dụng để xác định khoảng tuyến tính và đường chuẩn. Methanol trong xăng được chiết nước theo quy trình đã



Hình 5. Sắc ký đồ của đường chuẩn phân tích methanol trong xăng sử dụng kỹ thuật chiết lỏng-lỏng kết hợp GC-FID.

lựa chọn, phân tích theo các điều kiện GC-FID cùng với các điều kiện đã khảo sát tối ưu về tỷ lệ chia dòng (1:10), chương trình nhiệt độ cột (2) và tốc độ khí mang (2 ml/phút). Hình 5 minh họa sắc ký đồ của dãy chuẩn methanol trong xăng, với nồng độ từ 7,92 đến 792 mg/l. Sắc ký đồ cho thấy, pic methanol xuất hiện tại thời gian lưu 5,9 phút và diện tích pic tỷ lệ thuận với nồng độ methanol.

Kết quả khảo sát khoảng tuyến tính và đường chuẩn của methanol trong xăng cho thấy, methanol trong xăng có khoảng tuyến tính rộng từ 3,96 đến 7920 mg/l, với hệ số hồi quy tốt R^2=0,9983, phù hợp cho định lượng methanol trong xăng. Đường chuẩn được xây dựng trong khoảng 7,92-792 mg/l có R^2=0,9997 (hình 6). Vì vậy, đường chuẩn này được sử dụng để xác định MQL, MDL, độ lặp và độ thu hồi của phương pháp.



Hình 6. Đường chuẩn của methanol trong xăng sử dụng kỹ thuật chiết lỏng - lỏng kết hợp GC-FID.

Giới hạn phát hiện (MDL) và giới hạn định lượng (MQL) của phương pháp: MDL và MQL của phương pháp được xác định bằng cách làm lặp 10 lần mẫu xăng có nồng độ methanol thấp (~10 mg/l). Kết quả bảng 5 cho thấy, tỷ lệ giữa giá trị trung bình và giới hạn phát hiện (hệ số R) là 8,58; nằm trong khoảng 4<R<10. Vì vậy, MDL=1,49 mg/l, MQL=4,96 mg/l là đáng tin cậy. Theo TCVN:7332 giới hạn phát hiện methanol trong xăng là 0,2% khối lượng, tương đương 1400 mg/l [14]. Như vậy, phương pháp phân tích methanol trong xăng bằng GC-FID có giới hạn phát hiện và giới hạn định lượng tốt, đáp ứng được yêu cầu phân tích khi hàm lượng methanol trong xăng ở nồng độ thấp.

Bảng 5. Kết quả MDL và MQL của phương pháp phân tích methanol trong xăng.

TT	Nồng độ (mg/l)	TT	Nồng độ (mg/l)
1	13,6	6	12,6
2	12,6	7	12,7
3	12,7	8	12,3
4	13,6	9	12,9
5	12,4	10	12,2

Nồng độ trung bình (mg/l): 12,8; SD: 0,50; MDL (mg/l): 1,49; MQL (mg/l): 4,96; hệ số R: 8,58.

Độ lặp và độ thu hồi của phương pháp: Bảng 6 là kết quả độ lặp và độ thu hồi của phương pháp được thực hiện bằng cách phân tích lặp 7 lần mẫu xăng thêm chuẩn ở nồng độ thấp (7,92 mg/l), trung bình (79,2 mg/l) và nồng độ cao (554 mg/l). Kết quả cho thấy, tại tất cả các khoảng nồng độ, độ lặp của phương pháp đều nằm trong phạm vi chấp nhận của AOAC. Phương pháp cũng có độ thu hồi tốt với hiệu suất thu hồi trung bình đều trên 90%, trong đó các mẫu ở khoảng nồng độ trung bình và cao có hiệu suất thu hồi gần 100%.

Bảng 6. Kết quả độ lặp và độ thu hồi của phương pháp.

Mẫu	Nồng độ trung bình (mg/l)	SD (mg/l)	RSD (%)	AOAC (%)	Hiệu suất thu hồi trung bình (%)	AOAC (%)
Mẫu thêm chuẩn 7,92 mg/l	20,1	1,40	6,99	7,30-11,0	92,4	80-110
Mẫu thêm chuẩn 79,2 mg/l	89,0	4,10	4,60	5,30-7,30	96,3	90-107
Mẫu thêm chuẩn 554 mg/l	559	26,3	4,71	3,70-5,30	98,6	95-105

3.4. Kết quả phân tích methanol trong một số mẫu xăng trên thị trường tại Hà Nội

Các mẫu xăng trên thị trường tại Hà Nội được phân tích theo quy trình đã tối ưu, các mẫu có nồng độ methanol cao được pha loãng để nồng độ nằm trong đường chuẩn. Bên cạnh đó, các phép đo lặp, thêm chuẩn cũng được thực hiện để đảm bảo độ chính xác của kết quả phân tích. Kết quả phân tích methanol trong mẫu xăng được trình bày cụ thể trong bảng 7.

Bảng 7. Kết quả phân tích mẫu xăng.

Ký hiệu mẫu	Nồng độ methanol (mg/l)	Nồng độ methanol (% khối lượng)
1	3009	0,43
2	19641	2,81
3	237,6	0,03
4	17028	2,43
5	950,4	0,14
6	5306	0,76
7	4118	0,59
8	3880	0,55
9	17344	2,48
10	2455	0,35

Kết quả phân tích một số mẫu xăng trên địa bàn Hà Nội theo quy trình phân tích đã lựa chọn cho thấy, tất cả các mẫu xăng đều chứa methanol với nồng độ từ 0,03 đến 2,81% khối lượng. Theo tiêu chuẩn Mỹ, hàm lượng methanol tối đa trong xăng là 3,02% khối lượng. Tại Việt Nam, theo phương pháp phân tích của TCVN:7332 với giới hạn không phát hiện là 0,2% khối lượng [14]. Theo QCVN 1:2015/BKHCN,

chỉ có 2/10 mẫu xăng phân tích có hàm lượng nằm trong giới hạn của quy chuẩn, còn lại 8/10 mẫu có hàm lượng methanol vượt quá tiêu chuẩn quy định. Điều này cho thấy, cần thiết phải kiểm soát hàm lượng methanol trong xăng để giảm rủi ro do việc pha trộn methanol vào xăng mang lại.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, phương pháp GC-FID đã được khảo sát và tối ưu để phân tích hàm lượng methanol trong mẫu xăng. Phương pháp phân tích xây dựng đường chuẩn trong khoảng nồng độ 7,92-792 mg/l, có hệ số hồi quy R^2=0,9997. Giá trị MDL và MQL của methanol trong xăng lần lượt là 1,49 và 4,96 mg/l. Độ lặp và độ thu hồi của phương pháp đạt yêu cầu AOAC ở các nồng độ thấp, trung bình và cao. Phương pháp này có độ tin cậy và chính xác cao, phù hợp để phân tích methanol trong nền mẫu xăng phức tạp. Áp dụng phương pháp để phân tích 10 mẫu xăng thu thập trên thị trường. Kết quả phân tích methanol trong mẫu xăng cho thấy, các mẫu xăng thu thập có nồng độ methanol từ 0,03 đến 2,81% khối lượng, trong đó 8/10 mẫu có hàm lượng methanol trên 0,2% khối lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] C. Wang, Y. Li, C. Xu, et al. (2019), "Methanol as an octane booster for gasoline fuels", *Fuel*, **248**, pp.76-84, DOI: 10.1016/j.fuel.2019.02.128.

[2] B. Waluyo, B.C. Purnomo (2022), "Exhaust gas emissions of homogeneous gasoline-methanol-(ethanol) blends", *Automotive Experiences*, **5(2)**, pp.173-181, DOI: 10.31603/ae.6599.

[3] M. Usman, M.A.I. Malik, T.N. Chaudhary, et al. (2023), "Comparative assessment of ethanol and methanol-ethanol blends with gasoline in SI engine for sustainable development", *Sustainability*, **15(9)**, DOI: 10.3390/su15097601.

[4] O. Bazaluk, V. Havrysh, V. Nitsenko, et al. (2020), "Assessment of green methanol production potential and related economic and environmental benefits: The case of China", *Energies*, **13(12)**, DOI: 10.3390/en13123113.

[5] A.W. Jones (2021), "Clinical and forensic toxicology of methanol", *Forensic Sci. Rev.*, **33(2)**, pp.117-143.

[6] S.L. Tackett (1987), "Determination of methanol in gasoline by gas chromatography: A laboratory experiment", *Journal of Chemical Education*, **64(12)**, pp.339-340, DOI: 10.1021/ed064p1059.

[7] L. Bromberg, W.K.J.C. Cheng (2010), "Methanol as an alternative transportation fuel in the US: Options for sustainable and/or energy-secure transportation", *Sloan Automotive Laboratory, Massachusetts Institute of Technology*, 78pp.

[8] Ministry of Science and Technology (2015), *QCVN 1:2015/BKHCN - National Technical Standard on Gasoline, Diesel Fuel and Biofuels*.

[9] F.W.J.V. Berg, W.A.V. Osenbruggen, A.K. Smilde (1997), "Process analytical chemistry in the distillation industry using near-infrared spectroscopy", *Process Control and Quality*, **1(9)**, pp.51-57.

[10] H.L. Fernandes, I.M. Raimundo, C. Pasquini, et al. (2008), "Simultaneous determination of methanol and ethanol in gasoline using NIR spectroscopy: Effect of gasoline composition", *Talanta*, **75(3)**, pp.804-810, DOI: 10.1016/j.talanta.2007.12.025.

[11] G.P. Dias, R.C.D. Santos, R.C. Carvalho, et al. (2020), "Determination of methanol in gasoline and ethanol fuels by high-performance liquid chromatography", *Journal of The Brazilian Chemical Society*, **31**, pp.1055-1063, DOI: 10.21577/0103-5053.20190272.

[12] ASTM International (2017), *Standard Test Method for Determination of MTBE, ETBE, TAME, DIPE, Tertiary-Amyl Alcohol and C1 to C4 Alcohols in Gasoline by Gas Chromatography*.

[13] G.S. Frysinger, R.B. Gaines (2000), "Determination of oxygenates in gasoline by GC× GC", *Journal of High Resolution Chromatography*, **23(3)**, pp.197-201, DOI: 10.1002/(sici)1521-4168(20000301)23:3<197::aid-jhrc197>3.0.co;2-r.

[14] Ministry of Science and Technology (2013), *Determination of MTBE, ETBE, TAME, DIPE, TERT-AMYL Alcohol, and C1 to C4 Alcohols by Gas Chromatography.*

Ảnh hưởng của phương pháp sấy đến thành phần hóa học và đặc tính hóa lý của tảo xoắn *Spirulina platensis*

Nguyễn Trọng Bách[1, 2*], Trần Bảo Duy[1], Lê Bền[2], Đinh Văn Hiện[3]

[1]Khoa Công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Nha Trang, 2 Nguyễn Đình Chiểu, phường Bắc Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa, Việt Nam
[2]Trung tâm Phát triển Công nghệ Rong biển, Công ty TNHH Trí Tín, 35 Võ Trứ, phường Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa, Việt Nam
[3]Trung tâm Kỹ thuật Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, Sở Khoa học và Công nghệ Khánh Hòa, 37 Hùng Vương, phường Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa, Việt Nam

Ngày nhận bài 11/3/2025; ngày chuyển phản biện 13/3/2025; ngày nhận phản biện 5/4/2025; ngày chấp nhận đăng 10/4/2025

Tóm tắt:

Phương pháp sấy ảnh hưởng đến trạng thái, cấu trúc và thành phần hóa học, đặc biệt là các chất đặc trưng màu sắc có hoạt tính chống oxy hóa của tảo xoắn. Nghiên cứu này có ý nghĩa định hướng sử dụng phương pháp làm khô giúp gia tăng chuỗi giá trị tảo xoắn. Kết quả chỉ ra rằng, thành phần hóa học và một số đặc tính hóa lý khác của tảo *Spirulina platensis* bị ảnh hưởng ít nhất bởi phương pháp sấy thăng hoa ở 30°C, tiếp đến là sấy lạnh bơm nhiệt ở 50°C và nhiều nhất là sấy bằng không khí nóng ở 50°C. Trong phạm vi nghiên cứu, tảo xoắn sấy bằng không khí nóng có trị số peroxit cao và tốc độ lắng đọng trong nước nhanh nhất. Trong số các phương pháp được sử dụng trong nghiên cứu này, sấy thăng hoa tảo xoắn là phương pháp phù hợp nhất để giữ lại các chất chuyển hóa thứ cấp như sắc tố phycocyanin. Tuy nhiên, phương pháp sấy lạnh bơm nhiệt hoàn toàn có thể sử dụng để thay thế cho phương pháp sấy thăng hoa nhằm mục đích giảm chi phí sản xuất, nhưng vẫn giữ được giá trị ứng dụng của tảo *Spirulina platensis* nếu như hoạt tính chống oxy hóa không phải là mối quan tâm chính như màu sắc hay giá trị dinh dưỡng.

Từ khóa: **phycocyanin, sấy lạnh, sấy thăng hoa, *Spirulina platensis*, thành phần hóa học.**

Chỉ số phân loại: **2.8, 2.10**

Effects of drying method on chemical composition and physicochemical properties of *Spirulina platensis*

Trong Bach Nguyen[1, 2*], Bao Duy Tran[1], Ben Le[2], Van Hien Dinh[3]

[1]Faculty of Food Technology, Nha Trang University, 2 Nguyen Dinh Chieu Street, Bac Nha Trang Ward, Khanh Hoa Province, Vietnam
[2]Center for Seaweed Technology, Tri Tin Company Ltd, 35 Vo Tru Street, Nha Trang Ward, Khanh Hoa Province, Vietnam
[3]Quality Assurance And Testing Center, Department of Science and Technology of Khanh Hoa Province, 37 Hung Vuong Street, Nha Trang Ward, Khanh Hoa Province, Vietnam

Received 11 March 2025; revised 5 April 2025; accepted 10 April 2025

Abstract:

The drying method affects the physical state, structure and chemical composition of *Spirulina platensis*, particularly its colour-related compounds exhibiting antioxidant activity. This study provides guidance on using drying methods to enhance the value chain of Spirulina. The results of the study demonstrated that the chemical composition and other physicochemical properties of *Spirulina platensis* were the least affected by freeze-drying at 30°C, followed by heat pump drying at 50°C, whereas hot-air drying at 50°C had the greatest impact. Within the scope of the study, hot-air-dried *Spirulina platensis* exhibited the highest peroxide value and the fastest sedimentation rate in water. Among the used methods in this study, freeze-drying is the most suitable method to retain secondary metabolites such as phycocyanin in *Spirulina platensis*. However, heat pump drying can be effectively used as an alternative to freeze-drying to reduce production costs while maintaining the application value of *Spirulina platensis*, provided that antioxidant activity is not the primary concern compared with colour or nutritional value.

Keywords: **chemical composition, freeze-drying, heat pump drying, phycocyanin, *Spirulina platensis*.**

Classification numbers: **2.8, 2.10**

[*]Tác giả liên hệ: Email: ntbachnt@ntu.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Tảo biển nói chung và tảo xoắn nói riêng có vai trò quan trọng trong nhiều ngành kinh tế, đặc biệt là trong lĩnh vực thực phẩm và y dược [1-4]. Tảo xoắn có tên khoa học là *Spirulina platensis*, dạng sợi xoắn màu xanh lục có giá trị dinh dưỡng và đặc tính dược phẩm được công nhận. Loại vi khuẩn lam này chứa một lượng protein rất cao, có thể đạt tới 75% trọng lượng (theo khối lượng khô), bao gồm tất cả các axit amin thiết yếu [5]. *Spirulina platensis* có nhiều loại vitamin (như A, E, K, C, B) và các khoáng chất như kali, sắt, canxi, phốt pho, mangan, đồng, kẽm và magiê [6, 7]. Các sắc tố của tảo xoắn bao gồm: carotenoids, chlorophyll a, b và phycocyanin, trong đó phycocyanin là một hợp chất chống oxy hóa và chống viêm được sử dụng trong ngành công nghiệp mỹ phẩm và sắc tố [1-3, 7, 8].

Sinh khối của *Spirulina platensis* có thể được tiêu thụ dưới dạng sệt nhão tươi, hoặc dạng sản phẩm khô tùy theo ứng dụng. Sau khi nuôi cấy và thu hoạch, sinh khối tảo xoắn thường được làm khô bằng cách sấy nhằm giảm hàm lượng nước trong dạng sệt nhão. Mục đích chính là giảm thiểu các thay đổi sinh hóa và hoạt động của vi sinh vật, để tăng độ bền và tính ổn định của sản phẩm cuối cùng [9]. Các hợp chất trong sinh khối tảo tươi rất nhạy cảm với nhiệt độ, ánh sáng, hoạt động của enzyme và quá trình oxy hóa khi có ẩm hay không khí, vì vậy chúng có thể bị phân hủy trong quá trình sấy khô [9]. Ngoài mục đích bảo quản, mất nước làm giảm khối lượng và thể tích sản phẩm xuống đáng kể, đồng thời cải thiện hiệu quả việc vận chuyển và lưu trữ.

Nhiều công nghệ khác nhau được sử dụng để sấy khô tảo xoắn [10] như phương pháp sấy truyền thống là dùng không khí nóng [11-16], sấy bằng bơm nhiệt [17, 18], sấy thăng hoa [15], hay một số công nghệ mới như sấy bằng vi sóng kết hợp chân không [19] nhằm giúp nâng cao chất lượng sản phẩm tảo khô. Các kỹ thuật sấy khác nhau ảnh hưởng đến chi phí, năng lượng, thời gian, hình dạng của sản phẩm cuối cùng và khả năng duy trì hàm lượng dinh dưỡng so với tảo tươi. Trong quá trình sấy khô, giá trị dinh dưỡng giảm xuống do protein, lipid, sắc tố và các chất dinh dưỡng khác bị biến đổi do thời gian, nhiệt độ và sự tiếp xúc với không khí [10]. Hiện nhiều nghiên cứu về tảo khô chủ yếu tập trung khảo sát ảnh hưởng của điều kiện sấy như: các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình làm khô tảo xoắn bằng không khí nóng (sấy phun, sấy trống quay) [12, 13, 15, 16, 19] hay sấy bơm nhiệt [17, 18], sấy chân không thăng hoa [19], cũng như một số kỹ thuật sấy tiên tiến như: sấy bằng vi sóng [19], sấy hồng ngoại [20]. Trong số đó, có một số nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của phương pháp sấy đến hàm lượng phycocyanin. E.G. Oliveira và cs (2009) [12] xác định được hàm lượng phycocyanin của tảo sấy khô bằng không khí nóng đạt tới 12,6%. R.C. Bruna và cs (2015a) [17] chỉ ra rằng, tảo sấy khô bằng phương pháp sấy bơm nhiệt tốt hơn sấy khay bằng không khí nóng ở 60^{o}C; phương pháp sấy bơm nhiệt ở 50^{o}C có tổn thất phycocyanin thấp nhất (20,5%). M. Demarco và cs (2021) [15] chỉ ra rằng, phương pháp sấy bằng không khí nóng ở nhiệt độ 60^{o}C và sấy đông khô đều làm giảm hàm lượng phycocyanin của tảo *Arthrospira platensis* xuống còn khoảng 80-90% sau 100 phút sấy, nhưng phương pháp sấy đông khô giữ được màu xanh của tảo tốt hơn phương pháp sấy nhiệt độ cao. Thực tế, không có nhiều nghiên cứu xem xét ảnh hưởng của các phương pháp sấy đến chất lượng của cùng một đối tượng tảo xoắn cụ thể - một vấn đề đáng được quan tâm liên quan đến chọn công nghệ làm khô để giảm chi phí sản xuất nhưng vẫn phải đảm bảo được chất lượng sản phẩm cuối cùng.

Do đó, ở nghiên cứu này chúng tôi tập trung khảo sát, so sánh một số thành phần cơ bản, những thay đổi hóa lý của tảo xoắn được làm khô bằng phương pháp dùng không khí nóng, sấy lạnh bơm nhiệt và sấy thăng hoa. Kết quả thu được góp phần định hướng kỹ thuật xử lý làm khô trong chuỗi cung ứng tảo xoắn, và khả năng sử dụng tảo khô phù hợp đối với một số lĩnh vực cụ thể như trong sản xuất sản phẩm thực phẩm, hay y dược.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Tảo xoắn (*Spirulina platensis*) được thu hoạch tại trại nuôi tảo xoắn ở xã Ninh Thọ, thị xã Ninh Hòa, tỉnh Khánh Hòa (trước sáp nhập). Tảo sau khi thu hoạch được rửa qua nước sạch 3 lần và được ép ráo đến độ ẩm 92,07±0,45%. Tảo tươi đựng trong túi PE được bảo quản lạnh bằng nước đá lạnh và đưa ngay về phòng thí nghiệm để tiến hành nghiên cứu.

2.2. Chuẩn bị tảo xoắn khô

Sấy bằng không khí nóng: Lớp tảo tươi được dàn đều 1 cm trên khay sấy có lỗ trên lớp vải lọc 0,5 µm và được sấy khô bằng không khí nóng ở nhiệt độ 50^{o}C trong thời gian 12 giờ bằng tủ sấy Sunsay (Model SS-5710CD, Việt Nam).

Sấy lạnh bơm nhiệt: Lớp tảo tươi được dàn đều 1 cm trên khay sấy có lỗ trên lớp vải lọc 0,5 µm và được sấy lạnh ở nhiệt độ 50^{o}C trong thời gian 10 giờ bằng tủ sấy lạnh Sunsay (Model SS-5720HP, Việt Nam).

Sấy thăng hoa: Lớp tảo tươi được dàn đều dày 1 cm trên khay sấy inox và được sấy thăng hoa ở nhiệt độ -30°C trong thời gian 24 giờ bằng tủ sấy thăng hoa Telstar (LyoBeta 35, Tây Ban Nha).

Tảo xoắn khô được đựng trong túi PA có hút chân không, bảo quản trong hộp tối ở nhiệt độ phòng để phục vụ nghiên cứu.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp xác định thành phần cơ bản: Hàm lượng ẩm của tảo được xác định theo AOAC 2012, method 950.46. Xác định hàm lượng protein theo AOAC 2012, method 928.08. Hàm lượng protein: N×6,25 (%). Hàm lượng lipid tổng được thực hiện theo AOAC 2012, method 948.04. Hàm lượng tro được xác định theo AOAC 2012, method 920.153. Xác định trị số peroxit được thực hiện theo TCVN 9532: 2012.

Hàm lượng phycocyanin và độ tinh khiết: Xác định hàm lượng phycocyanin (PC) và độ tinh khiết (PP) của phycocyanin tách chiết theo phương pháp của S.C. Silva và cs (2019) [14] với một số điều chỉnh. Hòa tan 500 mg (theo chất khô) mẫu tảo xoắn sấy khô trong 50 ml nước ấm (40°C) đựng trong lọ thủy tinh nắp kín, dùng cá từ khuấy trong 15 phút cho hỗn hợp tan hoàn toàn. Để mẫu ở ngăn mát tủ lạnh (4-5°C) trong 24 giờ, sau đó lắc đều dung dịch trước khi làm đông ở nhiệt độ -20°C trong 24 giờ tiếp theo. Phycocyanin được chiết xuất bằng phương pháp đông lạnh và rã đông theo ba chu kỳ (cấp đông - rã đông) được thực hiện như sau: Mẫu đã làm đông được rã đông ở nhiệt độ phòng trong 15 phút, tiếp theo đưa vào cấp đông 1 giờ ở chu kỳ thứ hai và rã đông trong 30 phút, chu kỳ cuối cùng được cấp đông 1 giờ và rã đông 45 phút. Sau chu kỳ rã đông thứ ba, mẫu được ly tâm ở 6000 vòng/phút trong 15 phút, sau đó lấy phần dung dịch phía trên mẫu đã ly tâm đi xác định độ hấp thụ (Abs) ở các bước sóng 280, 615 và 652 nm.

Hàm lượng phycocyanin (PC) được tính toán bằng công thức (1).

$$PC = \frac{(Abs_{615} - 0{,}474 \times Abs_{652})}{5{,}43} \text{ (mg/ml)} \quad (1)$$

Độ tinh khiết của phycocyanin (PP) tách chiết được tính bằng công thức (2).

$$PP = \frac{Abs_{615}}{Abs_{280}} \quad (2)$$

Phương pháp đo màu tảo xoắn khô: Sự thay đổi màu của tảo xoắn khô được xác định thông qua đặc trưng về độ sáng (L*) và giá trị a* và b* của hệ màu CIE bằng thiết bị đo màu Chroma Meter CR-400 (Konica Minolta, Nhật Bản). Mẫu tảo khô được đặt vào đĩa sứ trắng phẳng (L=85,66; a*=-4,16; b*=-2,08) với chiều dày lớp tảo là 1 cm để tránh ảnh hưởng của màu đĩa đựng cũng như ánh sáng môi trường xung quanh làm ảnh hưởng đến kết quả đo. Việc chụp màu mẫu tảo khô được thực hiện ở nhiệt độ phòng.

Các tham số (L*/a*/b*) được chuyển đổi thành các giá trị số của độ lệch màu (ΔE) được tính bằng công thức (3).

$$\Delta E = \sqrt{(L - L_0)^2 + (a - a_0)^2 + (b - b_0)^2} \quad (3)$$

trong đó: $\Delta L = L - L_o$, $\Delta a = a - a_o$, $\Delta b = b - b_o$ là sự chênh lệch giữa các giá trị tọa độ L,a,b của mẫu tươi với mẫu khô [18].

Phương pháp xác định độ lắng tách lớp: Cân 50 mg (theo chất khô) mẫu tảo xoắn khô hòa trong 100 ml nước ấm (40°C) đựng trong lọ thủy tinh nắp kín, dùng cá từ khuấy trong 15 phút. Để theo dõi mức độ tách lớp do lắng được tiến hành bằng cách rót dịch tảo vừa hòa tan đồng nhất vào cuvet thạch anh 1 cm, và đo độ hấp thụ tại bước sóng 440 nm bằng thiết bị đo UV-Vis (Labomed, model: UVS-2800, Mỹ). Sự tách lớp của tảo khô hòa tan được đánh giá bằng cách so sánh độ hấp thụ bước sóng (Abs) ở các mốc thời gian (5, 10, 15, 20, 25, 30) phút.

Quan sát hình thái học của tảo: Hình thái học của tảo *Spirulina* được quan sát bằng kính hiển vi DMK1000T gắn camera model RS-500C, với độ phóng đại của kính hiển vi tối đa 1000 lần, độ điều chỉnh tiêu cự ±5 diop, sử dụng vật kính với độ tụ quang NA 1,25. Nhỏ một giọt mẫu tảo phân tán trong nước lên trên lam kính và tiến hành quan sát.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Tất cả các thí nghiệm được thực hiện 3 lần, kết quả thu được là giá trị trung bình của các lần đo. Số liệu được xử lý bằng phần mềm IBM SPSS Statistics 22 để phân tích ANOVA và biểu đồ kết quả được vẽ bằng phần mềm SigmaPlot 14.5.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Thành phần hóa học của tảo khô

Kết quả phân tích thành phần hóa học của tảo khô bằng các phương pháp làm khô được trình bày tại bảng 1. Sự khác biệt về giá trị protein, lipid do ảnh hưởng của điều kiện làm khô giữa các phương pháp sấy, hàm lượng của chúng giảm do sự biến đổi bởi điều kiện sấy ở nhiệt độ cao và tác dụng của sự tiếp xúc với tác nhân sấy là không khí [9]. Hàm

lượng protein, lipid bị biến đổi một phần bởi quá trình sấy, đặc biệt là phương pháp sấy bằng không khí nóng. Hàm lượng protein cho kết quả tương đương trong tảo xoắn xác định bởi B. Shahid và cs (2016) [5] nhưng cao hơn trong tảo xoắn được nuôi ở Maroc được xác định bởi A. Rahim và cs (2021) [6] (53,31±0,67%). Trong khi đó, hàm lượng lipid trong tảo xoắn được xác định lại thấp hơn (9,25±0,09%).

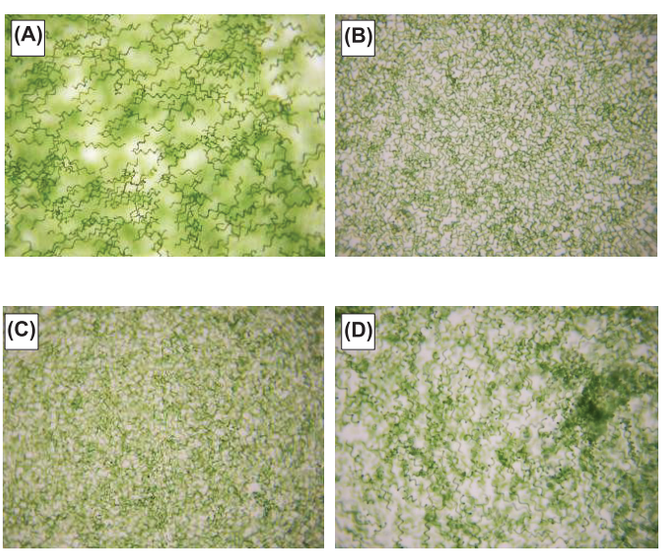
Bảng 1. Thành phần hóa học của tảo.

TT	Thành phần	Tảo tươi	Tảo khô		
			Sấy thăng hoa	*Sấy lạnh*	*Sấy không khí nóng*
1	Ẩm (%)	92,07±0,45^{a}	4,93±0,21^{c}	11,10±0,92^{b}	11,34±1,07^{b}
2	Protein* (Nx6,25) (%)	78,9±0,87^{a}	77,7±0,73^{b}	76,9±0,22^{b}	73,3±1,29^{c}
3	Lipid tổng* (%)	4,62±0,08^{c}	4,46±0,09^{b}	4,41±0,33^{b}	3,26±0,44^{a}
4	Tro* (%)	5,22±1,69^{a}	5,68±0,18^{b}	5,17±0,26^{a}	6,30±0,28^{b}

*: Được tính theo khối lượng chất khô. Các giá trị trung bình mang chữ cái khác nhau ở cùng một dòng chỉ sự khác biệt có ý nghĩa thống kê (p<0,05).

3.2. Hình thái học của tảo khô

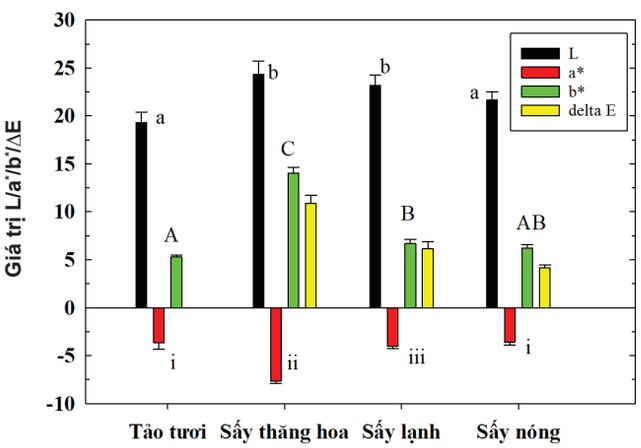
Quan sát hình thái học của tảo phân tán trong nước bằng kính quang học (hình 1) cho thấy, hình thái cấu tạo xoắn của tảo vẫn được giữ nguyên bởi các phương pháp sấy khác nhau. Tuy nhiên, đối với mẫu tảo sấy nóng có hiện tượng kết tụ, vón cục, không có sự phân tán đồng nhất trong nước. Phương pháp sấy thăng hoa cho kết quả giữ lại cấu trúc xoắn tốt nhất nếu so sánh với cấu trúc của tảo tươi. Như vậy có thể thấy, cơ chế tách nước ra khỏi tảo khi làm khô ảnh hưởng nhiều đến hình thái học của tảo sau khi được làm khô. Sự thăng hoa nước đá để làm khô tảo ở phương pháp sấy đông khô tốt hơn đối với sự bay hơi nước dưới tác động của không khí có độ khô cao (sấy lạnh bơm nhiệt), hay nhiệt độ sấy cao (sấy không khí nóng) [15, 21]. Điều này có thể ảnh hưởng đến một số tính chất hóa lý được xem xét ở các phần sau.



Hình 1. Hình thái học của tảo tươi (A), tảo khô sấy thăng hoa (B), sấy lạnh bơm nhiệt (C) và sấy bằng không khí nóng (D).

3.3. Đặc tính hóa lý của tảo khô

Màu sắc: Giá trị đặc trưng màu của tảo khô được biểu diễn ở biểu đồ hình 2. Kết quả đo màu cho thấy, giá trị độ sáng L của tảo sấy thăng hoa là cao nhất (24,35±1,38) còn tảo sấy bằng không khí nóng có giá trị L thấp nhất (21,65±0,88), sự khác biệt này cũng có thể quan sát thấy rõ bằng mắt thường. Tương tự với giá trị a* thể hiện màu xanh cao nhất, đạt -7,64±0,30, tảo khô có màu xanh tối hơn chính là tảo sấy bằng không khí nóng, a* đạt -3,59±0,35. Kết quả thu được tương đồng với kết quả nghiên cứu của M. Demarco và cs (2021) [15] khi so sánh giữa tảo xoắn *Arthrospira platensis* được sấy thăng hoa và sấy bằng không khí nóng ở nhiệt độ 40 hay 60^{o}C; hay nghiên cứu của R.C. Bruna và cs (2015a) [17] trên đối tượng tảo xoắn *Spirulina* sp. được sấy bằng không khí nóng (50, 60^{o}C) và sấy lạnh bơm nhiệt (50^{o}C). Độ lệch màu ΔE của tảo sấy thăng hoa cao nhất (10,88±0,84), tiếp theo là của tảo sấy lạnh (6,12±0,73) và thấp nhất là của tảo sấy bằng không khí nóng (4,1±0,73).



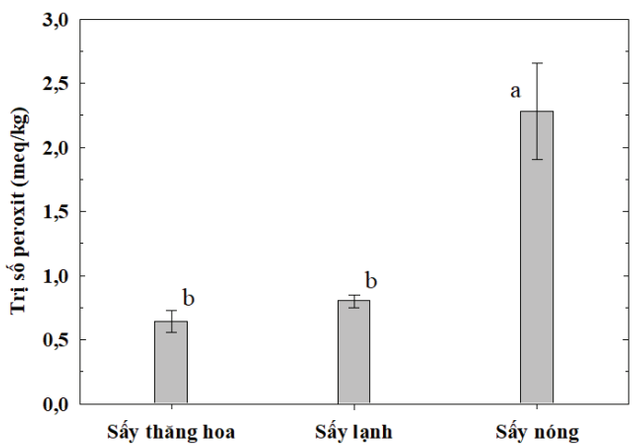
Hình 2. Giá trị L/a*/b*/ΔE của tảo khô từ các phương pháp sấy. Các giá trị trung bình mang chữ cái khác nhau chỉ sự khác biệt có ý nghĩa thống kê (p<0,05).

Với kết quả phân tích sự sai lệch có ý nghĩa thì giá trị đại diện cho độ sáng của mẫu sấy lạnh bơm nhiệt và sấy thăng hoa là không có sự khác biệt, nhưng khác với mẫu sấy bằng không khí nóng và mẫu tảo tươi. Giá trị a* của mẫu tảo ở ba phương pháp sấy là khác nhau, giá trị b* của mẫu sấy lạnh bơm nhiệt và sấy bằng không khí nóng không có sự khác

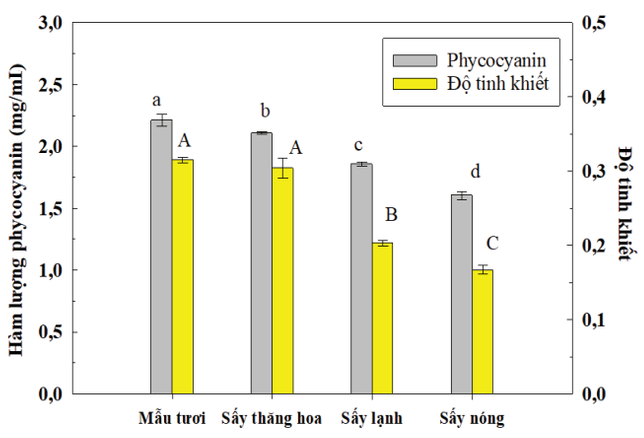
biệt nhưng khác biệt rõ rệt với mẫu sấy thăng hoa. Như vậy, mẫu sấy thăng hoa và mẫu sấy lạnh bơm nhiệt có màu sắc xanh, sáng và đẹp hơn mẫu sấy bằng không khí nóng. Dưới tác động của nhiệt độ cao làm thay đổi màu sắc của tảo khô, có thể là do sự phân hủy của các hợp chất diệp lục và carotenoid [15], hay phycocyanin [15, 17].

Trị số peroxit: Trong quá trình chế biến và bảo quản tảo, lipid có thể trải qua các biến đổi bởi phản ứng thủy phân hoặc oxy hóa dưới tác dụng của enzyme hay tiếp xúc với oxy trong không khí. Điều này có thể dẫn đến giảm giá trị dinh dưỡng của chúng, gây mùi vị lạ hoặc thậm chí góp phần hình thành các chất có hại. Hình 3 trình bày kết quả phân tích trị số peroxit của tảo được làm khô bởi các phương pháp sấy khác nhau. Kết quả cho thấy sự chênh lệch khá lớn về trị số peroxit tạo thành trong tảo khô giữa các phương pháp sấy. Trị số peroxit trong tảo khô sấy bằng không khí nóng (2,28±0,38 meq/kg) cao gấp 2,9 hay 3,6 lần, lần lượt so với trong tảo sấy lạnh (0,8±0,05 meq/kg) hay sấy thăng hoa (0,64±0,09 meq/kg). Sự ảnh hưởng của phương pháp sấy này tương tự nghiên cứu của M. Mroz và cs (2024) [20] trên đối tượng tảo *Arthrospira platensis*, khi so sánh giữa sấy chân không thăng hoa và sấy bằng không khí nóng ở 75°C. Mặc dù sấy lạnh bơm nhiệt hay sấy thăng hoa có trị số peroxit thấp hơn, nhưng thực tế vẫn xảy ra quá trình biến đổi lipid trong hai phương pháp sấy này. Sở dĩ sản phẩm tảo khô sấy lạnh bơm nhiệt, đặc biệt là tảo khô sấy thăng hoa vẫn xảy ra quá trình oxy hóa, mặc dù điều này được diễn ra ở điều kiện chân không, đó là do sự biến đổi lipid bởi enzyme nội tại trong tảo tươi [22].

Hàm lượng phycocyanin và độ tinh khiết: Hàm lượng phycocyanin và độ tinh khiết phycocyanin tách chiết từ tảo xoắn làm khô bằng các phương pháp sấy được trình bày ở hình 4. Kết quả chỉ ra rằng, hàm lượng phycocyanin trong mẫu tảo tươi bị giảm đi khi sấy, giá trị giảm đáng kể ngay cả đối với phương pháp sấy thăng hoa. Hàm lượng phycocyanin có trong tảo sấy thăng hoa (2,11±0,01 mg/ml) với độ tinh khiết 0,30 cao hơn tảo được làm khô bằng không khí nóng (1,61±0,03 mg/ml) với độ tinh khiết 0,17 và sấy lạnh (1,86±0,02 mg/ml) với độ tinh khiết là 0,20. Nghiên cứu của S.C. Silva và cs (2019) [14] dùng phương pháp sấy phun tảo *Spirulina platensis* cho hàm lượng phycocyanin 1,44±0,01 mg/ml, kết quả này có sự tương đồng với kết quả của tảo sấy bằng không khí nóng ở nghiên cứu hiện tại. Điều kiện sấy, phương pháp sấy ảnh hưởng lớn đến sự biến đổi các thành phần có hoạt tính chống oxy hóa của tảo xoắn, một trong số đó là phycocyanin. R.C. Bruna và cs (2015b) [18] đã chỉ ra rằng, hàm lượng phycocyanin tổn thất 15-83% tùy theo nhiệt độ hay độ dày lớp tảo *Spirulina* sp. khi sấy bằng bơm nhiệt, trong đó ở điều kiện nhiệt độ 50°C và chiều dày lớp tảo 5 mm có tổn thất hàm lượng phycocyanin thấp hơn ở 60°C. Ở một nghiên cứu khác, ảnh hưởng của điều kiện sấy được R.C. Bruna và cs (2015a) [17] chỉ ra rằng, hàm lượng phycocyanin của tảo *Spirulina* sp. sấy bằng bơm nhiệt cao hơn sấy khay bằng không khí nóng ở 50°C. Rõ ràng trong các phương pháp sấy thì phương pháp sấy thăng hoa cho chất lượng tảo khô giữ được hàm lượng phycocyanin cao nhất, điều này có ý nghĩa lớn cho những ứng dụng cần thể hiện hoạt tính chống oxy hóa của tảo xoắn.

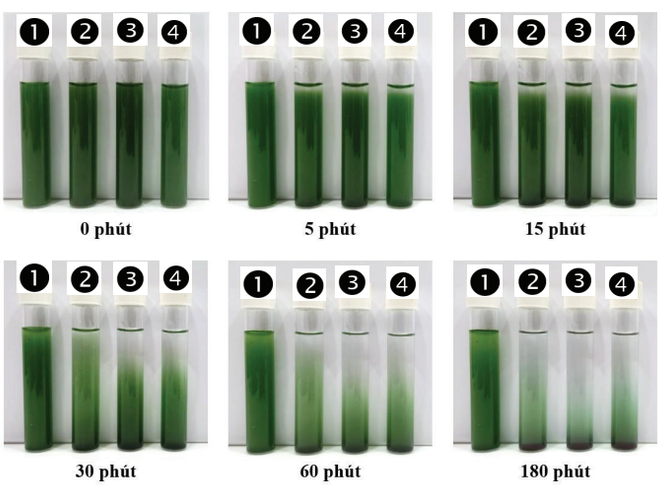


Hình 3. Trị số peroxit của tảo khô từ các phương pháp sấy. Các giá trị trung bình mang chữ cái khác nhau chỉ sự khác biệt có ý nghĩa thống kê (p<0,05).



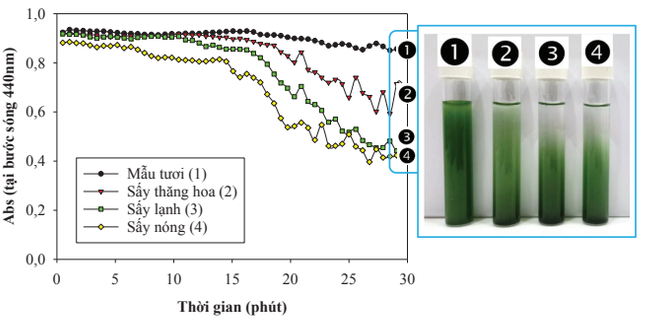
Hình 4. Hàm lượng phycocyanin và độ tinh khiết của tảo tươi, tảo khô từ các phương pháp sấy. Các giá trị trung bình mang chữ cái khác nhau chỉ sự khác biệt có ý nghĩa thống kê (p<0,05).

Độ lắng đọng: Tảo khô được hòa phân tán trong nước để ứng dụng vào sản xuất các sản phẩm thực phẩm dạng lỏng hay uống trực tiếp. Do đó, sự lắng đọng của tảo trong nước nhanh hay chậm rất quan trọng trong thiết kế công nghệ hay hướng dẫn sử dụng, vì chúng ảnh hưởng trực tiếp đến giá trị cảm quan. Để đánh giá ảnh hưởng này thì "Độ lắng đọng" của tảo được coi là một chỉ tiêu đánh giá cần thiết. Qua quan sát sự lắng đọng của các mẫu tảo hòa tan trong nước ở nhiệt độ phòng (hình 5), cho thấy rằng thời gian dưới 5 phút, không có sự thay đổi đáng kể về độ lắng của tảo được sấy bằng các phương pháp khác nhau. Tuy nhiên, sau 5 phút, các mẫu tảo sấy đã bắt đầu lắng nhẹ, trong khi tảo tươi vẫn giữ nguyên trạng thái phân tán ban đầu. Sự ổn định trạng thái phân tán đều vẫn kéo dài sau 30 phút đối với tảo tươi, nhưng xuất hiện sự lắng đọng đáng kể đối với tảo được sấy khô, đặc biệt là tảo sấy lạnh bơm nhiệt và tảo sấy bằng không khí nóng. Sở dĩ quá trình lắng của tảo sấy thăng hoa chậm hơn tảo sấy lạnh bơm nhiệt và tảo sấy bằng không khí nóng là do phương pháp sấy đông khô có khả năng tái tạo tốt cấu trúc tự nhiên của tảo, do đó bột tảo khô có tính đồng nhất nên có độ hòa tan cao, làm chậm quá trình lắng [21]. Sau 60 phút, các mẫu tảo sấy lắng đáng kể và lắng gần như triệt để sau 180 phút, màu xanh quan sát thấy có thể chủ yếu do màu của phycocyanin hòa tan trong nước. Trong khi đó, mẫu tảo tươi vẫn cho thấy sự phân tán tốt trong nước, điều đó cho thấy rằng tảo sấy chịu ảnh hưởng đáng kể bởi các yếu tố công nghệ làm khô tảo.



Hình 5. Mẫu tảo tươi (1), tảo sấy thăng hoa (2), sấy lạnh bơm nhiệt (3) và sấy bằng không khí nóng (4) được theo dõi lắng ở điều kiện nhiệt độ phòng.

Để đánh giá chính xác hơn sự lắng đọng của tảo phân tán trong nước, kết quả xác định độ hấp thụ sóng UV (Abs) ở bước sóng 440 nm đối với các mẫu tảo theo thời gian được thể hiện ở hình 6.



Hình 6. Độ hấp thụ sóng UV tại bước sóng 440 nm của tảo xoắn theo thời gian.

Kết quả đo Abs của các mẫu tảo sấy so với mẫu tươi đã cho thấy sự khác biệt rõ rệt. Độ hấp thụ giảm sau 15 phút đối với mẫu tảo sấy lạnh bơm nhiệt và sấy thăng hoa, trong khi mẫu sấy bằng không khí nóng có độ hấp thụ giảm ngay sau 5 phút. Điều này cho thấy rằng, phương pháp sấy bằng không khí nóng tạo ra tảo khô lắng nhanh hơn, nguyên nhân có thể do sự kết tụ của tảo nên kích thước và khối lượng tảo lớn hơn, khả năng hòa tan phân tán trong nước kém (hình 1). Trong khi đó, tảo khô dùng phương pháp sấy lạnh bơm nhiệt và sấy thăng hoa cũng cho thấy có sự lắng đọng, nhưng mức độ lắng chậm hơn so với tảo làm khô bằng không khí nóng. Kết quả này chỉ ra rằng, tảo sấy bằng không khí nóng có tốc độ lắng nhanh nhất, tiếp theo là tảo sấy lạnh và tảo sấy thăng hoa.

4. Kết luận

Từ kết quả nghiên cứu, rõ ràng việc lựa chọn phương pháp sấy có thể ảnh hưởng đáng kể đến thành phần định tính và định lượng của các chất chuyển hóa trong sản phẩm tảo *Spirulina platensis* sấy khô cuối cùng. Các phân tích chỉ ra rằng, thành phần hóa học và một số đặc tính hóa lý của tảo *Spirulina platensis* bị ảnh hưởng ít nhất bởi phương pháp sấy thăng hoa, tiếp đến là sấy lạnh và nhiều nhất là sấy bằng không khí nóng. Tảo xoắn khô sấy bằng không khí nóng có tốc độ lắng đọng trong nước cao nhất và có trị số peroxit cao lần lượt gấp 2,9 hoặc 3,6 lần trị số peroxit của tảo xoắn khô sấy lạnh bơm nhiệt hoặc sấy đông khô. Trong nghiên cứu này, sấy thăng hoa tảo xoắn là phương pháp phù hợp nhất để giữ lại các chất chuyển hóa thứ cấp như sắc tố phycocyanin. Tuy nhiên, phương pháp sấy lạnh bơm nhiệt hoàn toàn có thể sử dụng để tạo sản phẩm tảo khô thay thế cho phương pháp sấy thăng hoa để giảm chi phí sản xuất, nhưng vẫn giữ được giá trị ứng dụng của tảo xoắn nếu như hoạt tính chống oxy hóa của tảo xoắn khô không phải là mối quan tâm chính.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] S.R. Chia, K.W. Chew, P.L. Show, et al. (2019), "*Spirulina platensis* based biorefinery for the production of value-added products for food and pharmaceutical applications", *Bioresour. Technol.*, **289**, DOI: 10.1016/j.biortech.2019.121727.

[2] T. Lafarga, F.G. Acién-Fernández, M. Castellari, et al. (2019), "Effect of microalgae incorporation on the physicochemical, nutritional, and sensorial properties of an innovative broccoli soup", *LWT - Food Sci. Technol.*, **111**, pp.167-174, DOI: 10.1016/j.lwt.2019.05.037.

[3] A. Adjali, I. Clarot, Z. Chen, et al. (2022), "Physicochemical degradation of phycocyanin and means to improve its stability: A short review", *Journal of Pharmaceutical Analysis*, **12(3)**, pp.406-414, DOI: 10.1016/j.jpha.2021.12.005.

[4] B. Yuan, Z. Li, H. Shan, et al. (2022), "A review of recent strategies to improve the physical stability of phycocyanin", *Current Research in Food Science*, **5**, pp.2329-2337, DOI: 10.1016/j.crfs.2022.11.019.

[5] B. Shahid, K.S. Mian, S.B. Masood, et al. (2016), "Functional properties and amino acid profile of *Spirulina platensis* protein isolates", *Pakistan Journal of Scientific and Industrial Research Series B: Biological Sciences*, **59(1)**, pp.12-19, DOI: 10.52763/PJSIR.BIOL.SCI.59.1.2016.12.19.

[6] A. Rahim, C. Çakir, M. Ozturk, et al. (2021), "Chemical characterization and nutritional value of Spirulina platensis cultivated in natural conditions of Chichaoua region (Morocco)", *South African Journal of Botany*, **141**, pp.235-242, DOI: 10.1016/j.sajb.2021.05.006.

[7] N. Albert, R. Wague, M. Mbaïlao, et al. (2012), "Changes in the physico-chemical properties of *Spirulina platensis* from three production sites in Chad", *Journal of Animal & Plant Sciences*, **13(3)**, pp.1811-1822.

[8] T. Uzlaşır, H.K. Şaşmaz, H. Kelebek (2024), "Comparison of extraction techniques for determining bioactive compounds and antioxidant activity of *Spirulina platensis*", *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, **12(4)**, pp.554-560, DOI: 10.24925/turjaf.v12i4.554-560.6677.

[9] S.J.P. Siqueira, R.R.V. Carlos, B.M.A. Souza, et al. (2021), "Indirect solar drying of *Spirulina platensis* and the effect of operating conditions on product quality", *Algal Research*, **60**, DOI: 10.1016/j.algal.2021.102521.

[10] N.F. Farias, M. Demarco, G. Tribuzi (2019), *Chapter Drying and Quality of Microalgal Powders for Human Alimentation Microalgae - From Physiology to Application*, Intech Open, pp.1-20.

[11] H. Desmorieux, N. Decaen (2005), "Convective drying of spirulina in thin layer", *Journal of Food Engineering*, **66(4)**, pp.497-503, DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.04.021.

[12] E.G. Oliveira, G.S. Rosa, M.A. Moraes, et al. (2009), "Characterization of thin layer drying of *Spirulina platensis* utilizing perpendicular air flow", *Bioresour. Technol.,* **100(3)**, pp.1297-1303, DOI: 10.1016/j.biortech.2008.05.052.

[13] N.C. Silva, T.C. Silva, A.O. Santos, et al. (2018), "Drying of microalga *Spirulina platensis* in a rotary dryer with inert bed", *Proceedings of 21th International Drying Symposium*, Valencia, Spain.

[14] S.C. Silva, I.P. Fernandes, L. Barros, et al. (2019), "Spray-dried *Spirulina platensis* as an effective ingredient to improve yogurt formulations: Testing different encapsulating solutions", *J. of Funct. Foods.*, **60**, DOI: 10.1016/j.jff.2019.103427.

[15] M. Demarco, J.O. Moraes, M.C. Ferrari, et al. (2021), "Production of Spirulina (*Arthrospira platensis*) powder by innovative and traditional drying techniques", *Journal of Food Process Engineering*, **45(1)**, DOI: 10.1111/jfpe.13919.

[16] R.T. Hoskin, M.H. Grace, A. Guiotto, et al. (2023), "Development of spray dried Spirulina protein-berry pomace polyphenol particles to attenuate pollution-induced skin damage: A convergent food-beauty approach", *Antioxidants (Basel)*, **12(7)**, DOI: 10.3390/antiox12071431.

[17] R.C. Bruna, F.R. Silva, C.K.R. Marla, et al. (2015a), "Physicochemical characteristics of the *Spirulina* sp. dried in heat pump and conventional tray dryers", *International Journal of Food Science & Technology*, **50(12)**, pp.2614-2620, DOI: 10.1111/ijfs.12930.

[18] R.C. Bruna, C.K.R. Marla, F.R. Silva, et al. (2015b), "Optimization of *Spirulina sp.* drying in heat pump: Effects on the physicochemical properties and color parameters", *Journal of Food Processing and Preservation*, **40(5)**, pp.934-942, DOI: 10.1111/jfpp.12672.

[19] K. Ittikorn, P. Kuarthongsri, Y. Chananya, et al. (2017), "Sensory descriptive analysis and physicochemical properties of *Spirulina platensis* from different drying processes hot air drying and microwave vacuum drying", *Current Applied Science and Technology*, **17(2)**, pp.191-199.

[20] M. Mroz, K. Parchem, J. Jozwik, et al. (2024), "The impact of different drying methods on the metabolomic and lipidomic profiles of *Arthrospira platensis*", *Molecules*, **29(8)**, DOI: 10.3390/molecules29081747.

[21] D. Hélène, H. Fabiola (2004), "Biochemical and physical criteria of spirulina after different drying processes, drying 2004", *Proceedings of The 14th International Drying Symposium (IDS 2004)*, São Paulo, Brazil, pp.900-907.

[22] B.S. Demir, S.S. Tükel (2010), "Purification and characterization of lipase from *Spirulina platensis*", *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic*, **64(3-4)**, pp.123-128, DOI: 10.1016/j.molcatb.2009.09.011.

 DOI: 10.31276/VJST.2025.3047

Tổng hợp vật liệu nano sắt bằng dịch chiết lá bàng (*Terminalia catappa* L.) và ứng dụng kích thích nảy mầm hạt ngô

Nguyễn Đắc Bình Minh[1], Đào Văn Minh[2], Nguyễn Thị Hồng Phượng[3], Lã Đức Dương[4], Nguyễn Hoài Phương[3], Nguyễn Thị Việt Quỳnh[2], Phan Thị Vân Anh[2*]

[1]Viện Đổi mới sáng tạo Quốc gia, C6 Thanh Xuân Bắc, phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam
[2]Viện Phát triển Khoa học và Công nghệ Vùng, C6 Thanh Xuân Bắc, phường Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam
[3]Trường Hóa và Khoa học Sự sống, Đại học Bách khoa Hà Nội, 1 Đại Cồ Việt, phường Bạch Mai, Hà Nội, Việt Nam
[4]Viện Hóa học - Vật liệu, Viện Khoa học Công nghệ Quân sự, 17 Hoàng Sâm, phường Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

Ngày nhận bài 4/11/2024; ngày chuyển phản biện 6/11/2024; ngày nhận phản biện 19/11/2024; ngày chấp nhận đăng 26/11/2024

Tóm tắt:

Tổng hợp vật liệu nano bằng phương pháp hóa học xanh đang trở thành xu hướng nổi bật nhờ tính thân thiện môi trường và khả năng ứng dụng cao trong nông nghiệp bền vững. Trong nghiên cứu này, dịch chiết lá bàng (*Terminalia catappa* L.) được sử dụng làm tác nhân khử sinh học để khử ion sắt (III) thành sắt kim loại (Fe^0), qua đó tổng hợp vật liệu nano sắt. Dịch chiết được thu nhận bằng phương pháp chiết siêu âm với dung môi ethanol 70%, có hàm lượng polyphenol và flavonoid lần lượt đạt 85,12±0,97 mg GAE/g chất khô và 104,6±8,72 mg QE/g chất khô. Các điều kiện ảnh hưởng đến quá trình tổng hợp, bao gồm nồng độ tiền chất Fe^{3+}, nhiệt độ và thời gian phản ứng, được khảo sát và tối ưu thông qua thử nghiệm đánh giá khả năng kích thích nảy mầm của hạt ngô. Đặc trưng cấu trúc và hình thái của vật liệu được xác định bằng các phương pháp phổ nhiễu xạ tia X (XRD), phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) và ảnh hiển vi điện tử quét (SEM). Kết quả cho thấy, vật liệu thu được có đỉnh nhiễu xạ đặc trưng của Fe^0 tại 2θ=45,7°, kích thước hạt dao động trong khoảng 20-100 nm, trung bình ~80 nm. Nano sắt tổng hợp bằng phương pháp xanh thể hiện khả năng kích thích nảy mầm đáng kể, gợi mở tiềm năng ứng dụng làm chế phẩm sinh học hỗ trợ tăng trưởng cây trồng.

Từ khóa: **dịch chiết lá bàng, hạt ngô, kích thích nảy mầm, nano sắt, tổng hợp xanh.**

Chỉ số phân loại: **2.9, 4.1, 4.6**

Synthesis of iron nanomaterials using *Terminalia catappa* L. leaf extract and their application in stimulating maize seed germination

Dac Binh Minh Nguyen[1], Van Minh Dao[2], Thi Hong Phuong Nguyen[3], Duc Duong La[4], Hoai Phuong Nguyen[3], Thi Viet Quynh Nguyen[2], Thi Van Anh Phan[2*]

[1]National Academy for Advanced Technology and Innovation, C6 Thanh Xuan Bac Street, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam
[2]Institute of Science and Technology Development for Regions, C6 Thanh Xuan Bac Street, Thanh Xuan Ward, Hanoi, Vietnam
[3]School of Chemistry and Life Sciences, Hanoi University of Science and Technology, 1 Dai Co Viet Street, Bach Mai Ward, Hanoi, Vietnam
[4]Institute of Chemistry and Materials, Vietnam Academy of Military Science and Technology, 17 Hoang Sam Street, Cau Giay Ward, Hanoi, Vietnam

Received 4 November 2024; revised 19 November 2024; accepted 26 November 2024

Abstract:

Green chemistry-based synthesis of nanomaterials has emerged as a promising approach due to its environmental friendliness and high potential for sustainable agricultural applications. In this study, *Terminalia catappa* L. leaf extract was employed as a biological reducing agent to convert ferric ions (Fe^{3+}) into metallic iron (Fe^0), thereby synthesising iron nanoparticles. The extract was obtained by ultrasonic-assisted extraction using 70% ethanol, with total polyphenol and flavonoid contents of 85.12±0.97 mg GAE/g DW and 104.6±8.72 mg QE/g DW, respectively. The effects of Fe^{3+} precursor concentration, reaction temperature, and reaction time on nanoparticle synthesis were investigated and optimised based on experiments evaluating the germination-stimulating effects on maize seeds. The structural and morphological characteristics of the synthesised material were analysed using XRD, FTIR, and SEM techniques. The results revealed a distinct diffraction peak of Fe^0 at 2θ=45.7°, with particle sizes ranging from 20 to 100 nm and an average size of ~80 nm. The green-synthesised iron nanoparticles exhibited a notable stimulatory effect on seed germination, suggesting their potential as a bioactive nanomaterial for stimulating plant growth.

Keywords: **green synthesis, iron nanoparticles, maize seed, stimulate germination, *Terminalia catappa* L. leaf extract.**

Classification numbers: **2.9, 4.1, 4.6**

[*]Tác giả liên hệ: Email: ph.vananh98@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Trong những thập kỷ gần đây, vật liệu nano được ứng dụng để giải quyết các thách thức cấp bách trong nhiều lĩnh vực như vật liệu, sức khỏe, môi trường và đặc biệt là nông nghiệp [1]. Sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ nano đã đẩy nhanh quá trình chuyển đổi trong nông nghiệp, góp phần nâng cao năng suất cây trồng thông qua việc tăng cường khả năng sinh trưởng, phục hồi, phòng trừ bệnh hại [2]. Vật liệu nano, với kích thước nhỏ hơn 100 nm, sở hữu các đặc tính độc đáo như diện tích bề mặt lớn, độ ổn định cao, độ bền cơ học cao, điểm nóng chảy thấp và khả năng phân tán tốt [3, 4].

Sắt là một nguyên tố vi lượng thiết yếu, đóng vai trò quan trọng trong nhiều quá trình sinh lý của thực vật như quang hợp, truyền năng lượng, kích hoạt enzyme, tổng hợp RNA, DNA [5]. Mặc dù hàm lượng sắt trong đất thường cao, phần lớn tồn tại ở dạng không tan như Fe^{3+} và bị cố định trong các cấu trúc khoáng hoặc chất hữu cơ khiến cây trồng khó hấp thu [6]. Việc bổ sung sắt thông qua phân bón vô cơ truyền thống thường không mang lại hiệu quả cao, đặc biệt trong điều kiện đất trung tính hoặc kiềm, nơi Fe^{2+} dễ bị oxy hóa thành Fe^{3+} không tan, làm giảm khả năng hấp thu và vận chuyển của cây [7]. Để khắc phục hạn chế này, sắt ở dạng nano đã được nghiên cứu như một giải pháp tiềm năng, nhằm cung cấp sắt hiệu quả hơn cho cây trồng. Nano sắt có khả năng thúc đẩy quá trình quang hợp, tăng cường hấp thu dinh dưỡng và kích thích sự nảy mầm của hạt [8, 9]. Hiện nay, nano sắt thường được tổng hợp bằng các phương pháp hóa học hoặc vật lý. Tuy nhiên, những phương pháp này thường sử dụng hóa chất độc hại làm chất khử và chất ổn định, không chỉ ảnh hưởng đến môi trường mà còn tiêu tốn nhiều năng lượng [10, 11]. Do đó, cần thiết phải phát triển các phương pháp tổng hợp bền vững, thân thiện với môi trường và tiết kiệm chi phí.

Một hướng tiếp cận mới đầy tiềm năng là sử dụng các chất khử có nguồn gốc sinh học từ thực vật để tổng hợp nano sắt, nhờ ưu điểm nguyên liệu đa dạng, dễ tiếp cận và thân thiện với môi trường [12]. Chiết xuất thực vật chứa nhiều hợp chất sinh học như polyphenol, flavonoid, polysaccharide… có thể đóng vai trò là chất khử và chất ổn định trong quá trình tổng hợp hạt nano [13]. Trong những năm gần đây, nhiều loài thực vật đã được khai thác để tổng hợp nano sắt, sử dụng các bộ phận như lá, rễ, hoặc quả [14, 15]. Tuy nhiên, đến nay chưa có nghiên cứu nào được công bố về việc sử dụng dịch chiết lá bàng để tổng hợp nano sắt. Cây bàng thuộc họ Trâm bầu (*Combretaceae*), bao gồm khoảng 250 loài phân bố rộng rãi ở các vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới thuộc châu Á, châu Úc và châu Phi [16]. Lá bàng giàu polyphenol, flavonoid và tannin - những hợp chất có khả năng chống oxy hóa, kháng khuẩn và kháng nấm [17, 18]. Việc khai thác tiềm năng của lá bàng trong tổng hợp vật liệu nano sắt hứa hẹn mở ra những hướng đi mới trong phát triển nông nghiệp bền vững.

Từ những cơ sở trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác định các điều kiện tối ưu cho quá trình tổng hợp nano sắt sử dụng dịch chiết lá bàng làm chất khử. Nano sắt sau tổng hợp được đặc trưng bằng các phương pháp SEM, XRD và FTIR. Đồng thời, nghiên cứu cũng đánh giá ảnh hưởng của nano sắt đến khả năng nảy mầm và sức sống của hạt ngô.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Lá bàng (*Terminalia catappa* L.) thu hái ở giai đoạn sinh trưởng mạnh (tháng 7/2024 tại Hà Nội), lá có màu xanh đậm, già nhưng chưa chuyển sang giai đoạn úa vàng. Lá bàng được lựa chọn có hình dạng bình thường, phát triển hoàn chỉnh.

Hạt giống ngô lai đơn F1 NK6253 Hãng Syngenta được mua từ các đại lý bán hạt giống tại Hà Nội.

Các hoá chất phân tích gồm: sắt (III) clorua (Merck, Đức), ethanol 96 (Việt Nam), Folin-ciocalteu (Nhật Bản) và natri cacbonat, aluminum chloride, axit quercetin, natri nitrit, natri hydroxit, axit gallic được cung cấp bởi Xilong, Trung Quốc.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Chuẩn bị dịch chiết lá bàng

Lá bàng được làm sạch bằng nước, sấy khô và nghiền mịn thu bột nguyên liệu. Bột lá bàng khô (5 g) được khuấy trong 100 ml ethanol 70%, sau đó siêu âm trong bể siêu âm 30 phút. Quá trình tách chiết được tiến hành ở nhiệt độ 60^{o}C trong 2 giờ, kết hợp với máy lắc có tốc độ 180 vòng/phút. Hỗn hợp chiết sau đó được lọc thu dịch chiết đặc, bảo quản ở nhiệt độ 6^{o}C trong suốt quá trình nghiên cứu và được pha loãng tỷ lệ 1/10 với nước cất.

2.2.2. Xác định hàm lượng phenolic tổng số

Hàm lượng phenolic tổng có trong dịch chiết lá bàng được xác định bằng phương pháp sử dụng thuốc thử Folin-

ciocalteu theo mô tả của R. Yadav và cs (2011) [19]. Trong nghiên cứu này, dịch chiết thực vật được pha loãng 100 lần bằng ethanol 70%. Xây dựng đường chuẩn axit gallic (GA) theo dãy nồng độ 20-120 µg/ml và thuốc thử Folin-ciocalteu 10%. Hỗn hợp phản ứng gồm 5 ml Folin-ciocalteu 10%, 1 ml axit gallic đường chuẩn hoặc 1 ml mẫu dịch chiết thực vật và 4 ml dung dịch Na_2CO_3 (75 g/l), lắc đều và ủ phản ứng trong 30 phút, xác định độ hấp thụ ở bước sóng 765 nm.

2.2.3. Xác định hàm lượng flavonoid tổng số

Hàm lượng flavonoid tổng có trong dịch chiết lá bàng được xác định bằng phương pháp tạo màu với aluminum chloride ($AlCl_3$) [20]. Dịch chiết thực vật được pha loãng 100 lần bằng ethanol 70%. Xây dựng đường chuẩn quercetin (QE) theo dãy nồng độ 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 µg/ml. Hỗn hợp phản ứng gồm 1 ml axit quercetin hoặc 1 ml dịch chiết thực vật và 0,3 ml $NaNO_2$ 5%, 0,3 ml $AlCl_3$ 10%, 2 ml NaOH 1M vào lắc đều và định mức đến 10 ml. Xác định độ hấp thụ ở bước sóng 510 nm.

2.2.4. Tổng hợp vật liệu nano sắt

Dịch chiết lá bàng (60 ml) được nhỏ với tốc độ khoảng 4 giọt/giây xuống 30 ml dung dịch $FeCl_3$. Nồng độ sắt (III), nhiệt độ và thời gian phản ứng được tối ưu ở các thí nghiệm trên. Phản ứng được khuấy từ gia nhiệt với tốc độ 700 vòng/phút. Kết thúc quá trình phản ứng, một phần dung dịch được lọc ly tâm ở 7000 vòng trong 10 phút, và được rửa 5 lần bằng ethanol và nước cất. Các mẫu cặn thu được được sấy chân không ở 60°C đến khối lượng không đổi để phân tích các đặc tính của vật liệu bằng các kỹ thuật hiện đại như SEM, XRD, FTIR. Phần còn lại của dung dịch nano sắt được sử dụng để đánh giá khả năng kích thích nảy mầm ở trên hạt ngô.

2.2.5. Khảo sát điều kiện tối ưu đến quá trình tổng hợp nano sắt

Tiến hành khảo sát điều kiện tối ưu để tổng hợp nano sắt từ lá bàng và tiền chất sắt bằng cách thay đổi nồng độ Fe^{3+}, nhiệt độ tạo nano sắt, thời gian tổng hợp nano sắt. Các điều kiện này được lựa chọn thông qua việc xác định khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô.

- Khảo sát nồng độ Fe^{3+} ban đầu đến khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô: Dịch chiết lá bàng được nhỏ từ từ với tốc độ khoảng 4 giọt/giây xuống dung dịch $FeCl_3$ ở các nồng độ khảo sát là 1; 2,5; 5; 7,5; 10 mM theo tỷ lệ thể tích là 2/1. Phản ứng được khuấy với tốc độ 700 vòng/phút ở điều kiện nhiệt độ phòng (25°C±2°C) trong 15 phút. Kết thúc quá trình, thu được 5 mẫu nano sắt tương ứng với các nồng độ Fe^{3+} ban đầu. Dung dịch sau tổng hợp thành công được sử dụng để xử lý hạt ngô giống và đánh giá khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô để xác định nồng độ Fe^{3+} ban đầu thích hợp.

- Khảo sát nhiệt độ tổng hợp nano sắt đến khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô: Dịch chiết thực vật được nhỏ xuống dung dịch $FeCl_3$ nồng độ tối ưu ở thí nghiệm trước, với tốc độ nhỏ giọt khoảng 4 giọt/giây theo tỷ lệ thể tích 2/1. Phản ứng được khuấy từ gia nhiệt ở các nhiệt độ khảo sát từ 30, 40, 50, 60, 70°C với tốc độ 700 vòng/phút trong 15 phút. Kết quả thu được 5 mẫu nano sắt được tổng hợp ở các nhiệt độ khác nhau. Dung dịch sau tổng hợp được sử dụng để xử lý hạt ngô giống. Nhiệt độ tổng hợp sắt nano được xác định dựa vào khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô.

- Khảo sát thời gian tổng hợp nano sắt đến khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô: Dịch chiết lá bàng được nhỏ từ từ với tốc độ khoảng 4 giọt/giây xuống dung dịch $FeCl_3$ ở nồng độ, nhiệt độ phản ứng đã được tối ưu ở thí nghiệm trước theo tỷ lệ thể tích là 2/1. Phản ứng được khuấy với tốc độ 700 vòng/phút và gia nhiệt ở các thời gian khảo sát: 30, 40, 50, 60, 70 phút. Kết thúc quá trình, thu được 5 mẫu nano sắt được tổng hợp ở các thời gian khác nhau. Dung dịch sau tổng hợp thành công được sử dụng để xử lý hạt ngô giống và đánh giá khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô, để xác định thời gian tổng hợp tối ưu.

2.2.6. Ảnh hưởng của nồng độ nano sắt đến khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô

Dung dịch nano sắt tổng hợp ở điều kiện tối ưu được xác định chính xác nồng độ bằng phương pháp phân tích AAS trên máy quang phổ hấp thụ nguyên tử Agilent AAS, Mỹ. Sau nghiên cứu sơ bộ, người ta thấy rằng nồng độ nano sắt nhỏ hơn 5 mg/l là đủ để tăng cường sự nảy mầm của hạt [21]. Do đó trong nghiên cứu này, nồng độ dung dịch nano sắt được thiết lập là 1, 2, 3, 4, 5 mg/l và tiến hành xử lý hạt ngô giống để đánh giá khả năng kích thích nảy mầm và sức sống của hạt ngô. Thí nghiệm đối chứng được thực hiện với nước cất.

2.2.7. Xử lý hạt ngô giống bằng nano sắt

Dung dịch nano sắt được siêu âm 10 phút để các hạt nano được phân tán đều. Các hạt ngô giống được lấy ngẫu nhiên, ngâm hạt trong 90 phút với 50 ml dung dịch nano sắt

pha loãng 10 lần. Sau đó lấy các hạt ra để hạt khô tự nhiên 15-20 phút. Gieo hạt vào môi trường hữu cơ (được chuẩn bị theo TCVN 8548:2011). Phun ẩm 2 lần/ngày. Điều kiện theo dõi ở nhiệt độ phòng (25±2°C). Mẫu đối chứng không xử lý nano sắt được thực hiện tương tự với nước cất.

2.2.8. Xác định tỷ lệ nảy mầm và chỉ số sức sống

Thí nghiệm nảy mầm trên hạt ngô khi được xử lý bằng dung dịch nano sắt được thực hiện với 50 hạt ngô được lấy ngẫu nhiên, sau thời điểm gieo hạt 48 giờ, các hạt ngô được xác định số hạt nảy mầm đạt yêu cầu, xác định chiều dài rễ mầm và chiều dài chồi mầm của hạt giống.

Tỷ lệ nảy mầm trung bình (*GP*) được tính toán theo phương pháp Scott có điều chỉnh, được tính theo công thức: GP(%)=(A/B) x 100 với A là số hạt nảy mầm; B là tổng số hạt giống [22].

Chỉ số sức sống của hạt giống (VI) được xác định bằng công thức: VI=GP × [Chiều dài rễ mầm (mm) + chiều dài chồi mầm (mm)].

2.2.9. Các kỹ thuật phân tích đặc tính của vật liệu

Vật liệu sắt nano sau tổng hợp được phân tích hình thái bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) trên thiết bị SM-6510LV (Jeol-Nhật Bản), phân tích đặc trưng các nhóm chức bằng quang phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) trên thiết bị Nicolet iS10 (Thermo Scientific - Mỹ) tại Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Phân tích phổ XRD tại Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự bằng thiết bị X'Pert Pro.

2.2.10. Phân tích số liệu

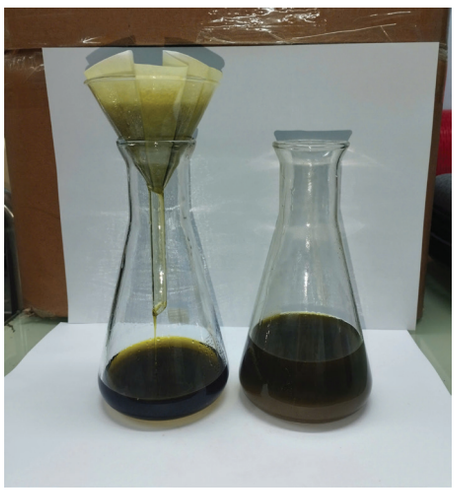
Kết quả thí nghiệm được phân tích phương sai một nhân tố (ANOVA) trên phần mềm Minitab 16 và phần mềm Microsoft Excel. Sự khác biệt của giá trị trung bình giữa các công thức được đánh giá nhờ phép so sánh Tukey với mức tin cậy 95% ($p<0,05$).

3. Kết quả và bàn luận

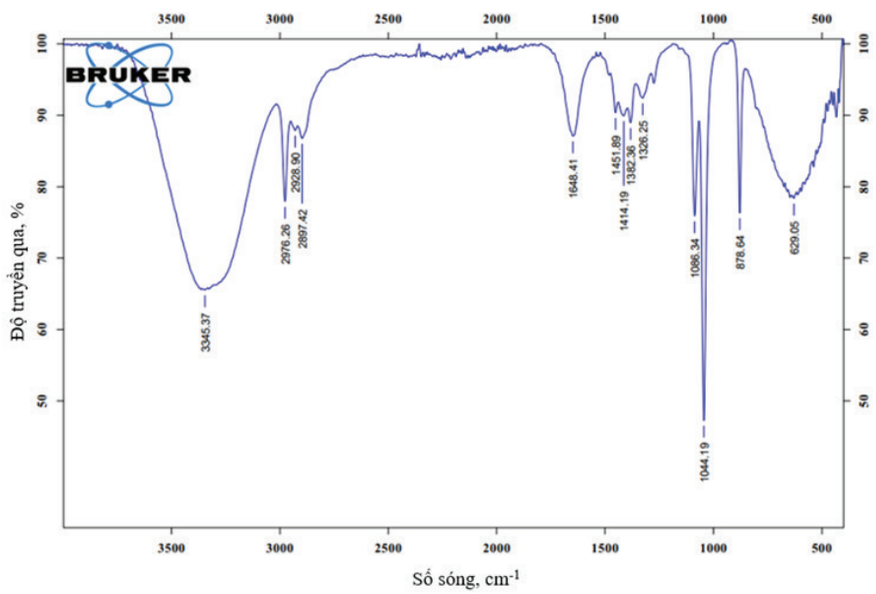
3.1. Chiết xuất, xác định hàm lượng phenolic tổng và flavonoid tổng trong lá bàng

Quá trình chiết xuất dịch chiết lá bàng bằng ethanol 70% thu được dịch chiết có màu nâu đậm đặc trưng. Sự hiện diện của các hợp chất polyphenol và flavonoid trong dịch chiết được xác định bằng phổ hồng ngoại (FTIR) và định lượng bằng các phương pháp hóa học được mô tả trong phần phương pháp nghiên cứu (hình 1).

Trong phổ FTIR của dịch chiết lá bàng (hình 2), các dải hấp thụ 1044,19 cm^{-1} và 1382,36 cm^{-1} là sự xuất hiện của nhóm chức C-N với axit béo và liên kết C-H [23], dải hấp thụ ở 1648,41 cm^{-1} là đặc trưng của dao động nhóm C=C của vòng benzene [24]. Cường độ của các dải hấp thụ ở 3345,37 cm^{-1} là do dao động kéo dài của nhóm chức O-H [25]. Các dao động được ghi nhận là các nhóm đặc trưng, chứng minh trong dịch chiết lá bàng có sự xuất hiện của phenolic và flavonoid.

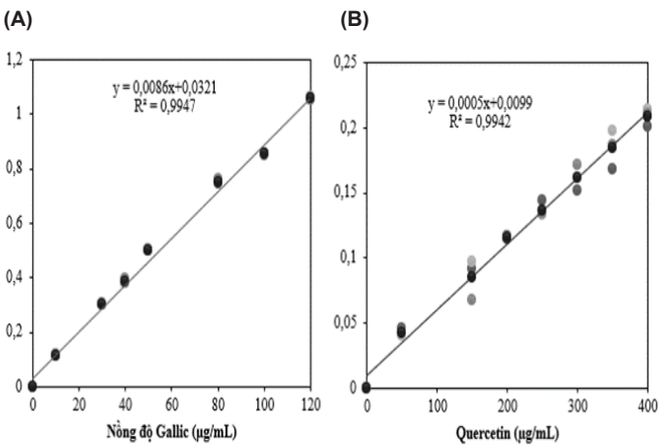


Hình 1. Dịch chiết lá bàng.



Hình 2. Phổ hồng ngoại biến đổi Fourier của dịch chiết lá bàng.

Đường chuẩn axit gallic xây dựng trong khoảng nồng độ từ 20 đến 120 µg/ml là: y=0,0086x+0,0333, hệ số tương quan R^2=0,9951 (hình 3A). Đường chuẩn axit quercetin trong khoảng nồng độ từ 50 đến 400 µg/ml là y=0,0005x+0,0107, hệ số tương quan R^2=0,9944 (hình 3B). Dựa vào đường chuẩn axit gallic và quercetin, hàm lượng phenolic và flavonoid tổng số trong dịch chiết lá bàng được tính toán và chỉ ra tại bảng 1. Các hợp chất phenolic và flavonoid có trong dịch chiết lá bàng có tác dụng làm chất khử để tổng hợp nano. Cụ thể, hàm lượng phenolic có trong dịch bàng là 85,12±0,97 mg axit gallic/g chất khô, hàm lượng flavonoid có trong dịch bàng là 104,6±8,72 mg axit quercetin/g chất khô.



Hình 3. Đồ thị biểu diễn sự phụ thuộc tuyến tính giữa nồng độ chất chuẩn và độ hấp thụ quang: (A) Axit gallic; (B) Axit quercetin.

Bảng 1. Hàm lượng phenolic tổng và flavonoid tổng có trong dịch chiết lá bàng.

Thành phần	Hàm lượng (mg/g chất khô)
Phenolic tổng	85,12±0,97
Flavonoid tổng	104,6±8,72

3.2. Đặc điểm của vật liệu nano sắt

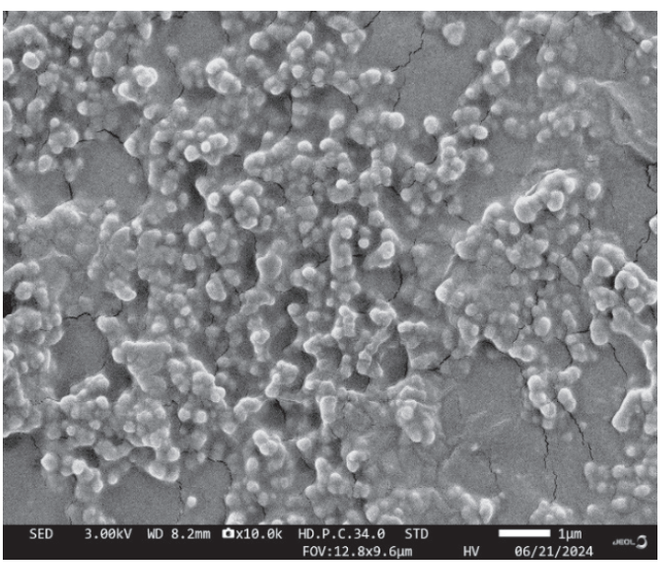
Màu của dung dịch sắt (III) biến đổi sang màu đen ngay khi được bổ sung thêm dịch chiết lá bàng, cho thấy sự hình thành của các hạt nano sắt sau phản ứng (hình 4). Độ pH của dịch chiết lá bàng thay đổi rõ rệt. Bảng 2 cho thấy sự thay đổi độ pH của dịch chiết lá bàng sau khi trộn dung dịch sắt (III). Độ pH giảm đột ngột từ 5,36 xuống 2,76 ngay sau khi phản ứng, chứng tỏ có sự hình thành nano sắt. Sự thay đổi độ pH sau khi thêm dung dịch sắt clorua cho thấy, các thành phần từ chiết xuất lá bàng (phenolic, flavonoid…) đã phản ứng với các ion Fe^{3+} để tạo thành nano sắt. Kết quả kiểm tra này cũng tương tự như nghiên cứu của T. Kumari và cs (2023) [26] khi sử dụng dịch chiết thực vật để tổng hợp nano sắt từ tiền chất sắt, màu sắc dung dịch biến đổi từ màu vàng sang màu đen và đồng thời pH của dung dịch cũng giảm đột ngột.

Nội dung	Dịch chiết lá bàng	Dung dịch nano sắt
pH của dịch chiết lá bàng	5,36±0,06	2,76±0,15
Màu sắc	Màu nâu	Màu đen



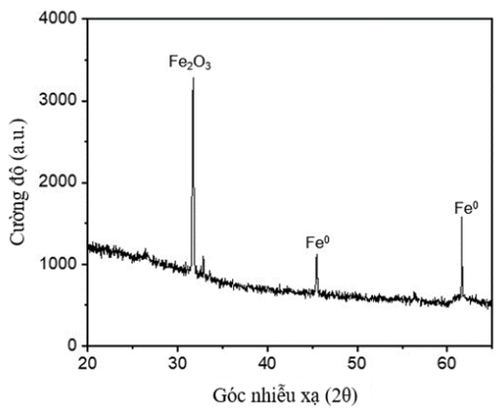
Hình 4. Sự thay đổi pH và màu sắc của dịch chiết lá bàng sau khi bổ sung dung dịch sắt (III).

Hình 5 là kết quả phân tích SEM của vật liệu nano sắt được tổng hợp dựa trên dịch chiết lá bàng. Kết quả cho thấy có sự hình thành các hạt nano sắt, các hạt có dạng hình cầu, phân tán thành các cụm hạt nano, kích thước trung bình từ 20 đến 100 nm. Do nano sắt được tổng hợp bằng dịch chiết lá bàng nên có thể quan sát thấy xung quanh các hạt nano có các lớp màng hữu cơ, đây có thể là các hợp chất polyphenol, flavonoid, polysaccharide… có trong dịch chiết thực vật.



Hình 5. Kết quả hiển vi điện tử quét của vật liệu nano sắt.

Hình 6 là kết quả phân tích nhiễu xạ tia X của vật liệu nano sắt được tổng hợp bằng dịch chiết lá bàng. Các peak đặc trưng của nano sắt, cụ thể là nano sắt hoá trị 0 được thể hiện tại 2θ=45,7° và 61,6° [27]. Ngoài ra, còn xuất hiện peak ở 2θ=31,7° chứng tỏ sự tồn tại của oxit sắt (Fe_2O_3 hoặc Fe_3O_4) [28] do vật liệu nano sắt hoá trị 0 có cấu trúc lõi - vỏ. Tại peak 2θ=25°, xuất hiện dao động mạnh, cho thấy sự hiện diện của các hợp chất polyphenol, flavonoid hay polysacchride có trong dịch chiết lá bàng. Các hợp chất này tạo thành lớp màng bao quanh các hạt nano sắt, và có vai trò như chất hoạt động bề mặt làm giảm quá trình kết tụ của các hạt nano [29].

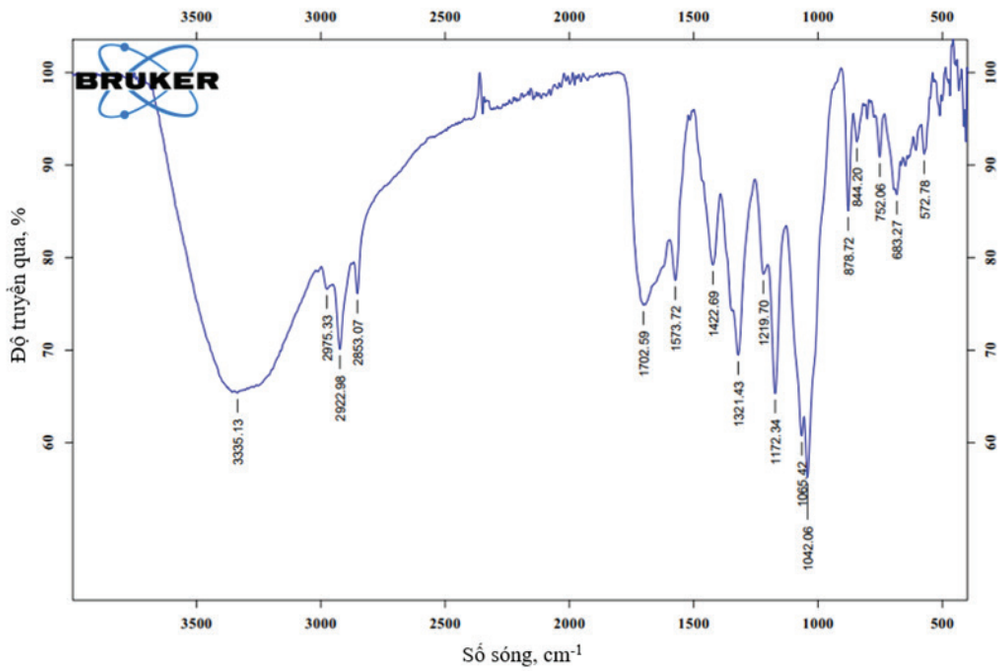


Hình 6. Giản đồ nhiễu xạ tia X của vật liệu nano sắt.

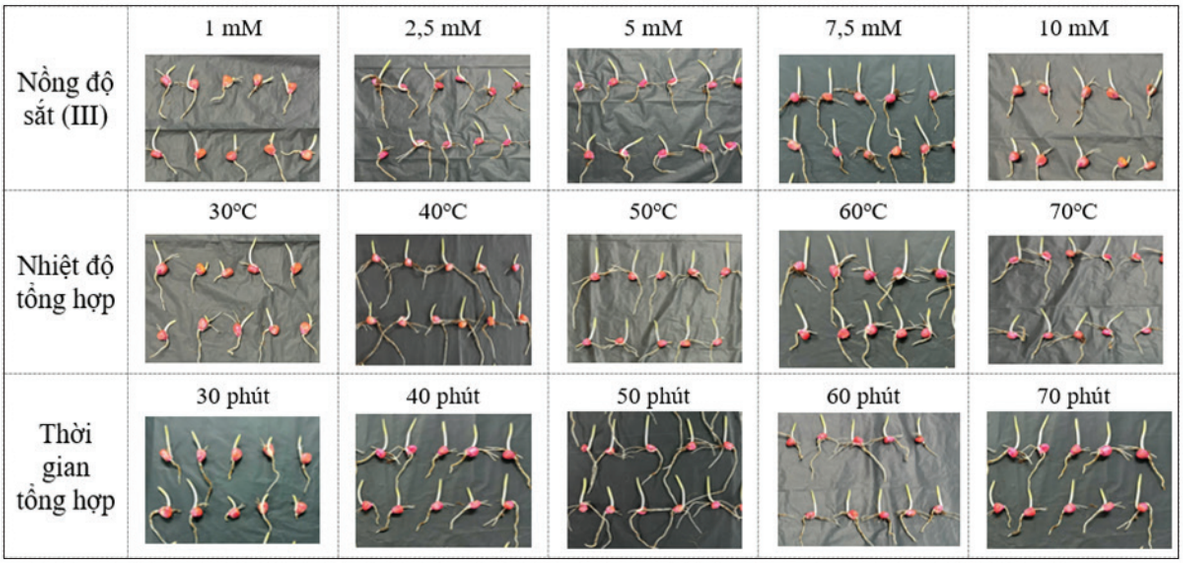
Các nhóm chức có trong hỗn hợp tương tác giữa dịch chiết lá bàng và sắt (III) được xác định thông qua phổ FTIR. Dựa vào các peak dao động, có thể xác định được các nhóm chức đặc trưng của vật liệu nghiên cứu. Trong phổ FTIR của nano sắt tổng hợp bằng dịch chiết lá bàng (hình 7), các đỉnh hấp thụ ở 1042,06 và 1321,43 cm^{-1} được cho là liên kết C-N và C-H có trong phenol và axit béo. Cũng có 1 đỉnh hấp thụ là 1573,72 cm^{-1} đặc trưng cho liên kết C=C của vòng benzene có trong hợp chất của flavonoid. Từ đó, ta có thể thấy các nhóm chức đặc trưng của liên kết C=C, C-H, C-N và O-H đều xuất hiện trong phổ FTIR của dịch chiết lá bàng và nano sắt, chứng tỏ là các hợp chất polyphenol, flavonoid và các axit béo là chất ổn định trong quá trình tổng hợp tạo ra nano sắt [23]. Đỉnh hấp thụ ở 683,27 cm^{-1} cho thấy sự dao động của liên kết Fe-O, điều này cho thấy nguyên tử Fe và nguyên tử O có sự liên kết trên bề mặt các hạt nano sắt [30]. Điều này chứng minh rằng, đã tổng hợp thành công các hạt nano sắt từ dịch chiết lá bàng.

3.3. Hiệu quả tổng hợp nano sắt ở các điều kiện tối ưu

Các điều kiện khảo sát (nồng độ Fe^{3+}, nhiệt độ, thời gian) tổng hợp sắt nano được lựa chọn thông qua khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô. Hạt giống được xử lý bằng cách ngâm ủ hạt với dung dịch nano sắt sau tổng hợp ở các điều kiện khảo sát. Kết quả về ảnh hưởng của nồng độ sắt (III), nhiệt độ và thời gian tổng hợp nano sắt đến khả năng kích



Hình 7. Phổ hồng ngoại biến đổi Fourier của nano sắt.



Hình 8. Hạt nảy mầm sau 48 giờ ở các điều kiện xử lý khác nhau.

thích nảy mầm hạt ngô được mô tả tại bảng 2. Hạt ngô nảy mầm sau 48 giờ gieo hạt trong môi trường hữu cơ ở các điều kiện xử lý khác nhau cũng được thể hiện tại hình 8.

Kết quả tại bảng 2 cho thấy, khi nano sắt được tổng hợp ở các nồng độ sắt (III) khác nhau, có ảnh hưởng tới các chỉ số tỷ lệ nảy mầm (GP) và chỉ số sức sống (VI) của hạt giống. Xử lý hạt bằng nano sắt ở các nồng độ sắt (III) ban đầu cho tỷ lệ nảy mầm khá cao, đều đạt trên 80%. Tại nồng độ sắt (III) ban đầu là 7,5 mM cho hiệu quả tổng hợp nano là tốt nhất khi tỷ lệ nảy mầm của hạt ngô đạt 91,67%, chỉ số sức sống là 288,12 mm.

Bảng 2. Ảnh hưởng của nồng độ sắt (III) ban đầu đến khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô.

Nồng độ sắt (III)	Tỷ lệ nảy mầm (GP) (%)	Chỉ số sức sống (VI) (mm)
1 mM	$80,33^{d}\pm1,52$	$183,15^{d}\pm9,65$
2,5 mM	$84,67^{bc}\pm1,52$	$252,05^{b}\pm4,46$
5 mM	$85,33^{b}\pm0,58$	$261,81^{b}\pm3,6$
7,5 mM	$91,67^{a}\pm1,53$	$288,12^{a}\pm9,27$
10 mM	$81,33^{cd}\pm1,53$	$229,46^{c}\pm5,43$

Bảng 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ tổng hợp sắt nano đến khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô.

Nhiệt độ (°C)	Tỷ lệ nảy mầm (GP) (%)	Chỉ số sức sống (VI) (mm)
30	$83,33^{b}\pm2,08$	$277,38^{cd}\pm6,14$
40	$86,03^{b}\pm2,65$	$282,87^{bc}\pm6,75$
50	$89,12^{ab}\pm3,0$	$296,75^{b}\pm1,87$
60	$94,02^{a}\pm2,64$	$338,06^{a}\pm6,56$
70	$89,33^{ab}\pm3,51$	$266,31^{d}\pm6,18$

Bảng 3 mô tả các kết quả ảnh hưởng của nhiệt độ tổng hợp nano đến khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô, các điều kiện nhiệt độ được khảo sát từ 30 đến 70°C. Tại nhiệt độ tổng hợp là 60°C, hiệu quả tổng hợp nano sắt được cho là tốt nhất khi tỷ lệ nảy mầm (GP) và chỉ số sức sống (VI) ở điều kiện tổng hợp này là cao nhất, với các giá trị lần lượt là 94,02% và 338,06 mm. Ảnh hưởng của thời gian tổng hợp nano sắt đến khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô được trình bày tại bảng 4. Tại thời gian tổng hợp là 50 phút, nano sắt tạo thành có khả năng kích thích nảy mầm là tốt nhất, với tỷ lệ nảy mầm (GP) được ghi nhận là 98,33% và chỉ số sức sống của hạt ngô là 433,59 mm. Dựa vào các kết quả trên, lựa chọn điều kiện tổng hợp tối ưu để tổng hợp nano sắt như sau: nồng độ sắt (III) là 7,5 mM, nhiệt độ tổng hợp là 60°C, thời gian tổng hợp là 50 phút.

Bảng 4. Ảnh hưởng của thời gian tổng hợp sắt nano đến khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô.

Thời gian (phút)	Tỷ lệ nảy mầm (GP) (%)	Chỉ số sức sống (VI) (mm)
30	$81^{c}\pm2,65$	$211,71^{c}\pm17,52$
40	$90,33^{b}\pm3,06$	$297,06^{b}\pm24,53$
50	$98,33^{a}\pm1,53$	$433,59^{a}\pm19,6$
60	$89,67^{b}\pm2,52$	$317,59^{b}\pm23,52$
70	$90,33^{b}\pm3,51$	$322,44^{b}\pm11,82$

3.4. Ảnh hưởng của nano sắt đến quá trình nảy mầm và sức sống của hạt giống

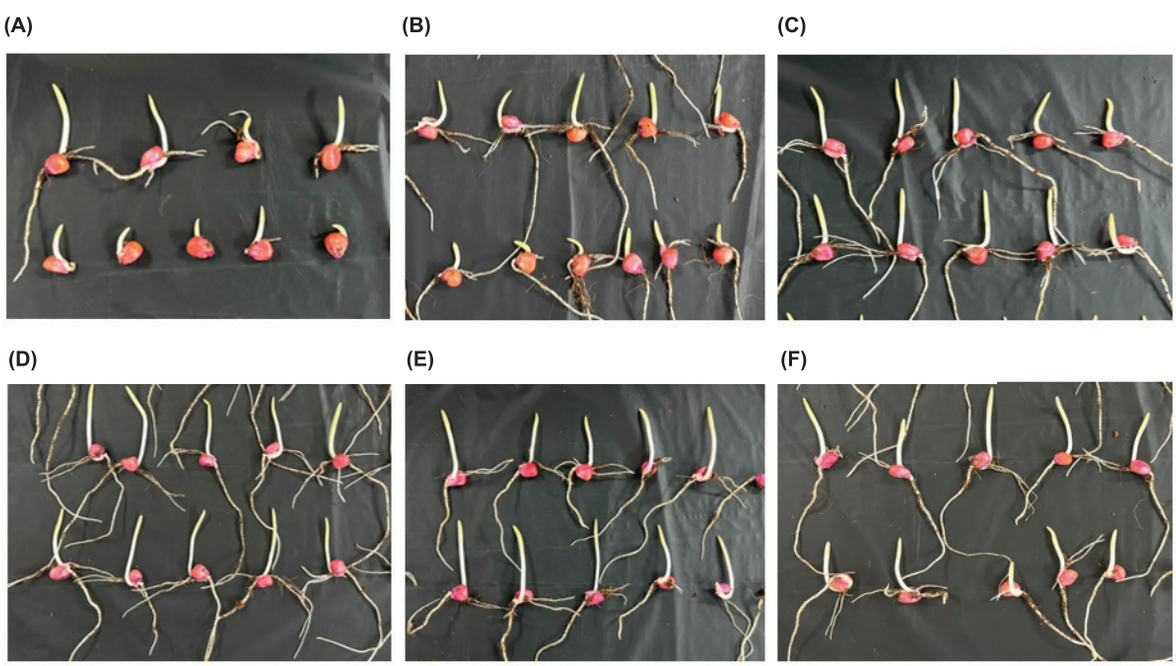
Vật liệu sắt nano sau tổng hợp ở điều kiện tối ưu, được đánh giá khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô thông qua tỷ lệ nảy mầm (GP) và chỉ số sức sống (VI). Hạt giống ngô được xử lý nano sắt ở các nồng độ khác nhau (1, 2, 3, 4, 5 mg/l) và được so sánh với hạt giống ngô không được xử lý nano sắt.

Kết quả được chỉ ra tại bảng 5 cho thấy, xử lý nano sắt đem lại sự thay đổi rõ ràng và làm tăng tỷ lệ nảy mầm của hạt ngô so với không xử lý. Ngoài ra, khi hạt giống được xử lý bằng nano sắt, chiều dài của mầm, rễ đều tăng lên đáng kể. Tại các nồng độ nano sắt xử lý đều có tỷ lệ nảy mầm lớn hơn 94%, đặc biệt tại hai nồng độ xử lý là 2 và 3 mg/l, tỷ lệ nảy mầm của hạt lớn hơn 98%, trong khi hạt không xử lý bằng nano sắt có tỷ lệ nảy mầm đạt 75,33%. Tỷ lệ nảy mầm của hạt ngô được xử lý nano cao hơn cũng có thể được giải thích do các nano khi tiếp xúc với hạt ngô trong quá trình xử lý, đã làm tăng độ ẩm của hạt giống và cũng có thể kích thích các mô mầm hấp thụ nước [31]. Sự hình thành các lỗ nano giúp tăng cường khả năng hấp thụ nước, tạo ra các loại oxy phản ứng (ROS), từ đó kích thích các quá trình phát triển tiếp theo của hạt giống, góp phần làm tăng tỷ lệ nảy mầm [32, 33]. Theo một nghiên cứu khác của R. Lorrai và cs (2018) [34] giải thích rằng, tỷ lệ nảy mầm của hạt tăng do các hạt nano đã thúc đẩy quá trình sản xuất axit gibberellic trong giai đoạn nảy mầm.

Bảng 5. Các chỉ số nảy mầm của hạt ngô khi được xử lý bằng dung dịch nano sắt.

Dung dịch xử lý hạt ngô	Tỷ lệ nảy mầm (GP) (%)	Chỉ số sức sống (VI) (mm)
Nước cất	$75,33\pm3,055^{b}$	$223,2\pm31^{d}$
Nano sắt 1 mg/l	$94,67\pm1,53^{ab}$	$302,83\pm61,54^{cd}$
Nano sắt 2 mg/l	$98,00\pm2,00^{a}$	$418,79\pm26,52^{ab}$
Nano sắt 3 mg/l	$98,67\pm2,52^{a}$	$479,52\pm9,75^{a}$
Nano sắt 4 mg/l	$95\pm2,65^{ab}$	$409,50\pm20,07^{ab}$
Nano sắt 5 mg/l	$94,67\pm2,51^{b}$	$343,23\pm21,3^{bc}$

Chỉ số sức sống (VI) của hạt giống ở các điều kiện xử lý khác nhau được chỉ ra tại bảng 5, kết quả cho thấy rằng, khi được xử lý bằng nano có chỉ số VI của hạt cao hơn so với mẫu đối chứng không xử lý. Tại nồng độ nano sắt 3 mg/l, hạt ngô có chỉ số VI lớn nhất là 479,52±9,75 mm, kết quả này có sự khác biệt có ý nghĩa với $p<0,05$. Hình 9 minh họa hạt giống xử lý bằng nước (hình 9A) và hạt giống được xử lý bằng dung dịch nano sắt ở các nồng độ (hình 9B-9F) sau 48 giờ gieo hạt. Hạt ngô giống được xử lý bằng nano sắt có chiều dài mầm và rễ tốt hơn hạt giống xử lý bằng nước. Đặc biệt, hạt giống khi được xử lý bằng nano sắt có bộ rễ phát triển mạnh, sau 48 giờ số rễ 3-5 rễ, chiều dài rễ gấp 2 đến 3 lần chiều dài rễ của hạt giống chỉ xử lý hạt bằng nước. Kết quả này cho thấy, nano sắt được tổng hợp bằng dịch chiết lá bàng có hiệu quả kích thích quá trình nảy mầm ở hạt ngô và kết quả này cũng phù hợp với các nghiên cứu khác khi đánh



Hình 9. Hạt được xử lý nano sắt ở các nồng độ. (A) Đối chứng bằng nước; **(B)** 1 mg/l; **(C)** 2 mg/l; **(D)** 3 mg/l; **(E)** 4 mg/l; **(F)** 5 mg/l.

giá khả năng kích thích nảy mầm đối với hạt ngô [21, 35]. Nghiên cứu của P. Acharya và cs (2020) [36] đã chỉ ra rằng, hạt giống được xử lý bằng nano là một trong những phương pháp thành công để cải thiện chỉ số sức sống của hạt giống, do các hạt nano giữ cho màng tế bào hạt giống khoẻ mạnh, nguyên vẹn, hoạt động hiệu quả hơn, từ đó dẫn đến hiệu suất phosphoryl hoá cao hơn, tạo ra năng lượng cao hơn để kích hoạt quá trình trao đổi chất, giúp tốc độ phát triển của hạt giống tăng lên. Xử lý hạt giống bằng nano cho thấy, tiềm năng thúc đẩy sự phát triển của hạt giống và cây con, tạo ra ảnh hưởng đáng kể đến sản lượng cây trồng. Điều này có thể chứng minh xử lý hạt giống bằng nano sẽ là một trong những công cụ đầy hứa hẹn để tối ưu hoá hiệu suất của hạt giống, qua đó góp phần vào việc phát triển phương pháp canh tác nông nghiệp bền vững.

4. Kết luận

Tổng hợp nano sắt bằng phương pháp sử dụng dịch chiết lá bàng làm chất khử với nồng độ sắt (III) là 7,5 mM, nhiệt độ 60^{o}C, thời gian 50 phút cho hiệu quả nhất khi đánh giá khả năng kích thích nảy mầm hạt ngô. Vật liệu nano sắt tạo thành là các hạt có dạng hình cầu, phân tán thành các cụm hạt nano, kích thước trung bình 80 nm, có cấu trúc lõi - vỏ và các hợp chất polyphenol, flavonoid hay polysaccharide có trong dịch chiết lá bàng, tạo thành lớp màng bao quanh các hạt nano sắt, có vai trò như chất hoạt động bề mặt, làm giảm quá trình kết tụ của các hạt nano. Nano sắt tạo thành có khả năng kích thích khả năng nảy mầm của hạt giống ngô. Ở nồng độ xử lý hạt giống là 3 mg/l, nano sắt làm tăng tỷ lệ nảy mầm hạt ngô đạt 98,67±2,52% và chỉ số sức sống của hạt ngô đạt 479,52±9,75 mm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được tài trợ kinh phí bởi đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Khoa học và Công nghệ: "Nghiên cứu ứng dụng dịch chiết thực vật sản xuất chế phẩm nano bạc và nano sắt sử dụng trong trồng trọt" theo Hợp đồng số 01/2023/HĐ-ĐT/VPTV ngày 3/7/2023. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] P. Pramanik, P. Krishnan, A. Maity, et al. (2020), "Application of nanotechnology in agriculture", *Environmental Nanotechnology*, **4**, pp.317-348, DOI: 10.1007/978-3-030-26668-4_9.

[2] A.A.H.A. Latef, A.K. Srivastava, M.S.A.E. Sadek, et al. (2018), "Titanium dioxide nanoparticles improve growth and enhance tolerance of broad bean plants under saline soil conditions", *Land Degradation & Development*, **29(4)**, pp.1065-1073, DOI: 10.1002/ldr.2780.

[3] H. Agarwal, V. Shanmugam (2020), "A review on anti-inflammatory activity of green synthesised zinc oxide nanoparticle: Mechanism-based approach", *Bioorganic Chemistry*, **94**, DOI: 10.1016/j.bioorg.2019.103423.

[4] F. Dehghani, S.M. Shirazi, M. Shafiee, et al. (2023), "Antiviral and antioxidant properties of green synthesised gold nanoparticles using *Glaucium flavum* leaf extract", *Applied Nanoscience*, **13**, pp.4395-4405, DOI: 10.1007/s13204-022-02705-1.

[5] S.M. Zargar, G.K. Agrawal, R. Rakwal, et al. (2015), "Quantitative proteomics reveals role of sugar in decreasing photosynthetic activity due to Fe deficiency", *Frontiers in Plant Science*, **6**, DOI: 10.3389/fpls.2015.00592.

[6] J.H. Martin, S. Fitzwater (1988), "Iron deficiency limits phytoplankton growth in the north-east Pacific subarctic", *Nature*, **331**, pp.341-343, DOI: 10.1038/331341a0.

[7] G. Liang (2022), "Iron uptake, signaling, and sensing in plants", *Plant Communications*, **3(5)**, DOI: 10.1016/j.xplc.2022.100349.

[8] A. Gogos, K. Knauer, T.D. Bucheli (2012), "Nanomaterials in plant protection and fertilization: Current state, foreseen applications, and research priorities", *J. Agric. Food Chem*., **60**, pp.9781-9792, DOI: 10.1021/jf302154y.

[9] B.S. Sekhon (2014), "Nanotechnology in agri-food production: An overview nanotechnol", *Sci. Appl*., **7**, pp.31-53, DOI: 10.2147/NSA.S39406.

[10] D.D. Suppiah, N.M. Julkapli, S. Sagadevan, et al. (2023), "Eco-friendly green synthesis approach and evaluation of environmental and biological applications of iron oxide nanoparticles", *Inorganic Chemistry Communications*, **152**, pp.1-12, DOI: 10.1016/j.inoche.2023.110700.

[11] S. Anchan, S. Pai, H. Sridevi, et al. (2019), "Biogenic synthesis of ferric oxide nanoparticles using the leaf extract of *Peltophorum pterocarpum* and their catalytic dye degradation potential", *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, **20**, pp.1-10, DOI: 10.1016/j.bcab.2019.101251.

[12] S. Jadoun, R. Arif, N.K. Jangid, et al. (2021), "Green synthesis of nanoparticles using plant extracts: A review", *Environmental Chemistry Letters*, **19(1)**, pp.355-374, DOI: 10.1007/s10311-020-01074-x.

[13] N. Madubuonu, S.O. Aisida, A. Ali, et al. (2019), "Biosynthesis of iron oxide nanoparticles via a composite of *Psidium guavaja* - *Moringa oleifera* and their antibacterial and photocatalytic study", *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, **199**, pp.1-9, DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2019.111601.

[14] D.A. Demirezen, Y.Ş. Yiliz, D.D. Ylmaz (2019), "Green synthesis and characterization of iron oxide nanoparticles using *Ficus carica* (common fig) dried fruit extract", *Journal of Bioscience and Bioengineering*, **127(2)**, pp.241-245, DOI: 10.1016/j.jbiosc.2018.07.024.

[15] R. Ningthoujam, B. Sahoo, P. Ghosh, et al. (2023), "Green production of zero-valent iron nanoparticles using pomegranate peel extracts and its use in lindane degradation", *Nanotechnology for Environmental Engineering*, **8(2)**, pp.581-589, DOI: 10.1007/s41204-023-00313-0.

[16] I.E. Cock (2015), "The medicinal properties and phytochemistry of plants of the genus Terminalia (Combretaceae)", *Inflammopharmacology*, **23**, pp.203-229, DOI: 10.1007/s10787-015-0246-z.

[17] Y.M. Fan, L.Z. Xu, J. Gao, et al. (2004), "Phytochemical and anti inflammatory studies on *Terminalia catappa*", *Fitoterapia*, **75(3-4)**, pp.253-260, DOI: 10.1016/j.fitote.2003.11.007.

[18] M. Pinelo, M. Rubilar, J. Sineiro, et al. (2004), "Extraction of antioxidant phenolics from almond hulls (*Prunus amygdalus*) and pine sawdust (*Pinus pinaster*)", *Food Chemistry*, **85(2)**, pp.267-273, DOI: 10.1016/j.foodchem.2003.06.020.

[19] R. Yadav, M. Agarwala (2011), "Phytochemical analysis of some medicinal plants", *Journal of Phytology*, **3**, pp.10-14.

[20] C.C. Chang, M. Yang, H. Wen, et al. (2002), "Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods", *Journal of Food and Drug Analysis*, **10(3)**, DOI: 10.38212/2224-6614.2748.

[21] F. Yasmeen, N.I. Raja, A. Razzaq, et al. (2016), "Gel-free/label-free proteomic analysis of wheat shoot in stress tolerant varieties under iron nanoparticles exposure", *Biochim. Biophys. Acta - Proteins Proteomics*, pp.1586-1598, DOI: 10.1016/j.bbapap.2016.08.009.

[22] S. Scott, R. Jones, W. Williams (1984), "Review of data analysis methods for seed germination", *Crop Science*, **24**, pp.1192-1199, DOI: 10.2135/cropsci1984.0011183X002400060043x.

[23] Y. Wei, Z. Fang, L. Zheng, et al. (2016), "Green synthesis of Fe nanoparticles using *Citrus maxima* peels aqueous extracts", *Materials Letters*, pp.384-386, DOI: 10.1016/j.matlet.2016.09.029.

[24] S.B. Etika, Iryani (2019), "Isolation and characterisation of flavonoids from black glutinous rice (*Oryza sativa* L. var glutinosa)", *EKSAKTA*, **20(2)**, DOI: 10.24036/eksakta/vol20-iss2/186.

[25] Z. Zhuang, L. Huang, F. Wang, et al. (2015), "Effects of cyclodextrin on the morphology and reactivity of iron-based nanoparticles using Eucalyptus leaf extract", *Industrial Crops and Products*, pp.308-313, DOI: 10.1016/j.indcrop.2015.02.027.

[26] T. Kumari, D. Phogat, V. Shukla (2023), "Exploring the multipotentiality of plant extracts for the green synthesis of iron nanoparticles: A study of adsorption capacity and dye degradation efficiency", *Environmental Research*, **229**, DOI: 10.1016/j.envres.2023.116025.

[27] K.M. Cerda, E. Cruces, M.A. Rubio, et al. (2017), "Preparation of nanoscale iron (oxide, oxyhydroxides and zero-valent) particles derived from blueberries: Reactivity, characterisation and removal mechanism of arsenate", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **145**, pp.69-77, DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.07.004.

[28] S. Eslami, M.A. Ebrahimzadeh, P. Biparva (2018). "Green synthesis of safe zero valent iron nanoparticles by *Myrtus communis* leaf extract as an effective agent for reducing excessive iron in iron-overloaded mice, a thalassemia model", *RSC Advances*, **8(46)**, pp.26144-26155, DOI: 10.1039/C8RA04451A.

[29] Y. Liu, X. Jin, Z. Chen (2018), "The formation of iron nanoparticles by Eucalyptus leaf extract and used to remove Cr (VI)", *Science of The Total Environment*, **627**, pp.470-479, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.01.241.

[30] P. Karpagavinayagam, C. Vedhi (2018), "Green synthesis of iron oxide nanoparticles using *Avicennia marina* flower extract", *Vacuum*, pp.286-292, DOI: 10.1016/j.vacuum.2018.11.043.

[31] F. Shafiq, M. Iqbal, M. Ali, et al. (2019), "Seed pre-treatment with polyhydroxy fullerene nanoparticles confer salt tolerance in wheat through upregulation of H_2O_2 neutralising enzymes and phosphorus uptake", *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, **19**, pp.734-742, DOI: 10.1007/s42729-019-00073-4.

[32] H.A. Becerra, A.A.F. Perez, K. Esquivel, et al. (2022), "Nanomaterials as an alternative to increase plant resistance to abiotic stresses", *Frontiers in Plant Science*, **13**, DOI: 10.3389/fpls.2022.1023636.

[33] X. Ma, J.G. Lee, Y. Deng, et al. (2010), "Interactions between engineered nanoparticles (ENPs) and plants: Phytotoxicity, uptake and accumulation", *Science of The Total Environment*, **408(16)**, pp.3053-3061, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.03.031.

[34] R. Lorrai, A. Boccaccini, V. Ruta, et al. (2018), "Abscisic acid inhibits hypocotyl elongation acting on gibberellins, DELLA proteins and auxin", *AoB Plants*, **10(5)**, DOI: 10.1093/aobpla/ply061.

[35] S.A. Hoang, L.Q. Nguyen, N.H. Nguyen, et al. (2019), "Metal nanoparticles as effective promotors for maize production", *Scientific Reports*, **9**, DOI: 10.1038/s41598-019-50265-2.

[36] P. Acharya, G.K. Jayaprakasha, K.M. Crosby, et al. (2020), "Nanoparticle-mediated seed priming improves germination, growth, yield, and quality of watermelons (*Citrullus lanatus*) at multi-locations in Texas", *Scientific Reports*, **10**, DOI: 10.1038/s41598-020-61696-7.

 DOI: 10.31276/VJST.2025.3326

Tối ưu điều kiện sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại cho cá dứa *Pangasius krempfi*

Hoàng Thái Hà[1*], Đặng Xuân Cường[1], Vũ Quang Vinh[2], Trần Tuấn Kiệt[2], Lê Thành Đạt[1], Đoàn Hoàng Thái[1], Trần Duy Thuận[1], Nguyễn Thúy Nga[1], Trần Đình Toàn Anh[1]

[1]Trường Đại học Công Thương TP. Hồ Chí Minh, 140 Lê Trọng Tấn, phường Tây Thạnh, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam
[2]Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh, 12 Nguyễn Văn Bảo, phường Hạnh Thông, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày nhận bài 14/4/2025; ngày chuyển phản biện 15/4/2025; ngày nhận phản biện 28/4/2025; ngày chấp nhận đăng 5/5/2025

Tóm tắt:

Cá dứa (*Pangasius krempfi)* là loài thủy sản có giá trị cao, nhưng các phương pháp sấy truyền thống như phơi nắng và sấy lò thông thường có một số hạn chế, bao gồm thời gian sấy kéo dài, chất lượng sản phẩm không đồng đều và kiểm soát quy trình hạn chế. Nghiên cứu này nhằm tối ưu hóa quá trình sấy cá dứa bằng công nghệ sấy kết hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại. Thí nghiệm được thiết kế theo phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) với bốn yếu tố khảo sát: nhiệt độ sấy (40-60°C), vận tốc gió (1-3 m/s), chiều dày nguyên liệu (1-2 cm) và nồng độ dung dịch sorbitol (5-25%). Các chỉ tiêu đánh giá gồm: thời gian sấy, tỷ lệ hoàn nguyên, điểm cảm quan và hoạt độ nước. Dữ liệu được xử lý bằng phương pháp hồi quy bậc hai và phân tích phương sai (ANOVA). Kết quả cho thấy, nhiệt độ sấy và nồng độ sorbitol có ảnh hưởng đáng kể đến các chỉ tiêu chất lượng sản phẩm (p<0,01). Điều kiện tối ưu gồm: nhiệt độ 60°C, vận tốc gió 1,4 m/s, chiều dày nguyên liệu 1,0 cm, nồng độ sorbitol 5%, giúp đạt thời gian sấy 5,2 giờ, tỷ lệ hoàn nguyên 63%, cảm quan 18,34/20 và hoạt độ nước 0,57. Kết quả góp phần hoàn thiện cơ sở khoa học cho ứng dụng công nghệ sấy kết hợp trong chế biến cá dứa và các sản phẩm thủy sản tương tự.

Từ khóa: **bức xạ hồng ngoại, cá dứa (*Pangasius krempfi*), chỉ tiêu chất lượng sản phẩm, sấy bơm nhiệt, tối ưu hóa.**

Chỉ số phân loại: **2.10, 4.5**

Optimisation of infrared radiation-assisted heat pump drying for *Pangasius krempfi*

Thai Ha Hoang[1*], Xuan Cuong Dang[1], Quang Vinh Vu[2], Tuan Kiet Tran[2], Thanh Dat Le[1], Hoang Thai Doan[1], Duy Thuan Tran[1], Thuy Nga Nguyen[1], Dinh Toan Anh Tran[1]

[1]Ho Chi Minh City University of Industry and Trade, 140 Le Trong Tan Street, Tay Thanh Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam
[2]Industrial University of Ho Chi Minh City, 12 Nguyen Van Bao Street, Hanh Thong Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam

Received 14 April 2025; revised 28 April 2025; accepted 5 May 2025

Abstract:

***Pangasius krempfi* is a high-value aquatic species; however, traditional drying methods such as sun drying and conventional kiln drying present several limitations, including extended drying time, inconsistent product quality, and limited process control. This study aimed to optimise the drying process of *P. krempfi* using a hybrid drying technology combining a heat pump and infrared radiation. The experimental design followed response surface methodology (RSM) with four independent variables: drying temperature (40-60°C), air velocity (1-3 m/s), material thickness (1-2 cm), and sorbitol concentration (5-25%). Evaluation criteria included drying time, rehydration rate, sensory score, and water activity. Experimental data were analysed using second-order regression and analysis of variance (ANOVA). The results indicate that drying temperature and sorbitol concentration had a significant impact on product quality parameters (p<0.01). The optimal conditions were determined as a drying temperature of 60°C, an air velocity of 1.4 m/s, a sample thickness of 1.0 cm, and a sorbitol concentration of 5%, yielding a drying time of 5.2 h, a rehydration rate of 63%, a sensory score of 18.34/20, and a water activity of 0.57. These findings contribute to strengthening the scientific basis for the adoption of combined drying technologies in the processing of *P. krempfi* and similar aquatic products.**

Keywords: **heat pump drying, infrared radiation, optimisation, *Pangasius krempfi*, product quality parameters.**

Classification numbers: **2.10, 4.5**

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

1. Đặt vấn đề

Cá dứa, một loài cá đồng có kích thước trung bình, nổi bật với tốc độ sinh trưởng nhanh và giá trị kinh tế cao nhờ vào thịt cá tươi ngon và dễ chế biến. Cá dứa trưởng thành có thể đạt kích thước 38-45 cm sau 2 năm nuôi và có thể sống đến 4-5 năm hoặc lâu hơn trong môi trường tự nhiên. Hiện nay, sản phẩm cá dứa chủ yếu được chế biến dưới dạng tươi (đông lạnh, ướp muối) và khô, trong đó cá dứa khô ngày càng được ưa chuộng vì khả năng bảo quản lâu dài và tính linh hoạt trong chế biến thành các món ăn hấp dẫn.

Tuy nhiên, việc sấy khô cá dứa hiện nay vẫn chủ yếu áp dụng các phương pháp truyền thống như phơi nắng hoặc sấy bằng lò thủ công. Những phương pháp này có nhiều nhược điểm như: phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, chất lượng sản phẩm không đồng đều, tốn diện tích và công lao động phụ, đồng thời khó có thể cơ giới hóa hay tự động hóa quy trình. Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng, việc sử dụng các công nghệ sấy hiện đại như sấy lạnh kết hợp với bức xạ hồng ngoại và bơm nhiệt có thể khắc phục những nhược điểm này và mang lại nhiều lợi ích vượt trội trong chế biến thực phẩm thủy sản [1-3]. Trong khi phương pháp sấy truyền thống như phơi nắng hoặc sấy bằng lò thủ công thường mất nhiều thời gian và có chất lượng sản phẩm không đồng đều [4], phương pháp sấy lạnh kết hợp bức xạ hồng ngoại giúp giảm thời gian sấy và đảm bảo chất lượng sản phẩm được bảo toàn. Sấy bằng bức xạ hồng ngoại đặc biệt hữu ích trong việc gia nhiệt nhanh chóng mà không làm giảm chất lượng của các thành phần hóa học và dinh dưỡng trong cá dứa. Hơn nữa, khi kết hợp với bơm nhiệt, phương pháp này giúp duy trì nhiệt độ ổn định, giảm thiểu sự biến tính của nguyên liệu, đồng thời tiết kiệm năng lượng và tăng hiệu quả sản xuất [5-7]. Trong chế biến thủy sản, đặc biệt với các loài cá có hàm lượng đạm cao như cá dứa, công đoạn sấy đóng vai trò quan trọng trong việc kéo dài thời hạn bảo quản và nâng cao giá trị sử dụng. Tuy nhiên, các phương pháp sấy truyền thống như phơi nắng hoặc sấy nhiệt cưỡng bức thường kéo dài 10-18 giờ, gây tổn thất cảm quan, giảm khả năng hoàn nguyên và tiêu tốn nhiều năng lượng. Điều này đặt ra nhu cầu cấp thiết về các giải pháp sấy tiên tiến, có khả năng rút ngắn thời gian xử lý, tiết kiệm năng lượng và duy trì chất lượng sản phẩm sau sấy.

Trong bối cảnh đó, công nghệ sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại đang nhận được nhiều sự quan tâm nhờ khả năng kiểm soát nhiệt độ ổn định, giảm tổn hao nhiệt và dễ triển khai ở quy mô vừa và nhỏ. Việc nghiên cứu và ứng dụng công nghệ này cho cá dứa - một loài cá có giá trị kinh tế cao nhưng chưa được nghiên cứu chuyên sâu về tối ưu quy trình sấy là hết sức cần thiết. Khác với các nghiên cứu trước đây, chỉ chủ yếu tập trung vào các đối tượng như cá cơm hoặc mực, nghiên cứu này là công bố đầu tiên áp dụng đồng thời công nghệ sấy bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại cho cá dứa. Kết quả không chỉ chứng minh hiệu quả công nghệ mới trong việc giảm thời gian sấy hơn 50%, mà còn đảm bảo chất lượng cảm quan và an toàn thực phẩm, đáp ứng yêu cầu của thị trường hiện đại.

Về mặt học thuật, nghiên cứu đóng góp bằng cách xây dựng mô hình tối ưu hóa đa mục tiêu thông qua phương pháp RSM kết hợp thiết kế trung tâm xoay (CCD), phân tích tương quan, hồi quy và kiểm định thống kê. Những kết quả đạt được tạo tiền đề khoa học vững chắc cho việc mở rộng ứng dụng công nghệ sấy kết hợp trong ngành thủy sản, đồng thời làm rõ định hướng chuyển giao công nghệ cho các doanh nghiệp chế biến trong nước, đặc biệt trong bối cảnh yêu cầu chất lượng cảm quan và vệ sinh an toàn thực phẩm ngày càng tăng.

2. Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu

Cá dứa tươi sử dụng trong nghiên cứu có khối lượng 300-500 g/con, được thu mua khi còn sống từ huyện Cần Giờ, TP. Hồ Chí Minh, với độ ẩm ban đầu 75,30%. Cá được sơ chế cùng quy trình và thực hiện trong cùng ngày nhằm đảm bảo tính đồng nhất về nguyên liệu và giảm sai số ngẫu nhiên giữa các nghiệm thức. Cá được gây mê nhẹ bằng cách ngâm đá, sau đó bảo quản bằng đá lạnh trong thùng xốp cách nhiệt và chuyển về phòng thí nghiệm Trường Đại học Công Thương TP. Hồ Chí Minh. Tại phòng thí nghiệm, cá được rửa bằng dung dịch nước muối 1% trong 5 phút để loại bỏ tạp chất, sau đó ngâm trong dung dịch sorbitol (5-25%) tùy theo từng thí nghiệm trong 30 phút nhằm tăng khả năng tái hydrat hóa (hoàn nguyên) và giữ màu tự nhiên. Tiếp theo, cá được chần nhanh trong nước sôi 90°C trong 15 giây, để ráo, rồi sấy bằng thiết bị bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại đến khi đạt độ ẩm 22±0,3%. Quá trình sấy được theo dõi liên tục và kết thúc khi khối lượng mẫu ổn định trong 2 lần cân liên tiếp cách nhau 30 phút, tương ứng độ ẩm xác định đạt 22±0,3% theo phương pháp sấy đến khối lượng không đổi ở 105°C. Trong quá trình xử lý sơ bộ, cá dứa được rửa bằng dung dịch nước muối 1% trong 5 phút theo tỷ lệ 1:5 (w/v) để loại bỏ nhớt và vi sinh vật bám ngoài, phù hợp với quy trình xử lý cá biển đã được công bố [2, 5].

Sau đó, cá được ngâm trong dung dịch sorbitol 2-12% với tỷ lệ nguyên liệu:dung dịch 1:4 (w/v) trong 30 phút, đảm bảo ngập mẫu hoàn toàn khi sử dụng khay chứa phù hợp. Tiếp theo, mẫu được chần nhanh ở 90°C trong 15 giây, với tỷ lệ nước chần 1:4 (w/w), nhằm bất hoạt enzyme, ổn định màu và chuẩn hóa điều kiện trước sấy. Các thông số này được xác lập từ tài liệu tham khảo và điều chỉnh qua khảo sát sơ bộ để phù hợp với đặc điểm mô cơ mềm và hàm lượng nước cao của cá dứa [2, 3].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm

Thí nghiệm được thiết kế theo phương pháp RSM, cụ thể là sử dụng mô hình CCD nhằm đánh giá ảnh hưởng đồng thời của bốn yếu tố: nồng độ sorbitol (Z_1, %), nhiệt độ sấy (Z_2, °C), vận tốc gió (Z_3, m/s) và chiều dày nguyên liệu (Z_4, cm) đến thời gian sấy (Y, h) và các chỉ tiêu chất lượng sản phẩm. Trong đó, Y_1: Thời gian sấy (giờ) - phản ánh hiệu suất quá trình sấy, Y_2: Tỷ lệ hoàn nguyên (%) - khả năng hút nước trở lại của sản phẩm sau sấy, Y_3: Điểm chất lượng cảm quan (thang điểm 20) - đánh giá cảm quan tổng hợp (màu, mùi, vị, trạng thái), Y_4: Hoạt độ nước (a_w) - chỉ số liên quan đến khả năng bảo quản và ổn định vi sinh. Mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng mô hình toán học mô tả mối quan hệ giữa các yếu tố đầu vào và các biến đầu ra, từ đó tối ưu hóa điều kiện sấy để đạt được chất lượng sản phẩm cao nhất trong thời gian sấy ngắn nhất. Số lượng thí nghiệm được xác định dựa trên mô hình CCD, bao gồm các điểm tâm, điểm góc và điểm sao, với tổng số 20 thí nghiệm. Dữ liệu được mã hóa theo hệ tọa độ không thứ nguyên để chuẩn hóa giá trị thực nghiệm, giúp xây dựng mô hình hồi quy bậc hai (bảng 1).

Bảng 1. Thiết kế thí nghiệm công đoạn sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại cá dứa.

TN	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	X_1	X_2	X_3	X_4	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{23}	X_{24}	X_{34}	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	50,0	2,0	1,5	15,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
2	40,0	1,0	2,0	25,0	-1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1				
3	60,0	1,0	1,0	25,0	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	-1				
4	50,0	2,0	1,5	15,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
5	60,0	3,0	1,0	25,0	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1				
6	60,0	3,0	2,0	25,0	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1				
7	40,0	3,0	1,0	25,0	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1				
8	40,0	3,0	1,0	5,0	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1				
9	60,0	1,0	2,0	5,0	+1	-1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1				
10	60,0	3,0	2,0	5,0	+1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1				
11	40,0	1,0	2,0	5,0	-1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1				
12	50,0	2,0	1,5	15,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
13	60,0	3,0	1,0	5,0	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	-1	+1				
14	40,0	1,0	1,0	25,0	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1				
15	50,0	2,0	1,5	15,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
16	40,0	1,0	1,0	5,0	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1				
17	60,0	1,0	2,0	25,0	+1	-1	+1	+1	-1	+1	+1	-1	-1	+1				
18	40,0	3,0	2,0	25,0	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1				
19	40,0	3,0	2,0	5,0	-1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	-1	-1				
20	60,0	1,0	1,0	5,0	+1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1				

Z_1: nhiệt độ sấy (°C); Z_2: vận tốc gió (m/s); Z_3: chiều dày nguyên liệu sấy (cm); Z_4: nồng độ sorbitol ngâm nguyên liệu (%); Y_1: thời gian sấy khô sản phẩm (giờ); Y_2: tỷ lệ hoàn nguyên của sản phẩm (%); Y_3: tổng điểm chất lượng cảm quan (điểm); Y_4: hoạt độ nước sản phẩm.

Các yếu tố đầu vào được mã hóa theo hệ tọa độ không thứ nguyên nhằm chuẩn hóa giá trị thực nghiệm, giúp so sánh và xây dựng mô hình hồi quy bậc hai. Công thức mã hóa được áp dụng như sau:

$$X_i = \frac{Z_i - Z_0}{\Delta Z} \quad (1)$$

trong đó: X_i là giá trị mã hóa của biến; Z_i là giá trị thực nghiệm; Z_0 là giá trị trung tâm; ΔZ là khoảng biến thiên của biến đó. Mã hóa theo công thức này giúp mô hình hồi quy đạt tính đồng nhất về đơn vị và thuận lợi trong xử lý thống kê.

Mô hình hồi quy bậc hai có dạng tổng quát:

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (2)$$

trong đó: X_i là các yếu tố đầu vào đã mã hóa; β là các hệ số hồi quy; ε là sai số ngẫu nhiên.

Mô hình này được kiểm tra độ phù hợp thông qua ANOVA, với các tiêu chí: (1) Hệ số xác định, (R^2): Kiểm tra mức độ phù hợp của mô hình; (2) Giá trị p-value: Nếu p<0,05, yếu tố có ảnh hưởng đáng kể; (3) Kiểm tra Lack of Fit: Nếu p>0,05, mô hình được xem là phù hợp; (4) Đánh giá tương tác các yếu tố qua biểu đồ Contour Plot và Surface Plot.

Tối ưu hóa được thực hiện bằng hàm mong muốn (Desirability function) trong Statgraphics Centurion XVI, nhằm tìm điều kiện tối ưu cho thời gian sấy ngắn nhất, tỷ lệ hoàn nguyên cao nhất, điểm chất lượng cảm quan cao nhất và hoạt độ nước thấp nhất. Tối ưu hóa không được thực hiện riêng lẻ từng mục tiêu mà sử dụng hàm mong muốn tổng hợp, kết hợp đồng thời bốn mục tiêu đầu ra. Mỗi biến đầu ra Y_i được chuyển thành một hàm con mong muốn d_i trong khoảng [0,1], phản ánh mức độ hài lòng theo hướng tối ưu: d_1 là tối thiểu hóa Y_1 (thời gian sấy), d_2 là tối đa hóa Y_2 (tỷ lệ hoàn nguyên), d_3 là tối đa hóa Y_3 (cảm quan), d_4 là tối thiểu hóa Y_4 (hoạt độ nước). Hàm tổng hợp D được tính theo công thức:

$$D=(d_1 \times d_2 \times d_3 \times d_4)^{1/4} \quad (3)$$

Giá trị D càng gần 1 cho thấy mức độ tối ưu tổng thể càng cao. Phần mềm Statgraphics Centurion XVI (phiên bản 16.1.11 - StatPoint Technologies, Inc., Hoa Kỳ) được sử dụng để xác định tổ hợp điều kiện đầu vào tương ứng với giá trị D cực đại.

Tỷ lệ hoàn nguyên (rehydration ratio) được tính theo công thức:

$$\text{Tỷ lệ hoàn nguyên (\%)} = \left(\frac{m_2 - m_1}{m_1}\right) \times 100 \quad (4)$$

trong đó: m_1 là khối lượng mẫu sau sấy; m_2 là khối lượng sau khi ngâm trong nước cất ở nhiệt độ phòng trong 10 phút và để ráo nước. Chỉ số này phản ánh khả năng hút ẩm trở lại của sản phẩm sấy, là một tiêu chí quan trọng trong đánh giá chất lượng kết cấu và khả năng phục hồi hình dạng thực phẩm khô.

Dữ liệu thí nghiệm cho thấy, nhiệt độ sấy (Z_1) dao động từ 40 đến 60°C với giá trị trung bình 50°C, trong khi vận tốc gió (Z_2) thay đổi từ 1,0 đến 3,0 m/s với trung bình 2,0 m/s. Chiều dày nguyên liệu (Z_3) dao động từ 1,0 đến 2,0 cm, còn nồng độ sorbitol (Z_4) có khoảng giá trị từ 5 đến 25%. Mỗi tổ hợp thí nghiệm được thực hiện với ba lần lặp lại độc lập (n=3) (bảng 1). Hình ảnh trong bài chỉ mang tính minh họa một phần quy trình, không đại diện cho toàn bộ số lượng mẫu thực nghiệm.

2.2.2. Phương pháp xác định các thông số công nghệ

Nhiệt độ sấy đo bằng thiết bị SGK-MF-904 (Hồng Kông, sai số ±0,5°C). Vận tốc gió đo bằng Testo 405 - V1 (Đức). Nồng độ sorbitol sử dụng dung dịch tinh khiết từ Merck (Đức). Độ ẩm vật liệu sấy xác định bằng phương pháp sấy đến khối lượng không đổi ở 105°C. Hoạt độ nước (a_w) được xác định bằng máy đo hoạt độ nước LabMaster-aw (Novasina, Thụy Sỹ) theo phương pháp điện trở/điện dung ở nhiệt độ phòng (25±1°C). Mỗi mẫu được đo 3 lần và lấy trung bình. Tỷ lệ hoàn nguyên (Hw, %) xác định bằng cách ngâm mẫu sấy khô trong nước cất, cân khối lượng trước (m_1) và sau ngâm (m_2) để tính toán.

$$H_w = \frac{m_2 - m_1}{m_1} \ (\%) \quad (5)$$

Chất lượng cảm quan (Q, điểm) đánh giá theo TCVN 3215:1979 trên thang điểm 20. Xác định vi sinh vật theo các tiêu chuẩn TCVN: tổng số vi sinh vật hiếu khí (5367:1991), *E. coli* (7924-2008), *Coliforms* (4882:2007), *Salmonella* (4829:2005), *Vibrio cholerae* (7905-1:2008), *Staphylococcus aureus* (4830-1:2005).

2.2.3. Phương pháp xử lý số liệu

Mỗi nghiệm thức được lặp lại ba lần. Dữ liệu được phân tích bằng phương pháp thống kê, kiểm định ANOVA, mô hình hồi quy bậc hai và tối ưu hóa bằng phần mềm Statgraphics Centurion XVI, phiên bản 16.1.11 (StatPoint

Technologies, Inc., Hoa Kỳ) và Excel. Biểu đồ Contour Plot và Surface Plot được sử dụng để trực quan hóa xu hướng dữ liệu và tìm điểm tối ưu nhất. Vẽ đồ thị bằng Python. Mặc dù nghiên cứu chưa triển khai phân tích độ nhạy riêng biệt cho từng biến, nhưng độ tin cậy của mô hình được đánh giá gián tiếp thông qua ANOVA. Các khoảng tin cậy 95% và sai số chuẩn của hệ số hồi quy đều được kiểm tra trong mô hình, đảm bảo độ chính xác khi dự đoán và xác định điểm tối ưu.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Tối ưu thực nghiệm sấy cá dứa

3.1.1. Phân tích thống kê, tương quan và ANOVA

Kết quả tối ưu hóa thực nghiệm sấy cá dứa được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Kết quả thực nghiệm theo ma trận thí nghiệm công đoạn sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại cá dứa.

TN	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	50,0	2,0	1,5	15,0	6,2	60	18	0,71
2	40,0	1,0	2,0	25,0	7,8	56,5	16,88	0,88
3	60,0	1,0	1,0	25,0	5,5	61,8	18,08	0,63
4	50,0	2,0	1,5	15,0	6,2	60	18	0,71
5	60,0	3,0	1,0	25,0	5,3	62,2	18,28	0,61
6	60,0	3,0	2,0	25,0	5,8	62	18,15	0,71
7	40,0	3,0	1,0	25,0	6,8	57,9	17,68	0,87
8	40,0	3,0	1,0	5,0	5,5	58,5	17,88	0,65
9	60,0	1,0	2,0	5,0	6,4	62,4	18,18	0,67
10	60,0	3,0	2,0	5,0	6,2	62,3	18,16	0,68
11	40,0	1,0	2,0	5,0	6,8	57,9	17,82	0,85
12	50,0	2,0	1,5	15,0	6,2	60	18	0,69
13	60,0	3,0	1,0	5,0	5,2	62,8	18,28	0,51
14	40,0	1,0	1,0	25,0	7,6	57,1	16,98	0,86
15	50,0	2,0	1,5	15,0	6,2	60	18	0,71
16	40,0	1,0	1,0	5,0	6,6	58,8	17,97	0,78
17	60,0	1,0	2,0	25,0	6,1	61,5	18,05	0,66
18	40,0	3,0	2,0	25,0	6,5	57,5	17,32	0,84
19	40,0	3,0	2,0	5,0	5,3	58	17,78	0,73
20	60,0	1,0	1,0	5,0	5,0	63	18,38	0,56

Z_1: nhiệt độ sấy (°C); Z_2: vận tốc gió (m/s); Z_3: chiều dày nguyên liệu sấy (cm); Z_4: nồng độ sorbitol ngâm nguyên liệu (%); Y_1: thời gian sấy khô sản phẩm (giờ); Y_2: tỷ lệ hoàn nguyên của sản phẩm (%); Y_3: tổng điểm chất lượng cảm quan (điểm); Y_4: hoạt độ nước sản phẩm.

Về các biến đầu ra, thời gian sấy trung bình là 6,16 giờ, tỷ lệ hoàn nguyên trung bình đạt 60,01%, chất lượng cảm quan đạt mức 17,89 điểm và hoạt độ nước trung bình là 0,715 (bảng 2). Nhiệt độ sấy (Z_1) có mối tương quan mạnh với tỷ lệ hoàn nguyên (Y_2, R=0,967) và chất lượng cảm quan (Y_3, R=0,743), điều này cho thấy nhiệt độ có ảnh hưởng quan trọng đến khả năng tái hydrat hóa (hoàn nguyên) và đặc tính cảm quan của sản phẩm. Hoạt độ nước (Y_4) có tương quan nghịch với nhiệt độ sấy (Z_1, R=-0,787), nghĩa là khi nhiệt độ tăng, hoạt độ nước giảm, giúp bảo quản sản phẩm tốt hơn. Trong khi đó, vận tốc gió (Z_2) và chiều dày nguyên liệu (Z_3) có tương quan yếu với các biến đầu ra, cho thấy chúng có ảnh hưởng nhưng không đáng kể. Phân tích phương sai cho thấy, thời gian sấy (Y_1) chịu ảnh hưởng mạnh nhất từ nhiệt độ sấy (F=14,02, p=0,002), tốc độ gió và nồng độ sorbitol cũng có ảnh hưởng đáng kể ($p<0,05$), tỷ lệ hoàn nguyên (Y_2) chịu ảnh hưởng rất mạnh từ nhiệt độ sấy (F=12,10, $p\approx0$), trong khi nồng độ sorbitol cũng có tác động đáng kể (F=48,94, $p<0,0001$), chất lượng cảm quan (Y_3) bị ảnh hưởng đáng kể bởi nhiệt độ sấy (F=40,00, $p<0,001$) và nồng độ sorbitol (F=13,32, p=0,003), hoạt độ nước (Y_4) phụ thuộc chủ yếu vào nhiệt độ sấy (F=65,39, $p\approx0$), với một mức ảnh hưởng đáng kể từ chiều dày nguyên liệu và nồng độ sorbitol.

3.1.2. Phân tích hồi quy, tối ưu hóa và độ chính xác của mô hình

Từ dữ liệu thực nghiệm, các phương trình hồi quy bậc hai được xây dựng để mô tả ảnh hưởng của các biến đầu vào (X_1-X_4) và các tương tác đến các biến đầu ra (Y_1-Y_4). Các mô hình hồi quy cho độ phù hợp từ trung bình đến cao (R^2 dao động 0,683-0,988), trong đó mô hình dự đoán tỷ lệ hoàn nguyên (Y_2) có độ phù hợp rất cao. ANOVA cho bốn phương trình hồi quy bậc hai mô tả ảnh hưởng của các yếu tố đến thời gian sấy (Y_1), tỷ lệ hoàn nguyên (Y_2), cảm quan (Y_3) và hoạt độ nước (Y_4) được trình bày trong bảng 2. Kết quả cho thấy, các yếu tố X_1 (nhiệt độ sấy) và X_4 (nồng độ sorbitol) có ảnh hưởng đáng kể đến Y_2 và Y_3 với $p<0,01$. X_1 ảnh hưởng rất mạnh đến Y_2 ($p=2,36\times10^{-9}$), khẳng định vai trò quyết định của nhiệt độ đối với chất lượng phục hồi sau sấy. Yếu tố tương tác $X_1\times X_2$ cũng có ảnh hưởng đáng kể đến cảm quan (p=0,0247). Các giá trị p nhỏ cho thấy, các mô hình xây dựng là có ý nghĩa thống kê và phù hợp với dữ liệu thực nghiệm. Phân tích mối tương quan giữa các biến và hàm mục tiêu cho kết quả như sau:

Thời gian sấy khô sản phẩm (giờ):

$$Y_1 = 10,99 - 0,123X_1 - 1,37X_2 - 1,21X_3 + 0,197X_4 + 0,026X_1X_2 + 0,045X_1X_3 - 0,0029X_1X_4 - 0,175X_2X_3 - 0,018X_3X_4 \quad (6)$$

Khả năng hoàn nguyên của sản phẩm (%):

$$Y_2 = 60,01 + 4,475X_1 + 0,275X_2 - 0,5X_3 - 0,9X_4 - 0,125X_1X_2 + 0,1X_1X_3 + 0,15X_1X_4 + 0,1X_2X_3 + 0,4X_2X_4 + 0,125X_3X_4 \quad (7)$$

Chất lượng cảm quan (điểm):

$$Y_3 = 17,00 + 0,035X_1 + 0,55X_2 - 0,376X_3 - 0,107X_4 - 0,011X_1X_2 + 0,001X_1X_4 + 0,009X_2X_4 + 0,013X_3X_4 \quad (8)$$

Hoạt độ nước sản phẩm:

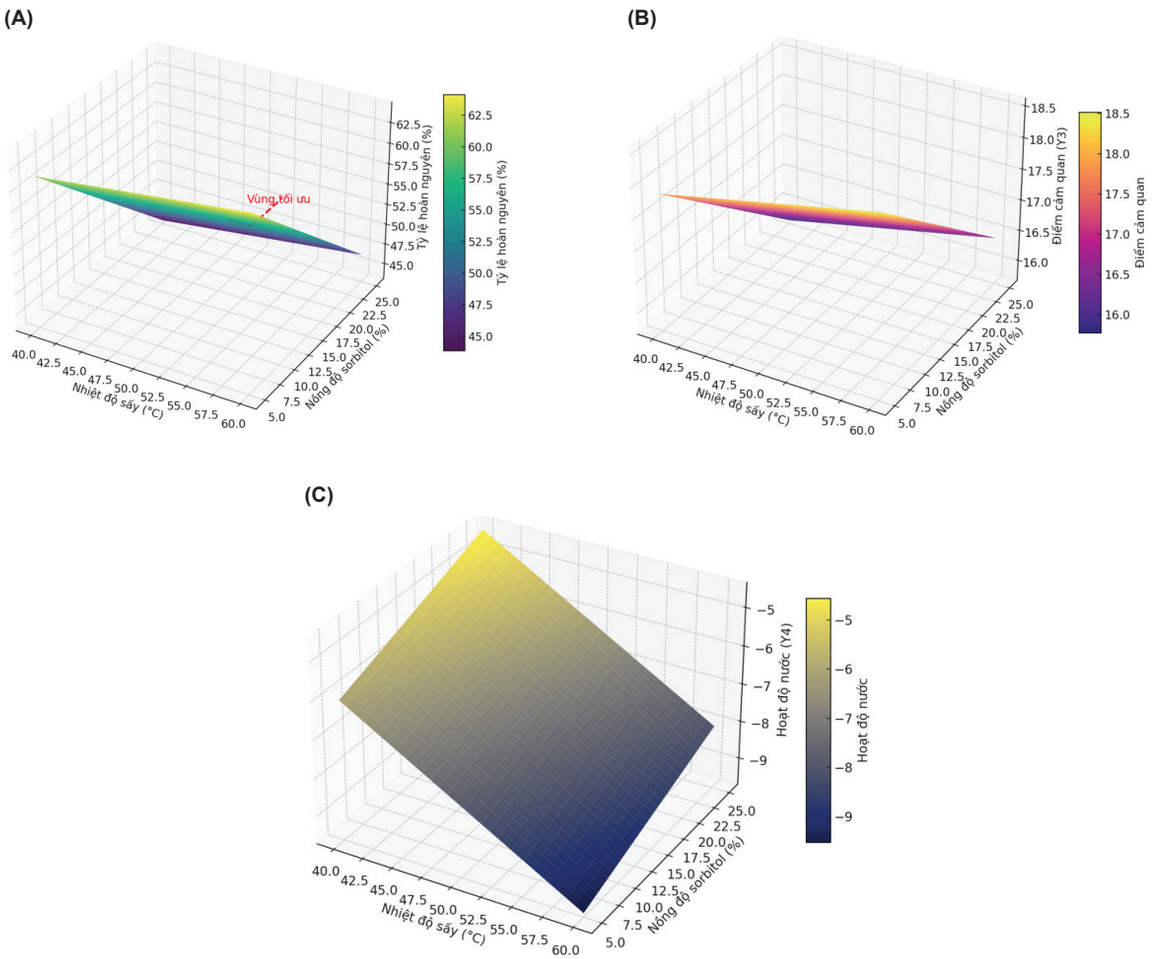
$$Y_4 = 0,7155 - 0,17875X_1 - 0,03625X_2 + 0,06875X_3 + 0,07875X_4 + 0,03375X_1X_2 - 0,03375X_1X_3 - 0,03125X_1X_4 + 0,03625X_2X_4 - 0,03875X_3X_4 \quad (9)$$

Phương trình (6) cho thấy, nhiệt độ sấy có hệ số âm (-0,123) dẫn đến khi nhiệt độ tăng, thời gian sấy giảm nhẹ. Tốc độ gió và chiều dày nguyên liệu có ảnh hưởng mạnh (-1,37 và -1,21), nên khi tốc độ gió tăng hoặc chiều dày giảm, thời gian sấy ngắn hơn. Nồng độ sorbitol có hệ số dương (+0,197) nên khi nồng độ sorbitol tăng, thời gian sấy dài hơn. Các tương tác X_1X_2, X_1X_3, X_2X_3 có ảnh hưởng nhỏ, nên sự kết hợp của các yếu tố có thể tối ưu hóa hoặc làm chậm quá trình sấy. Phương trình (7), thấy nhiệt độ sấy có hệ số dương lớn (+4,475), nên nhiệt độ cao giúp tăng khả năng hoàn nguyên. Chiều dày nguyên liệu và nồng độ sorbitol có hệ số âm (-0,5; -0,9), nên khi nguyên liệu dày hoặc nồng độ sorbitol cao, tỷ lệ hoàn nguyên giảm. Tốc độ gió có ảnh hưởng rất nhỏ (+0,275) nên ảnh hưởng không đáng kể đến khả năng hoàn nguyên. Các tương tác như X_1X_4 (+0,15) và X_2X_4 (+0,4) có ý nghĩa, do vậy sự kết hợp của nhiệt độ, tốc độ gió và sorbitol ảnh hưởng đến tỷ lệ hoàn nguyên. Phân tích phương trình (8) thấy, tốc độ gió có hệ số dương lớn (+0,55), do đó tốc độ gió cao giúp sản phẩm có chất lượng cảm quan tốt hơn. Chiều dày nguyên liệu và nồng độ sorbitol có hệ số âm (-0,376; -0,107), dẫn đến nguyên liệu dày và nồng độ sorbitol cao có thể làm giảm chất lượng cảm quan. Nhiệt độ sấy có ảnh hưởng rất nhỏ (+0,035), nên nhiệt độ không ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng cảm quan. Tương tác X_3X_4 (+0,013) có ảnh hưởng, nên cần tối ưu hóa chiều dày nguyên liệu và nồng độ sorbitol để đạt chất lượng cảm quan tốt nhất. Phân tích phương trình (9) thấy, nhiệt độ sấy có hệ số âm lớn (-0,17875), nên nhiệt độ cao làm giảm hoạt độ nước, giúp bảo quản tốt hơn. Chiều dày nguyên liệu và nồng độ sorbitol có hệ số dương (+0,06875, +0,07875), do đó nguyên liệu dày và nhiều sorbitol giữ nước nhiều hơn. Tốc độ gió có hệ số nhỏ (-0,03625), nên tốc độ gió cao giúp giảm hoạt độ nước nhẹ. Tương tác X_1X_2 và X_1X_3 có ảnh hưởng nhỏ, do vậy ảnh hưởng không đáng kể đến hoạt độ nước.

Bảng 3. Giá trị p từ phân tích phương sai cho các yếu tố và tương tác trong mô hình hồi quy bậc hai.

Yếu tố	Y_1 (Thời gian sấy)	Y_2 (Tỷ lệ hoàn nguyên)	Y_3 (Cảm quan)	Y_4 (Hoạt độ nước)
X_1	0,1312	2,36E-09	0,00032	0,00082
X_2	0,1022	0,3266	0,3836	0,1940
X_3	0,6033	0,1377	0,9411	0,1713
X_4	0,1807	0,00527	0,00592	0,1399
$X_1 \times X_2$	0,1441	0,0816	0,02470	0,1391

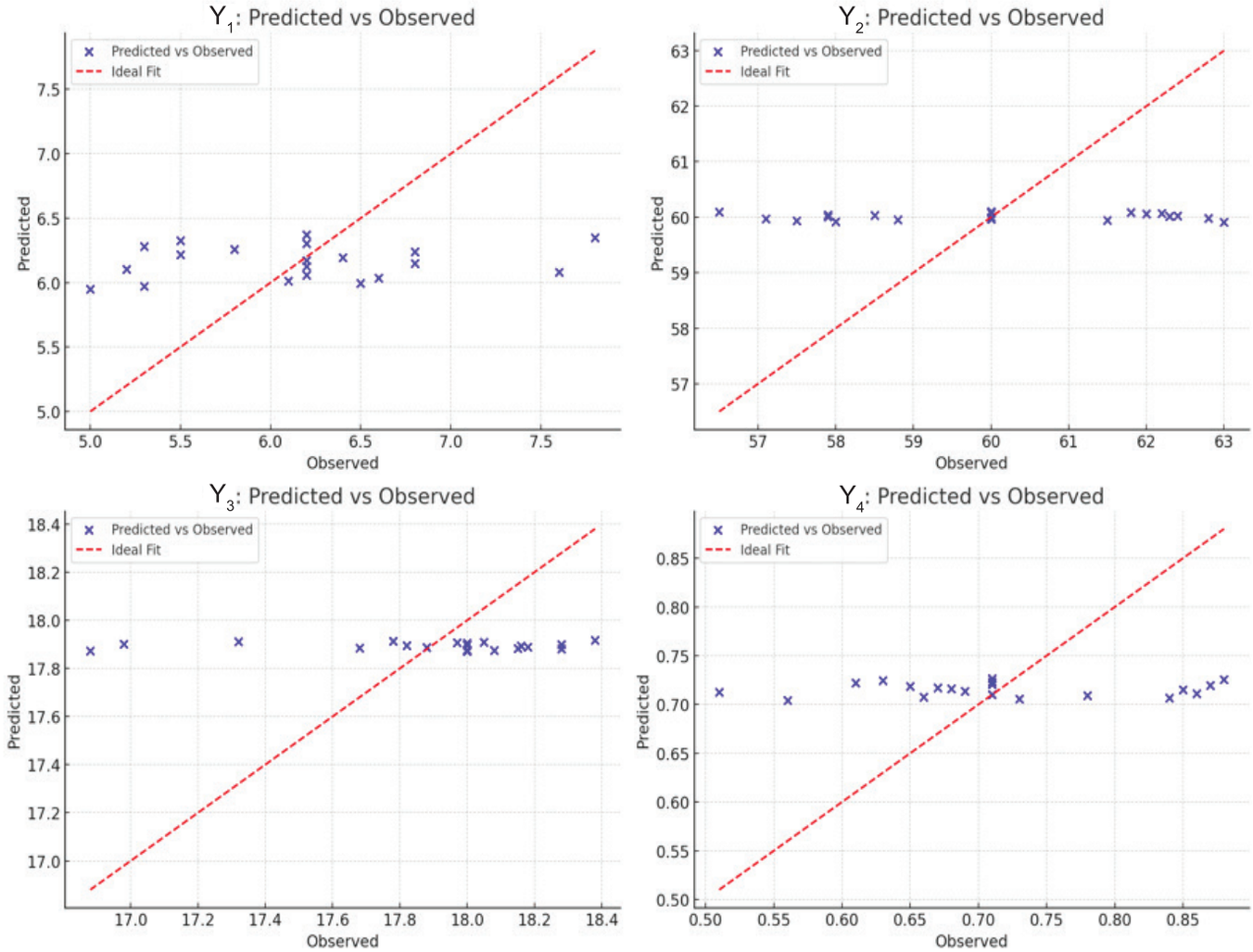
Kết quả bảng 3 cho thấy, nhiệt độ sấy (X_1) là yếu tố ảnh hưởng chủ đạo đến cả bốn chỉ tiêu đầu ra, đặc biệt đối với tỷ lệ hoàn nguyên và hoạt độ nước. Trong khi đó, nồng độ sorbitol (X_4) cũng góp phần đáng kể trong cải thiện chất lượng cảm quan và phục hồi độ ẩm. Một số tương tác như $X_1 \times X_2$ có ảnh hưởng đáng kể đến cảm quan, cho thấy vai trò phối hợp giữa yếu tố nhiệt và tốc độ gió cần được xem xét khi tối ưu hóa công nghệ sấy. Phân tích mối tương quan giữa các hàm mục tiêu cho thấy, tỷ lệ hoàn nguyên (Y_2) phụ thuộc vào thời gian sấy (Y_1) và hoạt độ nước (Y_4): Y_2=64,12-3,15Y_1-8,42Y_4; chất lượng cảm quan (Y_3) có quan hệ tuyến tính với thời gian sấy (Y_1) và hoạt độ nước (Y_4): Y_3=18,75-0,62Y_1-1,2Y_4; hoạt độ nước (Y_4) phụ thuộc vào thời gian sấy (Y_1): Y_4=0,85-0,05Y_1. Điều này đồng nghĩa, thời gian sấy dài hơn (Y_1 tăng) làm giảm tỷ lệ hoàn nguyên (Y_2) và điểm cảm quan (Y_3). Hoạt độ nước (Y_4) thấp có lợi cho chất lượng cảm quan (Y_3), nhưng nếu quá thấp sẽ ảnh hưởng đến tỷ lệ hoàn nguyên (Y_2), cần tối ưu Y_1 để đảm bảo Y_2 và Y_3 đạt giá trị tốt nhất, đồng thời kiểm soát Y_4 ở mức phù hợp. Ứng với các điều kiện này, chất lượng sản phẩm đạt mức tốt nhất với thời gian sấy ngắn (5,2 giờ), hoạt độ nước thấp (0,57), tỷ lệ hoàn nguyên cao (63%) và điểm cảm quan tối đa (18,34 điểm).



Hình 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy và nồng độ sorbitol đến tỷ lệ hoàn nguyên của sản phẩm cá dứa (A); điểm cảm quan (B); hoạt độ nước (C).

Phân tích độ chính xác của mô hình thấy được, R^2 của Y_1, Y_2, Y_3, và Y_4 tương ứng 0,683, 0,988, 0,801, và 0,862 với độ sai số trung bình bình phương tương ứng 0,412, 0,222, 0,176, và 0,038. Mô hình dự đoán Y_2 có độ phù hợp rất cao (R^2=0,988). Các mô hình dự đoán Y_3 và Y_4 cũng có độ chính xác tốt (R^2>0,8). Mô hình dự đoán Y_1 có độ phù hợp thấp hơn (R^2=0,683), nghĩa là còn nhiều yếu tố chưa được mô hình giải thích. Kiểm tra Lack of Fit của mô hình thấy rằng, khi kiểm tra phân phối chuẩn của phần dư (Shapiro-Wilk test) có Y_3 (p=0,007), nghĩa là phần dư không tuân theo phân phối chuẩn, có thể gây ảnh hưởng đến độ chính xác của mô hình. Y_1, Y_2, và Y_4 tương ứng 0,780, 0,935, và 0,830, nghĩa là p>0,05 (phần dư có phân phối chuẩn - tốt). Kiểm tra phương sai phần dư có thay đổi không - heteroscedasticity (Breusch-Pagan test) thấy p>0,05 (phương sai phần dư không thay đổi - tốt). Phân tích tối ưu được thực hiện bằng phương pháp chập mục tiêu, trong đó mỗi hàm mục tiêu Y_1-Y_4 được gán một mức độ mong muốn theo phạm vi lý tưởng đã xác định trước: Y_1 (thời gian sấy) càng thấp càng tốt, với mong muốn đạt giá trị 1 khi $Y_1 \leq 5,5$ và giảm về 0 khi $Y_1 \geq 7,5$, Y_2 (tỷ lệ hoàn nguyên) càng cao càng tốt, với mức mong đợi bằng 1 khi $Y_2 \geq 63\%$ và bằng 0 khi $Y_2 \leq 55\%$, Y_3 (chất lượng cảm quan) mong muốn cao nhất khi $Y_3 \geq 18$, điểm mong đợi bằng 0 nếu $Y_3 \leq 16,5$, Y_4 (hoạt độ nước): càng thấp càng tốt, mong đợi bằng 1 khi $Y_4 \leq 0,57$ và bằng 0 khi $Y_4 \geq 0,75$ (hình 1).

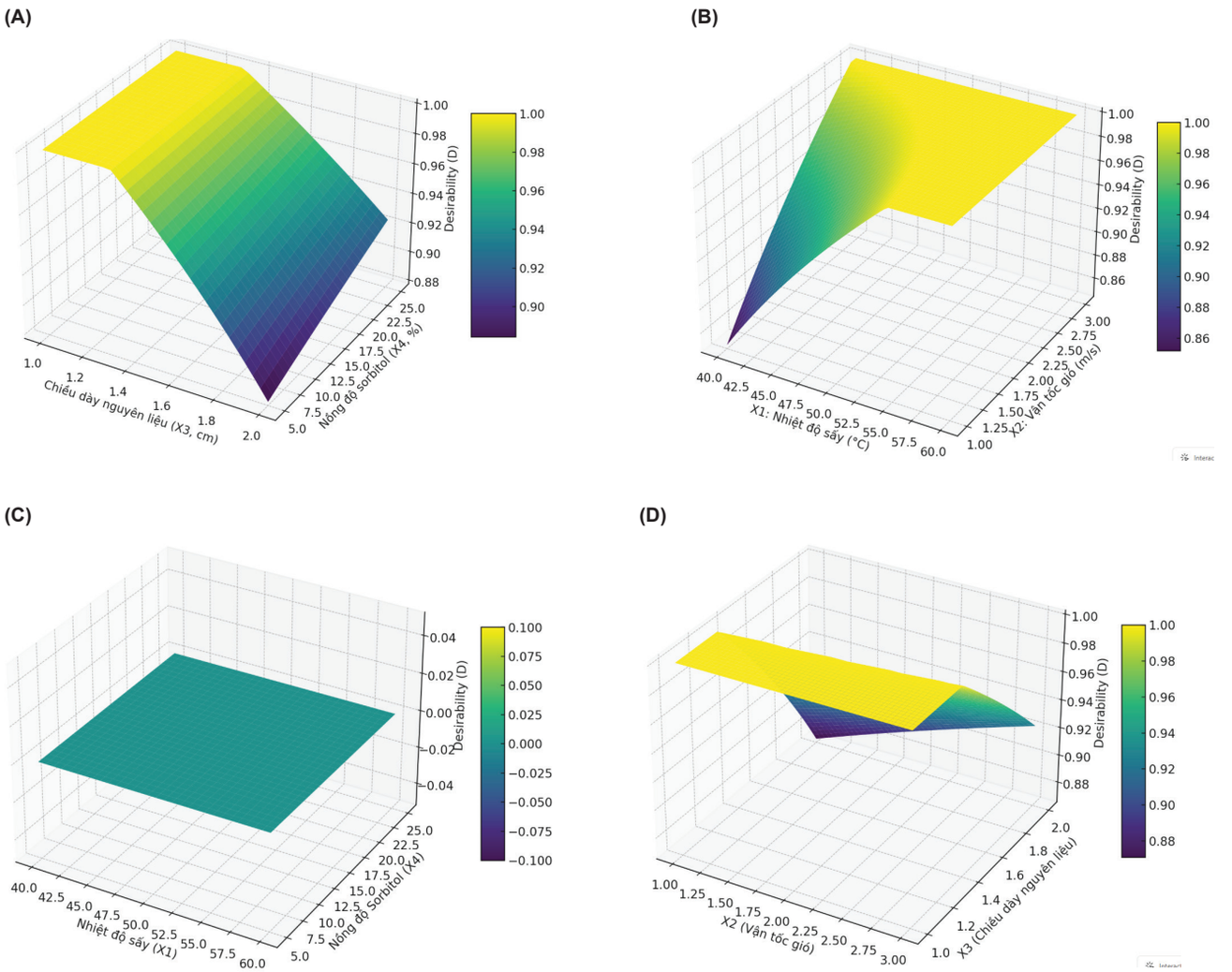
Hàm desirability tổng hợp D được tính theo công thức hình học trung bình của từng hàm mục tiêu con: $D=(d_1, d_2, d_3, d_4)^{1/4}$. Giá trị D tối đa đạt được là 0,97, tại điều kiện tối ưu gồm: nhiệt độ sấy 60°C, vận tốc gió 1,4 m/s, chiều dày nguyên liệu 1,0 cm và nồng độ sorbitol 5%, với các biến đầu ra có ràng buộc: $40 \leq X_1 \leq 60$; $1,0 \leq X_2 \leq 3,0$;



Hình 2. Biểu đồ so sánh giá trị thực nghiệm và giá trị dự đoán từ mô hình hồi quy bậc hai đối với các biến đầu ra Y_1-Y_4.

$1,0 \leq X_3 \leq 2,0$; $5 \leq X_4 \leq 25$. Giải hệ phương trình cho thấy, điều kiện tối ưu của quá trình sấy cá dứa như sau: nhiệt độ sấy (X_1) 60°C; vận tốc gió (X_2) 1,4 m/s; chiều dày nguyên liệu (X_3) 1,0 cm và nồng độ sorbitol (X_4) 5%. Ứng với các điều kiện này, chất lượng sản phẩm đạt mức tốt nhất với thời gian sấy ngắn (5,2 giờ), hoạt độ nước thấp (0,57), tỷ lệ hoàn nguyên cao (63%) và điểm cảm quan tối đa (18,34 điểm). Các điều kiện tối ưu xác định được nằm ở biên trên của X_1 (60°C) và biên dưới của X_3 (1,0 cm) và X_4 (5%). Điều này cho thấy khoảng khảo sát ban đầu của các biến này có thể chưa bao phủ toàn bộ vùng tối ưu thực sự. Tuy nhiên, việc giới hạn X_1 không vượt quá 60°C nhằm tránh biến tính protein trong cá [2, 3], trong khi mức thấp nhất của X_3 và X_4 là giới hạn an toàn để duy trì cấu trúc và cảm quan sản phẩm. Mặc dù tối ưu rơi vào biên, ANOVA, Lack of Fit đều cho thấy độ phù hợp tốt, do đó có thể tạm chấp nhận điều kiện này là điểm tối ưu cục bộ hợp lý trong khoảng khảo sát hiện tại.

So với nghiên cứu sấy cá cơm khô bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại [2], nghiên cứu này đã tối ưu hóa quá trình sấy cá dứa, giúp giảm thời gian sấy từ 11 giờ (sấy không khí nóng) xuống còn 5,2 giờ, qua đó tiết kiệm năng lượng đáng kể. So với nghiên cứu sấy cá cơm khô bằng bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại [2], sấy cá dứa cho thấy hiệu quả cải tiến: thời gian sấy rút ngắn từ 11 giờ (sấy không khí nóng) xuống còn 5,2 giờ, đồng thời duy trì tỷ lệ hoàn nguyên và cảm quan cao hơn đáng kể. Hình 2 thể hiện mối tương quan giữa giá trị dự đoán và giá trị thực nghiệm của các biến Y_1 (thời gian sấy), Y_2 (tỷ lệ hoàn nguyên), Y_3 (cảm quan) và Y_4 (hoạt độ nước). Các điểm quan sát nằm gần đường chéo lý tưởng (y=x) cho thấy, mô hình dự đoán có độ chính xác tốt, đặc biệt với Y_2 và Y_4. Điều này phù hợp với hệ số R^2 cao đã tính toán và kết quả kiểm định Lack of Fit trong phân tích ANOVA. Hình 3 thể hiện bề mặt chập đáp ứng mong đợi dưới sự tác động của các yếu tố.



Hình 3. Bề mặt chập 3D của mô hình: theo chiều dày nguyên liệu (X_3) và nồng độ sorbitol (X_4) (A); nhiệt độ sấy (X_1) và vận tốc gió (X_2) (B); nhiệt độ sấy (X_1) và nồng độ sorbitol (X_4) (C); vận tốc gió (X_2) và chiều dày nguyên liệu (X_3) (D).

3.2. So sánh chất lượng cá dứa khô sấy bằng các phương pháp khác nhau

Cá dứa sau khi sấy bằng phương pháp bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại được đánh giá chất lượng theo các tiêu chí cảm quan, vật lý, hóa học và vi sinh. Đồng thời, sản phẩm cá dứa sấy bằng không khí nóng và phơi nắng cũng được phân tích với quy trình xử lý nguyên liệu tương tự (bảng 4).

Mặc dù độ ẩm cuối của ba mẫu cá dứa đều đạt khoảng 22±0,3%, song hoạt độ nước (a_w) giữa các phương pháp sấy lại có sự khác biệt rõ rệt: 0,57 đối với phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại, 0,67 với sấy không khí nóng và 0,83 với phơi nắng. Sự khác biệt này xuất phát từ bản chất hoạt độ nước không chỉ phụ thuộc vào độ ẩm tổng, mà còn liên quan đến trạng thái liên kết của nước trong vật liệu thực phẩm. Phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại có cơ chế gia nhiệt đồng đều và ổn định, làm bay hơi nước tự do hiệu quả hơn, đồng thời hạn chế hiện tượng vỡ tế bào và giữ lại cấu trúc protein ổn định, từ đó làm tăng tỷ lệ nước liên kết và giảm lượng nước tự do - yếu tố trực tiếp ảnh hưởng đến giá trị a_w. Ngược lại, các phương pháp sấy truyền thống như phơi nắng hay sấy khí nóng không kiểm soát tốt tốc độ sấy và nhiệt độ, dễ gây hiện tượng co rút bề mặt, vỡ mô, tạo nên các túi hơi và giữ lại nước tự do cao hơn, dẫn đến hoạt độ nước tăng. Do đó, dù độ ẩm tổng gần như tương đương, nhưng sự khác biệt trong cấu trúc mô sau sấy và tỷ lệ nước tự do - nước liên kết chính là nguyên nhân giải thích cho sự khác biệt về hoạt độ nước giữa các mẫu.

Bảng 4. Chất lượng cá dứa sấy khô bằng các phương pháp khác nhau.

Chỉ tiêu		**Kết quả sấy**		
Chế độ sấy	***Đơn vị***	***Sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại***	***Sấy bằng không khí nóng***	***Sấy dưới ánh nắng mặt trời***
Nhiệt độ sấy	^oC	60	55÷70	33-36
Vận tốc gió	m/s	1,5	1,2	
Chiều dày nguyên liệu sấy	cm	1,0	1,0	1,0
Nồng độ sorbitol	%	5	5	5
Độ ẩm cá ban đầu	%	75,30	75,30	75,30
Độ ẩm cá sau khi sấy	%	22±0,3	22±0,3	22±0,3
Chỉ tiêu cảm quan				
Màu sắc		Màu cánh gián đặc trưng của cá khô, không lên dầu, bề mặt không có vết đen.	Màu cánh gián đặc trưng của cá khô, không lên dầu, bề mặt không có vết đen.	Thịt cá màu vàng sậm, ít sáng bóng, bề mặt không có vết đen.
Mùi		Mùi thơm đặc trưng của cá khô, không có mùi của hiện tượng phân hủy.	Mùi thơm đặc trưng của cá khô, không có mùi của hiện tượng phân hủy, hơi có mùi hôi khét.	Mùi thơm đặc trưng của cá khô, không có mùi của hiện tượng phân hủy, có mùi hôi khét.
Vị		Vị ngọt đậm.	Mặn dịu, ngọt thịt.	Mặn dịu, ngọt thịt.
Trạng thái		Khô đều, thịt dai, không lẫn tạp chất.	Khô hơi đều, thịt dai, không lẫn tạp chất.	Ít khô đều, thịt dai, không lẫn tạp chất.
Chỉ tiêu vật lý				
Tỷ lệ hoàn nguyên	%	62,70±2,3	53,2±2,12	47,25±2,4
Lượng tạp chất	%	0	0	0
Hoạt độ nước		0,57±0,05	0,67±0,05	0,83±0,05
Thời gian	Giờ	5,2	11	18
Chỉ tiêu hóa học				
Lipid	%	34,3±0,04	34,3±0,04	34,3±0,04
Protein	%	34,2±0,08	34,2±0,08	34,2±0,08
Tổng số vi sinh vật hiếu khí	Cfu/g	$2,7\times10^2$	$2,9\times10^2$	$3,31\times10^2$
E. coli	Cfu/g	Âm tính	Âm tính	Âm tính
Coliforms	Cfu/g	Âm tính	Âm tính	Âm tính
Salmonella	Cfu/g	Âm tính	Âm tính	Âm tính
S. aureus	Cfu/g	Âm tính	Âm tính	Âm tính

Kết quả cho thấy, sản phẩm cá dứa sấy bằng công nghệ bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại đạt chất lượng cảm quan rất cao (18,28±0,1 điểm trên thang 20 điểm), tỷ lệ hoàn nguyên cao (62,8±2,3%), hoạt độ nước thấp (0,51±0,05). Những chỉ số này nằm trong ngưỡng được đánh giá là tốt đến rất tốt theo phân loại của C.L. Hii và cs (2012) [6] đối với sản phẩm cá sấy. So với các phương pháp sấy truyền thống như phơi nắng hoặc sấy không khí nóng, công nghệ kết hợp cho thấy hiệu quả cải thiện vượt trội về chất lượng tổng thể. Sản phẩm đảm bảo tiêu chuẩn vệ sinh an toàn thực phẩm theo quy định hiện hành của Bộ Y tế.

(A) **(B)**



Hình 4. (A) Cá dứa trong thiết bị sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại; (B) Cá dứa khô (hình minh họa một khay mẫu cá dứa trong quá trình sấy bằng công nghệ bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại).

Sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại cho tỷ lệ hoàn nguyên cao nhất (62,7%) và hoạt độ nước thấp nhất (0,57), chứng tỏ sản phẩm giữ được cấu trúc tốt nhất. Sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại giúp cá có màu cánh gián đặc trưng, không lên dầu, không có vết đen, trong khi cá sấy nóng có thể bị hôi khét nhẹ và cá phơi nắng có màu vàng sậm, ít sáng bóng (hình 4). Sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại có thời gian sấy ngắn nhất (5,2 giờ), trong khi sấy không khí nóng mất 11 giờ và phơi nắng mất 18 giờ. Cả ba phương pháp đều đáp ứng yêu cầu an toàn thực phẩm, không phát hiện *E. coli*, *Salmonella* hay *Coliforms*. Tuy nhiên, tổng số vi sinh vật hiếu khí của cá sấy bức xạ hồng ngoại thấp hơn ($2,7\times10^2$ CFU/g) so với cá sấy không khí nóng ($2,9\times10^2$ CFU/g) và cá phơi nắng ($3,31\times10^2$ CFU/g), chứng tỏ phương pháp bức xạ hồng ngoại giúp kiểm soát vi sinh tốt hơn. Dựa trên mức hoạt độ nước thấp (a_w=0,57±0,05) - dưới ngưỡng 0,60 được xem là giới hạn phát triển của phần lớn vi sinh vật gây hư hỏng thực phẩm và kết quả vi sinh đạt tiêu chuẩn an toàn (tổng số vi sinh vật hiếu khí thấp, không phát hiện *E. coli*, *Coliforms*, *Salmonella* và *Staphylococcus aureus*), có cơ sở khoa học để dự báo rằng sản phẩm cá dứa sấy theo công nghệ bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại có thể được bảo quản ổn định trong thời gian tối thiểu 3 tháng ở điều kiện nhiệt độ phòng (25-30°C), khi sử dụng bao bì phù hợp như hút chân không và kháng ẩm. Nhận định này phù hợp với các nghiên cứu trước đây, trong đó thực phẩm sấy khô có hoạt độ nước dưới 0,60 thường bảo quản được 3-6 tháng mà không cần bổ sung chất bảo quản, nếu quy trình đóng gói và bảo quản đáp ứng yêu cầu chống ẩm và cản oxy [8].

4. Kết luận

Nghiên cứu đã tối ưu thành công quy trình sấy cá dứa bằng công nghệ bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại, với các yếu tố đầu vào gồm: nhiệt độ sấy (40-60°C), vận tốc gió (1,0-3,0 m/s), chiều dày nguyên liệu (1,0-2,0 cm) và nồng độ dung dịch sorbitol (5-25%). Trong đó, nhiệt độ sấy (X_1) là yếu tố ảnh hưởng mạnh nhất đến chất lượng sản phẩm, đặc biệt là thời gian sấy, tỷ lệ hoàn nguyên, cảm quan và hoạt độ nước ($p<0,001$). Nồng độ sorbitol (X_4) cũng tác động đáng kể đến khả năng hoàn nguyên và cảm quan. Điều kiện tối ưu xác định được là: 60°C, 1,4 m/s, 1,0 cm và 5% sorbitol, giúp rút ngắn thời gian sấy còn 5,2 giờ, nâng tỷ lệ hoàn nguyên lên 63%, đạt cảm quan 18,34/20 và a_w=0,57±0,05. So với sấy truyền thống, công nghệ sấy kết hợp cho thấy hiệu quả vượt trội cả về chất lượng và bảo quản. Mô hình hồi quy có độ phù hợp cao ($R^2>0,90$), không có sai số thiếu độ phù hợp đáng kể. Kết quả góp phần hoàn thiện cơ sở khoa học cho ứng dụng sấy kết hợp trong chế biến thủy sản và mở rộng sang các đối tượng có cấu trúc tương tự.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này do Trường Đại học Công Thương TP. Hồ Chí Minh bảo trợ và cấp kinh phí theo Hợp đồng số 3999/QĐ-DCT ngày 29/12/2023. Các tác giả xin chân thành cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] H.T. Ha (2018), *Study on Drying of Seaweed (Caulerpa lentillifera J. Agardh) by Freeze-drying Method Combined with Infrared Radiation*, PhD Thesis, Nha Trang University, 182pp (in Vietnamese).

[2] D.T. Hieu, N.D. Nghia (2005), "Research on optimal drying mode for dried anchovy products using combined infrared and thermal drying method", *Journal of Fisheries Science and Technology*, **2**, pp.8-11 (in Vietnamese).

[3] D.T. Hieu (2013), *Research on Changes in Chemical Composition, Physical Properties and Proposed Measures to Improve The Quality of Infrared-dried Anchovies (Spratelloides Gracilis) for Export*, PhD Thesis, Nha Trang University, 151pp (in Vietnamese).

[4] D.T. Hieu, N.D. Nghia (2007), "Some research results on the application of infrared drying equipment combined with cold for exporting essential oils from leather tubes", *Research Institute for Fisheries*, **6**, pp.24-26 (in Vietnamese).

[5] D. Prusky, M.L. Gullino (2009), *Post-harvest Pathology*, Springer, DOI: 10.1007/978-1-4020-8930-5.

[6] C.L. Hii, S.V. Jangam, S.P. Ong, et al. (2012), *Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations*, TPR Group Publication, 176pp.

[7] V.R. Sagar, K.P. Suresh (2010), "Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: A review", *J. Food Sci. Technol.*, **47(1)**, pp.15-26, DOI: 10.1007/s13197-010-0010-8.

[8] M.S. Rahman (2007), *Handbook of Food Preservation*, CRC Press, 1088pp.

Tỷ lệ mắc sarcopenia ở người bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính điều trị ngoại trú tại Bệnh viện Phổi Nghệ An năm 2024

Đặng Anh Tuấn[1], Lê Đức Cường[2], Phạm Thị Dung[2*]

[1]Bệnh viện Phổi Nghệ An, xã Nghi Lộc, tỉnh Nghệ An, Việt Nam
[2]Trường Đại học Y Dược Thái Bình, 373 Lý Bôn, phường Trần Lãm, tỉnh Hưng Yên, 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 26/5/2025

Tóm tắt:

Mục tiêu: Xác định tỷ lệ hiện mắc sarcopenia ở người bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính (COPD - chronic obstructive pulmonary disease) điều trị ngoại trú tại Bệnh viện Phổi Nghệ An năm 2024. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu: Nghiên cứu mô tả cắt ngang trên 399 người bệnh COPD điều trị ngoại trú tại Bệnh viện Phổi Nghệ An năm 2024. Xác định khối cơ xương bằng thiết bị Inbody 770. Sarcopenia được chia thành các nhóm: bình thường, tiền sarcopenia, sarcopenia vừa và sarcopenia nặng theo tiêu chuẩn chẩn đoán của Hiệp hội Thiểu cơ châu Á. Kết quả: có 38,1% không mắc sarcopenia, 52,1% ở mức tiền sarcopenia (có khối cơ thấp). Tỷ lệ mắc sarcopenia là 9,8%. Tình trạng tắc nghẽn đường thở càng cao thì tỷ lệ mắc sarcopenia càng lớn. Tỷ lệ mắc là 7% ở nhóm GOLD 1-2 và 18,5% ở nhóm GOLD 4. Nhóm bệnh E có tỷ lệ mắc cao nhất là 11,8%, hai nhóm A, B có tỷ lệ mắc là 8,3%. Kết luận: Tỷ lệ mắc sarcopenia là 9,8%. Tỷ lệ mắc ở nữ cao hơn so với nam (lần lượt là 10,5 và 9,6%, p>0,05). Tỷ lệ mắc ở nhóm trên 60 tuổi cao hơn nhóm dưới 60 tuổi (lần lượt là 10,3 và 7,9%; p>0,05). Tỷ lệ mắc tăng dần theo mức độ bệnh và mức độ tắc nghẽn đường thở (p<0,05).

Từ khóa: **bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính, điện trở kháng sinh học, thiểu cơ.**

Chỉ số phân loại: **3.2, 3.3**

Prevalence of sarcopenia among outpatients with chronic obstructive pulmonary disease at Nghe An Lung Hospital in 2024

Anh Tuan Dang[1], Duc Cuong Le[2], Thi Dung Pham[2*]

[1]Nghe An Lung Hospital, Nghi Loc Commune, Nghe An Province, Vietnam
[2]ThaiBinh University of Medicine and Pharmacy, 373 Ly Bon Street, Tran Lam Ward, Hung Yen Province, Vietnam

Received 25 April 2025; revised 21 May 2025; accepted 26 May 2025

Abstract:

Objectives: This study aimed to determine the prevalence of sarcopenia among outpatients with chronic obstructive pulmonary disease (COPD) at Nghe An Lung Hospital in 2024. Subjects and methods: A cross-sectional descriptive study was conducted among 399 outpatients with COPD at Nghe An Lung Hospital in 2024. The skeletal muscle mass index (SMI) was measured using the Inbody 770 device. Sarcopenia was classified into four categories: normal, pre-sarcopenia, moderate sarcopenia, and severe sarcopenia, according to the 2019 diagnostic criteria of the Asian Working Group for Sarcopenia (AWGS). Results: The results showed that 38.1% of the study participants had normal SMI, while 52.1% were diagnosed with pre-sarcopenia. The overall prevalence of sarcopenia among the study population was 9.8%. Sarcopenia prevalence increased with the severity of airway obstruction. According to the Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD) classification, sarcopenia prevalence was 7.0% in stages 1-2 and 18.5% in stage 4. Group E patients had the highest prevalence (11.8%), while groups A and B showed a prevalence of 8.3%. Conclusions: The prevalence of sarcopenia was 9.8%. The prevalence was higher in females than males (10.5 and 9.6%, respectively; p>0.05). The prevalence was also higher in the group aged over 60 years than in those under 60 years (10.3 and 7.9%, respectively; p>0.05). In addition, the prevalence increased progressively with disease severity and the degree of airway obstruction (p<0.05).

Keywords: **bioelectrical impedance, chronic obstructive pulmonary disease, sarcopenia.**

Classification numbers: **3.2, 3.3**

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

1. Đặt vấn đề

Bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính là một bệnh trong bốn nhóm bệnh mạn tính không lây nhiễm hàng đầu hiện nay trên thế giới. Tỷ lệ mắc COPD toàn cầu ở lứa tuổi 30-79 là 10,3%, tương ứng với 391,9 triệu ca mắc và gây ra 3,23 triệu ca tử vong (khoảng 5% tổng số ca tử vong trên toàn cầu mỗi năm). Gần 90% trường hợp tử vong do COPD ở những người dưới 70 tuổi xảy ra ở các nước có thu nhập thấp và trung bình. Khu vực châu Á Thái Bình Dương trong đó có Việt Nam là nơi có tỷ lệ mắc cao nhất (11,7%) và gặp thấp nhất ở khu vực châu Mỹ (6,8%) [1].

Trong khi đó, suy dinh dưỡng là một trong những vấn đề thường gặp ở người bệnh COPD do có tình trạng vừa tăng nhu cầu mà nguồn cung cấp lại giảm [2, 3]. Người bệnh COPD phải tiêu hao năng lượng nhiều hơn do phải tăng cường hoạt động hô hấp (tăng tần số, biên độ thở), tăng các yếu tố viêm, nhất là trong các đợt cấp. Nhưng người bệnh COPD lại thường ăn uống kém, chán ăn do dạ dày bị chèn ép và khó thở, ảnh hưởng đến hoạt động nhai nuốt. Các nguyên nhân này khiến người bệnh COPD bị giảm cân và teo cơ, từ đó dẫn đến suy dinh dưỡng, kiệt sức và tăng tỷ lệ tử vong [4-6]. BMI (Body mass index - chỉ số khối cơ thể) là một chỉ số phổ biến, thường dùng để đánh giá tình trạng dinh dưỡng nhưng không thể đánh giá được mức độ mất cơ ở người bệnh. Trong khi đó, nhiều nghiên cứu cho thấy mất cơ và giảm sức mạnh cơ (sarcopenia) là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến tiến trình của bệnh [7]. Một số nghiên cứu trong và ngoài nước đã cho thấy, tỷ lệ mắc sarcopenia ở người bệnh COPD rất cao và có sự khác biệt liên quan đến độ tuổi. Theo báo cáo của N.P. Masik và cs (2022) [8], tỷ lệ này tăng từ 50% ở người trẻ lên 91,7% ở những đối tượng trên 60 tuổi. Tỷ lệ mắc sarcopenia cũng tăng tỷ lệ thuận với mức độ nặng của bệnh: từ 20% ở mức độ 1 lên 100% ở mức độ 4 theo phân loại của Chương trình Chiến lược toàn cầu về COPD [8].

Hiện nay, có nhiều phương pháp và tiêu chuẩn đánh giá sarcopenia. Các nghiên cứu ở Việt Nam thường sử dụng tiêu chuẩn đánh giá cho người châu Á theo khuyến cáo của Hiệp hội Thiểu cơ châu Á (AWGS - Asian Working Group for Sarcopenia) [9]. Theo tiêu chuẩn này, đo lường khối cơ có thể sử dụng các thiết bị đo thành phần cơ thể như DEXA (Dual-energy X-ray absorptiometry) hoặc BIA (Bioelectrical impedance analysis). Tuy nhiên, DEXA thường có chi phí cao và phơi nhiễm tia xạ. Do đó, hiện nay công nghệ BIA sử dụng dòng điện sinh học đa tần số hay được áp dụng trong các nghiên cứu hơn. Thiết bị Inbody 770 với 6 dải tần số và đo trở kháng điện sinh học trực tiếp từng phần có độ chính xác tương tự DEXA, giúp đánh giá khách quan các chỉ số thành phần cơ thể trong đó có khối cơ [9].

Bệnh viện Phổi Nghệ An hiện đang quản lý điều trị khoảng 1.500 người bệnh COPD nhưng chưa có một nghiên cứu nào đánh giá về tình trạng dinh dưỡng, cũng như mức độ mất cơ ở đối tượng này. Do đó, để góp phần nâng cao chất lượng điều trị cho người bệnh, chúng tôi tiến hành thực hiện đề tài với mục tiêu: Mô tả tỷ lệ mắc sarcopenia ở người bệnh COPD điều trị ngoại trú tại Bệnh viện Phổi Nghệ An năm 2024.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Người bệnh được chẩn đoán xác định mắc COPD theo tiêu chuẩn của GOLD [10].

Tiêu chuẩn lựa chọn: Người bệnh được chẩn đoán COPD đang quản lý điều trị ngoại trú tại Bệnh viện Phổi Nghệ An từ 3 tháng trở lên, đồng ý tham gia nghiên cứu.

Tiêu chuẩn loại trừ: (1) Người bệnh đã đặt máy tạo nhịp tim hoặc có cấy ghép kim loại ở phần thân hoặc tứ chi; có khuyết tật chi, hoặc gù vẹo cột sống; (2) Người bệnh đang điều trị đợt cấp của COPD hoặc đang điều trị nội trú các bệnh lý khác kèm theo; bị mắc ung thư hoặc có di chứng thần kinh sau đột quỵ não, bệnh lý thoái hóa não; (3) Người bệnh không trả lời được các câu hỏi, không thực hiện được bài kiểm tra bước chân hoặc cơ lực, mất thính lực và thị lực.

Địa điểm nghiên cứu: Nghiên cứu được thực hiện tại Bệnh viện Phổi Nghệ An.

Thời gian nghiên cứu: Từ tháng 8/2024 đến tháng 10/2024.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thiết kế nghiên cứu: Mô tả cắt ngang.

Công thức tính cỡ mẫu được xác định như sau:

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

trong đó: n: số lượng mẫu (người bệnh cần điều tra); $Z_{(1-\alpha/2)}$: hệ số tin cậy $Z_{(1-\alpha/2)}$ tương ứng với độ tin cậy 95%=1,96; d: khoảng sai lệch mong muốn (chọn d=0,05); p: tỷ lệ người bệnh COPD được chẩn đoán mắc sarcopenia theo nghiên cứu của Y. Zhai (2024) [11] tại Bệnh viện Nhân dân Chongquing (Trung Quốc) từ năm 2022 đến 2024. Chọn p=0,403. Tính được cỡ mẫu tối thiểu n=370, thực tế có 399 người bệnh tham gia nghiên cứu.

Thu thập số liệu: Đo chiều cao bằng thước dây Seca với vạch chia đến mm, chiều cao được tính bằng cm với 1 số lẻ thập phân. Khối cơ được đo bằng thiết bị phân tích trở kháng điện sinh học (BIA) Inbody 770. Xác định giảm sức cơ bằng áp lực kế cầm tay Carmy. Đo thời gian đi bộ bình thường bằng cách tính thời gian người bệnh đi hết quãng đường 6 m được vạch sẵn.

Tiêu chuẩn đánh giá:

- Sarcopenia được chia thành các nhóm: bình thường, tiền sarcopenia, sarcopenia vừa và sarcopenia nặng. Sử dụng tiêu chuẩn chẩn đoán của AWGS [9]. Cụ thể như sau:

Tiêu chuẩn 1: Chỉ số khối cơ (SMI) giảm khi nam <7,0 kg/m^2, nữ <5,7 kg/m^2.

Tiêu chuẩn 2: Cơ lực tay: Nam <28 kg, nữ <18 kg.

Tiêu chuẩn 3: Khả năng thực hiện động tác giảm: tốc độ đi bộ ≤1 m/s.

Chẩn đoán tiền sarcopenia khi chỉ có tiêu chuẩn 1.

Chẩn đoán sarcopenia mức độ vừa khi có: tiêu chuẩn 1 và 2 hoặc tiêu chuẩn 1 và 3.

Chẩn đoán sarcopenia nặng khi có cả 3 tiêu chuẩn 1, 2 và 3.

- Đánh giá tiêu chuẩn chẩn đoán COPD, mức độ tắc nghẽn và nhóm bệnh (theo GOLD 2024) [10]. Cụ thể:

+ Mức độ tắc nghẽn: GOLD 1: $FEV_1 \geq 80\%$ trị số lý thuyết; GOLD 2: $50\% \leq FEV_1 < 80\%$ trị số lý thuyết; GOLD 3: $30\% \leq FEV_1 < 50\%$ trị số lý thuyết; GOLD 4: $FEV_1 < 30\%$ trị số lý thuyết.

+ Nhóm bệnh: Phân nhóm theo nhóm A, B, E như sau:

Nhóm bệnh	Tiền sử đợt cấp	Triệu chứng
Nhóm A	0-1 đợt cấp trung trong vòng 12 tháng qua (đợt cấp không nhập viện)	mMRC 0-1 hoặc CAT<10
Nhóm B	0-1 đợt cấp trong vòng 12 tháng qua (đợt cấp không nhập viện)	mMRC ≥2 hoặc điểm CAT ≥ 10
Nhóm E	≥2 đợt cấp trung bình trong vòng 12 tháng qua hoặc ≥1 đợt cấp nhập viện	

Phân tích thống kê: Kiểm tra phân bố phân tích. Nếu số liệu phân bố chuẩn sẽ sử dụng các test thống kê tham số: Test t cho 2 nhóm độc lập, Test t ghép cặp cho so sánh trước sau, Test Anova cho so sánh trên 2 nhóm. Số liệu không phân bố chuẩn đã sử dụng test thống kê phi tham số (Spearman, Wilcoxon, Mann Whitney U test). So sánh giữa các tỷ lệ sử dụng test χ^2. Mức ý nghĩa được lựa chọn trong nghiên cứu là 95% (α=0,05).

Đạo đức trong nghiên cứu: Nghiên cứu được thông qua Hội đồng xét duyệt đề cương và được phê duyệt theo Quyết định số 1786/QĐ-YDTB ngày 27/9/2024.

3. Kết quả

Kết quả bảng 1 cho thấy, người bệnh có độ tuổi 60 trở lên chiếm 77,9%, tỷ lệ nam chiếm đa số, tới 80,9%. Hầu hết đối tượng chủ yếu ở mức độ GOLD 1-3 và phân nhóm bệnh B và E. Chỉ có 20,3% ở mức GOLD 4 và 1,3% ở nhóm A.

Bảng 1. Đặc điểm chung của đối tượng nghiên cứu (n=399).

Các đặc điểm	Số lượng	Tỷ lệ (%)
Tuổi (trung vị và khoảng tứ phân vị)	66 (60-72)	
Nhóm tuổi		
<60	88	22,1
60-69	182	45,6
70-79	110	27,6
≥80	19	4,7
Giới tính		
Nữ	76	19,1
Nam	323	80,9
Phân loại mức độ bệnh theo GOLD		
1	1	0,3
2	99	24,8
3	218	54,6
4	81	20,3
Phân nhóm bệnh A, B, E		
Nhóm A	5	1,3
Nhóm B	224	56,1
Nhóm E	170	42,6

Kết quả bảng 2 cho thấy, chỉ số khối cơ trung bình ở nam là 6,6 kg/m^2 và nữ là 5,6 kg/m^2. Sức cơ tay của nam trung bình là 28,6 kg cao hơn so với nữ là 21,0 kg. Tốc độ di chuyển của cả 2 giới nam và nữ là tương đương nhau, trung bình là 1,3 m/s.

Bảng 2. Đặc điểm các chỉ số đánh giá thiếu cơ theo giới tính (n=399).

Đặc điểm	Chung (n=399)	Nam (n=323)	Nữ (n=76)
SMI (kg/m^2)	6,4±1,0	6,6±0,9	5,6±0,7
Sức cơ (kg)	27,2±7,1	28,6±6,7	21,0±5,3
Tốc độ di chuyển (m/s)	1,3±0,2	1,3±0,2	1,3±0,2

Kết quả bảng 3 cho thấy, có 61,9% số người bệnh COPD bị giảm khối cơ theo tiêu chuẩn SMI của nam <7 kg/m^2 và nữ <5,7 kg/m^2. Tỷ lệ mắc ở nam là 64,4% cao hơn so với nữ (51,3%), sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với p<0,05. Tỷ lệ giảm sức cơ chung là 17,3% nhưng gặp ở nữ (81,6%) nhiều hơn so với nam (2,2%), sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với p<0,05. Tỷ lệ giảm tốc độ di chuyển của nữ là 9,2%, cao hơn so với nam là 5,3% nhưng sự khác biệt này chưa có ý nghĩa thống kê với p>0,05.

Bảng 3. Tỷ lệ thiểu cơ và giảm sức mạnh cơ theo giới tính (n=399).

Đặc điểm	Chung (n=399)	Nam (n=323)	Nữ (n=76)	p
Giảm khối lượng cơ xương	247 (61,9)	208 (64,4)	39 (51,3)	**0,035**
Giảm sức cơ	69 (17,3)	7 (2,2)	62 (81,6)	**0,038**
Giảm tốc độ di chuyển	24 (6,0)	17 (5,3)	7 (9,2)	0,157

Kết quả bảng 4 cho thấy, nhóm người bệnh cao tuổi (≥60 tuổi) có chỉ số khối cơ trung bình là 6,4 kg/m^2, thấp hơn so với nhóm dưới 60 tuổi là 6,6 kg/m^2 (p<0,05). Tốc độ di chuyển trung bình của nhóm ≥60 tuổi là 1,3 m/s, thấp hơn so với nhóm <60 tuổi (p<0,05). Còn sức cơ của 2 nhóm là tương đương nhau.

Bảng 4. Đặc điểm các chỉ số đánh giá thiểu cơ theo nhóm tuổi (n=399).

Đặc điểm	<60 tuổi (n=88)	≥60 tuổi (n=311)	p
SMI (kg/m^2)	6,6±0,8	6,4±1,0	<0,05
Sức cơ (kg)	27,3±6,9	27,2±7,3	>0,05
Tốc độ di chuyển (m/s)	1,4±0,2	1,3±0,2	<0,05

Kết quả bảng 5 cho thấy, nhóm đối tượng ≥60 tuổi có tỷ lệ giảm khối lượng cơ xương là 66,9%, cao hơn so với nhóm <60 tuổi là 44,3%. Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với p<0,05. Tỷ lệ giảm tốc độ di chuyển của nhóm người bệnh cao tuổi cũng cao hơn so với nhóm <60 tuổi một cách có ý nghĩa thống kê (p<0,05) nhưng mức độ giảm sức cơ của 2 nhóm là tương tự nhau (p>0,05).

Bảng 5. Tỷ lệ thiểu cơ và giảm sức mạnh cơ theo nhóm tuổi (n=399).

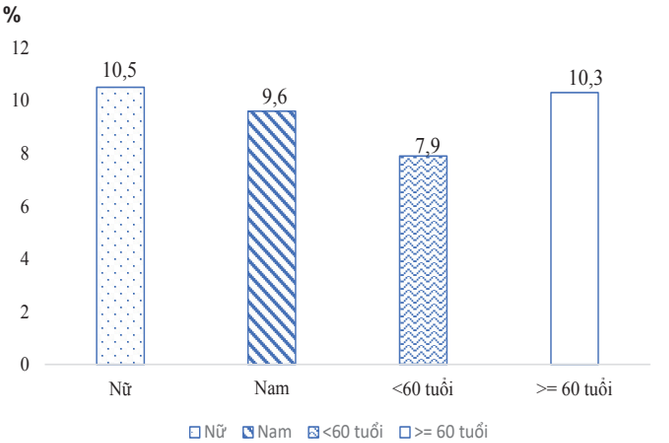
Đặc điểm	<60 tuổi (n=88)	≥60 tuổi (n=311)	p
Giảm khối lượng cơ xương	39 (44,3)	208 (66,9)	<0,001
Giảm sức cơ	15 (17,1)	54 (17,4)	0,945
Giảm tốc độ di chuyển	1 (1,2)	23 (7,39)	0,023

Kết quả bảng 6 cho thấy, chỉ có 38,1% đối tượng không mắc sarcopenia, còn lại đa số ở mức tiền sarcopenia (có khối cơ thấp) nhưng vẫn đảm bảo tiêu chí cơ lực tay và tốc độ đi bộ bình thường. Tỷ lệ mắc sarcopenia là 9,8%.

Bảng 6. Tỷ lệ mắc các mức độ sarcopenia của đối tượng nghiên cứu (n=399).

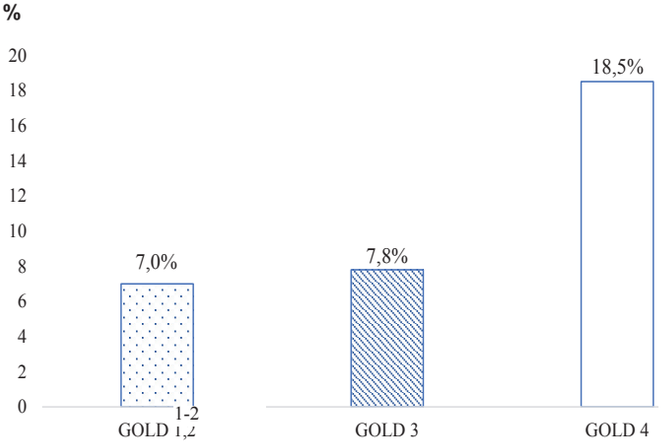
Mức độ mắc sarcopenia	Số lượng	Tỷ lệ (%)
Không mắc sarcopenia	152	38,1
Tiền sarcopenia	208	52,1
Sarcopenia vừa	38	9,5
Sarcopenia nặng	1	0,3

Kết quả biểu đồ 1 cho thấy, tỷ lệ mắc sarcopenia ở nữ cao hơn so với nam nhưng không đáng kể (10,5 so với 9,6% và p>0,05). Tỷ lệ mắc ở nhóm trên 60 tuổi là 10,3%, cao hơn so với nhóm dưới 60 tuổi là 7,9% nhưng sự khác biệt cũng chưa có ý nghĩa thống kê với p>0,05.



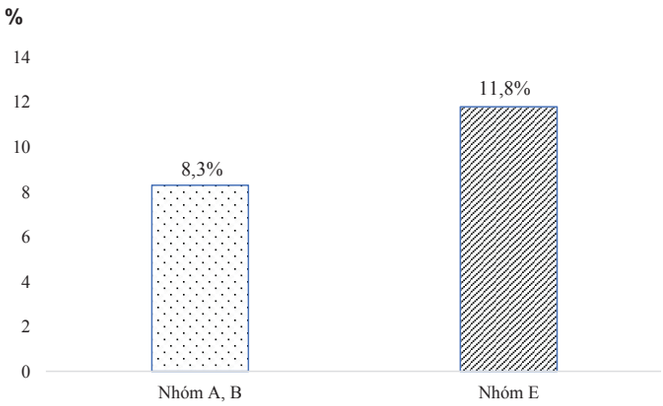
Biểu đồ 1. Tỷ lệ mắc sarcopenia ở đối tượng nghiên cứu theo giới tính và nhóm tuổi.

Kết quả biểu đồ 2 cho thấy, tình trạng tắc nghẽn đường thở càng cao thì tỷ lệ mắc sarcopenia càng lớn. Tỷ lệ mắc gặp ở 7% đối tượng GOLD 1-2 nhưng lên tới 18,5% ở đối tượng GOLD 4. Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với p<0,05.



Biểu đồ 2. Tỷ lệ mắc sarcopenia ở đối tượng nghiên cứu theo mức độ tắc nghẽn đường thở (GOLD).

Kết quả biểu đồ 3 cho thấy, nhóm bệnh E có tỷ lệ mắc cao nhất là 11,8%. Hai nhóm A, B có tỷ lệ mắc là 8,3%. Sự khác biệt giữa nhóm E với 2 nhóm còn lại không có ý nghĩa thống kê với p>0,05.



Biểu đồ 3. Tỷ lệ mắc sarcopenia ở đối tượng nghiên cứu theo phân nhóm bệnh COPD.

4. Bàn luận

Trong nghiên cứu này của chúng tôi, chỉ số khối cơ trung bình ở nam là 6,6 kg/m^2 và nữ là 5,6 kg/m^2. Cả hai ngưỡng này đều có giá trị thấp hơn ngưỡng khuyến nghị là chỉ số SMI của nam <7 kg/m^2 và nữ <5,7 kg/m^2. T.Q. Cuong và cs (2024) [12] cho biết, chỉ số khối cơ trung bình ở nam là 6,8 kg/m^2, cao hơn so với kết quả của chúng tôi nhưng giá trị SMI trung bình ở nữ lại tương đương so với nghiên cứu này. Theo tiêu chuẩn của AWGS, kết quả nghiên cứu của chúng tôi cho thấy có 61,9% số người bệnh COPD bị giảm khối cơ theo tiêu chuẩn SMI của nam <7 kg/m^2 và nữ <5,7 kg/m^2. Tỷ lệ mắc ở nam là 64,4%, cao hơn so với nữ (51,3%), sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với p<0,05. Kết quả này của chúng tôi cao hơn so với nghiên cứu của T.Q. Cuong và cs (2024) [12] là 56%, nhưng thấp hơn so với nghiên cứu của N.T.T. Huong (2022) [13] khi tác giả cho biết trong nhóm người bệnh COPD nghiên cứu có 74,6% là giảm khối lượng cơ, tuổi càng cao thì khối lượng cơ ngày càng giảm. Một số nghiên cứu của các tác giả nước ngoài cũng cho kết quả tương tự [11]. Đánh giá sức cơ và phép đo cơ lực tay của người bệnh và tốc độ đi bộ, kết quả nghiên cứu của chúng tôi cho thấy sức cơ tay của nam trung bình là 28,6 kg cao hơn so với nữ là 21,0 kg. Tốc độ di chuyển của cả 2 giới nam và nữ là tương đương nhau, trung bình là 1,3 m/s. Tỷ lệ giảm sức cơ chung là 17,3% nhưng gặp ở nữ (19,2%) nhiều hơn so với nam (9,2%), sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với p<0,05. Tỷ lệ giảm tốc độ di chuyển của nữ là 10,1%, cao hơn so với nam là 5,5%, nhưng sự khác biệt này chưa có ý nghĩa thống kê với p>0,05. Kết quả giảm sức cơ ở cả hai chỉ tiêu cơ lực tay và tốc độ đi bộ trong nghiên cứu của chúng tôi đều thấp hơn một số nghiên cứu khác. N.T.T. Huong (2022) [13] cũng cho biết, tỷ lệ giảm sức mạnh cơ tay là 68,3% và 42,7% có giảm tốc độ đi bộ. Tuổi càng cao thì sức mạnh cơ tay và tốc độ đi bộ càng giảm. Nghiên cứu của T.Q. Cuong và cs (2024) [12] cũng có 52,4% số đối tượng giảm cơ lực tay và 32,1% giảm tốc độ di chuyển, trong đó tỷ lệ mắc ở nữ cao hơn nhiều so với nam.

Trong nghiên cứu của chúng tôi, nhóm người bệnh cao tuổi (≥60 tuổi) có chỉ số khối cơ trung bình là 6,4 kg/m^2, thấp hơn so với nhóm dưới 60 tuổi là 6,6 kg/m^2 (p<0,05). Tốc độ di chuyển trung bình của nhóm ≥60 tuổi là 1,3 m/s thấp hơn so với nhóm <60 tuổi (p<0,05). Còn sức cơ của 2 nhóm là tương đương nhau. Nhóm đối tượng ≥60 tuổi có tỷ lệ giảm khối lượng cơ xương là 66,9% cao hơn so với nhóm <60 tuổi là 44,3%. Sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với p<0,05. Tỷ lệ giảm tốc độ di chuyển của nhóm người bệnh cao tuổi cũng cao hơn so với nhóm <60 tuổi một cách có ý nghĩa thống kê (p<0,05) nhưng mức độ giảm sức cơ của 2 nhóm là tương tự nhau (p>0,05). Đánh giá về tỷ lệ mắc sarcopenia, kết quả nghiên cứu của chúng tôi cho thấy có 38,1% đối tượng không mắc sarcopenia, còn lại đa số ở mức tiền sarcopenia (có khối cơ thấp) nhưng vẫn đảm bảo tiêu chí cơ lực tay và tốc độ đi bộ bình thường. Tỷ lệ mắc sarcopenia chung là 9,8%. Trong đó, tỷ lệ mắc sarcopenia ở nữ cao hơn so với nam nhưng không đáng kể (10,5 so với 9,6% và p>0,05). Tỷ lệ mắc ở nhóm trên 60 tuổi là 10,3% cao hơn so với nhóm dưới 60 tuổi là 7,9% nhưng sự khác biệt cũng chưa có ý nghĩa thống kê với p>0,05. Theo N.T.T. Huong (2022) [13], tỷ lệ sarcopenia trong nhóm nghiên cứu là 45,2%, tỷ lệ mắc tăng rõ rệt theo tuổi. Nghiên cứu của T.Q. Cuong và cs (2024) [12] trên nhóm người bệnh COPD điều trị ngoại trú tại TP Hồ Chí Minh cho thấy, có 35,7% người bệnh mắc sarcopenia theo tiêu chuẩn chẩn đoán của AWGS.

Theo một số nghiên cứu của các tác giả nước ngoài, tỷ lệ mắc sarcopenia ở người bệnh COPD, từ một nghiên cứu tổng quan hệ thống và phân tích gộp của E. Benz và cs (2019) [14] cho thấy, tỷ lệ mắc sarcopenia ở người bệnh COPD phổ biến ở mức 21,6%, dao động từ 8% (trong cộng đồng) đến 21% (người bệnh điều trị nội, ngoại trú) và tỷ lệ này chiếm tới 63% đối với những người bệnh được chăm sóc và điều trị tại viện dưỡng lão. Những báo cáo gần đây cho thấy tỷ lệ này ngày càng gia tăng: 24,6% trong báo cáo của T. Maria và cs (2020) [15] và 27% theo J. He và cs

(2023) [16]. Như vậy có thể thấy, mắc sarcopenia ở người bệnh COPD là một vấn đề có ý nghĩa sức khoẻ quan trọng. Do đó, cần phát hiện sớm đối tượng giảm khối lượng cơ nhất là các đối tượng COPD mức độ GOLD 4 và nhóm bệnh E để từ đó có biện pháp cải thiện khối cơ và sức mạnh cơ giúp ngăn chặn sớm khả năng các đối tượng từ tiền sarcopenia chuyển thành sarcopenia.

5. Kết luận

Chỉ số khối cơ trung bình ở nam là 6,6 kg/m^2 và nữ là 5,6 kg/m^2. Có 61,9% số người bệnh COPD bị giảm khối cơ. Tỷ lệ giảm khối cơ ở nam cao hơn nữ (tương ứng 64,4 và 51,3%, p<0,05). Nhóm ≥60 tuổi có tỷ lệ giảm khối lượng cơ xương là 66,9% cao hơn so với nhóm <60 tuổi là 44,3%. Có 52,1% ở mức tiền sarcopenia. Tỷ lệ mắc sarcopenia là 9,8%. Tỷ lệ mắc ở nhóm trên 60 tuổi là 10,3% cao hơn so với dưới 60 tuổi là 7,9% (p>0,05). Tỷ lệ mắc gặp ở 7% đối tượng GOLD 1-2 và 18,5% ở đối tượng GOLD 4. Nhóm bệnh E có tỷ lệ mắc cao nhất là 11,8%.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] D. Adeloye, P. Song, Y. Zhu, et al. (2022), "Global, regional, and national prevalence of, and risk factors for, chronic obstructive pulmonary disease (COPD) in 2019: A systematic review and modelling analysis", *Lancet Respir. Med.*, **10(5)**, pp.447-458, DOI: 10.1016/S2213-2600(21)00511-7.

[2] T. Christensen, S. Mikkelsen, L. Geisler, et al. (2022), "Chronic obstructive pulmonary disease outpatients bear risks of both unplanned weight loss and obesity", *Clin. Nutr. ESPEN*, **49**, pp.246-251, DOI: 10.1016/j.clnesp.2022.04.010.

[3] S.B. Kritchevsky, J. Latourelle, R.N. Lemaitre, et al. (2022), "Serum antioxidant vitamins and respiratory morbidity and mortality: A pooled analysis", *Respir. Res.*, **23**, DOI: 10.1186/s12931-022-02059-w.

[4] E. Keogh, E.M. Williams (2021), "Managing malnutrition in COPD: A review", *Respir. Med.*, **176**, DOI: 10.1016/j.rmed.2020.106248.

[5] Y. Sun, S. Milne, J.E. Jaw, et al. (2019), "BMI is associated with FEV(1) decline in chronic obstructive pulmonary disease: A meta-analysis of clinical trials", *Respir. Res.*, **20(1)**, DOI: 10.1186/s12931-019-1209-5.

[6] N.T.T. Huyen, C.T. Hanh (2021), "Rate of readmission for acute exacerbation chronic obstructive pulmonary disease and associated risk factors", *Journal of Medical Research*, **137(1)**, pp.158-168, DOI: 10.52852/tcncyh.v137i1.37 (in Vietnamese).

[7] L. Perrot (2020), "Prevalence of sarcopenia and malnutrition during acute exacerbation of COPD and after 6 months recovery", *Physiol. Int.*, **74(11)**, pp.1556-1564, DOI: 10.1038/s41430-020-0623-6.

[8] N.P. Masik, T.V. Stepaniuk, O.I. Masik (2022), "Skeletal muscle dysfunction, sarcopenia and sarcopenic obesity in patients with chronic obstructive pulmonary disease", *Bol', Sustavy, Pozvonochnik*, **12(1)**, pp.8-15, DOI: 10.22141/pjs.12.1.2022.323.

[9] C.L. Kung, W. Jean, A. Prasert, et al. (2020), "Asian Working Group for Sarcopenia: 2019 consensus update on sarcopenia diagnosis and treatment", *Journal of The American Medical Directors Association*, **21(3)**, pp.300-307, DOI: 10.1016/j.jamda.2019.12.012.

[10] Vietnam Respiratory Society (2024), *Guideline for Diagnosis and Treatment of Chronic Obstructive Pulmonary Disease*, 142pp (in Vietnamese).

[11] Y. Zhai (2024), "A study on the correlation between sarcopenia and chronic obstructive pulmonary disease", *American Journal of Health Research*, **12(5)**, pp.145-149, DOI: 10.11648/j.ajhr.20241205.14.

[12] T.Q. Cuong, L.N.Q. Nhu, T.P.Y. Ngoc, et al. (2024), "Prevalence of malnutrition and sarcopenia among patients with chronic obstructive pulmonary disease in the outpatients department at Binh Thanh district Hospital", *Journal of Nutrition and Food,* **20(22)**, pp.23-29 (in Vietnamese).

[13] N.T.T. Huong (2022), "Sarcopenia characteristics in elderly patients with chronic obstructive pulmonary disease in stable stage", *Vietnam Journal of Physiology*, **25(2)**, pp.67-75.

[14] E. Benz, K. Trajanoska, L. Lahousse, et al. (2019), "Sarcopenia in COPD patients: A systematic review and meta-analysis", *European Respiratory Review*, **28(154),** DOI: 10.1183/16000617.0049-2019.

[15] T. Maria, E. Tsepis, E. Billis, et al. (2020), "Sarcopenia in patients with chronic obstructive pulmonary disease: A study of prevalence and associated factors in Western Greek population", *Lung India*, **37(6)**, pp.479-484, DOI: 10.4103/lungindia.lungindia_143_20.

[16] J. He, H. Li, J. Yao, et al. (2023), "Prevalence of sarcopenia in patients with COPD through different musculature measurements: An updated meta-analysis and meta-regression", *Front. Nutr.*, **10**, DOI: 10.3389/fnut.2023.1137371.

Căn nguyên vi khuẩn trong dịch tỵ hầu ở bệnh nhân viêm phổi thùy tại Bệnh viện Nhi Trung ương từ tháng 3/2023 đến tháng 2/2024

Nguyễn Thị Mai*, Trần Thanh Tú, Dương Thị Thụy, Nguyễn Ngọc Văn, Nguyễn Thị Thu Hằng, Vũ Đức Anh, Nguyễn Huy Khánh

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

Ngày nhận bài 26/5/2024; ngày chuyển phản biện 28/5/2024; ngày nhận phản biện 18/6/2024; ngày chấp nhận đăng 24/6/2024

Tóm tắt:

Viêm phổi thùy là bệnh lý tổn thương phổi nặng ở trẻ em và diễn biến thường cấp tính. Xác định căn nguyên gây viêm phổi thùy bằng cách lấy mẫu tại vị trí tổn thương còn gặp nhiều khó khăn. Nghiên cứu tìm hiểu căn nguyên vi khuẩn trong dịch tỵ hầu ở bệnh nhân viêm phổi thùy, tỷ lệ đồng nhiễm và một số yếu tố liên quan đến đồng nhiễm vi khuẩn điển hình ở bệnh nhân viêm phổi thùy do *Mycoplasma pneumoniae*. Kết quả cho thấy, khi phân lập bằng phương pháp multiplex real-time PCR trên mẫu dịch tỵ hầu cho tỷ lệ trẻ dương tính là 555/835 (66,5%), trong đó vi khuẩn *M. pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, *Streptococcus pneumoniae* chiếm tỷ lệ lần lượt là 32,1, 28,1 và 21,9%. Kết quả nuôi cấy dịch tỵ hầu chỉ có 272/835 (32,6%) trẻ dương tính với *H. influenzae* (17,5%), *M. catarrhalis* (7,9%) và *S. pneumoniae* (7,4%). So với kết quả nuôi cấy dịch tỵ hầu, phương pháp multiplex real-time PCR có độ nhạy và độ đặc hiệu cao trên 80%. Tỷ lệ bệnh nhân viêm phổi do *M. pneumoniae* là 223/835 (26,7%), hay gặp ở nhóm 2-5 tuổi. Trong đó, có 39/223 (17,5%) trẻ đồng nhiễm với căn nguyên vi khuẩn điển hình. Không có sự khác biệt giữa nhóm đơn nhiễm và đồng nhiễm ở bệnh nhân viêm phổi thùy do *M. pneumoniae* về các yếu tố liên quan đến đặc điểm đối tượng và lâm sàng.

Từ khóa: **trẻ em, vi khuẩn, viêm phổi thùy.**

Chỉ số phân loại: **3.2, 3.3**

Bacterial pathogens in nasopharyngeal samples of lobar pneumonia in children at the Vietnam National Children's Hospital from March 2023 to February 2024

Thi Mai Nguyen*, Thanh Tu Tran, Thi Thuy Duong, Ngoc Van Nguyen, Thi Thu Hang Nguyen, Duc Anh Vu, Huy Khanh Nguyen

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

Received 26 May 2024; revised 18 June 2024; accepted 24 June 2024

Abstract:

Lobar pneumonia is a severe and rapid-onset pulmonary disease in children. Identifying bacterial pathogens by taking samples at the lesion site is challenging. This study aims to investigate bacterial pathogens in nasopharyngeal samples from children with lobar pneumonia, to determine co-infection rates and risk factors for typical bacterial co-infection caused by *M. pneumoniae*. The results showed that the positive rate in children was 555/835 (66.5%) using the multiplex real-time polymerase chain reaction (PCR) on nasopharyngeal samples, with *Mycoplasma pneumoniae, Haemophilus influenzae, Streptococcus pneumoniae* accounting for 32.1, 28.1, and 21.9%, respectively. However, the positive rate of nasopharyngeal culture was only 272/835 (32.6%), with *H. influenzae* (17.5%), *M. catarrhalis* (7.9%), and *S. pneumoniae* (7.4%). These findings suggest that multiplex real-time PCR has over 80% sensitivity and specificity compared to culture. *M. pneumoniae* was detected in 223/835 cases (26.7%), mainly in children aged 2-5 years. The rate of typical bacterial co-infection was 39/223 (17.5%). There was no difference between mono-infection and co-infection groups in children with lobar pneumonia caused by *M. pneumoniae* concerning demographic and clinical characteristics.

Keywords: **bacteria, children, lobar pneumonia.**

Classification numbers: **3.2, 3.3**

Tác giả liên hệ: Email: bsmai34@gmail.com

1. Đặt vấn đề

Viêm phổi thùy hay gặp ở nhóm người trưởng thành từ 20 đến 50 tuổi, đối với nhóm trẻ nhỏ và người già tổn thương chủ yếu là viêm phổi lan tỏa. Tuy nhiên xu hướng những năm gần đây tuổi mắc viêm phổi thùy ngày càng nhỏ, tổn thương ngày càng nặng và căn nguyên gây bệnh thay đổi [1, 2]. Trong nghiên cứu của D.M. Tuan (2010) [3] thực hiện tại Khoa Hô hấp, Bệnh viện Nhi Trung ương năm 2010 ghi nhận chỉ có 68/7560 (0,9%) trẻ mắc viêm phổi thùy bằng phương pháp nuôi cấy dịch tỵ hầu ghi nhận căn nguyên gây bệnh *S. aureus* chiếm 30,09% và *S.treptococcus* là 28,57%. Nghiên cứu của K.Q. Tran và cs (2020) [4] xác định nguyên nhân gây bệnh ở 67 bệnh nhân viêm phổi thùy bằng phương pháp multiplex real-time PCR trong dịch tỵ hầu gồm 70 tác nhân vi sinh cho thấy *M. pneumoniae* (69,7%) hay gặp nhất. N.T.T. Binh và cs (2022) [5] nghiên cứu căn nguyên gây bệnh trên 174 trẻ bằng phương pháp nuôi cấy và PCR dịch tỵ hầu ghi nhận vi khuẩn thường gặp là *M. pneumoniae* (24,1%), *H. influenzae* (15,5%) và *S. pneumoniae* (13,8%). Trong nhiều trường hợp, trẻ mắc viêm phổi thùy rất khó xác định căn nguyên gây bệnh do khó lấy được bệnh phẩm tại vị trí tổn thương. Vì vậy, phần lớn các nghiên cứu về nguyên nhân viêm phổi thùy thường lấy bệnh phẩm từ dịch tỵ hầu, nhưng vẫn còn nhiều ý kiến chưa tin tưởng thực sự vào kết quả này, cũng như lo lắng về việc vi khuẩn tìm được là vi khuẩn cư trú hay vi khuẩn gây bệnh.

Những năm gần đây kỹ thuật vi sinh có nhiều tiến bộ, với phương pháp cấy đếm chúng ta có thể xác định được vi khuẩn nào là vi khuẩn gây bệnh. Tuy nhiên, liệu vi khuẩn gây bệnh tìm thấy được tại dịch tỵ hầu có phải là căn nguyên gây bệnh viêm phổi thùy vẫn còn là một câu hỏi. Vì vậy, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu "Căn nguyên vi khuẩn trong dịch tỵ hầu ở bệnh nhân viêm phổi thùy tại Trung tâm Quốc tế, Bệnh viện Nhi Trung ương từ tháng 3/2023 đến tháng 2/2024" với mục tiêu: Xác định nguyên nhân vi khuẩn tại dịch tỵ hầu ở trẻ viêm phổi thùy bằng phương pháp multiplex real-time PCR và nuôi cấy vi khuẩn; tỷ lệ đồng nhiễm với viêm phổi do *M. pneumoniae* và một số yếu tố liên quan.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Trẻ từ 2 tháng tuổi đến 18 tuổi được chẩn đoán viêm phổi thùy điều trị tại Trung tâm Quốc tế, Bệnh viện Nhi Trung ương từ tháng 3/2023 đến tháng 2/2024.

Tiêu chuẩn chọn bệnh nhân:

- Viêm phổi được chẩn đoán theo tiêu chuẩn của Bộ Y tế [6].

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

- Bệnh nhân được lấy mẫu xét nghiệm nguyên nhân vi khuẩn dịch tỵ hầu.

Tiêu chuẩn loại trừ: Trẻ mắc viêm phổi có dị tật bẩm sinh kèm theo.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu mô tả loạt ca bệnh. Các đặc điểm lâm sàng, cận lâm sàng được đánh giá dựa trên hỏi bệnh và bệnh án nghiên cứu.

Chẩn đoán viêm phổi do M. pneumoniae [7]: Bệnh nhân được xác định là viêm phổi và tìm thấy dấu ấn của *M. pneumoniae* trong bệnh phẩm dịch tỵ hầu và mẫu huyết thanh:

- PCR *M. pneumoniae* dương tính và IgM *M. pneumoniae* dương tính.

- Hoặc: IgM *M. pneumoniae* chuyển từ âm tính sang dương tính.

- Hoặc: Hiệu giá kháng thể IgM *M. pneumoniae* tăng gấp 2 lần.

Phương pháp xác định căn nguyên vi khuẩn cấy dịch tỵ hầu: Nuôi cấy vi khuẩn từ dịch tỵ hầu bằng phương pháp cấy đếm. Kết quả được gọi là dương tính khi số lượng vi khuẩn đạt $\geq 10^6$ CFU/ml.

2.3. Đạo đức nghiên cứu

Trẻ và người chăm sóc trẻ tự nguyện tham gia nghiên cứu. Thông tin cá nhân và thông tin trong hồ sơ nghiên cứu

của trẻ được giữ bí mật. Nghiên cứu được Hội đồng Đạo đức, Bệnh viện Nhi Trung ương thông qua số 3949/QĐ-BVNTW ngày 16/8/2023.

2.4. Xử lý số liệu

Phân tích số liệu bằng phần mềm SPSS 20.0.

3. Kết quả

Nghiên cứu trên 8106 hồ sơ thu thập tại Trung tâm Quốc tế, Bệnh viện Nhi Trung ương, trong thời gian từ tháng 3/2023 đến tháng 2/2024 được chẩn đoán viêm phổi, viêm phế quản phổi, tỷ lệ trẻ mắc viêm phổi thùy là 835/8106 (10,3%).

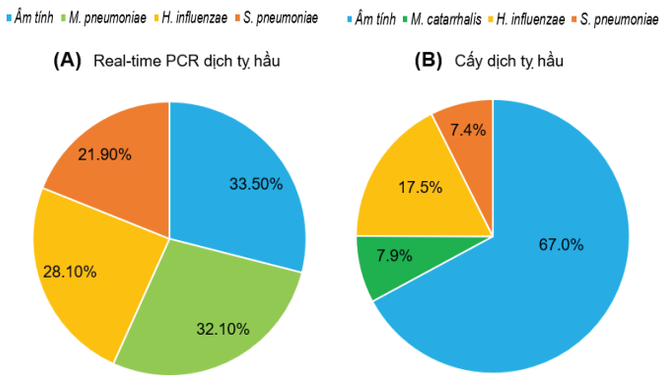
3.1. Đặc điểm chung của đối tượng nghiên cứu

Bảng 1. Đặc điểm chung của đối tượng nghiên cứu.

Đặc điểm		Số lượng	Tỷ lệ (%)
Tuổi	≤24 tháng	221	26,5
	25-60 tháng	374	44,8
	>60 tháng	240	28,7
Giới tính	Nữ	406	48,6
	Nam	429	51,4
Địa dư	Thành phố	584	69,9
	Nông thôn	251	30,1
Tiền sử tiêm chủng	Tiêm 6 trong 1	833	99,8
	Tiêm phế cầu	795	95,2
Tiền sử mắc bệnh đường hô hấp	Có	146	17,5
	Không	689	82,5
Tiền sử sử dụng kháng sinh trong 1 tháng trước khi nhập viện	Có	549	65,7
	Không	286	34,3

835 trẻ tham gia nghiên cứu có độ tuổi trung bình là 46,6±30,1 tháng, nhỏ nhất là 1 tháng, lớn nhất 13 tuổi, trong đó hay gặp nhóm trẻ 25-60 tháng tuổi (44,8%). Tỷ lệ nam và nữ mắc bệnh tương đương nhau. Đối tượng nghiên cứu chủ yếu là trẻ sống ở thành phố (69,9%). Hầu hết trẻ đều được tiêm chủng mũi 6 trong 1 và mũi phế cầu với tỷ lệ lần lượt là 99,8 và 95,2 %. Tỷ lệ trẻ có tiền sử mắc bệnh đường hô hấp là 17,5%. Về tiền sử sử dụng thuốc, có tới 549 trẻ (65,7%) sử dụng kháng sinh trước khi nhập viện (bảng 1).

3.2. Căn nguyên vi khuẩn trong dịch tỵ hầu



Hình 1. Căn nguyên vi khuẩn trong dịch tỵ hầu phân lập bằng phương pháp multiplex real-time PCR (A) và nuôi cấy dịch tỵ hầu (B).

Vi khuẩn trong dịch tỵ hầu phân lập bằng phương pháp multiplex real-time PCR cho tỷ lệ trẻ dương tính là 555/835 (66,5%) (hình 1). Trong đó, vi khuẩn phổ biến nhất là *M. pneumoniae* 268/835 (32,1%), tiếp theo là *H. influenzae* 235/835 (28,1%) và *S. pneumoniae* 183/835 (21,9%). Phương pháp này không xác định được *M. catarrhalis*.

Căn nguyên vi khuẩn gây bệnh được phân lập bằng nuôi cấy dịch tỵ hầu là 272/835 trẻ (32,6%) dương tính. Trong đó, *H. influenzae* chiếm tỷ lệ 146/835 (17,5%), *M. catarrhalis* 66/835 (7,9%), *S. pneumoniae* 62/835 (7,4%), xét nghiệm cấy thông thường không xác định được *M. pneumoniae*.

Bảng 2. Độ nhạy và độ đặc hiệu của multiplex real-time PCR dịch tỵ hầu so với kết quả nuôi cấy của vi khuẩn *H. influenzae* và *S. pneumoniae*.

		Cấy dịch tỵ hầu			
		H. influenzae		*S. pneumoniae*	
		Dương tính	*Âm tính*	*Dương tính*	*Âm tính*
Multiplex real-time PCR	Dương tính	129	106	50	133
	Âm tính	17	583	12	640
Độ nhạy		88,3%		80,6%	
Độ đặc hiệu		84,6%		82,8%	

Độ nhạy PCR dịch tỵ hầu so với kết quả nuôi cấy của vi khuẩn *H. influenzae* là 88,3%, độ đặc hiệu là 84,6%. Đối với *S. pneumoniae* độ nhạy là 80,6%, độ đặc hiệu là 82,8% (bảng 2).

Bảng 3. Tỷ lệ viêm phổi do *M. pneumoniae* theo lứa tuổi.

Tuổi	n (%)	Giá trị p
≤24 tháng	43 (19,3%)	0,017
25-60 tháng	111 (49,8%)	
>60 tháng	69 (30,9%)	
Tổng	223 (100%)	

Bảng 4. Đồng nhiễm vi khuẩn điển hình với *M. pneumoniae*.

Vi khuẩn	Đơn nhiễm	Đồng nhiễm *H. influenzae*	Đồng nhiễm *S. pneumoniae*	Đồng nhiễm *M. catarrhalis*
M. pneumoniae (n=223)	184	20	9	10

Bảng 5. Một số yếu tố liên quan đến đồng nhiễm của vi khuẩn ở bệnh nhân viêm phổi thùy do *M. pneumoniae*.

Đặc điểm		Đơn nhiễm (n=184)	Đồng nhiễm (n=39)	Giá trị p
Tuổi	≤24 tháng	36	7	0,641
	25-60 tháng	89	22	
	>60 tháng	59	10	
Giới tính	Nam	88	21	0,494
	Nữ	96	18	
Tiền sử bệnh đường hô hấp	Không	158	32	0,542
	Có	26	7	
Tiền sử tiêm vắc-xin	Không	2	0	1
	Có	184	39	
Địa dư	Thành phố	132	24	0,207
	Nông thôn	52	15	
Viêm phổi nặng	Không	180	38	1
	Có	4	1	
Thời gian nằm viện	≤7 ngày	98	22	0,572
	8-14 ngày	78	14	
	>14 ngày	8	3	

Có 223/835 (26,7%) trẻ viêm phổi thùy do *M. pneumoniae*, trong đó hay gặp nhất lúc 25-60 tháng, sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê với p<0,05. Tỷ lệ trẻ <24 tháng viêm phổi do *M. pneumoniae* là 19,3% (bảng 3).

3.3. Sự đồng nhiễm vi khuẩn điển hình với M. pneumoniae và một số yếu tố liên quan

Kết quả nghiên cứu 835 bệnh nhân được chẩn đoán viêm phổi thùy có 223 bệnh nhân viêm phổi do *M. pneumoniae*, trong đó 184 bệnh nhân chỉ tìm thấy một nguyên nhân là *M. pneumoniae* và 39 bệnh nhân (17,5%) đồng nhiễm với vi khuẩn khác (bảng 4).

Không có sự khác biệt về các đặc điểm nhân khẩu học (tuổi, giới tính…) giữa nhóm đơn nhiễm và đồng nhiễm ở bệnh nhân viêm phổi thùy do *M. pneumoniae* (p>0,5). Điều này chứng tỏ các yếu tố trên không liên quan đến nguy cơ đồng nhiễm vi khuẩn ở bệnh nhân viêm phổi thùy (bảng 5).

4. Bàn luận

4.1. Đặc điểm về nguyên nhân vi khuẩn trong dịch tỵ hầu ở bệnh nhân viêm phổi thùy

Trong thời gian nghiên cứu từ tháng 3/2023 đến tháng 2/2024 tại Trung tâm Quốc tế, Bệnh viện Nhi Trung ương, tỷ lệ trẻ viêm phổi thùy chiếm 835/8106 (10,3%) tổng số trẻ nhập viện được chẩn đoán viêm phổi, viêm phế quản phổi. Kết quả này cao hơn so với nghiên cứu của D.M. Tuan và cs (2020) [3] thực hiện tại Khoa Hô hấp, Bệnh viện Nhi Trung ương năm 2008-2010 là 68/7560 trẻ (0,9%) và thấp hơn so với nghiên cứu tổng quan của Hiệp hội Lồng ngực Anh năm 2011 [8], phân tích từ 2076 nghiên cứu thực hiện trên đối tượng trẻ 0-16 tuổi là 17,6%.

Kết quả phân lập bằng phương pháp multiplex real-time PCR trong nghiên cứu của chúng tôi có tỷ lệ dương tính là 555/835 (66,5%), với tỷ lệ lần lượt là *M. pneumoniae* 32,1%, *H. influenzae* 28,1% và *S. pneumoniae* 21,9%. Đối với phương pháp nuôi cấy dịch tỵ hầu không bao gồm *M. pneumoniae* do đòi hỏi môi trường nuôi cấy đặc biệt thì tỷ lệ dương tính chỉ có 272/835 (32,6%) trẻ. Kết quả nghiên cứu

của chúng tôi tương đồng với nghiên cứu của M. Jinghua và cs (2017) [9] với tỷ lệ trẻ dương tính là 265/759 (34,9). Trong 262 trẻ, tỷ lệ vi khuẩn lần lượt là *H. influenzae* chiếm 146/835 (17,5%), *M. catarrhalis* chiếm 66/835 (7,9%) và *S. pneumoniae* chiếm 62/835 (7,4%). Kết quả nghiên cứu này cho thấy, sự thay đổi về nguyên nhân vi khuẩn gây bệnh ở bệnh nhân viêm phổi thùy đặc biệt sự thay đổi tỷ lệ *M. catarrhalis* trong kết quả cấy dịch tỵ hầu, đây là nhóm nguyên nhân cần lưu ý trong điều trị. Việc giảm tỷ lệ mắc *S. pneumoniae* và tăng *M. catarrhalis* trong kết quả nghiên cứu của chúng tôi phù hợp với mô hình chuyển đổi nguyên nhân gây bệnh đường hô hấp chung tại Bệnh viện Nhi Trung ương giai đoạn 2020-2024. Để giải thích nguyên nhân hiện tượng này, có thể là do vai trò của vắc xin phòng phế cầu đường hô hấp được triển khai từ năm 2016 trên cộng đồng (trong nghiên cứu của chúng tôi tỷ lệ trẻ được tiêm phòng vắc xin phế cầu là 95,1%).

Trong kết quả nghiên cứu của chúng tôi cho thấy, multiplex real-time PCR là một phương pháp chẩn đoán nhanh, có độ nhạy, độ đặc hiệu trên 80%. Điều này giúp cho các bác sĩ xác định được nguyên nhân gây bệnh.

Có 223/835 (26,7%) trẻ mắc viêm phổi do *M. pneumoniae* chủ yếu hay gặp ở nhóm 25-60 tháng (49,8%), sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê. Tỷ lệ nhiễm *M. pneumoniae* trong nghiên cứu của chúng tôi tương đồng với nghiên cứu của T. Juvén và cs (2000) (26%) [10], nhưng thấp hơn nghiên cứu của C.J. Chen và cs (2012) [11] và Y. Lu và cs (2018) [12] với tỷ lệ nhiễm *M. pneumoniae* lần lượt là 36,8 và 30,6%. Tỷ lệ trẻ <24 tháng viêm phổi do *M. pneumoniae* là 19,3%. Điều này cho thấy, *M. pneumoniae* là căn nguyên quan trọng gây viêm phổi thùy ở trẻ em và lứa tuổi mắc phải đang nhỏ dần so với nghiên cứu của J. Gao và cs (2015) [1] (thường đề cập khoảng 4-6 tuổi trở lên).

4.2. Tỷ lệ đồng nhiễm với viêm phổi do M. pneumoniae và một số yếu tố liên quan

Trong 223 trẻ viêm phổi do *M. pneumoniae* có 184 bệnh nhân đơn nhiễm và 39 (17,5%) bệnh nhân đồng nhiễm với căn nguyên khác, chủ yếu là *H. influenzae* 20/39 bệnh nhân. 835 trẻ viêm phổi thùy tham gia nghiên cứu có độ tuổi trung bình 46,6±30,1 tháng, nhỏ nhất là 1 tháng tuổi và lớn nhất là 13 tuổi. Trong đó, nhóm trẻ 2-5 tuổi chiếm tỷ lệ mắc bệnh cao nhất 44,8%. Tỷ lệ nam và nữ mắc bệnh tương đương nhau. Đặc biệt, nhóm trẻ sống ở thành phố viêm phổi thùy chiếm tỷ lệ cao (69,9%). Hầu hết trẻ đều được tiêm chủng mũi 6 trong 1 và mũi phế cầu với tỷ lệ lần lượt là 99,8 và 95,2%. Có 549 trẻ (65,7%) sử dụng kháng sinh trước khi nhập viện. Tỷ lệ trẻ có tiền sử mắc bệnh đường hô hấp là 17,5%.

Trong nghiên cứu của chúng tôi không có sự khác biệt giữa nhóm đơn nhiễm và đồng nhiễm ở bệnh nhân viêm phổi do *M. pneumoniae* với các đặc điểm nhân khẩu học và lâm sàng của bệnh nhân.

5. Kết luận

Kết quả phân lập bằng multiplex real-time PCR dịch tỵ hầu cho tỷ lệ vi khuẩn phổ biến nhất gây viêm phổi thùy là *M. pneumoniae* (32,1%), tiếp theo là *H. influenzae* (28,1%) và *S. pneumoniae* (21,9%). Đối với phương pháp nuôi cấy vi khuẩn thì căn nguyên hay gặp là *H. influenzae* (17,5%), sau đó là *M. catarrhalis* (7,9%) và *S. pneumoniae* (7,4%). Phương pháp multiplex real-time PCR có độ nhạy và độ đặc hiệu cao (>80%) giúp xác định chính xác và toàn diện các căn nguyên vi khuẩn. Tỷ lệ bệnh nhân viêm phổi do *M. pneumoniae* là 26,7%, thường gặp ở nhóm trẻ 2-5 tuổi. Tỷ lệ đồng nhiễm viêm phổi do *M. pneumoniae* với vi khuẩn điển hình khác là 17,5%. Không có sự khác biệt giữa nhóm đơn nhiễm và đồng nhiễm ở bệnh nhân viêm phổi do *M. pneumoniae* với đặc điểm nhân khẩu học và lâm sàng của bệnh nhân.

Từ kết quả nghiên cứu, chúng tôi khuyến nghị, khi chưa có phương pháp chẩn đoán nguyên nhân chính xác từ vị trí tổn thương tại nhu mô phổi thì xác định căn nguyên vi khuẩn trong dịch tỵ hầu là điều cần thiết để định hướng chẩn đoán nguyên nhân và điều trị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] J. Gao, B. Yue, H. Li, et al. (2015), "Epidemiology and clinical features of segmental/lobar pattern *Mycoplasma pneumoniae* pneumonia: A ten-year retrospective clinical study", *Experimental and Therapeutic Medicine*, **10(6)**, pp.2337-2344, DOI: 10.3892/etm.2015.2818.

[2] I. Rudan, C.B. Pinto, Z. Biloglav, et al. (2008), "Epidemiology and etiology of childhood pneumonia", *Bulletin of The World Health Organization*, **86(5)**, pp.408-416, DOI: 10.2471/blt.07.048769.

[3] D.M. Tuan (2010), *Clinical Characteristics, Laboratory Findings, Bacterial Etiology, and Treatment Outcomes of Focal Pneumonia in Children at The Vietnam National Children's Hospital*, Specialist Level II Thesis, Hanoi Medical University (in Vietnamese).

[4] K.Q. Tran, V.H. Pham, P.M. Nguyen, et al. (2020), "Lobar pneumonia and bacterial pathogens in Vietnamese children", *Current Pediatric Research*, **24(7)**, pp.247-253.

[5] N.T.T. Binh, B.T.T. Nhung (2022), "Bacterial etiology of focal pneumonia in children and treatment outcomes based on bacterial pathogen", *Vietnam Medical Journal*, **518(2)**, pp.265-268, DOI: 10.51298/vmj.v518i2.3470 (in Vietnamese).

[6] Ministry of Health (2014), *Issuing The Guidelines for Management of Community-Acquired Pneumonia in Children* (in Vietnamese).

[7] C. Krafft, C. Christy (2020), "*Mycoplasmae pneumoniae* in children and adolescents", *Pediatrics in Review*, **41(1)**, pp.12-19, DOI: 10.1542/pir.2018-0016.

[8] M. Harris, J. Clark, N. Coote, et al. (2011), "British Thoracic Society guidelines for the management of community acquired pneumonia in children: Update 2011", *Thorax*, **66(2)**, pp.1-23, DOI: 10.1136/thoraxjnl-2011-200598.

[9] M. Jinghua, L. Gaizhuang, C. Qiaoli (2017), "Pathogens and antibiotic resistance of children with community-acquired pneumonia", *Biomedical Research*, **28(20)**, pp.8839-8843.

[10] T. Juvén, J. Mertsola, M. Waris, et al. (2000), "Etiology of community-acquired pneumonia in 254 hospitalized children", *Pediatric Infectious Disease Journal*, **19(4)**, pp.293-298, DOI: 10.1097/00006454-200004000-00006.

[11] C.J. Chen, P.Y. Lin, M.H. Tsai, et al. (2012), "Etiology of community-acquired pneumonia in hospitalized children in northern Taiwan", *Pediatric Infectious Disease Journal*, **31(11)**, pp.196-201, DOI: 10.1097/INF.0b013e31826eb5a7.

[12] Y. Lu, Y. Wang, C. Hao, et al. (2018), "Clinical characteristics of pneumonia caused by *Mycoplasma pneumoniae* in children of different ages", *International Journal of Clinical and Experimental Pathology*, **11(2)**, pp.855-861.

QUY ĐỊNH VỀ BÀI BÁO ĐĂNG TẢI TRÊN TẠP CHÍ

Yêu cầu chung

Bài báo gửi đăng trên Tạp chí phải là bài báo nguyên thuỷ (chưa được công bố trước đó). Tác giả không được gửi đăng bài báo trên các tạp chí khác cho đến khi có quyết định xét duyệt của Ban Biên tập.

Bài báo dài không quá 10 trang (bao gồm cả bảng biểu, ghi chú, tài liệu tham khảo và phụ lục); font chữ: Times New Roman; cỡ chữ 13; khổ giấy A4, lề trên 2 cm, lề dưới 2 cm, lề trái 3 cm, lề phải 2 cm.

Bài báo gửi qua Hệ thống gửi bài trực tuyến tại địa chỉ https://b.vjst.vn/index.php/ban_b/about/submissions hoặc có thể gửi trực tiếp đến Tạp chí (Số 115 Trần Duy Hưng, phường Yên Hòa, Hà Nội, Việt Nam) hoặc qua hòm thư điện tử: khcnvn@mst.gov.vn.

Cấu trúc của các loại bài báo khác nhau có thể thay đổi tùy theo loại hình nghiên cứu và nội dung của bài báo. Sau đây là chi tiết các thành phần chính của bài báo.

Tên bài báo

- Tên bài báo được viết bằng tiếng Việt và tiếng Anh, trên trang đầu của bài báo, in đậm, không gạch chân hay viết nghiêng.
- Tên bài báo phải ngắn gọn, rõ ràng và phù hợp với nội dung bài báo.
- Phía dưới tên bài báo là tên tác giả không viết chức danh và học hàm, học vị. Nếu có nhiều tác giả làm việc ở các cơ quan khác nhau thì tên tác giả được đánh số ([1, 2...]) ở phía trên. Dấu hoa thị (*) chỉ tác giả liên hệ, được viết ở cuối trang đầu tiên của bài báo.

Khi liệt kê cơ quan công tác của tác giả, cần nêu rõ tên cơ quan và địa chỉ cơ quan (số nhà, tên đường, phường, quận, thành phố, quốc gia) bằng tiếng Việt và tiếng Anh.

Tóm tắt

Tóm tắt bằng tiếng Việt và tiếng Anh (khoảng 160-250 từ). Nêu được mục đích, phương pháp nghiên cứu chính, kết quả nghiên cứu và kết luận chủ yếu. Từ khoá bằng cả tiếng Việt và tiếng Anh theo thứ tự alphabet (ít nhất 3 từ khóa). Chỉ số phân loại (theo hướng dẫn).

1. Đặt vấn đề/Dẫn nhập/Mở đầu

Định nghĩa vấn đề; tóm lược vấn đề nghiên cứu đã được công bố trong và ngoài nước, nêu mục tiêu nghiên cứu và giải thích sự lựa chọn đề tài và mục tiêu nghiên cứu để thấy được tính thời sự, tính khoa học và sự cần thiết của vấn đề nghiên cứu.

2. Đối tượng/Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu cần trình bày tiêu chuẩn lựa chọn, đặc điểm đối tượng nghiên cứu.

Phương pháp nghiên cứu cần nêu rõ cách tiếp cận nghiên cứu, loại hình nghiên cứu, phương pháp đo lường, công thức tính cỡ mẫu, phương pháp xử lý số liệu, mô tả kỹ các kỹ thuật tiến hành trong nghiên cứu; các quan điểm, lập luận, ý kiến tranh luận, các dẫn chứng...

3. Kết quả

Trình bày đầy đủ, khách quan các kết quả thu được sau nghiên cứu, các kết quả này phải phục vụ cho mục tiêu nghiên cứu. Các số liệu phải chính xác và khớp với nhau.

Phần kết quả nghiên cứu chỉ trình bày các kết quả nghiên cứu của đề tài, không giải thích, so sánh và bàn luận.

4. Bàn luận (phần này có thể gộp với phần kết quả)

Chủ yếu bàn luận các vấn đề liên quan đến mục tiêu đề tài.

Nhận xét, đánh giá một cách khách quan các kết quả nghiên cứu, có so sánh với các tác giả khác để khẳng định hoặc phủ định những hiểu biết đã có, qua đó nêu được những điểm mới và đóng góp của đề tài.

Dự báo hướng nghiên cứu tiếp theo và khả năng ứng dụng các kết quả nghiên cứu vào thực tiễn.

5. Kết luận

Nêu kết quả nghiên cứu chủ yếu của đề tài có tính khái quát liên quan đến mục tiêu nghiên cứu, đề xuất các vấn đề tiếp tục nghiên cứu.

PHỤ LỤC (nếu có)

Đăng tải bảng số liệu, thông tin để hỗ trợ thêm cho nội dung bài báo.

LỜI CẢM ƠN (nếu có)

Tác giả cảm ơn các tổ chức/cá nhân đã tài trợ kinh phí hoặc hỗ trợ cho nghiên cứu.

Chú thích và tài liệu tham khảo

Chú thích được đánh số theo thứ tự xuất hiện ([1, 2, 3...]) và được trình bày ngay ở cuối trang viết (footnote).

Các tài liệu tham khảo được đánh số theo thứ tự xuất hiện để chỉ dẫn chúng được trích dẫn ở đâu trong bài báo. Số thứ tự được đánh trong ngoặc vuông, ví dụ: [3] với một hoặc [2, 5, 7-9] với nhiều số chỉ dẫn.

Lưu ý:

- Đối với trích dẫn trong bài báo: tài liệu tham khảo có nhiều hơn một tác giả chỉ để tên tác giả đầu tiên và cộng sự, viết tắt là cs, ví dụ: T.V. Nguyen và cs (năm xuất bản) [thứ tự trong danh mục tài liệu tham khảo].
- Đối với danh mục tài liệu tham khảo cuối bài: tài liệu tham khảo bằng tiếng Anh, các tài liệu không phải tiếng Anh cần được dịch sang tiếng Anh và chú thích ở cuối câu, ví dụ: (in Vietnamese), (in French)...
- Tài liệu tham khảo là các đường link cần bổ sung ngày truy cập.

Tác giả (Năm xuất bản), "Tên tài liệu được trích dẫn", *Tên nguồn*, **tập(số)**, trang/số trang/trang đầu-trang cuối (nếu có), số DOI (nếu có), URL (nếu có), ngày truy cập (ghi rõ ngôn ngữ nào nếu không phải tài liệu bằng tiếng Anh).

Tác giả: là tác giả/các tác giả của tài liệu được tham khảo, trích dẫn: liệt kê đầy đủ tên tác giả (chữ viết tắt đưa lên trước) với những tài liệu tham khảo có ≤3 tác giả; liệt kê 3 tác giả đầu tiên và theo sau là "et al." khi có từ 4 tác giả trở lên.

Năm xuất bản: năm xuất bản của tài liệu được tham khảo, trích dẫn.

Tên tài liệu được trích dẫn: là tên bài báo, chương/phần sách… (chỉ viết hoa chữ cái đầu, trừ tên riêng và sau dấu hai chấm), viết trong ngoặc kép.

Tên nguồn có thể là tên tạp chí, tên sách, hay tên tài liệu gốc của tài liệu được trích dẫn (phần này được *in nghiêng*), viết hoa chữ cái đầu tiên của mỗi từ chính.

Tập(số): dành cho nguồn trích là tạp chí, sách hoặc các xuất bản phẩm khác (phần này **in đậm**).

Trang/số trang/trang đầu-trang cuối phản ánh nơi cư trú của tài liệu được trích dẫn trong tài liệu nguồn.

Nếu có ≥2 tài liệu tham khảo do cùng tác giả đầu tiên và cùng năm công bố, thì các tài liệu tham khảo này cần được đánh dấu a, b… sau năm xuất bản (ví dụ: 1986a, 1986b...).

Nếu có một số tài liệu tham khảo có cùng 1 bài báo được trích dẫn có số trang khác nhau thì cần trích dẫn thêm số trang, ví dụ: A. Amber (1982, p.39).

Chi tiết vui lòng xem thêm tại: https://b.vjst.vn/index.php/ban_b/quy-dinh-bai-viet.

Các yêu cầu khác

- Bài viết không đạt yêu cầu, Toà soạn không trả lại bản thảo.
- Bài viết chỉ được đăng khi phản biện nhận xét về chất lượng bài báo đồng ý cho đăng.
- Bản quyền: tác giả đồng ý trao bản quyền bài viết (bao gồm cả phần tóm tắt) cho Ban Biên tập Tạp chí.

Quy định này áp dụng từ năm 2022 trở đi.

PHÂN LOẠI LĨNH VỰC KHOA HỌC

1. Khoa học tự nhiên

1.1. Toán học và thống kê
1.2. Khoa học máy tính và thông tin
1.3. Vật lý
1.4. Hóa học
1.5. Khoa học trái đất và môi trường
1.6. Khoa học sự sống
1.7. Khoa học nano
1.8. Khoa học tính toán
1.9. Các lĩnh vực khác của khoa học tự nhiên

2. Khoa học kỹ thuật và công nghệ

2.1. Kỹ thuật dân dụng: kỹ thuật kiến trúc; kỹ thuật xây dựng; kỹ thuật kết cấu và đô thị; kỹ thuật giao thông vận tải; kỹ thuật thuỷ lợi; kỹ thuật địa chất công trình
2.2. Kỹ thuật điện, kỹ thuật điện tử, kỹ thuật thông tin
2.3. Kỹ thuật cơ khí, chế tạo máy
2.4. Kỹ thuật hóa học
2.5. Kỹ thuật vật liệu và luyện kim
2.6. Kỹ thuật y học
2.7. Kỹ thuật môi trường
2.8. Công nghệ sinh học công nghiệp
2.9. Công nghệ nano
2.10. Kỹ thuật thực phẩm và đồ uống
2.11. Các lĩnh vực khác của khoa học kỹ thuật và công nghệ

3. Khoa học y - dược

3.1. Y học cơ sở
3.2. Y học lâm sàng
3.3. Y học dự phòng
3.4. Dược học
3.5. Các lĩnh vực khác của khoa học y - dược

4. Khoa học nông nghiệp

4.1. Trồng trọt
4.2. Chăn nuôi
4.3. Thú y
4.4. Lâm nghiệp
4.5. Thủy sản
4.6. Công nghệ sinh học trong nông nghiệp, thủy sản
4.7. Các lĩnh vực khác của khoa học nông nghiệp

5. Khoa học xã hội và nhân văn

5.1. Tâm lý học
5.2. Kinh tế và kinh doanh
5.3. Khoa học giáo dục
5.4. Xã hội học
5.5. Pháp luật
5.6. Khoa học chính trị
5.7. Địa lý kinh tế và xã hội
5.8. Thông tin đại chúng và truyền thông
5.9. Lịch sử và khảo cổ học
5.10. Ngôn ngữ học và văn học
5.11. Triết học, đạo đức và tôn giáo
5.12. Nghiên cứu về khu vực và quốc tế
5.13. Các lĩnh vực khác của khoa học xã hội và nhân văn

TẠP CHÍ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

Vietnam Journal of Science and Technology - MOST

Volume 68 - Number 2 - February 2026

Khảo sát thành phần hóa học, hoạt tính kháng vi sinh vật và kháng oxy hóa của cao chiết từ vỏ lụa hạt điều (*Anacardium occidentale* L.).
Nguyễn Thị Dung, Nguyễn Văn Toàn, Phạm Hải Sơn, Bùi Lê Khả Tú, Nguyễn Thị Liễu, Bùi Bảo Thịnh

Nghiên cứu và đánh giá tính an toàn của chủng *Bacillus subtilis* Eramic 26 ứng dụng trong sản xuất probiotic.
Đoàn Thị Thùy Linh, Đào Gia Bách, Lưu Thị Thủy Ngân, Ngô Bá Bình, Hoàng Thị Thanh Hoa, Nguyễn Vũ Trung, Lê Thị Hội

Nghiên cứu thiết kế hệ thống thiết bị hiệu chuẩn/kiểm định thước cuộn, thước vạch có phạm vi đo đến 30 m.
Trần Xuân Đạt, Tống Công Dũng, Lê Xuân Dũng, Trần Nam Anh, Vũ Khánh Phan, Nguyễn Xuân Thái, Nguyễn Ngọc Danh

Đánh giá khả năng kháng xuyên của một số vật liệu cát ứng dụng đắp ụ bảo vệ tàu bay.
Nguyễn Văn Hiếu, Dương Duy Khánh, Nguyễn Xuân Bàng, Trần Công Bình

Ảnh hưởng của chất lượng nước tưới đến tính chất đất trồng rau khu vực Gia Lâm, Hà Nội.
Dương Thị Kim Thư, Nguyễn Thị Hằng Nga, Nguyễn Thị Ngọc Dinh

Đổi mới quy trình may đáp túi thông qua nghiên cứu, thiết kế, chế tạo hệ thống cữ, gá, dưỡng bán tự động lắp cho máy lập trình Juki AMS-221EN/2516.
Hoàng Xuân Hiệp, Nguyễn Sỹ An, Nguyễn Văn Lâm, Đỗ Xuân Chữ, Dương Thị Hoàn

Chế tạo và nghiên cứu tính chất quang của vật liệu $MgGa_2O_4$ pha tạp Cr^{3+}.
Nguyễn Ánh Tuyết, Vũ Hồng Đăng, Trần Việt Hùng, Dương Thị Hảo Dung, Ngô Mai Chi, Hoàng Minh Tuấn, Nguyễn Văn Quang, Vũ Thị Kim Liên

Phân tích methanol trong xăng bằng kỹ thuật chiết lỏng - lỏng kết hợp sắc ký khí detector ion hóa ngọn lửa (GC-FID).
Hoàng Thị Hương Thảo, Nguyễn Diệu Xuân, Mai Thị Phương Thảo, Khuất Ngọc Hải, Vũ Đức Lợi

Ảnh hưởng của phương pháp sấy đến thành phần hóa học và đặc tính hóa lý của tảo xoắn *Spirulina platensis*.
Nguyễn Trọng Bách, Trần Bảo Duy, Lê Bền, Đinh Văn Hiện

Tổng hợp vật liệu nano sắt bằng dịch chiết lá bàng (*Terminalia catappa* L.) và ứng dụng kích thích nảy mầm hạt ngô.
Nguyễn Đắc Bình Minh, Đào Văn Minh, Nguyễn Thị Hồng Phượng, Lã Đức Dương, Nguyễn Hoài Phương, Nguyễn Thị Việt Quỳnh, Phan Thị Vân Anh

Tối ưu điều kiện sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại cho cá dứa *Pangasius krempfi*.
Hoàng Thái Hà, Đặng Xuân Cường, Vũ Quang Vinh, Trần Tuấn Kiệt, Lê Thành Đạt, Đoàn Hoàng Thái, Trần Duy Thuận, Nguyễn Thúy Nga, Trần Đình Toàn Anh

Tỷ lệ mắc sarcopenia ở người bệnh phổi tắc nghẽn mạn tính điều trị ngoại trú tại Bệnh viện Phổi Nghệ An năm 2024.
Đặng Anh Tuấn, Lê Đức Cường, Phạm Thị Dung

Căn nguyên vi khuẩn trong dịch tỵ hầu ở bệnh nhân viêm phổi thùy tại Bệnh viện Nhi Trung ương từ tháng 3/2023 đến tháng 2/2024.
Nguyễn Thị Mai, Trần Thanh Tú, Dương Thị Thụy, Nguyễn Ngọc Văn, Nguyễn Thị Thu Hằng, Vũ Đức Anh, Nguyễn Huy Khánh

1 **Investigation of the chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of cashew nut testa extracts (*Anacardium occidentale* L.).**
Thi Dung Nguyen, Van Toan Nguyen, Hai Son Pham, Le Kha Tu Bui, Thi Lieu Nguyen, Bao Thinh Bui

10 **Research and safety evaluation of the *Bacillus subtilis* Eramic 26 strain for application in probiotic production.**
Thi Thuy Linh Doan, Gia Bach Dao, Thi Thuy Ngan Luu, Ba Binh Ngo, Thi Thanh Hoa Hoang, Vu Trung Nguyen, Thi Hoi Le

17 **Research and design of a calibration and verification system for tape measures and rulers with a measurement range of up to 30 metres.**
Xuan Dat Tran, Cong Dung Tong, Xuan Dung Le, Nam Anh Tran, Khanh Phan Vu, Xuan Thai Nguyen, Ngoc Danh Nguyen

25 **Assessment of the penetration resistance of sand materials for aircraft protection fortifications.**
Van Hieu Nguyen, Duy Khanh Duong, Xuan Bang Nguyen, Cong Binh Tran

31 **The impact of irrigation water quality on soil properties in vegetable-growing areas of Gia Lam, Hanoi.**
Thi Kim Thu Duong, Thi Hang Nga Nguyen, Thi Ngoc Dinh Nguyen

37 **Innovation of the pocket attachment sewing process through research, design, and fabrication of a semi-automatic jig-fixture-template system for the Juki AMS-221EN/2516 programmable sewing machine.**
Xuan Hiep Hoang, Sy An Nguyen, Van Lam Nguyen, Xuan Chu Do, Thi Hoan Duong

46 **Synthesis and research on optical properties of Cr^{3+}-doped $MgGa_2O_4$ phosphors.**
Anh Tuyet Nguyen, Hong Dang Vu, Viet Hung Tran, Thi Hao Dung Duong, Mai Chi Ngo, Minh Tuan Hoang, Van Quang Nguyen, Thi Kim Lien Vu

51 **Determination of methanol in gasoline using liquid-liquid extraction and gas chromatography-flame ionisation detector (GC-FID).**
Thi Huong Thao Hoang, Dieu Xuan Nguyen, Thi Phuong Thao Mai, Ngoc Hai Khuat, Duc Loi Vu

57 **Effects of drying method on chemical composition and physicochemical properties of *Spirulina platensis*.**
Trong Bach Nguyen, Bao Duy Tran, Ben Le, Van Hien Dinh

64 **Synthesis of iron nanomaterials using *Terminalia catappa* L. leaf extract and their application in stimulating maize seed germination.**
Dac Binh Minh Nguyen, Van Minh Dao, Thi Hong Phuong Nguyen, Duc Duong La, Hoai Phuong Nguyen, Thi Viet Quynh Nguyen, Thi Van Anh Phan

74 **Optimisation of infrared radiation-assisted heat pump drying for *Pangasius krempfi*.**
Thai Ha Hoang, Xuan Cuong Dang, Quang Vinh Vu, Tuan Kiet Tran, Thanh Dat Le, Hoang Thai Doan, Duy Thuan Tran, Thuy Nga Nguyen, Dinh Toan Anh Tran

85 **Prevalence of sarcopenia among outpatients with chronic obstructive pulmonary disease at Nghe An Lung Hospital in 2024.**
Anh Tuan Dang, Duc Cuong Le, Thi Dung Pham

91 **Bacterial pathogens in nasopharyngeal samples of lobar pneumonia in children at the Vietnam National Children's Hospital from March 2023 to February 2024.**
Thi Mai Nguyen, Thanh Tu Tran, Thi Thuy Duong, Ngoc Van Nguyen, Thi Thu Hang Nguyen, Duc Anh Vu, Huy Khanh Nguyen