



ISSN 1859-4794

TẠP CHÍ

KHOA HỌC & CÔNG NGHỆ Việt Nam

**Vietnam Journal of
Science and Technology - MOST**

B

Tập 63 - Số 6 - Tháng 6 năm 2021

HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP

Nguyễn Văn Hiệu - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Nguyễn Việt Anh - Trường Đại học Xây dựng
Bùi Chí Bửu - Viện Khoa học Kỹ thuật Nông nghiệp Miền Nam
Vũ Dũng - Hội Tâm lý học Việt Nam
Trần Thọ Đạt - Trường Đại học Kinh tế Quốc dân
Nguyễn Đình Đức - Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội
Vũ Minh Giang - Đại học Quốc gia Hà Nội
Trương Nam Hải - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
Từ Quang Hiến - Trường Đại học Nông lâm Thái Nguyên
Phạm Huy Khang - Trường Đại học Giao thông Vận tải
Phạm Gia Khánh - Chủ tịch Hội Ghép tạng Việt Nam
Hồ Đắc Lộc - Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ TP Hồ Chí Minh
Nguyễn Thị Mỹ Lộc - Trường Đại học Giáo dục - Đại học Quốc gia Hà Nội
Bành Tiến Long - Trường Đại học Bách khoa Hà Nội
Lê Quan Nghiệm - Đại học Y Dược TP Hồ Chí Minh
Mai Trọng Nhuận - Đại học Quốc gia Hà Nội
Nguyễn Thanh Phương - Trường Đại học Cần Thơ
Nguyễn Thanh Thủy - Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội
Phạm Hùng Việt - Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội

TỔNG BIÊN TẬP

Đặng Ngọc Bảo

PHÓ TỔNG BIÊN TẬP

Nguyễn Thị Hải Hằng
Nguyễn Thị Hương Giang

TRƯỞNG BAN BIÊN TẬP

Phạm Thị Minh Nguyệt

TRƯỞNG BAN TRỊ SỰ

Lương Ngọc Quang Hưng

TRÌNH BÀY

Đinh Thị Luận

EDITORIAL COUNCIL

Nguyen Van Hieu - Vietnam Academy of Science and Technology
Nguyen Viet Anh - National University of Civil Engineering
Bui Chi Bui - Institute of Agricultural Science for Southern Vietnam
Vu Dung - Vietnam Association of Social Psychology
Tran Tho Dat - National Economics University
Nguyen Dinh Duc - University of Engineering and Technology - Vietnam National University, Hanoi
Vu Minh Giang - Vietnam National University, Hanoi
Truong Nam Hai - Vietnam Academy of Science and Technology
Tu Quang Hien - Thai Nguyen University of Agriculture and Forestry
Pham Huy Khang - University of Transport and Communications
Pham Gia Khanh - President of Vietnam Society of Organ Transplantation
Ho Duc Loc - Ho Chi Minh City University of Technology
Nguyen Thi My Loc - University of Education, Vietnam National University, Hanoi
Banh Tien Long - Hanoi University of Science and Technology
Le Quan Nghiem - University of Medicine and Pharmacy of Ho Chi Minh City
Mai Trong Nhuan - Vietnam National University, Hanoi
Nguyen Thanh Phuong - Can Tho University
Nguyen Thanh Thuy - University of Engineering and Technology - Vietnam National University, Hanoi
Pham Hung Viet - VNU University of Science

EDITOR-IN-CHIEF

Dang Ngoc Bao

DEPUTY EDITORS

Nguyen Thi Hai Hang
Nguyen Thi Huong Giang

HEAD OF EDITORIAL BOARD

Pham Thi Minh Nguyet

HEAD OF ADMINISTRATION

Luong Ngoc Quang Hung

ART DIRECTOR

Dinh Thi Luan

TÒA SOẠN

113 Trần Duy Hưng - Cầu Giấy - Hà Nội
Tel: (84.24) 39436793; Fax: (84.24) 39436794
Email: khcnvn@most.gov.vn
Tạp chí điện tử: b.vjst.vn

EDITORIAL OFFICE

113 Tran Duy Hung Str. - Cau Giay Dist. - Hanoi
Tel: (84.24) 39436793; Fax: (84.24) 39436794
Email: khcnvn@most.gov.vn
E-journal: b.vjst.vn

GIẤY PHÉP XUẤT BẢN

Số 1153/GP-BTTTT ngày 26/7/2011
Số 2528/GP-BTTTT ngày 26/12/2012
Số 592/GP-BTTTT ngày 28/12/2016
Giá: 18000^d

PUBLICATION LICENCE

No.1153/GP-BTTTT 26th July 2011
No.2528/GP-BTTTT 26th December 2012
No.592/GP-BTTTT 28th December 2016

Thiết kế nền tảng Biosensing quang học dựa trên cấu trúc nano điện môi - kim loại - điện môi

Phạm Đình Đạt, Phạm Tiến Thành*

Trường Đại học Việt Nhật (VJU), Đại học Quốc gia Hà Nội (VNU)

Ngày nhận bài 8/2/2021; ngày chuyển phản biện 22/2/2021; ngày nhận phản biện 6/4/2021; ngày chấp nhận đăng 12/4/2021

Tóm tắt:

Cấu trúc chất điện môi - kim loại - chất điện môi (IMI) là một cấu trúc tiềm năng trong thiết kế nền tảng cảm biến sinh học bởi các đặc tính quang học ưu việt, đặc biệt là hiện tượng cộng hưởng bề mặt (SPR). Trong nghiên cứu này, đặc tính quang học của cấu trúc IMI trong dải bước sóng nhìn thấy được tính toán bằng phương pháp transfer matrix. Kết quả chỉ ra rằng, cấu trúc IMI có khả năng hấp thụ ánh sáng mạnh ở bước sóng thích hợp do hiệu ứng SPR trong cấu trúc. Hiện tượng SPR này được hình thành do sự kết hợp giữa ánh sáng tới và các điện tử tự do của lớp kim loại trong cấu trúc. Đặc điểm đỉnh tín hiệu của hiện tượng SPR phụ thuộc vào độ dày của các lớp và môi trường chiết suất xung quanh cấu trúc IMI. Dựa vào các kết quả tính toán nêu trên, cấu trúc IMI ứng dụng cho chip sinh học đã được thiết kế và tối ưu hóa từ đặc tính quang học. Bên cạnh đó, các kết quả tính toán độ nhạy chỉ ra rằng, cấu trúc IMI có độ nhạy cao hơn chip sinh học sử dụng phương pháp phản xạ toàn phần (ATR), SPR và tương đương với phương pháp sử dụng cấu trúc kim loại - chất điện môi - kim loại (MIM).

Từ khóa: ATR, cấu trúc nano chất điện môi - kim loại - chất điện môi, SPR.

Chỉ số phân loại: 1.3

Đặt vấn đề

Hiện nay, có thể chia các chip sinh học được sử dụng rộng rãi làm 3 loại chính: chip sinh học sử dụng tín hiệu quang học (Optical biosensors); chip sinh học sử dụng tín hiệu điện (Electrical biosensors); chip sinh học sử dụng tính chất cơ (Mechanical biosensors) [1]. Chip sinh học sử dụng tín hiệu quang học là loại chip nhận biết lớp sinh học dựa trên sự thay đổi của các đặc tính quang học như phản xạ, truyền qua, phát quang khi trên bề mặt có thêm các lớp sinh học như protein (biotin, avidin) hoặc các virus... Do đó, các cấu trúc được áp dụng trong các chip sinh học loại này thường có độ nhạy cao với sự thay đổi của môi trường xung quanh cấu trúc, ví dụ như sự thay đổi về chiết suất. Nhiều phương pháp khác nhau đã được sử dụng trong chế tạo chip sinh học loại này như phương pháp đánh dấu huỳnh quang, phương pháp sử dụng chất bán dẫn, phương pháp sử dụng hiệu ứng cộng hưởng plasmon bề mặt [2-5]. Trong đó, phương pháp sử dụng hiệu ứng cộng hưởng plasmon bề mặt đã được nhiều nhóm tiến hành nghiên cứu và phát triển.

Một số nhóm nghiên cứu trên thế giới đang phát triển các chip sinh học dựa trên hiện tượng cộng hưởng plasmon bề mặt như SPR và LSPR (hiện tượng cộng hưởng cục bộ) [6-9]. Hiện tượng plasmon bề mặt là sự dao động của các điện tử tự do ở bề mặt vật liệu khi bị tác động của ánh sáng kích thích. Hiện tượng cộng hưởng plasmon bề mặt xảy ra khi tần số của ánh sáng kích thích trùng với tần số dao động của electron bề mặt [8]. Một phương pháp phổ biến được sử dụng để kích hoạt hiện tượng này là phương pháp phản xạ toàn phần bên trong ATR (Attenuated Total Reflection).

Khi hiện tượng SPR xảy ra, đặc tính quang học tại bước sóng xảy ra SPR rất nhạy với sự thay đổi chiết suất ở bề mặt xung quanh. Các nhóm nghiên cứu đã lợi dụng tính chất này để phát triển các loại chip sinh học. Nhiều bộ sản phẩm chip sinh học sử dụng hiện tượng SPR có độ nhạy cao khoảng $0,003 \text{ ng/mm}^2$ đã được bán trên thị trường [9]. Tuy vậy, chip sinh học sử dụng hiện tượng SPR có nhược điểm là cấu tạo phức tạp, đặc biệt là hệ thống xử lý quang học cần có một thấu kính (prism) để kích thích xảy ra hiện tượng phản xạ toàn phần. Để nâng cao độ nhạy cũng như đơn giản hóa quá trình chế tạo các loại chip sinh học này, nhóm nghiên cứu của Giáo sư Kajikawa đã sử dụng cấu trúc nano MIM để phát triển chip sinh học [10-12]. Cấu trúc MIM có kích thước 200-500 nm với kích thước từng lớp 20-100 nm. Độ nhạy của chip sinh học sử dụng phương pháp này khoảng $9-40 \text{ pg/mm}^2$, tương đương với độ nhạy của chip sinh học sử dụng phương pháp ATR [13]. Tuy nhiên, cấu trúc của chip sinh học đơn giản hơn do cấu trúc MIM không cần sử dụng đến thấu kính (prism) để kích hoạt hiện tượng SPR.

Nghiên cứu này tiến hành phân tích đặc tính quang học của cấu trúc nano IMI thông qua việc tính toán về độ phản xạ, truyền qua khi ánh sáng đi vào cấu trúc IMI. Tương tự như cấu trúc MIM, khi có kích thích của ánh sáng với bước sóng thích hợp, hiện tượng SPR cũng sẽ xảy ra trong cấu trúc IMI. Ở cấu trúc IMI, vật liệu điện môi cho phép gắn các lớp phân tử sinh học lên bề mặt một cách đơn giản. Ưu điểm này rất quan trọng trong việc phát triển chip sinh học. Bằng cách tối ưu hóa cấu trúc IMI, các đặc tính quang học như phản xạ và truyền qua sẽ có sự thay đổi lớn khi môi trường chiết suất xung quanh thay đổi. Từ đó, nghiên cứu đề xuất cấu trúc phù hợp nhằm ứng dụng vào chip sinh học có độ nhạy cao.

*Tác giả liên hệ: Email: pt.thanh@vju.ac.vn

Designing a new optical biosensing platform based on an insulator-metal-insulator nanostructure

Dinh Dat Pham, Tien Thanh Pham*

Vietnam-Japan University (VJU),
Vietnam National University, Hanoi (VNU)

Received 8 February 2021; accepted 12 April 2021

Abstract:

The insulator-metal-insulator (IMI) structure is potential for the fabrication of biosensor platform devices because of its unique optical properties, especially surface plasmon resonance (SPR). In this study, the optical properties of the IMI structure in the visible wavelength range were calculated using the transfer matrix method. The results indicated that the IMI structure exhibited high absorbance at the proper wavelength due to the SPR. This phenomenon was resulted from the resonance of incident light and the free electrons in the metal surface. The SPR signal relied on the thickness of layers in the IMI structure and the refractive index of the surrounding medium. Based on calculation results, the IMI structure applied for the biosensor was designed and optimised with respects to optical properties. In addition, sensitivity calculation demonstrated that IMI structure was more sensitive than biosensor based on attenuated total reflection (ATR), SPR method while similar results were attained with the metal-insulator-metal (MIM) structure method.

Keywords: ATR, insulator-metal-insulator nanostructure, SPR.

Classification number: 1.3

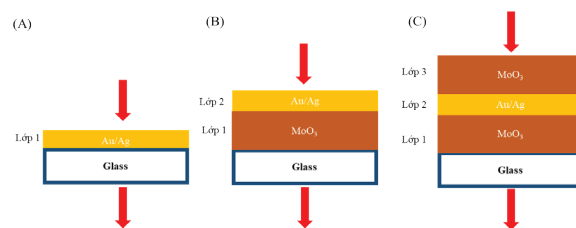
Phương pháp nghiên cứu

Đặc tính quang học như truyền qua và phản xạ khi ánh sáng đi vào cấu trúc đa lớp IMI được tính toán bằng phương pháp transfer matrix [14, 15]. Cùng với đó, sự thay đổi của phổ truyền qua, phản xạ của cấu trúc IMI và lớp phần tử sinh học cũng được tính toán bằng phương pháp tương tự. Việc so sánh và phân tích sự khác nhau của đặc tính quang học khi có và không có lớp phần tử sinh học cũng được thực hiện nhằm tối ưu hóa cấu trúc IMI và đánh giá độ nhạy của nó khi ứng dụng vào việc chế tạo chip sinh học. Quy trình được thực hiện như sau: (1) Tính toán đặc tính truyền qua và phản xạ trong cấu trúc IMI, (2) Tính toán đặc tính quang học phản xạ trong cấu trúc IMI và lớp phần tử sinh học, (3) Tối ưu hóa cấu trúc IMI ứng dụng vào chip sinh học.

Kết quả và thảo luận

Đặc tính truyền qua, phản xạ trong cấu trúc IMI

Đặc tính truyền qua, phản xạ được tính toán trong 3 cấu trúc kim loại (M), kim loại - chất điện môi (IM), chất điện môi - kim loại - chất điện môi (IMI) như trong hình 1. Các thông số sử dụng trong tính toán như vật liệu, độ dày và chiết suất của các lớp trong cấu trúc I, IM, IMI được thể hiện ở bảng 1. MoO_3 được sử dụng làm chất điện môi trong cấu trúc IMI do nó có chiết suất cao (khoảng 2,1). Sự khác biệt lớn giữa chiết suất của lớp phần tử sinh học ở trên lớp MoO_3 và lớp MoO_3 dẫn đến thay đổi rõ ràng trong phổ phản xạ khi có và không có lớp phần tử sinh học. Các kim loại được sử dụng để tính toán gồm vàng (Au) và bạc (Ag) là các kim loại ổn định về mặt hóa học và đặc tính quang học.

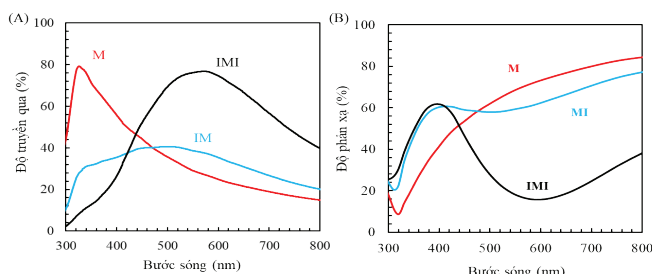


Hình 1. Cấu trúc kim loại (20 nm) (M), kim loại (20 nm) - chất điện môi (50 nm) (MI), chất điện môi (50 nm) - kim loại (20 nm) - chất điện môi (50 nm) (IMI).

Kết quả tính toán đặc tính truyền qua và phản xạ bằng phương pháp transfer matrix khi ánh sáng đi vào cấu trúc M, IM, IMI (với kim loại là Ag) trong khoảng bước sóng từ 300 đến 800 nm được biểu diễn trong hình 2A và 2B. Độ dày của các lớp và thông số tính toán như bảng 1. Trong hình 2A, lần lượt đường màu đỏ, màu xanh và màu đen tương ứng với phổ truyền qua khi ánh sáng đi qua cấu trúc M, cấu trúc IM và cấu trúc IMI. Với cấu trúc là đơn lớp kim loại, độ truyền qua giảm dần theo chiều tăng của độ lớn bước sóng và phổ truyền qua không cho thấy đỉnh phổ nào khác ngoài đỉnh của Ag ở bước sóng 320 nm. Tuy nhiên trong cấu trúc IM cũng như IMI, có thể thấy rõ được đỉnh phổ trong phổ truyền qua cấu trúc này khác với cấu trúc đơn lớp kim loại. Đặc biệt trong cấu trúc IMI, có thể quan sát được đỉnh phổ ở khoảng bước sóng 580 nm với độ truyền qua xấp xỉ 75%, lớn gấp 3 lần so với cấu trúc đơn lớp kim loại và 2 lần so với cấu trúc IM ở cùng bước sóng. Trong khi đó, cấu trúc IMI có độ dày là 120 nm, lớn hơn nhiều độ dày của cấu trúc M (20 nm) và cấu trúc IM. Cấu trúc IMI có 2 bề mặt tiếp xúc giữa 2 lớp chất điện môi (MoO_3) và kim loại Ag, lớp MoO_3 có độ dày 50 nm (độ dày này nhỏ hơn 1/4 bước sóng của ánh sáng đi vào) với chiết suất từ 2,1. Do đó lớp điện môi đóng vai trò như lớp làm giảm phản xạ, và tăng độ truyền qua ở bước sóng thích hợp với độ dày, do hiện tượng giao thoa giữa ánh sáng phản xạ ở lớp kim loại và lớp điện môi. Bên cạnh đó, độ chênh lệch chiết suất ở bề mặt của lớp Ag và MoO_3 là rất lớn, do đó đỉnh của hiện tượng SPR ở bề mặt lớp Ag dịch chuyển về phía bước sóng dài. Do đó đỉnh phổ truyền qua của cấu trúc IMI nằm ở khoảng bước sóng 580 nm so với 320 nm của Ag. Ngược lại với xu hướng ở phổ truyền qua trong hình 2A, phổ phản xạ ở hình 2B cho thấy độ truyền qua tương ứng với các cấu trúc M, IM, IMI có sắp xếp giảm dần. Độ phản xạ ở cấu trúc IMI nhỏ nhất khoảng 19% tại bước sóng 595 nm.

Bảng 1. Các thông số sử dụng trong tính toán.

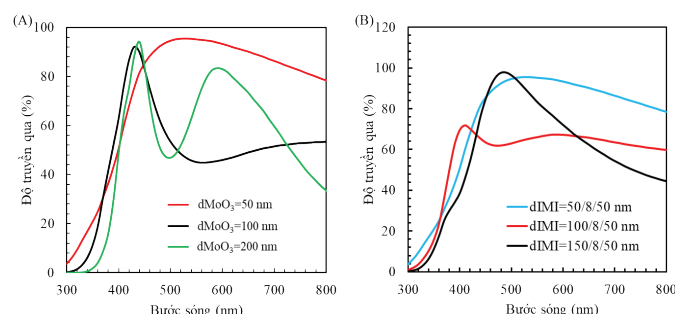
Các lớp	Vật liệu	Độ dày (nm)	Chiết suất
Lớp 1 (Layer 1(I))	MoO ₃	50	2,1~2,15
Lớp 2 (Layer 2(M))	Au/Ag	20	Theo bước sóng
Lớp 3 (Layer 3(I))	MoO ₃	50	2,1~2,15
Đế kính	SiO ₂	-	1,5
Không khí	-	-	1



Hình 2. Kết quả tính toán phổ truyền qua (A) và kết quả phổ phản xạ (B) trong 3 cấu trúc: M, IM, IMI.

Để khảo sát sự thay đổi phổ truyền qua của cấu trúc IMI khi độ dày của các lớp trong cấu trúc IMI thay đổi, hai trường hợp đã được tính toán gồm: (1) Giữ nguyên độ dày lớp kim loại (lớp 2) là 8 nm và thay đổi độ dày lớp MoO₃ là 50, 100, 200 nm (độ dày lớp 1 và lớp 3 bằng nhau, tạo thành cấu trúc đối xứng); (2) Giữ nguyên độ dày lớp kim loại (lớp 2) là 8 nm, lớp MoO₃ thứ 1 là 50 nm và thay đổi độ dày lớp MoO₃ (lớp 3) là 50, 100, 500 nm. Trong trường hợp này cấu trúc IMI là bất đối xứng.

Đối với trường hợp thứ nhất, kết quả phổ truyền qua tương ứng với cấu trúc IMI được biểu diễn trong hình 3A. Có thể thấy rằng khi độ dày của lớp 1 và 3 tăng lên, đỉnh phổ truyền qua rõ ràng hơn mặc dù độ truyền qua không thay đổi nhiều (độ truyền qua trong khoảng 90%). Trong trường hợp lớp MoO₃ có độ dày 200 nm, có hai đỉnh phổ là 440 và 600 nm. Đỉnh thứ 2 của hiện tượng SPR có xu thế chuyển dịch về phía bước sóng ngắn khi độ dày của lớp điện môi tăng lên. Đối với trường hợp thứ 2, kết quả phổ truyền qua của cấu trúc IMI được biểu diễn trong hình 3B. Khi giữ nguyên độ dày lớp Ag và lớp MoO₃ thứ 1 trong khi thay đổi độ dày lớp MoO₃ thứ 3, đỉnh phổ truyền qua dần rõ ràng hơn có xu hướng dịch chuyển về phía bước sóng lớn hơn. Cụ thể, đỉnh phổ chuyển dịch từ bước sóng 410 tới 490 nm tương ứng với sự tăng độ dày lớp MoO₃ từ 100 lên 150 nm.



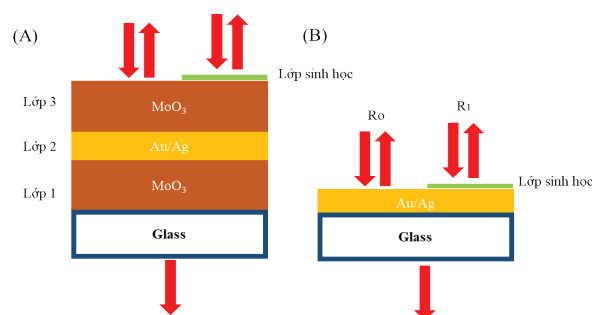
Hình 3. Phổ truyền qua của cấu trúc IMI: kim loại (Ag) 8 nm, các lớp MoO₃ lần lượt là 50, 100, 200 nm (A); phổ truyền qua của cấu trúc IMI (B).

Tương tự như trên, khi thay lớp kim loại Ag bằng Au cũng thu được phổ truyền qua hoặc phản xạ tương tự như trong trường hợp với Ag. Từ kết quả tính toán nêu trên có thể thấy rằng, đặc tính của phổ truyền qua hoặc phổ phản xạ của cấu trúc IMI phụ thuộc vào độ dày và chiết suất của lớp điện môi. Độ dày của lớp kim loại hầu như chỉ ảnh hưởng đến độ truyền qua. Khi độ dày lớp kim loại tăng thì độ truyền qua cấu trúc IMI sẽ giảm và độ phản xạ sẽ tăng. Dựa vào các đặc tính trên, khi có lớp sinh học mỏng (Biolayer) được gắn vào bề mặt cấu trúc IMI, dự đoán sẽ có sự thay đổi trong phổ phản xạ và truyền qua, đặc biệt là phổ phản xạ. Đặc tính này có tiềm năng được áp dụng trong chế tạo chip sinh học. Phần tiếp theo sẽ khảo sát sự thay đổi của phổ phản xạ khi có lớp sinh học gắn trên bề mặt IMI.

Đặc tính phản xạ trong cấu trúc IMI - lớp sinh học (Biolayer)

Để xem cấu trúc IMI có thể ứng dụng vào việc chế tạo chip sinh học hay không, cần tiến hành đánh giá sự thay đổi đặc tính phản xạ của cấu trúc IMI khi có lớp sinh học gắn vào bề mặt của nó (hình 4A). Trên thực tế, để đánh giá độ nhạy của phương pháp hay cấu trúc ứng dụng cho chip sinh học, các nhóm nghiên cứu thường sử dụng đánh giá độ nhạy với Biotin và Avidin. Độ dày của lớp Biotin và Avidin này khoảng 2 nm.

Để khảo sát đặc tính phản xạ của cấu trúc IMI - lớp sinh học và đánh giá khả năng ứng dụng vào việc chế tạo chip sinh học, đặc tính phản xạ được tính dựa trên mô hình lớp sinh học (Avidin-biotin) với độ dày 2 nm gắn trên bề mặt cấu trúc IMI. Chiết suất của lớp này giả định trong tính toán là 1,5.

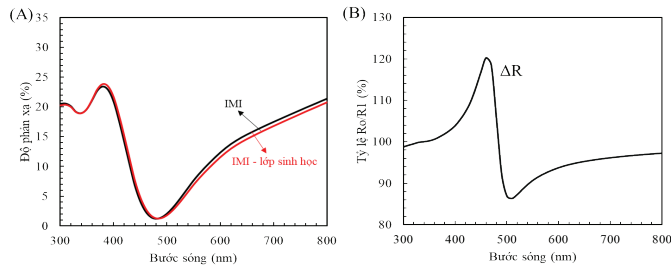


Hình 4. Cấu trúc IMI - Biolayer (2 nm) (A); cấu trúc M - Biolayer (B).

Đặt R_0 là độ phản xạ của cấu trúc khi không có lớp sinh học và R_1 là độ phản xạ của cấu trúc khi có lớp sinh học. Tỷ lệ $\Delta R = 100 \cdot R_1 / R_0$ được sử dụng để đánh giá khả năng ứng dụng của cấu trúc được tính toán cho chip sinh học.

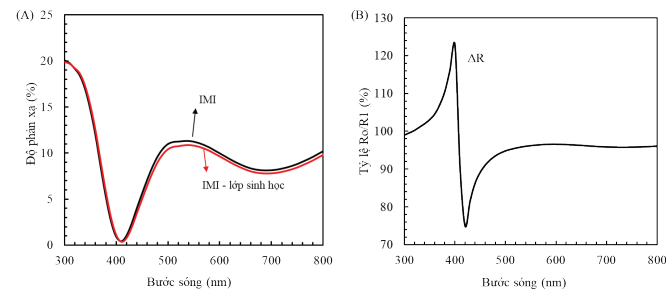
Đặc tính phổ phản xạ của cấu trúc IMI, IMI - lớp sinh học được chỉ ra trong hình 5A. Đường màu đen chỉ phổ phản xạ của cấu trúc IMI khi không có lớp sinh học và đường màu đỏ chỉ phổ phản xạ của cấu trúc IMI - lớp sinh học. Độ dày của các lớp vật liệu được thiết lập như sau: lớp 1 (MoO₃) 80 nm, lớp 2 (kim loại Ag) 8 nm, lớp 3 (MoO₃) 30 nm, lớp sinh học (Biolayer) 2 nm. Kết quả phổ phản xạ chỉ ra sự khác nhau giữa trường hợp có và không có lớp sinh học. Tỷ lệ ΔR được tính toán như trong hình 5B. Độ nhạy của cấu trúc được tính bằng $\Delta S = 100 \cdot R_1 / R_0$, độ nhạy càng lớn thì khả năng nhận biết các phân tử sinh học càng tốt [10]. Tại bước

sóng khoảng 490 nm, sự thay đổi độ phản xạ của cấu trúc IMI có và không có lớp sinh học là khoảng 10% đối với độ dày 2 nm của lớp sinh học. Khi đó, độ dày 1 nm của lớp sinh học gắn trên IMI như trên dẫn đến độ thay đổi của độ phản xạ là 5%/nm, đây được gọi là độ nhạy (ΔS) của cấu trúc IMI có độ dày như trên. Kết quả tính toán cho thấy, việc thay đổi độ dày các lớp MoO_3 và độ dày của lớp kim loại sẽ dẫn đến thay đổi độ nhạy của cấu trúc IMI.



Hình 5. Phổ phản xạ của cấu trúc IM(Ag)I, IM(Ag)I - lớp sinh học (A); tỷ lệ $\Delta R=100 \cdot R_1/R_0$ (B).

Kết quả phổ phản xạ của cấu trúc IMI với lớp vật liệu kim loại là Au và độ dày của 2 lớp MoO_3 được chỉ ra trong hình 6A: I (50 nm) M (Au-15 nm) I (30 nm) - lớp sinh học (2 nm). Tương tự như trường hợp nêu trên, cấu trúc IMI sử dụng lớp kim loại Au cũng cho thấy sự khác nhau rõ ràng của phổ phản xạ của cấu trúc IMI trong trường hợp có và không có lớp sinh học. Từ hình 6B, tại bước sóng khoảng 500 nm, sự thay đổi độ phản xạ của cấu trúc IMI có và không có lớp sinh học là khoảng 4% (được tính bằng $\Delta S=100 \cdot R_1/R_0$). Đối với độ dày 1 nm của lớp sinh học gắn trên IMI sẽ dẫn đến sự thay đổi của độ phản xạ là 2%/nm, đây là độ nhạy của cấu trúc IMI nêu trên với kim loại là Au.



Hình 6. Phổ phản xạ của cấu trúc IM(Au)I, IM(Au)I - lớp sinh học (A); tỷ lệ $\Delta R=100 \cdot R_1/R_0$ (B).

Tối ưu hóa cấu trúc IMI ứng dụng vào chip sinh học

Để tối ưu hóa cấu trúc IMI ứng dụng vào chip sinh học, các tính toán được tiến hành nhằm khảo sát sự thay đổi phổ phản xạ ΔR , sau đó là độ nhạy ΔS của cấu trúc IMI tương ứng với sự thay đổi độ dày của các lớp thứ 1, 2, 3 và kim loại sử dụng trong cấu trúc IMI lần lượt là Au và Ag. Sau đó, cấu trúc thích hợp nhất để có thể ứng dụng vào chip sinh học được đề xuất dựa trên các kết quả thu được. Các yếu tố để lựa chọn cấu trúc IMI như sau: có độ phản xạ tại đỉnh phổ lớn hơn 5% và có độ nhạy ΔS lớn.

Bước thứ 1 - Tối ưu hóa kim loại sử dụng trong cấu trúc IMI:

Lớp kim loại Au: khi lớp Au quá mỏng, độ phản xạ của ánh

sáng khi đi vào cấu trúc IMI sẽ nhỏ, việc quan sát sự thay đổi độ phản xạ theo độ dày tương đối khó. Do đó, độ dày của lớp Au sử dụng để tính toán là 15, 20, 30 nm. Bên cạnh đó, độ dày của lớp MoO_3 lần lượt thay đổi từ 50 đến 150 nm. Bảng 2 là kết quả tổng hợp độ nhạy của cấu trúc IMI theo độ dày các lớp.

Bảng 2. Độ nhạy $\Delta S(=100 \cdot R_1/R_0)$ của cấu trúc IMI khi độ dày các lớp thay đổi và độ dày lớp sinh học 2 nm.

Lớp 3 d3 (nm)	Lớp 2 d2 (nm)	Lớp 1 d1 (nm)	Bước sóng đỉnh phổ λ (nm)	ΔS (%/nm)
50	15	50	579	-
100	15	100	470	1,4
150	15	150	540	1,35
50	20	50	520	-
100	20	100	490	1,3
150	20	150	525	1.15
50	30	50	490	-
100	30	100	485	1,1
150	30	150	520	0,85

Đối với những cấu trúc không có kết quả độ nhạy ΔS thì độ phản xạ tại bước sóng đỉnh phổ nhỏ hơn 5%. Từ kết quả ở bảng 2 có thể thấy độ nhạy ΔS của cấu trúc IMI khi sử dụng Au vào khoảng từ 1,4~2 (%/nm).

Lớp kim loại là Ag: để so sánh với kim loại Au, tính toán độ nhạy ΔS của cấu trúc IMI có độ dày của lớp Ag lần lượt là 8, 10, 15, 20 nm và độ dày của lớp MoO_3 lần lượt thay đổi từ 50 đến 150 nm. Bảng 3 là kết quả tổng hợp độ nhạy của cấu trúc IMI khi độ dày các lớp thay đổi.

Bảng 3. Độ nhạy $\Delta S(=100 \cdot R_1/R_0)$ của cấu trúc IMI khi độ dày các lớp thay đổi.

Lớp 3 d3 (nm)	Lớp 2 d2 (nm)	Lớp 1 d1 (nm)	Bước sóng đỉnh phổ λ (nm)	ΔS (%/nm)
50	8	50	680	-
100	8	100	425	4
150	8	150	550	4,5
50	10	50	650	-
100	10	100	424	-
150	10	150	532	-
50	15	50	610	-
100	15	100	410	-
150	15	150	508	-
50	20	50	587	2,6
100	20	100	396	3
150	20	150	506	-

Tương tự như đối với Au, với những cấu trúc không có kết quả độ nhạy ΔS thì độ phản xạ tại bước sóng đỉnh phổ nhỏ hơn 5%. Từ kết quả ở bảng 3 có thể thấy, độ nhạy ΔS của cấu trúc IMI khi sử dụng Ag vào khoảng từ 2,6~4,5 (%/nm). Như vậy, cấu trúc IMI sử dụng kim loại Ag cho độ nhạy cao hơn khi sử dụng kim loại Au. Do đó, tối ưu hóa độ dày các lớp MoO_3 được tiến hành với lớp kim loại là Ag.

Bước thứ 2 - Tối ưu hóa độ dày các lớp sử dụng trong cấu trúc IMI:

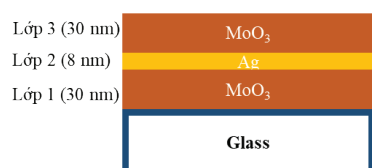
Từ bảng 3 có thể thấy rằng, độ dày của lớp kim loại Ag là 8 nm trong cấu trúc IMI cho độ nhạy cao. Với độ dày lớp kim loại nhỏ

hơn 8 nm, việc chế tạo trong thực tế gặp nhiều khó khăn. Lý do là khi dùng phương pháp phun xạ hoặc bốc bay để chế tạo lớp màng quá mỏng thì sẽ thu được lớp màng không đồng nhất tạo thành từng đám. Do đó, độ dày của lớp kim loại được cố định là 8 nm và độ dày của các lớp MoO_3 được thay đổi để tìm ra độ dày tối ưu cho cấu trúc IMI. Bảng 4 là kết quả tổng hợp độ nhạy của cấu trúc IMI khi độ dày các lớp MoO_3 thay đổi từ 30 đến 150 nm.

Bảng 4. Độ nhạy $\Delta S (=100 \cdot 100 \cdot R_i/R_0)$ của cấu trúc IMI.

Lớp 3 d3 (nm)	Lớp 2 d2 (nm)	Lớp 1 d1 (nm)	Bước sóng đỉnh phổ λ (nm)	ΔS (%/nm)
30	8	30	620	6
30	8	50	427	-
30	8	80	483	-
30	8	100	520	-
30	8	150	585	-
50	8	30	735	-
50	8	50	700	-
50	8	80	615	-
50	8	100	640	4
50	8	150	685	3,5
80	8	30	335	2
80	8	50	355	3
80	8	80	387	3
80	8	100	340	-
80	8	150	380	2,9
100	8	30	385	2
100	8	50	392	-
100	8	80	412	-
100	8	100	420	-
100	8	150	400	-
150	8	30	530	3,7
150	8	50	490	-
150	8	80	510	-
150	8	100	515	-
150	8	150	520	-

Từ bảng 4 có thể thấy, cấu trúc IMI cho độ nhạy cao nhất 6 (%/nm) khi độ dày các lớp của cấu trúc IMI như sau: I (MoO_3 -30 nm) - M (Ag-8 nm) - I (MoO_3 -30 nm), đây là độ dày lý tưởng của cấu trúc IMI khi ứng dụng vào việc chế tạo chip sinh học (hình 7). Tuy nhiên trên thực tế, việc chế tạo cấu trúc IMI có độ dày đúng như trên là rất khó khăn. Với độ dày lớp MoO_3 trong khoảng 30 đến 100 nm, cấu trúc cho độ nhạy khá cao từ 3 đến 6 (%/nm), độ dày này có thể sử dụng để chế tạo cấu trúc IMI trong điều kiện thực tế. Có thể thấy, độ nhạy ΔS của cấu trúc IMI cao hơn các loại chip sinh học sử dụng phương pháp ATR và tương đương với phương pháp sử dụng cấu trúc MIM, tuy nhiên khi sử dụng cấu trúc IMI dễ dàng quan sát sự thay đổi của phổ phản xạ (do độ phản xạ của cấu trúc lớn) hơn khi sử dụng cấu trúc MIM.



Hình 7. Cấu trúc IMI lý tưởng ứng dụng vào chip sinh học.

Kết luận

Nghiên cứu đã tính toán và phân tích các đặc tính quang học như độ truyền qua, độ phản xạ của cấu trúc IMI, cũng như cấu trúc IMI - lớp sinh học. Từ kết quả phổ phản xạ của cấu trúc IMI thấy rằng, cấu trúc IMI có thể ứng dụng vào việc chế tạo chip sinh học với độ nhạy ΔS khoảng 6 (%/nm) với cấu trúc: I (MoO_3 -30 nm) - M (Ag-8 nm) - I (MoO_3 -30 nm). Độ nhạy ΔS của cấu trúc IMI cao hơn các loại chip sinh học sử dụng phương pháp ATR, SPR, LSPR và tương đương với phương pháp sử dụng cấu trúc MIM, tuy nhiên khi sử dụng cấu trúc IMI dễ dàng quan sát sự thay đổi của phổ phản xạ (do độ phản xạ của cấu trúc lớn) hơn khi sử dụng cấu trúc MIM. Cấu trúc thực tế ứng dụng vào chip sinh học sẽ được chế tạo và báo cáo trong thời gian tới.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Đại học Quốc gia Hà Nội thông qua đề tài mã số QG.18.57. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J.Z.K. Sutherland, D.M. Vu, H.M. Mendez, S. Jakhar and H. Mukundan (2017), "Detection of lipid and amphiphilic biomarkers for disease diagnostics", *Biosensors*, **7**(3), p.25.
- [2] C.L. Wilson, and C.J. Miller (2005), "Simpleaffy: a BioConductor package for Affymetrix quality control and data analysis", *Bioinformatics*, **26**(18), pp.3683-3685.
- [3] D. Shalon, S.J. Smith, and P.O. Brown (1996), "A DNA microarray system for analyzing complex DNA samples using two-color fluorescent probe hybridization", *Genome Res.*, **6**(7), pp.639-645.
- [4] V.M. Shalaev (2007), "Optical negative-index metamaterials", *Nature Photon.*, **1**, pp.41-48.
- [5] J. Homola, S.S. Yee, and G. Gauglitz (1999), "Surface plasmon resonance sensors: review", *Sens. Actuators B Chem.*, **54**, pp.3-15.
- [6] W. Knoll (1998), "Interfaces and thin films as seen by bound electromagnetic waves", *Annu. Rev. Phys. Chem.*, **49**, pp.569-638.
- [7] J.M. Brockman, B.P. Nelson, and R.M. Corn (2000), "Surface plasmon resonance imaging measurements of ultrathin organic films", *Annu. Rev. Phys. Chem.*, **51**, pp.41-63.
- [8] S. Fukuba, K. Tsuboi, S. Abe and K. Kajikawa (2008), "Nonlinear optical detection of proteins based on localized surface plasmons in surface immobilized gold nanospheres", *Langmuir*, **24**(15), pp.8367-8372.
- [9] K. Tsuboi, S. Fukuba, R. Naraoka, K. Fujita and K. Kajikawa (2007), "Multichannel biosensing platform of surface-immobilized gold nanospheres for linear and nonlinear optical imaging", *Appl. Opt.*, **46**(20), pp.4486-4490.
- [10] A. Syahir, K. Kajikawa and H. Mihara (2010), "A new optical label-free biosensing platform based on a metal-insulator-metal structure", *Langmuir*, **26**(8), pp.6053-6057.
- [11] A. Syahir, K. Kajikawa and H. Mihara (2021), "Sensitive detection of small molecule-protein interactions on a metal-insulator-metal label-free biosensing platform", *Chem. Asian J.*, **7**(8), pp.1867-1874.
- [12] A. Syahir, K. Kajikawa and H. Mihara (2014), "Enhanced refractive index sensitivity for anomalous reflection of gold to improve performance of bio-molecular detection", *Sens. Actuators. B Chem.*, **190**, pp.357-362.
- [13] L. Wu, H.S. Chu, W.S. Koh, and E.P. Li (2010), "Highly sensitive graphene biosensors based on surface plasmon resonance", *Opt. Express*, **18**, pp.14395-14400.
- [14] D.S. Bethune (1989), "Optical harmonic generation and mixing in multilayer media: analysis using optical transfer matrix techniques", *J. Opt. Soc. Am. B*, **6**, pp.910-916.
- [15] P.T. Thanh, K. Yamamoto, R. Fujimura, and K. Kajikawa (2014), "All optical bistability device with counterclockwise hysteresis using twisted nematic liquid crystals on metal-insulator-metal structure", *Jpn. J. Appl. Phys.*, **53**, pp.92202.

Thành phần hóa học và hoạt tính *in vitro* kháng nấm *Colletotrichum* spp. gây bệnh thán thư trên cây trồng của dầu nghệ (*Curcuma longa* L.)

Phạm Trung Hiếu¹, Trần Đại Lâm², Phạm Thị Năm³, Vũ Đình Hoàng³,
Nguyễn Hồng Tuyên⁴, Trịnh Thị Hồng⁵, Lê Đăng Quang^{1,6*}

¹Trung tâm Phát triển Công nghệ cao, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Viện Kỹ thuật Nhiệt đới, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

³Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

⁴Viện Bảo vệ Thực vật

⁵Học viện Nông nghiệp Việt Nam

⁶Trung tâm Nghiên cứu Triển khai các Hoạt chất Sinh học, Viện Hóa học Công nghiệp Việt Nam

Ngày nhận bài 8/12/2020; ngày chuyển phản biện 11/12/2020; ngày nhận phản biện 11/1/2021; ngày chấp nhận đăng 15/1/2021

Tóm tắt:

Quá trình sản xuất curcumin sản sinh ra lượng lớn sản phẩm phụ là nhựa dầu nghệ ở dạng keo, gây ô nhiễm môi trường. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm thu nhận một phần lượng dầu nghệ từ phụ phẩm này và khảo sát hoạt tính kháng nấm hại cây trồng. Dầu nghệ thu được bằng phương pháp chiết phân bố với *n*-hexan của phần nhựa dầu nghệ thu từ củ nghệ vàng (*Curcuma longa* L.) thể hiện hoạt tính mạnh đối với các chủng nấm gây bệnh thán thư trên cây vải. Các thành phần dễ bay hơi của dầu nghệ đã được xác định bằng phương pháp sắc ký khí nối ghép khối phổ (GC-MS). Kết quả xác định được 23 hợp chất, trong đó có 4 hợp chất chính là α -zingiberene, α -turmerone, ar-turmerone và β -sesquiphellandrene. Các tác giả cũng đã phân lập thành công chủng nấm *Colletotrichum gloeosporioides* từ quả vải bị bệnh thán thư thu hái tại Bắc Giang. Đồng thời thử nghiệm hiệu quả kháng 3 chủng nấm gây bệnh thán thư là *C. gloeosporioides*, *C. orbiculare*, *C. acutatum* và 2 chủng nấm khác là *Phytophthora infestans*, *Fusarium oxysporum* của dầu nghệ bằng phương pháp poisoned food technique. Kết quả cho thấy, ở nồng độ 1 mg/ml, dầu nghệ cho hiệu quả ức chế cao nhất với chủng nấm *C. gloeosporioides* (67,9%) phân lập từ quả vải, đối với các chủng nấm còn lại đạt hiệu quả ức chế trong khoảng 41-62%.

Từ khóa: bệnh thán thư, cây vải, *Colletotrichum* spp., *Curcuma longa* L., dầu nghệ.

Chỉ số phân loại: 1.4

Giới thiệu

Trên thế giới, tình hình sâu bệnh phá hoại mùa màng ngày càng trầm trọng hơn do quá trình biến đổi khí hậu cùng với sự phát triển của ngành nông nghiệp. Nhu cầu về thuốc bảo vệ thực vật (BVTV) vì thế cũng ngày một tăng theo. Để giảm thiểu tác hại của thuốc BVTV tới môi trường, xu hướng sử dụng các thuốc BVTV sinh học có nguồn gốc thảo mộc ngày một phổ biến hơn. Trong các loài thực vật được ứng dụng nghiên cứu tại Việt Nam, cây nghệ vàng (*Curcuma longa* L.) đã và đang được sử dụng rộng rãi trong các chế phẩm sinh học do sự phổ biến, giá thành rẻ, dễ nuôi trồng và quan trọng là đặc tính kháng khuẩn, kháng nấm tốt của các chiết xuất thu được từ loài cây này [1, 2]. Trong các thành phần từ cây nghệ, curcumin là thành phần nổi tiếng nhất bởi các ứng dụng của hợp chất này trong y học, đời sống. Tuy nhiên, quá trình sản xuất curcumin sinh ra lượng lớn sản phẩm phụ là nhựa dầu nghệ ở dạng keo gây ô nhiễm môi trường.

Bệnh thán thư là bệnh hại cây trồng, khiến lá khô rụng, cành

héo úa, quả thối hỏng, gây thiệt hại nặng nề đến năng suất. Trên thế giới, theo nghiên cứu của Ann và cs (1994) [3], bệnh thán thư trên cây xoài có thể gây thất thu năng suất lên đến 60%. Cheng và cs (2013) [4] đã thông báo, bệnh thán thư làm giảm 15% năng suất trái quýt trên diện rộng ở tỉnh Quảng Đông, Trung Quốc. Tại Việt Nam, tác giả V.T. Mai (2002) [5] cho biết, tại Đồng bằng sông Cửu Long, tỷ lệ cây sầu riêng bị thán thư lên đến 60%. Đối với quả vải, bệnh còn có tên gọi khác là bệnh khô quả do nấm *C. gloeosporioides* gây ra. Bệnh này có tác động nghiêm trọng trên toàn cây vải, ảnh hưởng đến năng suất và phẩm chất quả vải [6].

Để góp phần nghiên cứu và phát triển các loại thuốc BVTV sinh học có nguồn gốc thiên nhiên phòng trừ nấm gây bệnh thán thư trên cây vải và làm cơ sở cho các nghiên cứu sâu hơn, chúng tôi tiến hành điều chế dầu nghệ bằng cách chiết phân bố với *n*-hexan phần nhựa dầu nghệ - sản phẩm phụ thu được sau khi kết tinh curcumin từ củ nghệ vàng (*C. longa* L.) tại Bắc Giang và phân tích thành phần các cấu tử dễ bay hơi trong đó. Đồng thời

*Tác giả liên hệ: Email: ledangquang2011@gmail.com

Chemical composition and *in vitro* antifungal activity of turmeric oil from *Curcuma longa* L. rhizome against *Colletotrichum* spp.

Trung Hieu Pham¹, Dai Lam Tran², Thi Nam Pham²,
Dinh Hoang Vu³, Hong Tuyen Nguyen⁴,
Thi Hong Trinh⁵, Dang Quang Le^{1,6*}

¹Center for High Technology Development,
Vietnam Academy of Science and Technology

²Institute for Tropical Technology, Vietnam Academy of Science and Technology

³Hanoi University of Science and Technology

⁴Plant Protection Research Institute

⁵Vietnam National University of Agriculture

⁶Research and Development Center of Bioactive Compounds,
Vietnam Institute of Industrial Chemistry (VIIC)

Received 8 December 2020; accepted 15 January 2021

Abstract:

The production of curcumin produces large quantities of the spent turmeric oleoresin as a by-product, which often pollutes the environment. This study was conducted to obtain turmeric oil from this by-product and evaluate its antifungal activity. Turmeric oil afforded by partitioning the turmeric oleoresin from the production of curcumin (*Curcuma longa* L.) with *n*-hexane showed a strong inhibition for *Colletotrichum* species. The volatile components of turmeric oil were determined by GC-MS. Then, 23 volatile compounds were identified from this oil, of which four main compounds were α -zingiberene, α -turmerone, ar-turmerone, and β -sesquiphellandrene. Besides, the authors also isolated *Colletotrichum gloeosporioides* from lychee fruits, which were harvested in Luc Ngan district, Bac Giang province. By poisoned food technique, the antifungal activity of turmeric oil against *C. gloeosporioides*, *C. orbiculare*, *C. acutatum*, *Phytophthora infestans*, and *Fusarium oxysporum* was demonstrated. The results showed that at a concentration of 1 mg/ml, turmeric oil showed the highest inhibitory effect on *C. gloeosporioides* (67.9%). As for other fungi, *in vitro* growth inhibition varied in the range of 41-62%.

Keywords: anthracnose, *Colletotrichum* spp., *Curcuma longa* L., litchi, turmeric oil.

Classification number: 1.4

thử nghiệm hoạt tính kháng nấm của dầu nghệ đối với 3 chủng nấm gây bệnh thán thư và một số chủng nấm khác. Trong đó, chủng nấm *C. gloeosporioides* được phân lập trực tiếp từ quả vải tại huyện Lục Ngạn, Bắc Giang.

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng

Nguyên liệu thân củ và rễ cây nghệ vàng (*Curcuma longa* L.) được phơi khô, nghiền nhỏ tới kích thước 3-5 mm để tiến hành chiết cao.

Các chủng nấm được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: *Phytophthora infestans* (gây bệnh mốc sương); *Fusarium oxysporum* (gây bệnh héo rũ chết vàng); *C. gloeosporioides*, *C. orbiculare* và *C. acutatum* (gây bệnh thán thư). Trong đó, *P. infestans*, *F. oxysporum*, *C. orbiculare* và *C. acutatum* được cung cấp bởi Trung tâm Nghiên cứu Triển khai các Hoạt chất Sinh học - Viện Hóa học Công nghiệp Việt Nam. Chủng nấm *C. gloeosporioides* được phân lập từ quả vải thu hoạch từ huyện Lục Ngạn, tỉnh Bắc Giang. Thí nghiệm phân lập và thử hoạt tính kháng nấm được thực hiện trên các đĩa thạch Petri với môi trường PDA (Potato Dextrose Agar), khoai tây - đường glucose - agar.

Phương pháp

Điều chế dầu nghệ: dầu nghệ (turmeric oil) thu được từ sản phẩm phụ nhựa dầu nghệ khi kết tinh curcumin theo quy trình sau: 3 kg bột nghệ được chiết hồi lưu với 12 l etyl acetat tại nhiệt độ sôi của dung môi (6 h×3 lần). Dịch chiết thu được sau đó được gộp lại và cô quay đuôi dung môi để thu cao chiết (nhựa dầu nghệ - turmeric oleoresin). Tiến hành kết tinh curcumin từ cao chiết trên sẽ thu được sản phẩm phụ là phần dịch ốt, sau khi cô hết dung môi của dịch ốt thu được nhựa dầu nghệ (spent turmeric oleoresin) chứa 30-40% dầu nghệ. Lấy 500 g nhựa dầu nghệ phân tán vào 500 ml methanol, sau đó chiết phân bố lỏng - lỏng với 500 ml *n*-hexan (3 lần). Tách riêng các lớp *n*-hexan phía trên rồi gộp lại, cất loại dung môi tới kiệt thu được 180 g dầu nghệ để sử dụng trong nghiên cứu.

Phân tích thành phần cấu tử dễ bay hơi trong dầu nghệ: dầu nghệ nêu trên đem chưng cất lôi cuốn theo hơi nước thu được hỗn hợp các hợp chất dễ bay hơi. Hỗn hợp sau đó đem làm khan bằng muối Na_2SO_4 để thu được mẫu phân tích. Sử dụng phương pháp GC-MS để xác định thành phần các chất trong mẫu phân tích. Phương pháp GC-MS được thực hiện trên máy GC Agilent HP mode 7890 A nối ghép khối phổ 5975C; cột HP5-MS (60 m×0,25 mm×0,25 μm); khí mang: Heli, tốc độ dòng 1 ml/phút. Nhiệt độ inlet: 250°C, chia dòng 100:1; Inject volume: 1 μl . Chương trình nhiệt độ: nhiệt độ ban đầu 60°C (giữ 5 phút), tăng 8 độ/phút đến 240°C (giữ 5 phút) cho đến khi kết thúc. Bản mảnh ở thế 70 eV, khoảng quét 35-450 amu. So sánh phổ khối của các peak nhận được với thư viện phổ W09N08, HPCH1607 và sử dụng phần mềm khóa thời gian lưu, phần mềm xử lý kết quả MassFinder4.0.

Phân lập, giám định chủng nấm *C. gloeosporioides*: quá trình phân lập, giám định các chủng nấm được thực hiện theo phương pháp của Burgess và cs (2008) [7]. Tiến hành lấy quả vải mới có

triệu chứng nhiễm bệnh, có ranh giới giữa mô bệnh và mô khỏe. Rửa sạch mẫu quả bị bệnh bằng nước cất và lau khô bằng giấy đã khử trùng để loại bỏ đất bụi và các tạp chất khác. Chọn mô nằm giữa ranh giới của mô bệnh và mô khỏe. Khử trùng bề mặt mô bằng ethanol 70% khoảng 30-60 giây. Cắt mô thành miếng nhỏ (2×2 mm) từ phần ranh giới giữa mô khỏe và mô bệnh, sau đó cấy lên môi trường nghèo dinh dưỡng PDA. Đặt đĩa cấy ở nhiệt độ 25-28°C trong tủ định ôn 2-5 ngày. Kiểm tra đĩa cấy hàng ngày, khi nấm phát triển từ các miếng cấy, cấy truyền chúng sang môi trường PDA mới. Cấy truyền một bào tử nảy mầm để tạo một mẫu nấm thuần của chủng nấm nghiên cứu. Mẫu nấm *Colletotrichum* spp. sau khi thuần đã được lây nhiễm thành công trở lại trên quả vải. Việc định danh dựa theo khóa phân loại của Sutton (1980) [8] và bổ sung các đặc điểm khác của chủng nấm từ các tác giả như Gangadevi và cs (2008) [9] và Misael và cs (2015) [10].

Thử nghiệm hoạt tính kháng nấm của dầu nghệ: sử dụng phương pháp poisoned food technique để khảo sát hoạt tính của dầu nghệ đối với các chủng nấm thử nghiệm, xác định bằng cách trộn dầu nghệ vào môi trường PDA nóng chảy theo đúng nồng độ thử nghiệm (0,0625; 0,125; 0,25; 0,5 và 1 mg/ml). Chủng nấm được phân lập và làm thuần, dùng dụng cụ đục lỗ có đường kính 4 mm tiến hành đục vành ngoài đường kính tảo nấm, sau đó đặt lên môi trường PDA của đĩa petri và nuôi trong tủ định ôn ở nhiệt độ 25°C. Mỗi nồng độ khác nhau sẽ được thử nhắc lại 3 lần trên môi trường PDA. Theo dõi sự phát triển của chủng nấm trong 2-4 ngày và đo đường kính tảo nấm. Hiệu quả kháng nấm được tính theo công thức [11]:

$$C_v (\%) = 100 \times \frac{D_c - D_t}{D_c - 4}$$

Trong đó: D_c là đường kính tảo nấm trên đĩa petri đối chứng (mm); 4 là đường kính khoanh agar - nấm; D_t là đường kính tảo nấm trên đĩa petri trộn mẫu thí nghiệm (mm).

Tốc độ phát triển của thể sợi các chủng nấm (MGR: mycelial growth rate) được tính theo công thức:

$$MGR (\text{mm/ngày}) = \frac{D_4 - D_2}{2}$$

Trong đó: D_4 là đường kính tảo nấm trên đĩa petri ở ngày nuôi cấy thứ 4 (mm); D_2 là đường kính tảo nấm ở ngày nuôi cấy thứ 2 (mm).

Kết quả và thảo luận

Thành phần các hợp chất dễ bay hơi trong dầu nghệ

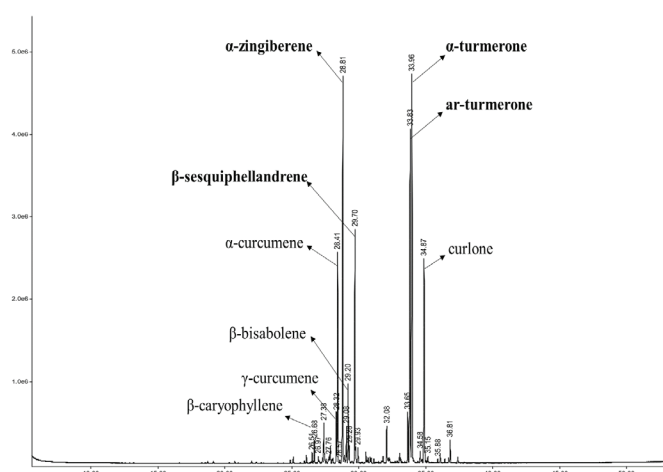
Trong dầu nghệ có chứa nhiều hợp chất dễ bay hơi. Hỗn hợp cấu tử dễ bay hơi này thu được từ quá trình chưng cất lôi cuốn theo hơi nước từ dầu nghệ ban đầu. Bằng phương pháp GC-MS, chúng tôi đã xác định được thành phần các hợp chất dễ bay hơi nêu trên, kết quả trình bày ở bảng 1 và hình 1. Có 23 hợp chất dễ bay hơi đã được xác định và chiếm 93,35% tổng hàm lượng. Các thành phần chính dễ bay hơi được xác định là α -zingiberene (17,63%), α -turmerone (16,68%), ar-turmerone (16,55%) và β -sesquiphellandrene (10,65%). Các hợp chất có tỷ lệ từ 0,97-8,44% gồm curlone (8,44%), α -curcumene (7,61%), β -bisabolene

(3,11%), 4 hợp chất không xác định được tên (1,91%; 1,71%; 1,64%; 1,52%), γ -curcumene (1,85%), β -caryophyllene (0,97%). Hai hợp chất α -turmerone và ar-turmerone được tìm thấy nhiều nhất trong tinh dầu của loài cây này. Ngoài ra, α -zingiberene, β -sesquiphellandrene, curlone và α -curcumene cũng là các hợp chất được báo cáo và tìm thấy trong tinh dầu thu được từ củ nghệ. Nghiên cứu của tác giả N.T.M. Huong và cs (2013) [12] về thành phần hóa học trong rễ củ nghệ vàng thu hái tại Hưng Yên cho thấy: α -turmerone và ar-turmerone chiếm tỷ lệ hơn 44% hàm lượng tinh dầu, theo sau đó là các sesquiterpene như β -sesquiphellandrene, α -zingiberene và β -caryophyllene chiếm hơn 10%. Nghiên cứu về thành phần hóa học của củ nghệ thu hái tại Faisalabad, Pakistan của Shagufta và cs (2010) [13] cũng cho thấy: thành phần chính trong tinh dầu nghệ là ar-turmerone (25,33%) và α -turmerone (18,35%), ngoài ra curlone (12,5%) và caryophyllene (2,26%) cũng chiếm tỷ lệ hàm lượng lớn. Tương tự, các thành phần trên cũng được tìm thấy với hàm lượng lớn trong tinh dầu thu được từ củ nghệ vàng tại Lào [14], Nhật Bản [15], Ấn Độ [16]. Các hợp chất này cũng là thành phần chính trong tinh dầu thu được từ phần lá cây nghệ, tuy nhiên hợp chất β -sesquiphellandrene chiếm hàm lượng lớn nhất (22,8%) thay vì ar-turmerone (1,6%) hay α -turmerone (1,9%) [17]. Có thể thấy rằng, thành phần dễ bay hơi của dầu nghệ trong nghiên cứu có hàm lượng α -zingiberene (17,63%) cao hơn so với các báo cáo trước đây, đây là hợp chất hay được tìm thấy trong tinh dầu cây gừng - cùng họ Zingiberaceae với cây nghệ.

Bảng 1. Thành phần các cấu tử dễ bay hơi trong dầu nghệ.

STT	Hợp chất	Thời gian lưu (phút)	RI ^a	Tỷ lệ (%) ^b
1	α -santalene	26,51	1431	0,27
2	β -caryophyllene	26,68	1436	0,97
3	trans- α -bergamotene	26,97	1446	0,22
4	ND ^c	27,38	1459	1,91
5	α -humulene	27,76	1471	0,17
6	γ -curcumene	28,32	1488	1,85
7	α -curcumene	28,41	1492	7,61
8	trans- β -bergamotene	28,57	1497	0,13
9	α-zingiberene	28,81	1504	17,63
10	ND	29,08	1513	1,52
11	β -bisabolene	29,20	1517	3,11
12	β -curcumene	29,28	1520	0,64
13	β-sesquiphellandrene	29,70	1534	10,65
14	(E)- γ -bisabolene	29,93	1542	0,64
15	ND	32,08	1615	1,64
16	ND	33,65	1671	1,71
17	ar-turmerone	33,83	1677	16,55
18	α-turmerone	33,96	1682	16,68
19	(Z)- γ -atlantone	34,58	1704	0,42
20	curlone	34,87	1715	8,44
21	(Z)- α -atlantone	35,15	1725	0,18
22	α -oxobisabolene	35,89	1752	0,17
23	(E)- α -atlantone	36,81	1787	0,86
Tổng cộng				93,95

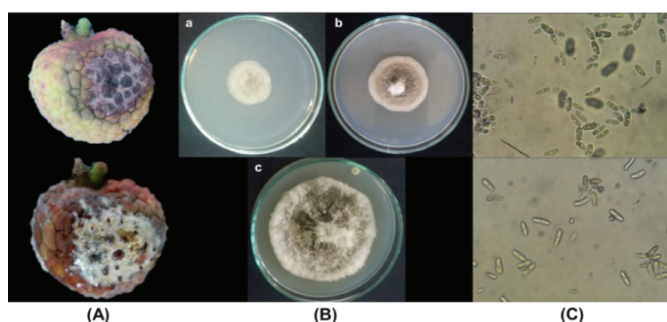
^aRI: Kovats Retention Index; ^bTỷ lệ (%): tính theo diện tích peak sắc ký; ^cND: không xác định được.



Hình 1. Sắc ký đồ GC-MS của các cấu tử dễ bay hơi thu được từ dầu nghệ.

Phân lập chủng nấm bệnh *C. gloeosporioides* từ quả vải

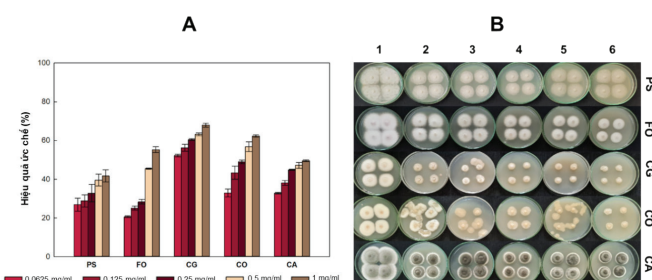
Từ các mẫu quả vải bị bệnh thu được tại huyện Lục Ngạn, tỉnh Bắc Giang (hình 2A) đã phân lập được chủng nấm trên môi trường PDA (hình 2B). Từ hình 2B có thể thấy hình thái tản nấm khi non có sợi nấm màu trắng, mọc thưa, tản nấm đều, khi già sợi nấm chuyển sang màu nâu đen ở tâm, ngoài rìa mọc thưa hơn, màu trắng, bông xốp. Bào tử nấm có hình trụ hai đầu cùn hoặc một đầu cùn, một đầu hẹp chóp lại, một số bào tử vùng giữa có dạng thắt eo. Các bào tử riêng biệt, màu nâu nhạt hoặc trắng xám, thuôn, mỏng (hình 2C). Dựa vào các đặc điểm của vết bệnh và chủng nấm (hình 2) so sánh với khóa phân loại các loài thuộc chi nấm *Colletotrichum* của Sutton (1980) [8] và bổ sung các đặc điểm khác từ các tài liệu công bố trước đây của tác giả Gangadevi và cs (2008) [9], Misael và cs (2015) [10], chủng nấm phân lập được xác định là *C. gloeosporioides*.



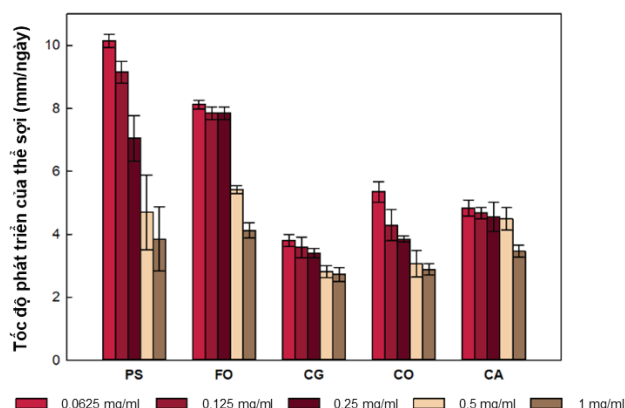
Hình 2. Kết quả phân lập chủng nấm bệnh *C. gloeosporioides* từ quả vải. (A) Mẫu quả vải bị bệnh thán thư tại huyện Lục Ngạn, tỉnh Bắc Giang; (B) Hình thái phát triển của chủng nấm *C. gloeosporioides* nuôi cấy trên môi trường PDA ở ngày thứ 3 (a), thứ 5 (b) và thứ 7 (c); (C) Ảnh chụp dưới kính hiển vi quang học của bào tử nấm *C. gloeosporioides* với độ phóng đại 40X.

Hoạt tính kháng nấm của dầu nghệ

Dầu nghệ được thử nghiệm hoạt tính *in vitro* với 5 chủng nấm: *P. infestans*, *F. oxysporum*, *C. gloeosporioides*, *C. orbiculare* và *C. acutatum*. Kết quả được thể hiện ở hình 3 và hình 4.



Hình 3. Kết quả thử nghiệm *in vitro* hiệu quả ức chế của dầu nghệ đối với 5 chủng nấm. (A) Hiệu quả ức chế (%) đối với 5 chủng nấm của dầu nghệ ở các nồng độ 0,0625; 0,125; 0,25; 0,5 và 1 mg/ml sau 4 ngày nuôi cấy. PS: *P. infestans*, FO: *F. oxysporum*, CG: *C. gloeosporioides*, CO: *C. orbiculare* và CA: *C. acutatum*. (B) Đường kính tản nấm của 5 chủng nấm trên môi trường PDA sau 4 ngày nuôi cấy. 1: đối chứng âm; 2: dầu nghệ nồng độ 0,0625 mg/ml; 3: dầu nghệ nồng độ 0,125 mg/ml; 4: dầu nghệ nồng độ 0,25 mg/ml; 5: dầu nghệ nồng độ 0,5 mg/ml; 6: dầu nghệ nồng độ 1 mg/ml.



Hình 4. Tốc độ phát triển của thể sợi 5 chủng nấm (mm/ngày) trong thí nghiệm *in vitro* hoạt tính kháng nấm của dầu nghệ. PS: *P. infestans*, FO: *F. oxysporum*, CG: *C. gloeosporioides*, CO: *C. orbiculare* và CA: *C. acutatum*.

Kết quả ở hình 3 và 4 cho thấy, dầu nghệ thể hiện hoạt tính ức chế với cả 5 chủng nấm sử dụng trong thí nghiệm sau 4 ngày nuôi cấy. Tại nồng độ 1 mg/ml dầu nghệ ức chế từ 50% sự phát triển của cả 5 chủng nấm, tốc độ phát triển ở các sợi nấm đều nhỏ hơn 4 mm/ngày. Tại nồng độ 0,5 mg/ml cũng thể hiện hoạt tính khá tốt khi ức chế trên 40% sự phát triển của các chủng nấm. Trong số 5 chủng nấm nghiên cứu, dầu nghệ thể hiện hoạt tính ức chế tốt nhất đối với chủng nấm *C. gloeosporioides* với hiệu quả ức chế đạt 67,89% tại nồng độ 1 mg/ml và 52,19% tại nồng độ 0,0625 mg/ml. Tốc độ phát triển của thể sợi chủng nấm *C. gloeosporioides* tại nồng độ 1 mg/ml là thấp nhất (2,725 mm/ngày). Theo sau đó là khả năng ức chế chủng nấm *C. orbiculare* với hiệu quả ức chế ở nồng độ 1 mg/ml là 62,32%, tốc độ phát triển thể sợi của chủng nấm *C. orbiculare* tương ứng với nồng độ là 2,888 mm/ngày. Bằng phần mềm WINPEPI 11.65, tính toán được nồng độ ức chế 50% của dầu nghệ với chủng nấm *C. orbiculare* $IC_{50}=0,279\pm0,075$ mg/ml. Hiệu quả ức chế hai chủng nấm *C. acutatum* (ức chế 49,57% và tốc độ phát triển thể sợi 3,463 mm/ngày tại nồng độ 1 mg/ml) và *F. oxysporum* (ức chế 55,24% và tốc độ phát triển thể sợi 4,125 mm/ngày tại nồng độ 1 mg/ml) ở mức

khá. Dầu nghệ có hoạt tính ức chế yếu nhất đối chủng nấm *P. infestans* với 40% hiệu quả ức chế tại nồng độ 1 mg/ml, tương ứng với tốc độ phát triển thể sợi của chủng nấm là 3,85 mm/ngày. Trong nghiên cứu trước đây của Dhingra và cs (2007) [2], chiết xuất dầu nghệ với diclometan có hiệu quả ức chế dao động từ 36-77% sự phát triển của 7 chủng nấm bao gồm: *A. flavus*, *A. ruber*, *A. ochraceous*, *A. niger*, *F. semitectum*, *C. gloeosporioides* và *C. musae* ở nồng độ 0,1% trên môi trường PDA. Trong đó, *A. flavus*, *F. semitectum*, *C. gloeosporioides* và *C. musae* là những chủng nấm cảm nhất bị ức chế trên 70% sự phát triển. Nghiên cứu của Saju và cs (1998) [18] đã báo cáo tính dầu nghệ ở nồng độ 5% có hiệu quả ức chế hoàn toàn sự phát triển của *C. gloeosporioides*. Bhardwaj và Sahu (2014) [19] cũng chỉ ra chủng nấm *C. falcatum* bị ức chế 79,25; 72,78 và 63,69% bởi tinh dầu nghệ tại các nồng độ tương ứng là 15; 10 và 5%. Dầu chiết *n*-hexan từ cao chiết methanol của củ nghệ vàng ở nồng độ 2000 ppm cho hiệu quả ức chế kém với chủng nấm *C. coccodes* (5±4,6%) trong nghiên cứu của Cho và cs (2006) [20]. Từ các báo cáo trước đây có thể thấy, dầu nghệ trong nghiên cứu mặc dù thu được từ phần sản phẩm phụ trong quá trình kết tinh curcumin nhưng có hiệu quả kháng nấm không hề thua kém so với các tinh dầu, dịch chiết thu được trực tiếp từ củ nghệ vàng. Đây cũng là báo cáo đầu tiên về hoạt tính của dầu nghệ đối với chủng nấm *C. gloeosporioides* được phân lập từ quả vải và 2 chủng nấm gây bệnh thán thư khác là *C. orbiculare* và *C. acutatum* tại Việt Nam.

Các kết quả thu được đã chứng minh khả năng sử dụng sản phẩm phụ dầu nghệ từ quá trình sản xuất curcumin trong việc phòng chống bệnh thán thư trên cây vải.

Kết luận

Nghiên cứu đã phân lập thành công chủng nấm *C. gloeosporioides* từ quả vải thu tại Bắc Giang. Kết quả khảo sát hoạt tính kháng nấm cho thấy, dầu nghệ có hiệu quả ức chế tốt đối với các chủng nấm gây bệnh thán thư trên cây vải, trong đó hiệu quả ức chế tốt nhất đối với sự phát triển của chủng nấm *C. gloeosporioides* (67,89%) ở nồng độ 1 mg/ml.

Các cấu tử dễ bay hơi trong dầu nghệ có thành phần chính là α -zingiberene (17,63%), α -turmerone (16,68%), ar-turmerone (16,55%) và β -sesquiphellandrene (10,65%).

LỜI CẢM ƠN

Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam và Sở KH&CN tỉnh Bắc Giang đã hỗ trợ thực hiện nghiên cứu này thông qua đề tài mã số UDNGDP.06/19-20.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H.S. Lee, K.J. Choi, K.Y. Cho, Y.J. Ahn (2003), "Fungicidal activity of ar-turmerone identified in *Curcuma longa* rhizome against six phytopathogenic fungi", *Agricultural Chemistry and Biotechnology*, **46**, pp.25-28.
- [2] O.D. Dhingra, G.N. Jham, R.C. Barcelos, F.A. Mendonca, I. Ghiviriga (2007), "Isolation and identification of the principal fungitoxic component of turmeric essential oil", *Journal of Essential Oil Research*, **19**, pp.387-391.

- [3] P.J. Ann, M.F. Chen, R.C. Hwang (1994), "Effects of environmental factors on disease incidence of mango anthracnose", *Plant Pathology Bulletin*, **3**, pp.34-44.

- [4] B.P. Cheng, Y.H. Huang, X.B. Song, A.T. Peng, J.F. Ling, X. Chen (2013), "First report of *Colletotrichum siamense* causing leaf drop and fruit spot of *Citrus reticulata* Blanco cv. Shiyue Ju in China", *Plant Disease*, **97**, p.1508.

- [5] V.T. Mai (2002), *Sổ tay người nông dân trồng cây ăn trái cần biết*, Công ty Dịch vụ bảo vệ thực vật An Giang.

- [6] T.D. Ngô (2011), *Nghiên cứu kỹ thuật ghép nhân lên vải, duy trì thu nhập hàng năm của người làm vườn tại tỉnh Bắc Giang và Hải Dương*, Dự án khoa học công nghệ nông nghiệp vốn vay ADB.

- [7] L.W. Burgess, T.E. Knight, L. Tesoriero, T.H. Phan (2008), *Diagnostic manual for plant diseases in Vietnam*, Australian Centre for International Agricultural Research, Canberra.

- [8] B.C. Sutton (1980), *The Coelomyces*, Commonwealth Mycological Institute, Kew, U.K, p.696.

- [9] V. Gangadevi, J. Muthumary (2008), "Isolation of *Colletotrichum gloeosporioides*, a novel endophytic taxol-producing fungus from the leaves of a medicinal plant, *Justicia gendarussa*", *Mycologia Balcanica*, **5**, pp.1-4.

- [10] M.B. Misael, T. Daniel, M.A. Antonio, V.P. Guadalupe (2015), "Anthracnose (*Colletotrichum gloeosporioides* Penz.) of litchi fruit (*Litchi chinensis* Soon.) in Oaxaca, México", *Revista Mexicana de FITOPATOLOGÍA*, **33**, pp.140-155.

- [11] Q. Le Dang, W.K. Kim, C.M. Nguyen, Y.H. Choi, G.J. Choi, K.S. Jang, M.S. Park, C.H. Lim, N.H. Luu, J.-C. Kim (2011), "Nematicidal and antifungal activities of annonaceous acetogenins from *Annona squamosa* against various plant pathogens", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **59**, pp.11160-11167.

- [12] N.T.M. Huong, P.V. Cuong, N.T.K. Cuc (2013), "Assesment of antidermatophyte activity of oil from *Curcuma longa* L. in vitro", *Academia Journal of Biology*, **35**, pp.206-211.

- [13] N. Shagufta, I. Saiqa, P. Zahida, J. Sumera (2010), "Chemical analysis of essential oils from turmeric (*Curcuma longa*) rhizome through GC-MS", *Asian Journal of Chemistry*, **22**, pp.3153-3158.

- [14] S. Menvilay, H.C. Đào (2016), "Nghiên cứu xác định thành phần hóa học có trong củ nghệ vàng Cham - pa - sắc, Lào và so sánh với nghệ vàng Kontum, Việt Nam", *Tạp chí Khoa học Xã hội, Nhân văn & Giáo dục*, **6**, tr.29-34.

- [15] B. Gopalan, M. Goto, A. Kodama, T. Hirose (2000), "Supercritical carbon dioxide extraction of turmeric (*Curcuma longa*)", *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **48**, pp.2189-2192.

- [16] N.K. Leela, T. Aldo, M.S. Pottachola, P.J. Sinu, C. Bhagirathy (2002), "Chemical composition of essential oils of turmeric (*Curcuma longa* L.)", *Acta Pharmaceutica*, **52**, pp.137-141.

- [17] R. Priya, A. Prathapan, K.G. Raghu, A.N. Menon (2012), "Chemical composition and in vitro antioxidative potential of essential oil isolated from *Curcuma longa* L. leaves", *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, **2**, pp.S695-S699.

- [18] M.V.N. Saju, M.J. Mathew (1998), "Activities of essential oil of turmeric (*Curcuma longa* L.)", *Current Science*, **75**, pp.660-662.

- [19] N. Bhardwaj, R.K. Sahu (2014), "Evaluation of some fungicides, botanicals and essential oils against the fungus *Colletotrichum falcatum* causing red rot of sugarcane", *International Quarterly Journal of Life Sciences*, **9**, pp.175-178.

- [20] J.Y. Cho, G.J. Choi, S.W. Lee, H.K. Lim, K.S. Jang, C.H. Lee, K.Y. Cho, J.C. Kim (2006), "In vivo antifungal activity against various plant pathogenic fungi of curcuminoids isolated from the rhizomes of *Curcuma longa*", *The Plant Pathology Journal*, **22**, pp.94-96.

Đánh giá độ nhạy các thông số và hiệu chỉnh mô hình DNDC phục vụ tính toán phát thải khí nhà kính từ hoạt động canh tác lúa nước

Bùi Thị Thu Trang^{1*}, Chu Sỹ Huân², Mai Văn Trinh³, Đinh Thái Hưng⁴

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

²Ban quản lý Khu Công nghệ cao Hòa Lạc, Bộ Khoa học và Công nghệ

³Viện Môi trường Nông nghiệp, Viện Khoa học Nông nghiệp Việt Nam

⁴Tổng cục Khí tượng Thủy văn, Bộ Tài nguyên và Môi trường

Ngày nhận bài 25/12/2020; ngày chuyển phản biện 4/1/2021; ngày nhận phản biện 1/3/2021; ngày chấp nhận đăng 12/3/2021

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả đánh giá độ nhạy thông số của mô hình DNDC (Denitrification - Decomposition: Phân hủy - Phân nitrat) khi tính toán phát thải khí nhà kính (KNK) từ hoạt động canh tác lúa nước vùng Đồng bằng sông Hồng trên 4 loại đất: phù sa, đất mặn, đất phèn, đất xám. Với tính toán phát thải CH_4 , dung trọng, tỷ lệ sét, chỉ số hoạt động của vi sinh vật, lượng các bon hữu cơ trong đất (SOC), nhiệt độ, độ dẫn điện, lượng phân đạm, độ xốp có độ nhạy cao; độ pH, khả năng tiêu nước, khả năng giữ nước, độ ẩm đồng ruộng, nồng độ nitrat và amoni ban đầu ở tầng đất mặt và lượng mưa có ảnh hưởng không nhiều; độ ẩm cây héo và chỉ số độ mặn không có ảnh hưởng. Với tính toán phát thải N_2O , lượng phân chuồng, tỷ lệ sét, chỉ số hoạt động của vi sinh vật, pH, nồng độ nitrat ban đầu ở tầng đất bề mặt, dung trọng, SOC, độ ẩm đồng ruộng, độ xốp, khả năng giữ nước là các thông số có ảnh hưởng nhiều; khả năng tiêu nước, độ dẫn điện, nồng độ amoni ban đầu ở tầng đất mặt, nhiệt độ, lượng phân đạm và lượng mưa có ảnh hưởng ít hơn; độ ẩm cây héo và chỉ số độ mặn không có ảnh hưởng. Kết quả hiệu chỉnh mô hình trong vụ xuân và vụ mùa năm 2018 cho thấy mối tương quan tốt giữa giá trị đo thực tế và mô phỏng với R^2 vụ xuân và vụ mùa đạt tới 0,86 và 0,79, chỉ số hiệu quả Nash - Sutcliffe (NSI) đạt 0,82 và 0,77 đối với giá trị phát thải CH_4 ; R^2 vụ xuân và vụ mùa đạt tới 0,62 và 0,69, NSI đạt 0,69 và 0,76 đối với giá trị phát thải N_2O . Nghiên cứu đã xây dựng được bộ thông số hiệu chỉnh mô hình cho 4 loại đất: phù sa, mặn, phèn, xám.

Từ khóa: CH_4 , DNDC, độ nhạy mô hình, hiệu chỉnh mô hình KNK, N_2O .

Chỉ số phân loại: 1.5

Mở đầu

Mô hình DNDC là mô hình sinh địa hoá mô tả các quá trình hoá học đất trong điều kiện biến đổi các yếu tố sinh học và môi trường tự nhiên (nhiệt độ, lượng mưa...) ảnh hưởng đến các quá trình hình thành và giải phóng KNK từ đất vào khí quyển. Mô hình được xây dựng với cấu trúc chi tiết, có độ phân giải theo thời gian cao.

Mô hình DNDC được Li, et al. (1992, 1994, 2004) [1-3] áp dụng lần đầu tiên để mô phỏng phát thải KNK từ các hệ canh tác có lúa. Sau đó, Pathak, et al. (2005) [4], Babu, et al. (2006) [5] tiếp tục hoàn thiện để tính toán phát thải khí CO_2 , CH_4 , N_2O và tiềm năng giảm phát thải trong các điều kiện canh tác lúa khác nhau ở Ấn Độ. Tiếp đó, Zhang, et al. (2011) [6] đã ứng dụng DNDC vào tính tiềm năng giảm phát thải qua các nghiên cứu về các biện pháp canh tác cải tiến. Fumoto, et al. (2010) [7] đã cải tiến DNDC thành phiên bản DNDC - Rice dành riêng cho đất trồng lúa và áp dụng để xác định tiềm năng giảm thiểu

CH_4 dưới các chế độ tưới trong canh tác lúa ở Nhật Bản.

Salas (2013) [8] đã đưa ra đề xuất ý tưởng xây dựng hệ thống giám sát KNK phát thải từ vùng canh tác lúa của Việt Nam sử dụng mô hình DNDC. Lục Thị Thanh Thêm và Mai Văn Trinh (2016) [9] đã sử dụng mô hình DNDC để tính toán, dự báo phát thải KNK trong canh tác lúa nước trên đất phù sa, đất mặn tại tỉnh Nam Định. Kết quả cho thấy, sử dụng than sinh học ở các công thức bón phân khác nhau có thể giảm 3-9 tấn phát thải các bon dioxit tương đương trên một vụ ($\text{CO}_2\text{td/ha/vụ}$). Ngô Đức Minh (2018) [10] đã sử dụng mô hình DNDC mô phỏng sự phát thải KNK (CH_4 , N_2O) trong môi trường đất lúa lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn, tỉnh Quảng Nam. Mặc dù nghiên cứu này được thực hiện tương đối bài bản, hệ thống, nhưng vẫn còn nhiều vấn đề chưa đề cập đến do một số hạn chế khách quan và chủ quan như: chưa nghiên cứu về mối tương quan giữa động thái của NH_4^+ , NO_3^- , Mn^{4+} , Fe^{3+} , hữu cơ hòa tan (DOC) trong đất, O_2 hòa tan trong nước và dung dịch đất với phát thải CH_4 và N_2O từ môi trường đất lúa. Nguyễn Lê

*Tác giả liên hệ: Email: thutrang.hunre@gmail.com

Research on the sensitivity of parameters and calibrates DNDC model for calculating emissions from paddy rice cultivation activities

Thi Thu Trang Bui^{1*}, Sy Huan Chu², Van Trinh Mai³,
Thai Hung Dinh⁴

¹Hanoi University of Natural Resources and Environment (HUNRE)

²Ministry of Science and Technology

³Institute for Agricultural Environment (IAE)

⁴Vietnam Meteorological and Hydrological Administration

Received 25 December 2020; accepted 12 March 2021

Abstract:

This study estimates the sensitivity of parameters to serve the adjustment and construction of standard parameters in the Decomposition - Denitrification (DNDC) model when calculating greenhouse gas emissions from rice cultivation on alluvial, alkali, acid-sulfate, and bleached soils of Red river delta, Vietnam. The research results show that the following parameters: bulk density, clay fraction, microbial activity index, soil organic carbon (SOC), temperature, conductivity, fertilization of urea, and porosity have a high sensitivity for the calculation of CH₄ emissions; the following parameters: pH, drainage efficiency, depth of water retention layer, field capacity, initial nitrate and ammonium concentrations at surface soil, and rainfall have low sensitivity and less influence for the calculation of CH₄ emissions; the wilt moisture and salinity index have no effect on CH₄ emissions. In case of N₂O emissions, the following parameters: amount of manure, clay fraction, microbial activity index, pH, initial nitrate concentration at surface soil, bulk density, SOC, field capacity, porosity and depth of water retention layer have a high sensitivity and more influence to N₂O emissions; the following parameters: drainage efficiency, conductivity, initial ammonium concentration at surface soil, temperature, fertilisation of urea and rainfall have low sensitivity and less influence to N₂O emissions; the wilting point and soil salinity index have no effect on N₂O emissions. The results of model calibration show a good correlation between observed and simulated values in both spring and summer crops in 2018. The R² of the spring and summer crops reach 0.86 and 0.79, the Nash-Sutcliffe efficiency index reaches 0.82 and 0.77 for CH₄ emission; meanwhile, for N₂O emission, these values are 0.62, 0.69, and 0.76, respectively. The study also found a model calibration parameter used to calculate greenhouse gas emissions from rice cultivation on alluvial, alkali, acid-sulfate, and bleached soils.

Keywords: CH₄, DNDC, greenhouse gases, model calibration, N₂O, sensitivity of model.

Classification number: 1.5

Trang (2019) [11] đã sử dụng mô hình DNDC như một trong các phương pháp để đạt được mục tiêu nghiên cứu phát thải KNK trong canh tác lúa nước tại Nam Định và đề xuất các giải pháp giảm thiểu.

Phương pháp mô hình hóa là một trong những phương pháp hiệu quả trong nghiên cứu định lượng nói riêng và nghiên cứu khoa học nói chung. Tuy nhiên, để kết quả nghiên cứu thể hiện tính chính xác, độ tin cậy cao, tất cả các mô hình trước khi đưa vào sử dụng đều cần thực hiện một bước quan trọng đó là đánh giá độ nhạy của các thông số và hiệu chỉnh mô hình. Hiện nay, các nghiên cứu sử dụng mô hình DNDC chưa đưa ra một bộ thông số chuẩn cho mô hình. Vì vậy, mục đích của nghiên cứu này là đánh giá độ nhạy của các thông số phục vụ hiệu chỉnh và xây dựng các thông số chuẩn trong mô hình DNDC để tính toán phát thải KNK từ hoạt động canh tác lúa nước tại vùng Đồng bằng sông Hồng.

Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu của nghiên cứu này là: mô hình DNDC; các loại đất vùng Đồng bằng sông Hồng: phù sa, mặn, phèn, xám; cây lúa; các KNK: CH₄ và N₂O.

Cơ chế hoạt động của mô hình DNDC

Hai phương trình chính được sử dụng trong mô hình DNDC là phương trình nhiệt động học Nernst (xác định thế oxy hóa khử) và Michaelis - Menten (động học phát triển của vi khuẩn). Cấu trúc của mô hình gồm 2 hợp phần:

- Hợp phần thứ nhất gồm 3 mô đun: khí hậu, đất - cây trồng và quá trình phân hủy. Hợp phần này được sử dụng để đánh giá nhiệt độ, độ ẩm, thế oxy hoá khử của đất và biến trình của các yếu tố trong phẫu diện đất, năng suất cây trồng, ước lượng hàm lượng các bon đưa vào đất từ các cây trồng. Các thông số này chịu sự tác động của đặc trưng khí hậu, đất, cây trồng và hoạt động của con người.

- Hợp phần thứ hai gồm 3 mô đun: quá trình nitrat hoá, khử nitrat (phản nitrat hóa) và ôxy hoá khử. Hợp phần này giúp ước tính sự phát thải khí CO₂, CH₄, NO, N₂O, N₂ từ các hệ canh tác nông nghiệp. Mối quan hệ giữa các chu trình sinh địa hoá của các bon, nitơ và các yếu tố sinh thái đã được mô hình hoá trong mô hình DNDC.

Mô hình DNDC có 2 chế độ chạy: theo điểm (site mode) và theo vùng (regional mode). Đối với chế độ điểm, DNDC yêu cầu dữ liệu đầu vào rất cụ thể, bao gồm: nhiệt độ và lượng mưa ngày, tính chất đất (tỷ trọng, pH, hàm lượng các bon hữu cơ trong đất SOC và thành phần cơ giới), chế độ canh tác (loại cây trồng, chế độ luân canh, làm đất, bón phân, loại phân), làm cỏ, chế độ tưới... Ở quy mô vùng, mô hình cần dữ liệu đầu vào là dữ liệu không gian và thời gian được lưu trữ trong cơ sở dữ liệu của hệ thống thông tin địa lý (GIS). Các thông số đầu ra là SOC, nitrat, nitrit, amoni, urê và ammonia, lượng KNK phát thải hằng ngày.

Phương pháp

Phương pháp đánh giá độ nhạy của các thông số trong mô hình: độ nhạy mô hình được thực hiện bằng cách thay đổi một thông số của mô hình/tham số đầu vào duy nhất trong một phạm vi quan sát được, trong khi vẫn giữ tất cả các thông số đầu vào khác ở thông số ban đầu (baseline). Các yếu tố đầu vào để đánh giá độ nhạy bao gồm yếu tố khí hậu (nhiệt độ, lượng mưa), tính chất đất (SOC, tỷ lệ sét, pH và dung trọng) hoặc các biện pháp canh tác (tỷ lệ sử dụng phân bón hóa học, phân bón hữu cơ). Đây là các yếu tố bắt buộc của mô hình DNDC. Cơ sở lựa chọn giá trị thay đổi là khoảng thay đổi đủ lớn để kết quả ước lượng ở kịch bản thực tế tạo ra sự khác biệt có thể so sánh được. Kết quả phân tích độ nhạy đưa ra định hướng lựa chọn các thông số quan trọng cho việc hiệu chỉnh mô hình và đánh giá độ chính xác của mô hình trong mọi kịch bản khác nhau.

Phương pháp hiệu chỉnh mô hình: hiệu chỉnh là lựa chọn tập hợp giá trị thông số đầu vào sao cho kết quả chạy mô hình với các giá trị đó tiệm cận gần nhất với kết quả phân tích mẫu khí thực tế tại 10 điểm thí nghiệm. Để so sánh độ phù hợp giữa giá trị mô phỏng và giá trị quan trắc, nghiên cứu sử dụng các thông số thống kê: hệ số xác định R^2 (Krause, et al., 2005 [12]) và chỉ số NSI (Nash, et al., 1970 [13]), thể hiện trong các phương trình sau:

$$R^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \right)^2$$

$$NSI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

Trong đó: i là số mẫu; O_i là giá trị thực đo thứ i ; $\bar{O}$ là giá trị thực đo trung bình; P_i là giá trị mô phỏng thứ i ; $\bar{P}$ là giá trị đo mô phỏng trung bình; n là số lượng giá trị tính toán.

Giá trị R^2 nằm trong khoảng từ 0 tới 1, thể hiện mối tương quan giữa giá trị thực đo và giá trị mô phỏng.

Chỉ số NSI chạy từ $-\infty$ đến 1, đo lường sự phù hợp giữa giá trị thực đo và giá trị mô phỏng trên đường thẳng 1:1.

Nếu R^2 và NSI nhỏ hơn hoặc gần bằng 0, khi đó kết quả được xem là không thể chấp nhận hoặc độ tin cậy kém. Ngược lại, nếu giá trị này bằng 1 thì kết quả mô phỏng của mô hình là hoàn hảo.

Mô hình được chấp nhận khi hệ số R^2 và chỉ số NSI lớn hơn 0,5.

Phương pháp chọn điểm và thu thập các số liệu thực tế: số liệu để hiệu chỉnh mô hình là kết quả đo KNK tại 10 điểm khác nhau trong vụ xuân và vụ mùa năm 2018 ở vùng Đồng bằng sông Hồng. Nghiên cứu đã chọn điểm nghiên cứu trên 4 loại đất trồng lúa chính là phù sa, mặn, phèn và xám với 2 công thức luân canh chính là 2 vụ lúa và 2 lúa - cây vụ đông. Vị trí tọa độ các điểm thí nghiệm được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Thông tin các điểm nghiên cứu phát thải KNK trong canh tác lúa ở khu vực Đồng bằng sông Hồng.

Điểm	Địa điểm	Công thức luân canh	Loại đất	Tọa độ các điểm
1	Vĩnh Quỳnh, Thanh Trì, Hà Nội	2 lúa	Phù sa	20°55'60" và 105°50'54"
2	Thịnh Long, Hải Hậu, Nam Định	2 lúa	Phù sa	19°59'11" và 106°08'05"
3	Nguyễn Xá, Vũ Thư, Thái Bình	2 lúa	Phù sa	20°24'18" và 106°17'49"
4	Bình Minh, Kiến Xương, Thái Bình	2 lúa 1 màu	Phù sa	20°24'54" và 106°16'01"
5	An Lam, Nam Sách, Hải Dương	2 lúa 1 màu	Phù sa	20°03'08" và 106°13'28"
6	Rạng Đông, Nghĩa Hưng, Nam Định	2 lúa	Mặn	20°03'28" và 106°13'01"
7	Hải Phúc, Hải Hậu, Nam Định	2 lúa	Mặn	20°13'59" và 106°15'33"
8	Tây Phong, Tiền Hải, Thái Bình	2 lúa	Mặn	20°24'50" và 106°34'35"
9	Vũ Đông, TP Thái Bình, Thái Bình	2 lúa	Phèn	20°45'74.23" và 106°38'5"
10	Bắc Phú, Sóc Sơn, Hà Nội	2 lúa	Xám	21°16'22" và 105°53'30"

Kết quả và thảo luận

Kết quả đánh giá độ nhạy của mô hình DNDC

Các kịch bản phân tích độ nhạy của các yếu tố đầu vào được lập ra dựa trên điều kiện khí hậu, đất đai và biện pháp canh tác thực tế trong hệ thống canh tác trên đất phù sa ở Thái Bình (bảng 2).

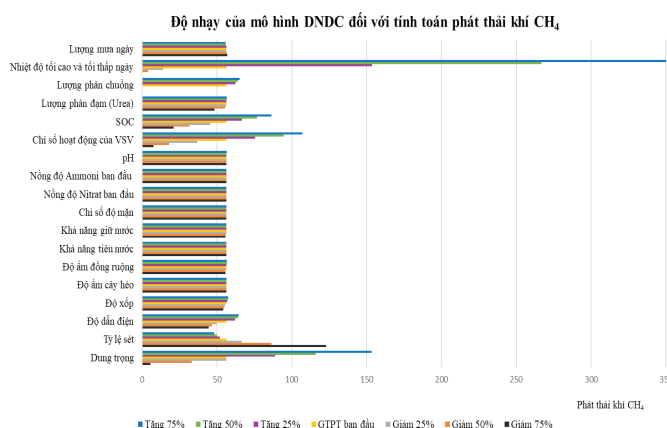
Bảng 2. Các kịch bản sử dụng để đánh giá độ nhạy của mô hình.

TT	Thông số đầu vào	Đơn vị	Giá trị ban đầu	Các kịch bản (tăng giảm so với giá trị ban đầu)					
				Giảm 75%	Giảm 50%	Giảm 25%	Tăng 25%	Tăng 50%	Tăng 75%
I	Thông số vật lý								
1	Dung trọng	g/cm ³	1,3	0,3	0,7	1,0	1,6	2,0	2,3
2	Tỷ lệ sét		0,14	0,04	0,07	0,11	0,18	0,21	0,25
3	Tốc độ di chuyển nước	m/giờ	0,03	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
4	Độ xốp		0,49	0,12	0,24	0,36	0,61	0,73	0,85
5	Độ ẩm cây héo	wf _{ps}	0,2	0,05	0,1	0,15	0,25	0,3	0,35
6	Độ ẩm đồng ruộng	wf _{ps}	0,4	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7
7	Khả năng tiêu nước		0,5	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9
8	Khả năng giữ nước	m	9,99	2,50	4,95	7,43	12,49	14,94	17,33
II	Thông số hóa học								
9	Chỉ số độ mặn của đất		0	10	20	30	40	50	60
10	Hàm lượng nitrat ban đầu ở tầng đất mặt	mg/kg	0,5	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9
11	Hàm lượng amoni ban đầu ở tầng đất mặt	mg/kg	0,008	0,015	0,023	0,03	0,038	0,045	0,053
12	pH _{KCl} tầng đất mặt		5,5	1,4	2,8	4,1	6,9	8,3	9,6
III	Thông số sinh học, hữu cơ								
13	Chỉ số hoạt động của vi sinh vật		1	0,25	0,5	0,75	1,25	1,5	1,75
14	Hàm lượng C trong đất	kgC/kg	0,05	0,01	0,03	0,04	0,06	0,08	0,09
IV	Phương thức canh tác								
15	Lượng phân đạm (Urê)	kgN/ha	120	30	60	90	150	180	210
16	Lượng phân chuồng	tấn/ha	0	1	2	3	4	5	6

Lúa ở vùng nghiên cứu được trồng trên đất phù sa, hai lúa (xã Nguyên Xá, huyện Vũ Thư, tỉnh Thái Bình). Đất lúa có thành phần cơ giới trung bình. Đất ít chua, pH_{KCl} khoảng 5,0. Hàm lượng sét trung bình khoảng 15%, SOC trung bình 1,1%. Đất có lân và kali dễ tiêu ở mức giàu, khả năng trao đổi cation cao (26,75 cmol/kg). Phân bón được bón 3 lần/vụ (bón lót và 2 lần bón thúc). Phân chuồng gần như không còn được sử dụng cho bón lót. Độ sâu cây bừa khoảng 20 cm. Chế độ tưới vẫn chủ yếu là tưới ngập thường xuyên. Dữ liệu nhiệt độ trung bình ngày và lượng mưa ngày tại Trung tâm Khí tượng thủy văn tỉnh Thái Bình đã được sử dụng trong mô hình để phân tích độ nhạy.

Đánh giá độ nhạy các thông số mô hình DNDC đối với phát thải CH_4 : kết quả phân tích độ nhạy cho thấy, nhiệt độ là thông số ảnh hưởng rất lớn tới mức độ phát thải CH_4 . Khi nhiệt độ tăng hay giảm mức 25%, 50% và 75% giá trị ban đầu (năm 2018) thì lượng phát thải CH_4 tăng hoặc giảm mạnh, dao động trong khoảng 75-530%. Điều này phù hợp với nghiên cứu của Li, et al. (1992) [1], nguyên nhân là do hoạt động của vi sinh vật tham gia quá trình sản sinh CH_4 tăng đáng kể (mật độ và cường độ) khi nhiệt độ tăng và giảm khi nhiệt độ giảm. Lượng mưa được giả định tăng và giảm 25%, 50% và 75% giá trị ban đầu (năm 2018), kết quả mô phỏng cho thấy, sự thay đổi lượng mưa không ảnh hưởng nhiều đến phát thải CH_4 . Kết quả này phù hợp với nghiên cứu đã được công bố của Sass, et al. (1990) [14], Yagi, et al. (1996) [15], Adhya, et al. (1994) [16], Lu, et al. (2000) [17], Sapkota, et al. (2011) [18].

Tiếp theo là dung trọng, khi dung trọng giảm so với giá trị đã chọn thì phát thải giảm, khi dung trọng tăng so với giá trị đã chọn, phát thải tăng. Tỷ lệ sét là yếu tố nhạy tiếp theo, khi giảm tỷ lệ sét 25%, 50%, 75% thì phát thải CH_4 tăng tương ứng 18,09%, 53,41%, 118,12%; khi tăng tỷ lệ sét 25%, 50%, 75% thì phát thải CH_4 giảm tương ứng 7,89%, 11,45%, 14,77%. Yếu tố nhạy thứ 4 đối với sự phát thải CH_4 là chỉ số hoạt động của vi sinh vật. Khi giảm chỉ số hoạt động của vi sinh vật trong khoảng 25-75% so với giá trị ban đầu thì phát thải CH_4 giảm dao động trong khoảng 34,79-86,65%, khi tăng chỉ số hoạt động của vi sinh vật trong khoảng 25-75% so với giá trị ban đầu thì phát thải CH_4 tăng tương ứng 33,98-89,91%. Hàm lượng SOC là yếu tố tương đối nhạy đối với sự phát thải CH_4 do ảnh hưởng của SOC đối với hàm lượng các bon hữu cơ hòa tan trong đất (DOC) cũng như mật độ vi khuẩn sinh CH_4 : khi tăng hàm lượng SOC ban đầu lên mức 25% đến 75% thì lượng phát thải CH_4 tăng lần lượt là 18,22% và 52,99%. Ngược lại, khi hàm lượng SOC ban đầu giảm xuống mức 25% đến 75%, lượng CH_4 giảm tương ứng là 18,89% và 62,69%. Kết quả được thể hiện trong hình 1.



Hình 1. Độ nhạy của các thông số đối với tính toán phát thải khí CH_4 .

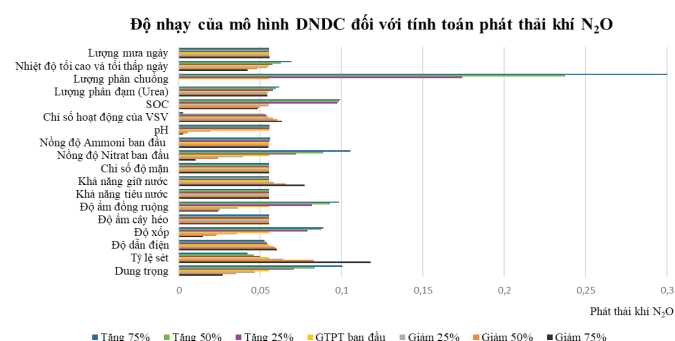
Độ xốp và tốc độ di chuyển của nước cũng là yếu tố có ảnh hưởng tới lượng phát thải CH_4 . Phát thải CH_4 giảm khi giảm tốc độ di chuyển của nước hoặc độ xốp. Phát thải CH_4 tăng khi tăng tốc độ di chuyển của nước hoặc độ xốp. So với các yếu tố đã phân tích thì độ pH, khả năng tiêu nước, khả năng giữ nước, độ ẩm đồng ruộng, nồng độ nitrat ban đầu ở tầng đất mặt và nồng độ amoni ban đầu ở tầng đất mặt tác động đến lượng phát thải CH_4 ít hơn. Một số thông số không có ảnh hưởng tới sự phát thải CH_4 là độ ẩm cây héo và chỉ số độ mặn. Các kết quả này tương tự như những nghiên cứu đã được báo cáo trong các nghiên cứu của Li (2000) [19], Wassmann, et al. (2000) [20].

Trong canh tác lúa, bón phân đạm (urê) và phân chuồng là 2 hoạt động canh tác chủ yếu có tác động đáng kể đến lượng khí thải CH_4 theo mùa. Khi giảm lượng phân đạm 25%, 50%, 75% thì phát thải CH_4 giảm, dao động trong khoảng 0,12-14,25%. Khi tăng lượng phân đạm 25%, 50%, 75% thì phát thải CH_4 tăng, dao động trong khoảng 0,13-0,47%. Khi tăng lượng phân chuồng từ không bón lên mức 1, 1,5 và 2 tấn/ha làm tăng tỷ lệ phát thải CH_4 từ 10,55-15,37%.

Đánh giá độ nhạy của mô hình DNDC đối với tính toán phát thải khí N_2O : phát thải N_2O từ ruộng lúa bị kiểm soát bởi nhiều yếu tố, tuy nhiên tương tự như nghiên cứu độ nhạy đối với phát thải CH_4 , có một số yếu tố có thể có độ nhạy cao hơn các yếu tố khác. Đối với các yếu tố khí tượng (lượng mưa và nhiệt độ), lượng mưa không có ảnh hưởng nhiều tới phát thải N_2O , trong khi nhiệt độ tăng và giảm 25%, 50%, 75% so với giá trị ban đầu (năm 2018) thì lượng phát thải N_2O tăng tương ứng 3,59%, 12,92%, 24,52% và giảm tương ứng 2,02%, 13,12%, 24,01%. Nguyên nhân do hoạt động của vi sinh vật tham gia quá trình nitrát hóa giảm khi nhiệt độ giảm và gia tăng đáng kể khi nhiệt độ tăng. Các kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Li, et al. (1992) [1].

Tỷ lệ sét có ảnh hưởng lớn nhất tới phát thải N_2O . Khi giảm tỷ lệ sét 25%, 50%, 75% thì phát thải N_2O tăng mạnh, tương ứng 15,06%, 48,96%, 111,78%, khi tăng tỷ lệ sét 25%, 50%, 75% thì phát thải N_2O giảm tương ứng 10,36%,

17,27%, 23,82%. Tiếp theo là thông số chỉ số hoạt động của vi sinh vật. Khi giảm chỉ số hoạt động của vi sinh vật trong khoảng 25-75% so với giá trị ban đầu thì phát thải N_2O tăng dao động trong khoảng 3,99-13,85%; khi tăng chỉ số hoạt động của vi sinh vật trong khoảng 25-75% so với giá trị ban đầu thì phát thải N_2O giảm mạnh, tương ứng 2,94-95,04%. Đối với độ pH_{KCl}, khi giảm 25%, 50%, 75% thì phát thải N_2O giảm tương ứng 65,05%, 90,02%, 95,04%; khi tăng độ pH_{KCl} 25%, 50%, 75% thì phát thải N_2O tăng tương ứng 0,16%, 0,19%, 0,2%. Kết quả được thể hiện trong hình 2.



Hình 2. Độ nhạy của thông số đối với tính toán phát thải khí N_2O .

Nồng độ nitrat ban đầu ở tầng đất bề mặt cũng là một yếu tố có độ nhạy cao đối với phát thải N_2O . Khi tăng hàm lượng nitrat ban đầu (0,3 mg/kg) lên 25%, 50%, 75% thì mức phát thải N_2O tăng lần lượt là 29,56%, 59,52%, 89,74%. Ngược lại, khi giảm hàm lượng nitrat ban đầu (0,3 mg/kg) đi 25%, 50%, 75% thì mức phát thải N_2O giảm tương ứng là 28,94%, 56,72%, 81,23%. Tương tự như với phát thải CH_4 , dung trọng là yếu tố rất nhạy đối với sự phát thải N_2O . Dung trọng ảnh hưởng thuận với mức tăng phát thải N_2O . Yếu tố có độ nhạy tiếp theo là SOC, do ảnh hưởng của SOC đối với hàm lượng các bon hữu cơ hòa tan trong đất (DOC) cũng như mật độ vi khuẩn tham gia quá trình nitrat hóa và phản nitrat hóa: khi tăng hàm lượng SOC ban đầu lên 25% đến 75% thì mức phát thải N_2O tăng lần lượt là 75,2% và

78,3%. Ngược lại, khi giảm hàm lượng SOC ban đầu xuống thì mức phát thải N_2O giảm. Các nghiên cứu chỉ ra rằng lượng SOC càng cao sẽ sản xuất nhiều DOC và N vô cơ (amoni và nitorat) thông qua quá trình phân hủy, thúc đẩy hoạt động của quá trình nitrat và phản nitrat hóa. Một số yếu tố cũng có ảnh hưởng đáng kể tới phát thải N_2O là độ ẩm đồng ruộng, độ xốp và độ ẩm bão hòa. Độ ẩm đồng ruộng, độ xốp tỷ lệ thuận với mức phát thải N_2O , trong khi đó độ ẩm bão hòa tỷ lệ nghịch với mức phát thải N_2O .

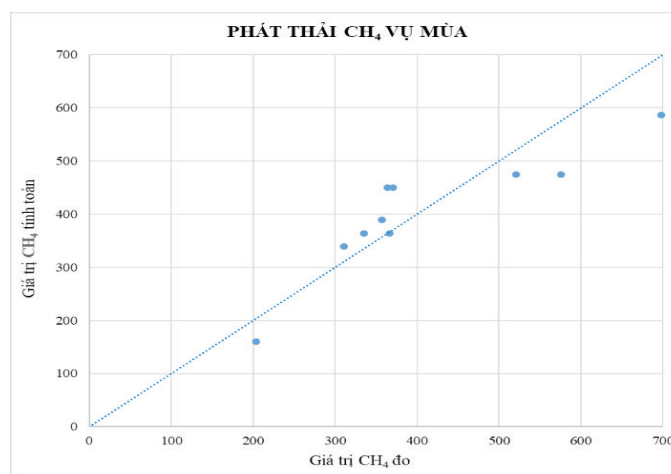
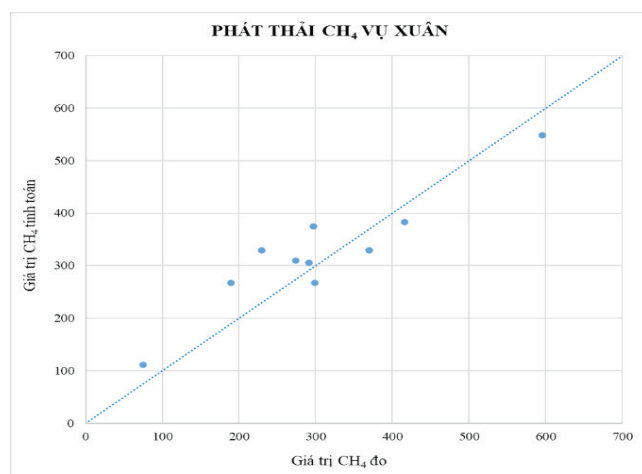
So với các yếu tố về tính chất đất phân tích ở trên thì các tính chất: khả năng tiêu nước, tốc độ di chuyển của nước, nồng độ amoni ban đầu ở tầng đất mặt có ảnh hưởng thấp hơn đến phát thải N_2O từ đất lúa tại địa điểm nghiên cứu. Độ ẩm cây héo và chỉ số độ mặn là yếu tố không có ảnh hưởng đến phát thải N_2O .

Với phân bón, kết quả phân tích cho thấy, mức phân đạm có tương quan tuyến tính thuận đối với phát thải N_2O . Tăng hoặc giảm lượng phân N vào đất mức 25% tới 75% so với mức ban đầu (120 kg N/ha) sẽ làm tăng hoặc giảm phát thải N_2O ở mức tương ứng là 2,29% tới 10,72%. Lượng bón phân chuồng tăng từ không bón phân lên mức 1 tấn/ha, 2 tấn/ha thì lượng phát thải N_2O tăng mạnh từ 213,39% tới 440,08%.

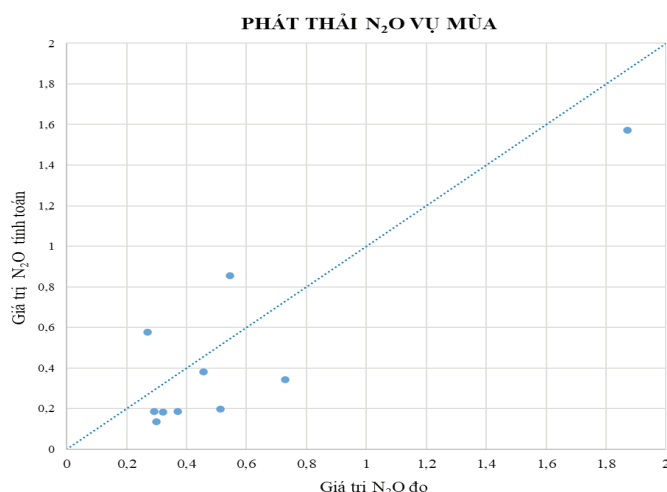
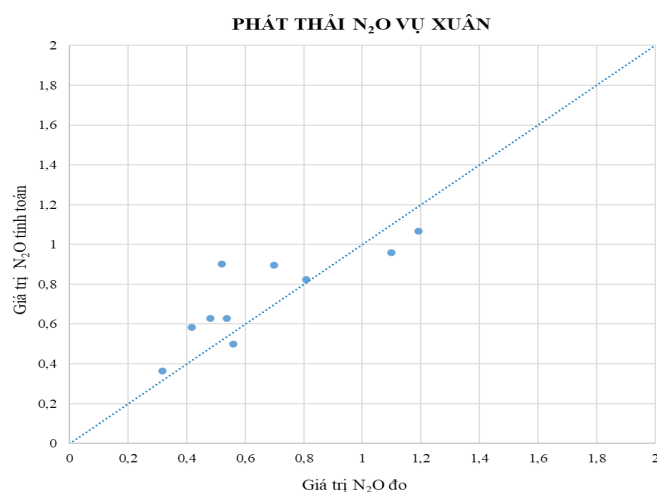
Các xu hướng trong nghiên cứu này tương tự như các nghiên cứu đã được báo cáo trong các nghiên cứu của Li, et al. (1994, 1996) [2, 21] và Bouwman, et al. (2002) [22].

Kết quả hiệu chỉnh mô hình DNDC

Kết quả hiệu chỉnh mô hình DNDC đối với phát thải CH_4 : hình 3 thể hiện sự sai khác giữa lượng phát thải CH_4 đo ngoài hiện trường và tính toán bằng DNDC. Dựa trên các giá trị phát thải CH_4 từ kết quả đo thực tế và tính toán bằng mô hình được thể hiện bằng phân bố điểm, giá trị phát thải KNK phân bố gần với đường 1:1 cho thấy có mối tương quan tốt giữa giá trị đo thực tế và mô phỏng với R^2 vụ xuân và vụ mùa đạt tới 0,86 và 0,79; NSI đạt 0,82 và 0,77.



Hình 3. So sánh lượng phát thải CH_4 (kg/ha/năm) đo ngoài hiện trường và tính toán bằng mô hình DNDC tại 10 điểm thí nghiệm.



Hình 4. So sánh lượng phát thải N_2O (kg/ha/năm) đo ngoài hiện trường và tính toán bằng mô hình DNDC tại 10 điểm thí nghiệm.

Kết quả hiệu chỉnh mô hình DNDC đối với phát thải N_2O : hình 4 thể hiện so sánh tương quan giữa lượng phát thải N_2O đo ngoài hiện trường và tính toán bằng DNDC. Dựa trên các giá trị phát thải N_2O từ kết quả đo thực tế và tính toán bằng mô hình được thể hiện bằng phân bố điểm, giá trị phát thải KNK phân bố gần với đường 1:1 cho thấy có mối tương quan tốt giữa giá trị đo thực tế và mô phỏng với R^2 vụ xuân và vụ mùa đạt tới 0,62 và 0,69; NSI đạt 0,69 và 0,76.

Bộ thông số sau khi hiệu chỉnh mô hình DNDC: kết quả phát thải CH_4 , N_2O từ chạy mô hình DNDC được hiệu chỉnh bằng cách so sánh với kết quả đo phát thải ngoài đồng ruộng tại 10 điểm thí nghiệm. Thông qua đó các thông số của mô hình được điều chỉnh phù hợp để kết quả tính toán của mô hình khớp với kết quả quan trắc ngoài đồng ruộng. Bộ thông số sau khi hiệu chỉnh mô hình để phát thải CH_4 và N_2O tính toán bằng DNDC sai khác không nhiều về giá trị so với số liệu đo ngoài hiện trường tại 10 điểm nghiên cứu được trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Bộ thông số sau khi hiệu chỉnh mô hình.

Thông số	Đơn vị	Phù sa	Mặn	Phèn	Xám
Dung trọng tầng đất mặt	g/cm ³	1,4	1,3	1,3	1,4
Tỷ lệ sét		0,14	0,14	0,14	0,14
Độ dẫn điện	m/hr	0,0259	0,0259	0,0259	0,0259
Độ xốp		0,485	0,485	0,485	0,485
Độ ẩm cây héo	wfps	0,2	0,2	0,2	0,2
Độ ẩm đồng ruộng	wfps	0,4	0,4	0,4	0,4
Khả năng tiêu nước		0,5	0,5	0,5	0,5
Khả năng giữ nước	m	9,99	9,99	9,99	9,99
Chỉ số độ mặn của đất		0	0	0	0
Hàm lượng nitrat ban đầu ở tầng đất mặt	mg/kg	0,5	0,5	0,5	0,5
Hàm lượng amoni ban đầu ở tầng đất mặt	mg/kg	0,05	0,05	0,05	0,05
pH _{KCl} tầng đất mặt		5,5	5,5	5,5	5,5
Chỉ số hoạt động của vi sinh vật		0,75	1	1	0,3
Hàm lượng C trong đất (OC)	kgC/kg	0,05	0,05	0,05	0,05

Kết luận

Nghiên cứu về độ nhạy các thông số và hiệu chỉnh mô hình DNDC trên đối tượng là 4 loại đất trồng lúa của vùng Đồng bằng sông Hồng: phù sa, mặn, phèn, xám trong 2 vụ đông xuân và mùa, nhóm tác giả rút ra một số kết luận:

Đối với phát thải CH_4 , các thông số: dung trọng, tỷ lệ sét, chỉ số hoạt động của vi sinh vật, SOC, nhiệt độ, độ dẫn điện, lượng phân đạm, độ xốp có độ nhạy cao; các thông số: pH_{KCl}, khả năng tiêu nước, khả năng giữ nước, độ ẩm đồng ruộng, nồng độ nitrat và amoni ban đầu ở tầng đất mặt và lượng mưa ảnh hưởng không nhiều tới sự phát thải CH_4 ; các thông số: độ ẩm cây héo và chỉ số độ mặn không ảnh hưởng tới sự phát thải CH_4 .

Đối với phát thải N_2O , các thông số: lượng phân chuồng, tỷ lệ sét, chỉ số hoạt động của vi sinh vật, pH, nồng độ nitrat ban đầu ở tầng đất mặt, dung trọng, SOC, độ ẩm đồng ruộng, độ xốp, khả năng giữ nước là các thông số ảnh hưởng nhiều tới sự phát thải N_2O ; các thông số: khả năng tiêu nước, độ dẫn điện, nồng độ amoni ban đầu ở tầng đất mặt, nhiệt độ, lượng phân đạm và lượng mưa ảnh hưởng không nhiều tới sự phát thải CH_4 ; các thông số: độ ẩm cây héo và chỉ số độ mặn không ảnh hưởng tới sự phát thải N_2O .

Kết quả hiệu chỉnh mô hình DNDC cho thấy, mô hình đã cho kết quả tính toán thống nhất với giá trị đo thực tế, được chứng minh bằng giá trị của R^2 vụ xuân và vụ mùa đạt tới 0,86 và 0,79, NSI đạt 0,82 và 0,77 đối với CH_4 ; giá trị R^2 vụ xuân và vụ mùa đạt tới 0,62 và 0,69, NSI đạt 0,69 và 0,76 đối với N_2O . Sau hiệu chỉnh, mô hình có thể được sử dụng để mô phỏng tính toán phát thải KNK cho toàn vùng Đồng bằng sông Hồng với các kịch bản khác nhau bằng bộ thông số chuẩn mà mô hình đã hiệu chỉnh.

LỜI CẢM ƠN

Tập thể tác giả cảm ơn đề tài “Nghiên cứu xây dựng hệ số phát thải KNK quốc gia cho cây lúa và các loại cây trồng

cạn chủ yếu phục vụ kiểm kê KNK và xây dựng các giải pháp giảm nhẹ phát thải KNK của ngành nông nghiệp”, mã số BĐKH.21/16-20 thuộc Chương trình khoa học và công nghệ cấp quốc gia về tài nguyên môi trường và biến đổi khí hậu đã hỗ trợ về số liệu để thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] C. Li, S. Frolking, T.A. Frolking (1992), “A model of Nitrous oxide evolution from soil driven by rainfall events: model structure and sensitivity”, *Geophysical Research*, **97**, pp.9759-9776.
- [2] C. Li, S. Frolking, R. Harris (1994), “Modelling carbon biogeochemistry in agricultural soils”, *Global Biogeochemical Cycles*, **8**, pp.237-254.
- [3] C. Li, A. Mosier, R. Wassmann, Z. Cai, X. Zheng, Y. Huang, H. Tsuruta, J. Boonjawat, R. Lantin (2004), “Modeling greenhouse gas emissions from rice - based production systems: sensitivity and upscaling”, *Global Biogeochemical Cycles*, **18**, DOI: 10.1029/2004GB1043.
- [4] H. Pathak, C. Li, R. Wassmann (2005), “Greenhouse gas emissions from Indian rice fields: calibration and upscaling using the DNDC model”, *Biogeosciences*, **2**, pp.113-123.
- [5] Y.J. Babu, C.S. Li, S. Frolking, D.R. Nayak, T.K. Adhya (2006), “Field validation of DNDC model for methane and nitrous oxide emissions from rice - based production systems of India”, *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, **74**, pp.157-174.
- [6] Y. Zhang, Y.Y. Wang, S.L. Su, C. Li (2011), “Quantifying methane emissions from rice paddies in Northeast China by integrating remote sensing mapping with a biogeochemical model”, *Biogeosciences*, **8**(5), pp.122-123.
- [7] T. Fumoto, T. Yanagihara, T. Saito, K. Yagi (2010), “Assessment of the methane mitigation potentials of alternative water regimes in rice fields using a process-based biogeochemistry model”, *Global Change Biology* **16**(6), pp.1847-1859, DOI: 10.1111/j.1365-2486.2009.02050.
- [8] W. Salas (2013), “C-AGG DNDC modeling update: applied geosolutions and DNDC applications”, *Research and Training*, http://c-agg.org/cm_vault/files/docs/Salas-C-AGG_March2013.pdf.
- [9] Lục Thị Thanh Thêm, Mai Văn Trinh (2016), “Ứng dụng mô hình DNDC tính toán phát thải KNK trong canh tác lúa nước trên đất phù sa, đất mặn vùng đồng bằng ven biển tỉnh Nam Định”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*, **10**(71), tr.82-86.
- [10] Ngô Đức Minh (2018), *Nghiên cứu mô phỏng sự phát thải KNK (CH_4 , N_2O) trong môi trường đất lúa lưu vực sông Vu Gia - Thu Bồn, tỉnh Quảng Nam*, Luận án tiến sĩ khoa học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội.
- [11] Nguyễn Lê Trang (2019), *Nghiên cứu sự phát thải KNK trong canh tác lúa nước tại Nam Định và đề xuất các giải pháp giảm thiểu*, Luận án tiến sĩ khoa học, Viện Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu.
- [12] P. Krause, D.P. Boyle and F. Base (2005), “Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment”, *Advances in Geoscience*, **5**, pp.89-97, DOI: 10.5194/adgeo-5-89-2005.
- [13] J.E. Nash and J.V. Sutcliffe (1970), “River flow forecasting through conceptual models, Part 1. A discussion of principles”, *Journal of Hydrology* **10**(3), pp.282.
- [14] R.L. Sass, F.M. Fisher, P.A. Harcombe, F.T. Tumer (1990), “Methane production and emission in a Texas rice field”, *Global Biogeochem. Cycles*, **4**, pp.7-68.
- [15] K. Yagi, H. Tsuruta, K. Kanda, K. Minami (1996), “Effect of water management on methane emission from Japanese rice paddy field: automated methane monitoring”, *Global Biogeochem. Cycles*, **10**, pp.255-267.
- [16] T.K. Adhya, A.K. Rath, P.K. Gupta, P.R. Rao, S.N. Das, K.M. Parida, D.C. Parasher, N. Sethunathan (1994), “Methane emission from flooded rice fields under irrigated conditions”, *Biol. Fert. Soils*, **18**, pp.245-248.
- [17] W.F. Lu, W. Chen, B.W. Duan, W.M. Guo, Y. Lu, R.S. Lantin, R. Wassmann, H.U. Neue (2000), “Methane emissions and mitigation options in irrigated rice fields in southeast China”, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, **58**, pp.65-73.
- [18] T.B. Sapkota, M. Rai, L.K. Singh, M.K. Gathala, M.L. Jat, J.M. Sataliya, D. Bijarniya, M.K. Jat, R.K. Jat, C.M. Parihar, P. Kapoor, H.S. Jat, R.S. Dadarwal, P.C. Sharma, D.K. Sharma (2011), *Greenhouse gas measurement from smallholder production systems: Guidelines for static chamber method*, International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) and Indian Council of Agricultural Research (ICAR), New Delhi, India.
- [19] C. Li (2000), “Modelling trace gas emissions from agricultural ecosystems”, *Nutrients Cycling in Agro-ecosystems*, **58**, pp.259-276.
- [20] R. Wassmann, R.S. Lantin, H.U. Neue, L.V. Buendia, T.M. Corton, Y. Lu (2000), “Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. III. Mitigation options and future research needs”, *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, **58**, pp.23-36.
- [21] C. Li, V. Narayanan, R. Harriss (1996), “Model estimate of N_2O emissions from agricultural lands in the United States”, *Global Bio-geophysical Cycles*, **10**, pp.297-306.
- [22] A.F. Bouwman, L.J.M. Boumans and N.H. Batjes (2002), “Emissions of N_2O and NO from fertilized fields: Summary of available measurement data”, *Global Biogeochem. Cycles*, **16**(4), DOI: 10.1029/2001GB001811.

Nghiên cứu lan truyền khối nước mang mầm bệnh trong hệ thống nuôi trồng thủy sản ven biển

Nguyễn Đình Vượng*, Tăng Đức Thắng

Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

Ngày nhận bài 29/3/2021; ngày chuyển phản biện 2/4/2021; ngày nhận phản biện 13/5/2021; ngày chấp nhận đăng 31/5/2021

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả ứng dụng lý thuyết thành phần nguồn nước kết hợp sử dụng mô hình toán chất lượng nước một chiều (phần mềm MIKE11) để tính toán mô phỏng thành phần nước mang mầm bệnh thủy sản lan truyền trong hệ thống nuôi trồng thủy sản (NTTS) vùng ven biển tỉnh Kiên Giang. Kết quả nghiên cứu cho thấy, tốc độ lan truyền khối nước bệnh trong hệ thống khá nhanh và mở rộng ra phạm vi lớn, các trường hợp vận hành tiêu thoát nước mang nguồn bệnh đã được đề xuất nhằm khống chế và giảm thiểu dịch lây lan. Việc ứng dụng lý thuyết thành phần nguồn nước vào nghiên cứu riêng sự lan truyền mầm bệnh theo đường nước là vấn đề mới, đây cũng là cơ sở khoa học quan trọng phục vụ thiết kế quy hoạch hệ thống thủy lợi các vùng nuôi tôm ven biển hợp lý và bền vững.

Từ khóa: khối nước mầm bệnh, lý thuyết thành phần nguồn nước, nguồn nước mang mầm bệnh (TPN bệnh), nuôi trồng thủy sản.

Chỉ số phân loại: 1.5

Đặt vấn đề

Vùng ven biển tỉnh Kiên Giang có điều kiện thuận lợi để phát triển NTTS nước mặn, lợ. Hiện nay, việc vận hành hệ thống thủy lợi phục vụ nuôi tôm vẫn đang gặp nhiều khó khăn, chủ yếu là dựa vào kinh nghiệm thực tế của cán bộ làm công tác quản lý và trực tiếp từ người dân. Trong nhiều trường hợp phức tạp, khó có thể vận hành đạt được yêu cầu đề ra. Việc giải quyết các sự cố về nguồn nước, đặc biệt là kiểm soát lan truyền bệnh thủy sản theo đường nước từ các vùng bị dịch là vấn đề đáng quan tâm nhất.

Các nghiên cứu trước đây về thủy lợi phục vụ nuôi tôm cho vùng này đã được thực hiện, chủ yếu bởi các cơ quan chuyên ngành với các nghiên cứu quy hoạch, lập dự án đầu tư, thiết kế các hệ thống thủy lợi, đánh giá chất lượng nước vùng nuôi thông qua đo đạc khảo sát hiện trường; lấy mẫu phân tích các chỉ tiêu trong phòng và đã ứng dụng mô hình toán để xem xét bài toán ô nhiễm chất lượng nước [1-6]... Các nghiên cứu tuy đã giải quyết được một số mặt về môi trường nước vùng NTTS, song vẫn còn nhiều vấn đề đặt ra. Chẳng hạn động thái nguồn nước trong nội hệ thống chưa được xem xét thấu đáo, kéo theo đó là sự lan truyền mầm bệnh thủy sản theo nguồn nước vẫn chưa có nghiên cứu nào chuyên sâu đáng kể.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi ứng dụng lý thuyết thành phần nguồn nước kết hợp với mô hình toán chất lượng nước một chiều vào tính toán lan truyền “khối nước chứa mầm bệnh thủy sản” theo đường nước trên hệ kênh rạch khi dịch bệnh phát ra ở một vùng nào đó trong nội hệ thống, điều này cho thấy rõ đặc tính thủy động lực môi trường trong hệ thống

thông qua động thái nguồn nước ô nhiễm. Đây là cơ sở quan trọng để thiết kế quy hoạch hệ thống thủy lợi vùng nuôi tôm bền vững ven biển tỉnh Kiên Giang nói riêng, Đồng bằng sông Cửu Long nói chung.

Phương pháp nghiên cứu

Nhóm tác giả đã ứng dụng lý thuyết lan truyền các thành phần nguồn nước [7] kết hợp với mô hình toán chất lượng nước một chiều (phần mềm MIKE11) để tính toán mô phỏng lan truyền “khối nước mang mầm bệnh thủy sản” vùng nghiên cứu.

Lý thuyết lan truyền các thành phần nguồn nước trong hệ thống sông kênh (gọi tắt là lý thuyết thành phần nguồn nước) đã được Nguyễn Ân Niên đề xuất và được phát triển bởi Nguyễn Ân Niên và Tăng Đức Thắng cùng cộng sự [7, 8]. Hiện lý thuyết này đang tiếp tục phát triển và là công cụ kết hợp mô hình toán mở rộng ứng dụng, đặc biệt trong việc thiết kế quy hoạch các hệ thống NTTS ven biển [9, 10].

Dưới đây là một số khái niệm chung về thành phần nguồn nước và tỷ lệ thành phần nguồn nước trong hệ thống sông kênh.

Xét một thể tích nước “dw” trong dòng chảy do các thể tích nguồn nước thành phần dw_i tạo nên (hình 1), tỷ lệ thành phần nguồn nước i (p_i) tại điểm M ở thời gian t được định nghĩa là:

$$p_i(M, t) = \frac{dw_i}{dw}, \text{ với các điều kiện: } \sum_{i=1}^n p_i = 1, 0 \leq p_i \leq 1$$

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

Research on the spread of pathogens-carrying water in the coastal aquaculture system

Dinh Vuong Nguyen*, Duc Thang Tang

Southern Institute of Water Resources Research

Received 29 March 2021; accepted 31 May 2021

Abstract:

This paper presents the application of water source components theory in combination with the MIKE11 modeling tool (1D) to simulate the transport of pathogens-carrying water components in the coastal aquaculture system of Kien Giang province. The simulation results show that pathogens-carrying water spreads at a relatively fast pace and extensively in the system. Drainage schemes have also been proposed to control and minimise the spread of diseases. The application of water source components theory provides the scientific basis to ensure the rational and sustainable design of irrigation system for coastal shrimp-farming areas.

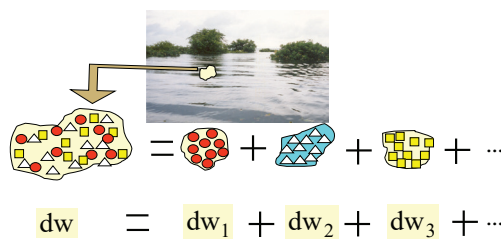
Keywords: aquaculture, pathogens-carrying water, pathogens-carrying water component, water sources component theory.

Classification number: 1.5

Trong bài toán một chiều (1D):

$$p_i(M, t) = \frac{Q_i}{Q}$$

Trong đó: Q: lưu lượng; Q_i : lưu lượng dòng thành phần.



Hình 1. Sơ họa khối nước “dw” và các thành phần nguồn nước “dw_i” của nó.

Hệ phương trình cơ bản lan truyền thành phần nguồn nước bệnh thủy sản bao gồm các phương trình thủy lực (Saint Venant - phương trình liên tục và phương trình chuyển động của toàn dòng) và phương trình bảo tồn thành phần nước mang mầm bệnh thủy sản:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (1)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\alpha v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} + kv|v| = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial p_i}{\partial t} + v \frac{\partial p_i}{\partial x} - \frac{1}{\omega} \frac{\partial}{\partial x} D_i \omega \frac{\partial p_i}{\partial x} - \frac{q}{\omega} (p_{iq} - p_i) = 0 \quad (3)$$

$i=1, n$ (n - số thành phần nguồn nước mang mầm bệnh thủy sản) với các điều kiện ràng buộc (bảo tồn):

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \text{ và } 0 \leq p_i \leq 1$$

Trong đó: p_i : thành phần nguồn nước i ; v : lưu tốc trung bình mặt cắt; ω : diện tích mặt cắt; D : hệ số khuếch tán; $q_i = q \cdot p_{iq}$ là tỷ lệ dòng gia nhập bên của dòng thành phần i .

Điều kiện biên, điều kiện ban đầu

Điều kiện biên gồm biên thủy lực và biên của thành phần nguồn nước i là tỷ lệ của nguồn i tại biên.

Điều kiện ban đầu cũng bao gồm các điều kiện ban đầu về thủy lực và điều kiện ban đầu thành phần nguồn nước i .

Cách giải, các công cụ tính toán

Giải hệ phương trình vi phân cơ bản lan truyền các thành phần nguồn nước như giải hệ phương trình truyền chất truyền thống. Ở đây phương trình bảo tồn nguồn nước (3) tựa như phương trình tải - khuếch tán.

Sử dụng các phần mềm tính toán truyền chất một chiều thông dụng như MIKE [11, 12], Hec-Ras, SAL, VRSAP, KOD... làm công cụ tính toán để giải hệ phương trình (1), (2) và (3). Trong nghiên cứu này sẽ sử dụng phương trình tải - khuếch tán (module AD trong Mike11) để giải các thành phần nước (TPN) quan tâm trong hệ thống NTTS (có thể giải riêng từng nguồn), khi đó ta được các tỷ lệ nguồn nước, ở đây thay vì tính nồng độ chất (ví dụ nồng độ ô nhiễm) ta sẽ tính tỷ lệ thành phần nguồn nước ô nhiễm p_i (%).

Kết quả và thảo luận

Giả thiết vùng phát bệnh và đặt điều kiện tính toán

Việc phát sinh mầm bệnh thủy sản có thể xảy ra ở một vùng nào đó hay đồng thời trên toàn hệ thống. Thông thường nhất là bệnh xảy ra ở một khu vực nào đó, rồi theo đường nước lan truyền đến các vùng khác. Trong tính toán này, chúng tôi chỉ xét cho bài toán là giả thiết một khu vực nào đó trong hệ thống NTTS ven biển Kiên Giang đã phát sinh dịch bệnh, nước trong một số kênh đã bị nhiễm bệnh (có chứa các mầm bệnh). Ở đây chưa tính đến việc tiếp tục bơm bổ sung TPN bệnh trong các ao/vuông nuôi đổ vào kênh. Việc tính toán cũng không xét đến nguyên nhân và cơ chế phát triển của bệnh này (không xét sự biến đổi thành phần hoá học của khối nước chứa mầm bệnh thủy sản) mà chỉ xem xét “khối nước mang mầm bệnh” di chuyển trong hệ thống.

Hiệu chỉnh mô hình toán thủy lực và chất lượng nước sử dụng phần mềm MIKE11 để tính toán mô phỏng đã được thực hiện trong thời kỳ mùa khô (tháng 2 đến 4) năm 2007, đây là

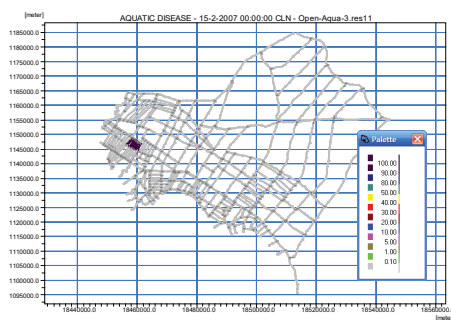
nấm thủy văn điển hình trong vùng có điều kiện khá đầy đủ về tài liệu thực đo, nhất là xâm nhập mặn. Kết quả mô phỏng thủy lực tại 2 trạm đo Xuân Tô và Tri Tôn trong vùng có sự phù hợp tốt với giá trị đo đạc thực tế, chỉ tiêu Nash đối với cân chỉnh mực nước đều đạt trên 80%. Việc kiểm định mô phỏng xâm nhập mặn trong hệ thống được thực hiện tại các trạm cầu Hà Giang, Kiên Lương, Nông Trường và Tám Ngàn, kết quả cho thấy số liệu tính toán phù hợp khá tốt với thực đo mặn cả về trị số lẫn xu thế.

Dựa trên bộ thông số thủy lực và tải khuếch tán đã được thiết lập, mô hình chạy tương đối ổn định, cơ sở dữ liệu đầu vào và bộ thông số của mô hình đảm bảo độ tin cậy. Chúng tôi sử dụng bộ thông số mô hình chất lượng nước (truyền mặn) này để mô phỏng diễn biến thủy lực và lan truyền TPN bệnh thủy sản trên hệ thống sông, kênh vùng nghiên cứu.

Việc mô phỏng lan truyền bệnh trong các hệ thống NTTS là mô phỏng lan truyền các khối nước chứa mầm bệnh trong các sông, kênh rạch (do thủy sản mang bệnh gây ra, do một khối nước nào đó có chứa mầm bệnh). Biến mô phỏng là các TPN bệnh.

Coi nước trong vùng bệnh thủy sản bùng phát chứa các mầm bệnh là một nguồn, TPN bệnh được ký hiệu là $p_{\text{bệnh}}$. Xét ở bài toán này sẽ được khảo cứu thông qua tỷ lệ của nó tại mỗi vị trí trong hệ thống (biểu thị bằng %).

Khu vực phát sinh mầm dịch bệnh được giả thiết như hình 2, việc tính toán lan truyền phân bố TPN bệnh cũng được thực hiện bằng áp dụng lý thuyết thành phần nguồn nước.



Hình 2. Vị trí vùng phát sinh dịch bệnh ban đầu trước khi lan truyền ra hệ thống (màu đen).

Điều kiện biên và điều kiện đầu của biến TPN mang mầm bệnh ($p_{\text{bệnh}}$) tương tự như vùng NTTS ven biển Trà Vinh, được xác định như sau:

Điều kiện biên (TPN bệnh tại biên): $p_{\text{b, bệnh}} = 0$ tại tất cả mọi biên (tại biên không có thành phần nước bệnh).

Điều kiện ban đầu: $p_{\text{dkd, bệnh}} = 1$ trong vùng nước chứa mầm bệnh; $p_{\text{dkd, bệnh}} = 0$ tại vùng nguồn nước không mang mầm bệnh.

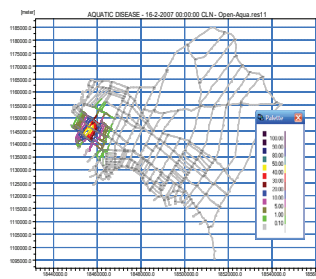
Tỷ lệ TPN bệnh ($p_{\text{bệnh}}$) được xác định từ giải hệ phương trình vi phân cơ bản 1 chiều lan truyền các thành phần nguồn nước bệnh [giải các phương trình (1), (2) và (3)]; sử dụng mô hình toán phần mềm thủy lực MIKE11 (modul AD) để làm công cụ

mô phỏng đã được cân chỉnh và kiểm định về thủy lực và truyền chất (truyền mặn). Thời gian mô phỏng tính toán lan truyền TPN bệnh bắt đầu từ 0 giờ ngày 15/2/2007.

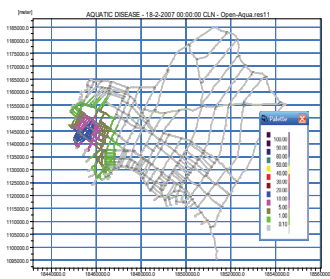
Nồng độ TPN bệnh (tỷ lệ TPN bệnh) diễn biến theo thời gian trong trường hợp này sẽ được tính thông qua tỷ lệ TPN bệnh (biểu thị theo tỷ lệ %) lan truyền trong hệ thống NTTS.

Kết quả tính toán mô phỏng lan truyền TPN bệnh trường hợp hiện trạng

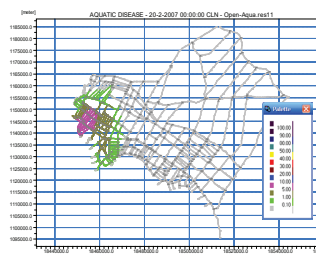
Kết quả tính toán lan truyền TPN bệnh (biểu thị qua tỷ lệ %) trường hợp hiện trạng được trình bày ở các hình 3 đến 6, trị số trong hình là tỷ lệ TPN bệnh, tính theo % so với toàn dòng.



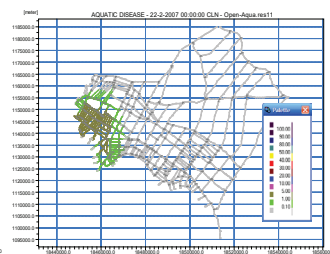
Hình 3. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 1 ngày.



Hình 4. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 3 ngày.



Hình 5. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh sau 5 ngày lan truyền.



Hình 6. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh sau 7 ngày lan truyền.

Kết quả tính toán mô phỏng trường hợp hiện trạng cho thấy đặc tính lan truyền TPN bệnh thủy sản như sau: khi phát sinh dịch bệnh, nguồn nước nhiễm bệnh có xu hướng lan truyền mạnh theo hướng vượt qua kênh Rạch Giá - Hà Tiên vào khu vực kênh Tà Săng - Tam Bản và lưu cữu khá lâu ở vùng này so với những vùng lân cận khác.

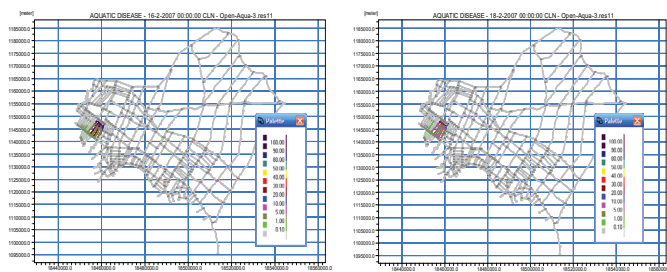
Từ nhận xét trên, nhằm ngăn ngừa sự phát tán bệnh lan truyền sang các vùng nuôi khác khi khu vực này phát sinh dịch đó là các kênh cần được thiết kế cấp thoát tách rời và chỉ cho tiêu nước bệnh về phía kênh Rạch Giá - Hà Tiên, đồng thời xây dựng các công trình công kiểm soát nguồn nước phía nam kênh Rạch Giá - Hà Tiên ngăn ngừa sự lan truyền bệnh vào khu vực Tà Săng - Tam Bản...

Trong trường hợp khẩn cấp, có thể hỗ trợ tiêu một phần nước bệnh về phía kênh đê bao Đồng Hòa bằng các cống tiêu phía đầu kênh.

Kết quả tính toán mô phỏng trường hợp vận hành hệ thống giảm thiểu nguồn nước nhiễm bệnh

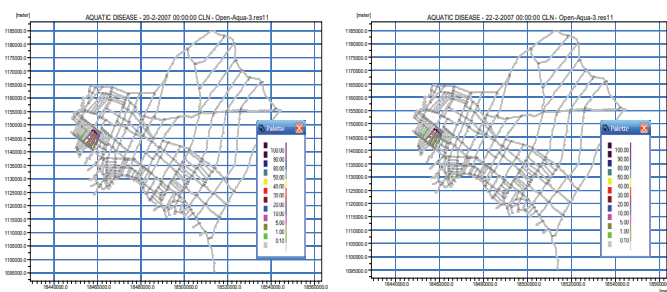
Trên cơ sở hệ thống kênh rạch và cống bọng kiểm soát tại khu vực phát sinh dịch bệnh thủy sản được đề xuất, việc vận hành tiêu thoát nước mang nguồn bệnh trong hệ thống được tính toán theo 2 trường hợp: i) Vận hành đẩy nước nhiễm bệnh ra phía kênh Rạch Giá - Hà Tiên; ii) Vận hành tiêu thoát nước bệnh ra phía kênh đê bao Đồng Hòa.

Vận hành đẩy nước nhiễm bệnh ra phía kênh Rạch Giá - Hà Tiên: kết quả tính toán từ các hình 7 đến 12 thể hiện việc tiêu tán nước bệnh khi vận hành các cống tiêu thoát ra kênh Rạch Giá - Hà Tiên.



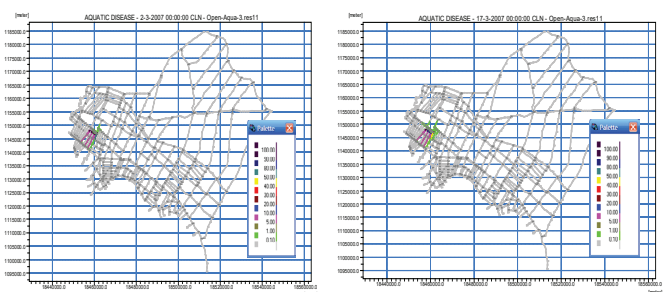
Hình 7. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 1 ngày vận hành tiêu tán.

Hình 8. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 3 ngày vận hành tiêu tán.



Hình 9. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 5 ngày vận hành tiêu tán.

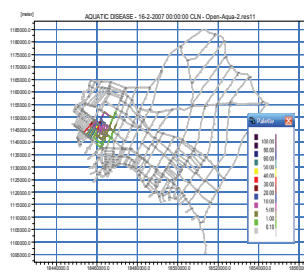
Hình 10. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 7 ngày vận hành tiêu tán.



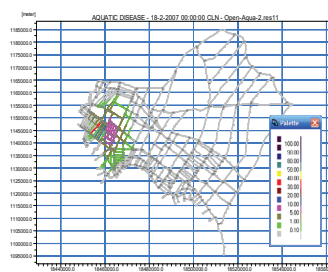
Hình 11. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 15 ngày vận hành tiêu tán.

Hình 12. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 30 ngày vận hành tiêu tán.

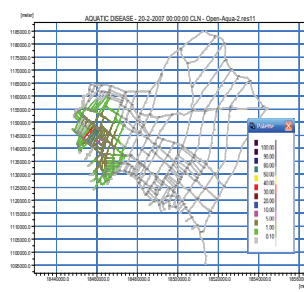
Vận hành tiêu nước bệnh ra phía kênh đê bao Đồng Hòa: việc tiêu thoát nước bệnh khi vận hành các cống tiêu nước ra kênh đê bao Đồng Hòa được thể hiện ở các hình 13 đến 18.



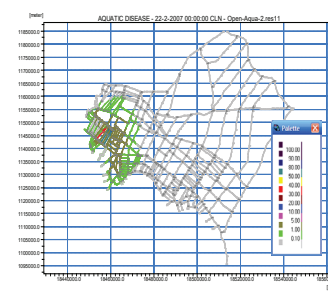
Hình 13. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 1 ngày vận hành tiêu thoát.



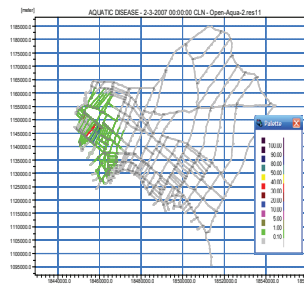
Hình 14. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 3 ngày vận hành tiêu thoát.



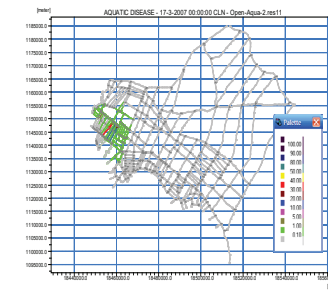
Hình 15. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 5 ngày vận hành tiêu thoát.



Hình 16. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 7 ngày vận hành tiêu thoát.



Hình 17. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 15 ngày vận hành tiêu thoát.



Hình 18. Phân bố tỷ lệ TPN bệnh lan truyền sau 30 ngày vận hành tiêu thoát.

Có thể thấy, trong trường hợp hiện trạng, TPN bệnh đã lan truyền nhanh ra các kênh rạch. Sau 5 ngày, tỷ lệ thành phần nước mang mầm bệnh còn dưới 10%, sau 7 ngày xuống còn dưới 5% và sau 15 ngày thì nguồn nước bệnh vẫn còn tỷ lệ nhỏ trên sông rạch nhưng đã lan ra phạm vi rất rộng ngoài hệ thống.

Trường hợp kênh rạch trong khu nuôi tôm thâm canh Đồng Hòa được mở rộng và có các công trình kiểm soát nguồn nước đầu kênh như phương án đề xuất, khi đó nếu chỉ cho tiêu thoát nước bệnh ra hướng kênh Rạch Giá - Hà Tiên thì việc tiêu bệnh chậm hơn so với trường hợp hiện trạng nhưng nước bệnh đã được khoanh vùng, hạn chế phạm vi lan truyền, không lan rộng như trường hợp hiện trạng.

Ngược lại, nếu tiêu thoát nước nhiễm bệnh về phía kênh

Đồng Hòa thì nguồn nước bệnh sẽ lan rộng qua các kênh rạch lân cận khác, nhất là khu vực từ kênh T2 đến T3 và nguồn nước bệnh lưu cữu khá lâu trên kênh rạch vùng này. Sau 30 ngày, nồng độ TPN bệnh (tỷ lệ TPN bệnh) trên các kênh bị ô nhiễm vẫn còn khá lớn.

Mức độ lưu cữu của TPN bệnh tại các kênh trong nội đồng là rất cao. Cần có giải pháp công trình để kiểm soát cho một số tiểu vùng khép kín trong nội hệ thống nhằm tránh lây lan TPN mang mầm bệnh lan tỏa đến các vùng khác. Vì vậy, giải pháp công trình thủy lợi hợp lý nhằm ngăn ngừa sự phát tán lan truyền dịch bệnh sang các khu vực nuôi khác là các kênh từ cấp 2 đến nội đồng trong vùng nuôi được thiết kế cấp thoát tách rời và có công kiểm soát đầu kênh.

Việc tiêu thoát nước bệnh trong khu vực phát sinh dịch bệnh theo hướng kênh Rạch Giá - Hà Tiên, kết hợp làm các công trình kiểm soát nguồn nước phía bờ nam kênh Rạch Giá - Hà Tiên thì sẽ đảm bảo hạn chế thấp nhất việc lây lan dịch ra các vùng lân cận.

Kết luận

Kết quả tính toán mô phỏng lan truyền TPN bệnh trường hợp hiện trạng cho thấy, xét về mặt thủy động lực, tốc độ lan truyền TPN mang mầm bệnh trong hệ thống diễn ra khá nhanh, mức độ triết giảm tỷ lệ % nước bệnh tuy nhanh nhưng lại mở rộng trên phạm vi lớn ra ngoài hệ thống ở các vùng lân cận như tại khu vực các kênh Tà Săng - Tam Bản và tỷ lệ TPN bệnh vẫn còn lưu cữu khá lâu ở đây. Cần thiết phải có công trình điều tiết trong hệ thống để vận hành tiêu tán bệnh cho khu vực này.

Việc vận hành công trình trong hệ thống có ảnh hưởng rất lớn đến lan truyền khối nước mang mầm bệnh, nghĩa là có thể sử dụng công trình để kiểm soát lan truyền bệnh giữa các tiểu vùng. Trong thực tế, khi vận hành tiêu nước bệnh cần phải tính toán rất cẩn thận nhiều phương án. Đặc biệt chú ý hạn chế cho vùng nước bệnh tiêu qua các khu đang phát triển thủy sản để nhiễm bệnh như tôm, cố gắng hạn chế sự lan rộng của nguồn nước bệnh. Để giải quyết sự thâm nhập của nước bệnh vào các hệ thống cần phải chú ý xây dựng các công trình điều tiết.

Các kết quả nghiên cứu nêu trên bước đầu cho thấy, việc ứng dụng lý thuyết thành phần nguồn nước kết hợp mô hình toán chất lượng nước để tính toán mô phỏng lan truyền TPN

bệnh trong hệ thống NTTS đã làm rõ được các đặc tính thủy động lực, động thái của nguồn nước chứa mầm bệnh trong các vùng nuôi thủy sản ven biển Kiên Giang, đây là cơ sở khoa học quan trọng đảm bảo cho việc thiết kế quy hoạch hệ thống thủy lợi các vùng nuôi tôm hợp lý.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ngô Xuân Hải (2003), *Báo cáo đề tài Các giải pháp kỹ thuật thủy lợi phục vụ NTTS vùng ven biển Đồng bằng sông Cửu Long*, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.
- [2] Nguyễn Văn Lâm và cộng sự (2011), *Báo cáo đề tài Đánh giá suy thoái môi trường trong quá trình chuyển đổi đất nông lâm sang NTTS ở các huyện ven biển Đồng bằng sông Cửu Long*, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.
- [3] Nguyễn Đình Vượng, Châu Ngọc Quyền (2009), “Nghiên cứu giải pháp quy hoạch hệ thống thủy lợi vùng ven biển tỉnh Kiên Giang nhằm phát triển hợp lý giữa nuôi tôm và trồng lúa”, *Tuyển tập kết quả khoa học và công nghệ Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam năm 2009*, Nhà xuất bản Nông nghiệp.
- [4] Phân viện Quy hoạch Thủy sản phía Nam (2013), *Rà soát, điều chỉnh, bổ sung quy hoạch nuôi tôm vùng Tứ giác Long Xuyên tỉnh Kiên Giang đến năm 2020*.
- [5] Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam (2005), *Quy hoạch điều chỉnh, bổ sung quy hoạch chi tiết hệ thống thủy lợi phục vụ nuôi tôm vùng Tứ giác Long Xuyên (2 huyện Kiên Lương và Hòn Đất) tỉnh Kiên Giang*.
- [6] Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam (2007), *Dự án đầu tư xây dựng hệ thống thủy lợi phục vụ NTTS vùng Vàm Răng - Ba Hòn, tỉnh Kiên Giang*.
- [7] Tăng Đức Thắng, Nguyễn Ân Niên (2018), “Lý thuyết lan truyền các thành phần nguồn nước trong hệ thống sông kênh”, *Đề tài cấp bộ Nghiên cứu dự báo và giải pháp giảm thiểu sự lan truyền ô nhiễm theo dòng chảy phục vụ NTTS vùng Bán đảo Cà Mau*, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.
- [8] Tăng Đức Thắng (2002), *Nghiên cứu hệ thống thủy lợi chịu nhiều nguồn nước tác động - Ví dụ ứng dụng cho Đồng bằng sông Cửu Long và Đông Nam Bộ*, Luận án tiến sĩ, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.
- [9] Nguyễn Ân Niên, Tăng Đức Thắng (2002), “Thủy lợi phục vụ cho công cuộc phát triển NTTS trên vùng chuyển đổi ở các tỉnh phía Nam - Các cách tiếp cận phát triển bền vững”, *Tuyển tập báo cáo khoa học tại Hội thảo quốc gia “Nghiên cứu khoa học phục vụ NTTS ở các tỉnh phía Nam”*.
- [10] Tăng Đức Thắng, Nguyễn Ân Niên, Nguyễn Đình Vượng, Nguyễn Đức Phong (2008), “Một số vấn đề kỹ thuật khi thiết kế các hệ thống thủy lợi phục vụ NTTS ven biển”, *Tuyển tập kết quả KH&CN Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam năm 2008*, Nhà xuất bản Nông nghiệp.
- [11] DHI Water & Environment (2017), *MIKE11 - A modelling system for Rivers and Channels - User guide*.
- [12] <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-11>.

Nhân dòng, biểu hiện và tinh sạch chaperone AcrH của vi khuẩn *Aeromonas hydrophila* sử dụng vật chủ *Escherichia coli*

Nguyễn Văn Sáng*, Nguyễn Thị Uyên

Khoa Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Ngày nhận bài 4/3/2021; ngày chuyển phản biện 8/3/2021; ngày nhận phản biện 23/4/2021; ngày chấp nhận đăng 29/4/2021

Tóm tắt:

Vi khuẩn *Aeromonas hydrophila* là vi khuẩn gram âm, sử dụng hệ tiết loại III (T3SS). Đây là hệ tiết đóng vai trò quan trọng trong các tương tác của vi khuẩn với tế bào vật chủ, đặc biệt là quá trình xâm nhập vào tế bào vật chủ. Vi khuẩn *A. hydrophila* gây bệnh cho nhiều đối tượng sinh vật khác nhau, bao gồm cả người và thủy sản (đặc biệt là các vật nuôi có giá trị kinh tế cao ở Việt Nam và thế giới như các loại cá, tôm, lưỡng cư). Protein chaperone AcrH có vai trò giúp translocator chính AopB và translocator phụ AopD tồn tại trong tế bào chất của *A. hydrophila* ở trạng thái ổn định trước khi chúng tham gia hình thành cấu trúc của T3SS. Các nghiên cứu trước đây mới chỉ phân tích được cấu trúc của protein AcrH ở dạng kết hợp với protein AopB, nhưng ở dạng không liên kết với protein AopB vẫn chưa được làm sáng tỏ. Điều này làm cho hiểu biết về cơ chế hình thành T3SS bị hạn chế. Do đó, mục đích của nghiên cứu là tinh sạch chaperone AcrH với độ tinh sạch cao, giúp phát triển nghiên cứu cấu trúc của protein này, góp phần làm sáng tỏ cơ chế hình thành kênh chuyển vị xuyên màng của T3SS ở vi khuẩn *A. hydrophila* cũng như ở nhiều vi khuẩn gram âm khác. Trong nghiên cứu này, các tác giả đã thiết kế thành công vector biểu hiện pET-28a mang gen mã hóa cho chaperone AcrH từ axit amin 21 đến 158 và biểu hiện thành công trên chủng vi khuẩn *E. coli* BL21 (DE3). Protein tái tổ hợp AcrH được tinh sạch bằng phương pháp sắc ký ái lực sử dụng hạt niken với độ tinh sạch đạt trên 99%. Protein AcrH được tinh sạch với độ tinh sạch cao sẽ tiếp tục được sử dụng cho các nghiên cứu cấu trúc, góp phần hoàn thiện cơ chế gây bệnh của các vi khuẩn gram âm, từ đó có thể phát triển các nghiên cứu về cơ chế điều trị bệnh do các vi khuẩn này gây ra.

Từ khóa: biểu hiện gen, chaperone AcrH, protein tái tổ hợp, sắc ký ái lực.

Chỉ số phân loại: 1.6

Đặt vấn đề

Hệ tiết loại 3 (T3SS) là hệ thống vi tiêm siêu nhỏ được nhiều vi khuẩn gram âm sử dụng để xâm nhập vào tế bào vật chủ và gây bệnh. Vi khuẩn *A. hydrophila* sử dụng T3SS để gây bệnh trên nhiều đối tượng sinh vật khác nhau [1, 2], bao gồm cả người và thủy sản, đặc biệt là các vật nuôi có giá trị kinh tế cao đối với một nước nông nghiệp như Việt Nam, đó là các loại cá, tôm, lưỡng cư, gia súc [3-5]. Để tìm ra được các loại chất ức chế nhằm ngăn chặn và tiêu diệt các loại vi khuẩn này thì trước hết cần hiểu rõ được cấu trúc và chức năng của T3SS.

T3SS cấu tạo từ hơn 20 loại protein, gồm 3 phần chính: phần thân gốc ở màng tế bào vi khuẩn; phần kim tiêm có cấu tạo dạng ống rỗng có một đầu hướng ra ngoài môi trường và gắn vào tế bào vật chủ; phần kênh chuyển vị tiếp nối giữa phức hệ đầu mút và xuyên qua màng tế bào vật chủ [2, 6]. Khi có tín hiệu từ phức hệ đầu mút, kênh chuyển

vị được hình thành trên màng tế bào vật chủ và được cấu tạo từ 2 loại protein chuyển vị chính và phụ (ở vi khuẩn *A. hydrophila*, hai protein này được ký hiệu là AopB và AopD) [7]. Các protein chuyển vị chính và phụ đều chứa các vùng xuyên màng có tính kỵ nước rất cao. Do đó, trước khi được vận chuyển đến bề mặt tế bào vật chủ để hình thành nên kênh chuyển vị xuyên màng, thì các protein này được bảo vệ bởi protein chaperone lớp II tồn tại trong tế bào chất. Ở vi khuẩn *A. hydrophila*, protein chaperone lớp II là AcrH [8]. Hiện nay, cơ chế phân tử của quá trình hình thành nên phức hệ kênh chuyển vị vẫn chưa được làm sáng tỏ. Công bố năm 2015 của Nguyễn Văn Sáng và cộng sự đã chỉ ra cấu trúc tinh thể của phức hệ AcrH kết hợp với vùng xuyên màng của AopB. Cấu trúc này giải thích được sự tương tác AcrH với AopB, và AcrH có vai trò làm ổn định vùng xuyên màng của AopB [9]. Tuy nhiên, cấu trúc của AcrH ở dạng không liên kết vẫn chưa được làm sáng tỏ, và hạn chế sự hiểu biết về cơ chế biến đổi tương tác giữa dạng không liên

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

Cloning, expression, and purification of chaperone AcrH from *Aeromonas hydrophila* using *Escherichia coli* host cells

Van Sang Nguyen*, Thi Uyen Nguyen

Faculty of Biology, University of Science, Vietnam National University, Hanoi

Received 4 March 2021; accepted 29 April 2021

Abstract:

Aeromonas hydrophila (*A. hydrophila*) is a gram-negative bacterium, using the type III secretion system (T3SS). In the T3SS, a key structure is a translocon that inserts into the target membrane and forms a channel for bacterial toxins into the host cell. *A. hydrophila* is pathogenic to different organisms, including humans and aquatic animals (especially domestic animals with high economic value in Vietnam and the world, such as fishes, shrimps, amphibians). The pore completes the channel from bacteria to host, is composed of a major translocator (AopB) and minor translocator (AopD). These translocators are bound by a small chaperone (AcrH) in bacterial cytosol. AcrH chaperone plays an important role in keeping the high stability of translocators and prevents nonspecific interactions of hydrophobic domains before the pore formed in the host cell membrane. Previous studies only analysed the structure of the AcrH in combination with the AopB, but in a non-binding form with the AopB has not been elucidated. That limits the understanding of the formation mechanism of T3SS. Therefore, the authors aimed to clone, express, and purify the AcrH recombinant protein which can be used for the structural study and elucidation of T3SS pore formation. In this study, the authors cloned a fragment of the gene encoding for AcrH chaperone from *A. hydrophila* and inserted the gene into the pET-28a expression vector. AcrH protein from amino acids 21 to 158 was expressed in *E. coli* BL21 (DE3) and purified using a nickel bead column with high purity (over 99%). As a result, the obtained AcrH protein can be used for studies of structure and function that contribute to perfecting the pathogenesis of gram-negative bacteria and developing research on the treatment mechanism caused by these bacteria.

Keywords: affinity chromatography, chaperone AcrH, expression, recombinant protein.

Classification number: 1.6

kết và liên kết của AcrH. Do đó, chúng tôi tiến hành nghiên cứu nhân dòng, biểu hiện và tinh sạch chaperone AcrH ở vi khuẩn *A. hydrophila* để phục vụ cho nghiên cứu cấu trúc của protein AcrH.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành nhân dòng gen mã hóa cho chaperone AcrH của vi khuẩn *A. hydrophila* và chèn vào vectơ biểu hiện pET-28a. Vectơ tái tổ hợp mang gen AcrH được biến nạp vào chủng vi khuẩn *E. coli* BL21 (DE3) và biểu hiện trong tế bào này. Protein tái tổ hợp AcrH được tinh sạch bằng phương pháp sắc ký ái lực sử dụng hạt niken.

Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Vật liệu

Gen mã hóa cho protein AcrH từ axit amin 21 đến 158 (AcrH₂₁₋₁₅₈) nhân lên từ ADN tổng số của vi khuẩn *A. hydrophila*. Vectơ biểu hiện pET-28a được cung cấp từ Phòng thí nghiệm sinh học phân tử và tế bào, Trung tâm Khoa học sự sống, Khoa Sinh học, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội. Chủng *E. coli* DH5α và *E. coli* BL21(DE3) được chọn là vật chủ tách dòng và vật chủ biểu hiện protein AcrH₂₁₋₁₅₈. Các môi trường, vật liệu và hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu này đều được mua từ các hãng hóa chất uy tín như Sigma, Qiagen, Merk, Fermentas.

Phương pháp nghiên cứu

Nhân dòng gen mã hóa cho chaperone AcrH:

Trình tự gen mã hóa cho chaperone AcrH được nhân dòng từ khuôn là hệ gen của vi khuẩn *A. hydrophila* AH-1 (bằng phản ứng PCR - polymerase chain reaction), sử dụng mỗi xuôi có vị trí cắt của enzyme giới hạn *Bam*HI và mỗi ngược có vị trí cắt của enzyme giới hạn *Eco*RI (bảng 1). Thành phần của phản ứng PCR gồm 10 μl 5x Phusion HF Buffer, 1 μl dNTPs (10 mM), 1 μl ADN khuôn (100 ng/μl), 1,5 μl mỗi xuôi (10 μM), 1,5 μl mỗi ngược (10 μM) và thêm H₂O cho đủ tổng thể tích 50 μl. Phản ứng PCR thực hiện trên máy PCR Eppendorf với thời gian biến tính 20 giây ở 98°C, thời gian gắn mỗi là 15 giây ở 55°C và 15 giây kéo dài chuỗi ở 72°C. Sản phẩm PCR được kiểm tra bằng phương pháp điện di trên gel agarose 1,5%. DNA có kích thước tương ứng với gen mã hóa AcrH (414 bp) được tinh sạch sử dụng bộ kit Gel Extraction Kit của QIAGEN (Đức).

Bảng 1. Trình tự mỗi sử dụng trong phản ứng PCR.

Mỗi	Trình tự
AcrH ₂₁₋₁₅₈ F	5' GCGATCCGGCACCCTCGCATGCTC 3'
AcrH ₂₁₋₁₅₈ R	5' CGGAATTCACATATCCTTTTGGTTTGGAC 3'

Chèn gen vào vector biểu hiện pET-28a:

Đoạn gen AcrH và vector biểu hiện pET-28a cùng được cắt bởi 2 enzyme giới hạn *Bam*HI và *Eco*RI. 40 µl hỗn hợp phản ứng cắt plasmid gồm 3 µl plasmid (150 ng/µl), 2 µl 10X FastDigest™, 1 µl (10U) enzyme *Bam*HI FastDigest™, 1 µl (10U) enzyme *Eco*RI FastDigest™ (Fermentas) và 33 µl H₂O được ủ ở 37°C trong 2 giờ. 40 µl hỗn hợp phản ứng cắt DNA gồm 5 µl DNA (100 ng/µl) thu được từ bước tinh sạch, 4 µl 10X FastDigest™, 1 µl (10U) enzyme *Bam*HI, 1,5 µl (10U) enzyme *Eco*RI và 28,5 µl H₂O được ủ ở 37°C trong 2 giờ, sau đó enzyme được bất hoạt bằng cách ủ 10 phút ở 65°C. Plasmid và đoạn gen đã được cắt sau đó được nối bởi enzyme T4 DNA ligase ở nhiệt độ phòng trong 2 giờ với tỷ lệ plasmid và gen là 1:3 (tỷ lệ mol). Vector tái tổ hợp được biến nạp vào vật chủ tách dòng là tế bào *E. coli* DH5α bằng phương pháp sốc nhiệt. Các khuẩn lạc của tế bào DH5α chứa vector đã chèn gen được chọn lọc bằng phương pháp PCR khuẩn lạc sử dụng cặp mồi T7 promoter và T7 terminator.

Giải trình tự gen:

Các khuẩn lạc được xác định có chứa đoạn gen AcrH được chuyển sang nuôi cấy trong môi trường LB khoảng 16 giờ. Dung dịch nuôi cấy chứa tế bào DH5α sử dụng để tách chiết plasmid bằng bộ kit Miniprep Kit của QIAGEN theo các bước hướng dẫn bởi nhà sản xuất. Plasmid sau đó được gửi đi giải trình tự ở Công ty 1st Base (Malaysia) theo phương pháp Sanger.

Biểu hiện protein tái tổ hợp:

Vector biểu hiện chứa gen AcrH được biến nạp vào tế bào *E. coli* BL21 (DE3) và nuôi cấy trong môi trường LB có bổ sung ampicillin (100 µg/ml) ở 37°C đến khi mật độ tế bào ở OD₆₀₀ đạt tới 0,6. Sau đó bổ sung chất cảm ứng IPTG (isopropyl β-D-1-thiogalactopyranoside) với nồng độ 300 µM và nuôi cấy ở 20°C khoảng 16 giờ để biểu hiện protein tái tổ hợp. Sự biểu hiện protein được kiểm tra bằng phương pháp điện di gel SDS-PAGE 15% (sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis).

Tinh sạch protein tái tổ hợp:

Tế bào chứa protein tái tổ hợp từ 1 lít môi trường LB được thu lại bằng phương pháp ly tâm 8000 vòng/phút ở 4°C trong 5 phút, được hòa tan trong 25 ml đệm binding chứa 50 mM Tris-HCl, pH 8,0, 300 mM NaCl, 5 mM imidazole. Tế bào sau đó được phá vỡ bằng máy siêu âm trên đá lạnh và ly tâm 8000 vòng/phút ở 4°C khoảng 30 phút.

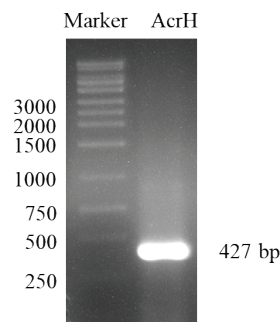
Dịch nổi thu được cho lên cột chứa 2 ml Ni-NTA Agarose đã được ủ sẵn với dung dịch đệm binding. Sau đó, rửa cột 3 lần bằng đệm binding và 10 lần bằng đệm rửa chứa

50 mM Tris-HCl, pH 8,0, 300 mM NaCl, 30 mM imidazole để loại bỏ protein tạp. Protein được tách khỏi cột bằng dung dịch Elution (50 mM Tris-HCl, pH 8,0, 300 mM NaCl, 500 mM imidazole).

Kết quả và thảo luận

Nhân dòng gen AcrH bằng kỹ thuật PCR

Đoạn gen mã hóa cho protein chaperone AcrH từ axit amin 21 đến 158 có kích thước 414 bp được khuếch đại bằng phương pháp PCR sử dụng cặp mồi đặc hiệu AcrH₂₁₋₁₅₈-F và AcrH₂₁₋₁₅₈-R chứa vị trí nhận biết của 2 enzyme cắt giới hạn *Bam*HI, *Eco*RI và khuôn là ADN của vi khuẩn *A. hydrophila* AH-1. Sản phẩm PCR được phân tích bằng phương pháp điện di trên gel agarose 1,5%. Kết quả điện di sản phẩm PCR được thể hiện ở hình 1. Thang ADN chuẩn giúp xác định kích thước tương đối của các băng ADN trong mẫu cần phân tích. Đường chạy AcrH là sản phẩm PCR có duy nhất một băng kích thước khoảng 414 bp, tương đương với kích thước của gen mã hóa cho protein AcrH₂₁₋₁₅₈. Điều này chứng minh rằng, chúng tôi đã nhân dòng thành công đoạn gen mã hóa cho protein AcrH sử dụng kỹ thuật PCR.



Hình 1. Kết quả điện di sản phẩm PCR nhân dòng gen AcrH. Thang ADN marker được phân tách tốt và hiển thị ở giếng đầu tiên. Giếng 2 là kết quả nhân dòng gen AcrH bằng kỹ thuật PCR với cặp mồi đặc hiệu. Đoạn gen mã hóa cho chaperone AcrH đã được nhân lên thành công với kích thước 414 bp.

Chèn đoạn gen mã hóa AcrH vào vector biểu hiện pET-28a

Sau khi nhân dòng được gen mã hóa cho chaperone AcrH, chúng tôi đã tiến hành cắt và chèn đoạn gen này vào vector biểu hiện pET-28a. Sau khi sàng lọc được các vector mang gen, các vector tái tổ hợp này được tách chiết và được giải trình tự bởi Công ty 1st Base (Malaysia). Sau đó, trình tự này được dịch mã sang trình tự axit amin sử dụng phần mềm SnapGene và so sánh với trình tự axit amin của AcrH đã công bố trên ngân hàng gen. Kết quả so sánh 2 trình tự sử dụng phần mềm CLUSTALW thể hiện trên hình 2 cho thấy, trình tự được chèn vào vector là tương đồng với trình tự của AcrH được công bố. Chỉ có sự khác biệt duy nhất ở trình tự 16 axit amin ở đầu N của chuỗi polypeptide, đó là trình tự

axit amin của đuôi His-tag và đuôi Thrombin giúp cho quá trình tinh sạch protein. Điều đó chứng tỏ rằng, chúng tôi đã thiết kế được vector tái tổ hợp pET-28a/AcrH.

AcrH-Clone	MHHHHHSSGLVPRGSGTLAMLNDVSTDITLQLYTLGFNQYHAGKHDEAHKIFQALCVLD 60	
AcrH-Genbank	-----GTLAMLNDVSTDITLQLYTLGFNQYHAGKHDEAHKIFQALCVLD 44	

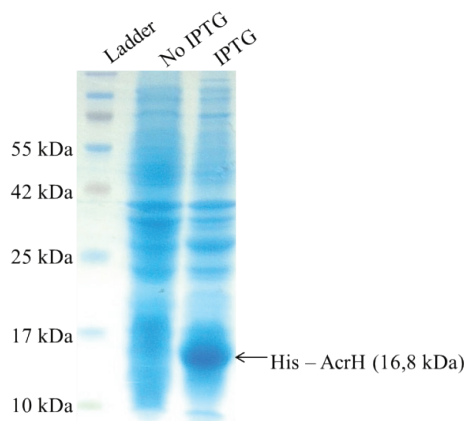
AcrH-Clone	HYEARFFLLGLGACRQALGQFRLAIDSSYSYGAMMDLQEPFRFPFHAAECLLQLGELEGAESG 120	
AcrH-Genbank	HYEARFFLLGLGACRQALGQFRLAIDSSYSYGAMMDLQEPFRFPFHAAECLLQLGELEGAESG 104	

AcrH-Clone	FHSAQLLAAAKPELAELAARAGIMLEVVKTKDM* 154	
AcrH-Genbank	FHSAQLLAAAKPELAELAARAGIMLEVVKTKDM* 138	

Hình 2. So sánh trình tự axit amin của AcrH với trình tự AcrH của vi khuẩn *A. hydrophila* AH-1 trên ngân hàng gen. AcrH-Clone: trình tự axit amin nhận được sau khi giải trình tự. AcrH-Genbank: trình tự axit amin của protein AcrH (vi khuẩn *A. hydrophila* AH-1) được công bố trên ngân hàng gen (AAR26340.1).

Biểu hiện protein tái tổ hợp trong tế bào *E. coli* BL21(DE3)

Tế bào *E. coli* BL21(DE3) chứa vector tái tổ hợp pET-28a/AcrH được biểu hiện trong môi trường LB lỏng có bổ sung ampicillin với nồng độ chất cảm ứng IPTG là 300 μ M trong 16 giờ. Kết quả biểu hiện được phân tích bằng phương pháp điện di SDS-PAGE thể hiện trên hình 3. Ở giếng IPTG, có một băng đặc trưng kích thước 16,8 kDa tương ứng với kích thước của AcrH xuất hiện, trong khi ở giếng đối chứng No IPTG không có băng này. Điều đó khẳng định rằng, protein AcrH đã được biểu hiện thành công trong tế bào *E. coli* BL21 (DE3).

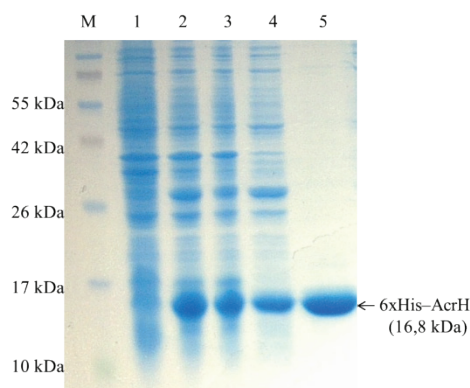


Hình 3. Kết quả biểu hiện chaperone AcrH trên tế bào *E. coli* BL21(DE3). Mẫu IPTG là mẫu cảm ứng biểu hiện bằng IPTG được so sánh với mẫu đối chứng là No IPTG (mẫu không có chất cảm ứng IPTG). Ở mẫu có chất cảm ứng xuất hiện một băng đặc trưng có kích thước 16,8 kDa, tương ứng với kích thước của chaperone AcrH.

Tinh sạch protein tái tổ hợp sử dụng sắc ký ái lực với niken

Sau khi biểu hiện thành công nhân tố phiên mã, chúng tôi tiếp tục tinh sạch protein này sử dụng phương pháp sắc

ký ái lực với cột có gắn ion niken. Do được biểu hiện bằng hệ thống vector biểu hiện pET-28a nên protein tạo ra sẽ có thêm 1 trình tự gồm 6 axit amin Histidin. Trình tự His-tag này giúp protein tái tổ hợp có thể bám với hạt niken trên cột, còn các protein khác sẽ bị rửa trôi bởi dung dịch đệm rửa (washing buffer) với 30 mM imidazole. Sau khi rửa các protein tạp, protein tái tổ hợp được thu lại bằng dung dịch đệm Elution chứa 500 mM imidazole. Kết quả tinh sạch thể hiện trên bản điện di SDS-PAGE (hình 4) cho thấy protein AcrH đã được thu lại với độ tinh sạch cao, có một băng duy nhất trên đường chạy 5.



Hình 4. Kết quả tinh sạch protein AcrH phân tích bằng điện di SDS-PAGE. M: thang chuẩn protein. 1: mẫu protein không có chất cảm ứng IPTG, 2: mẫu protein có bổ sung chất cảm ứng IPTG 300 μ M, 3-4: protein không tan và tan trong dung dịch sau khi phá vỡ tế bào bằng sóng siêu âm, 5: protein AcrH thu được sau khi tinh sạch sử dụng cột sắc ký ái lực với niken.

Thảo luận

Vi khuẩn *A. hydrophila* là một trong những vi khuẩn gram âm gây ra nhiều bệnh nguy hiểm cho các sinh vật, từ động vật cho đến con người. *A. hydrophila* nói riêng và một số vi khuẩn gram âm nói chung đều sử dụng T3SS để tiêm các protein độc tố hoặc các protein hiệu ứng vào tế bào vật chủ [1]. Mặc dù đã có nhiều công bố về các cấu trúc phức tạp của hệ tiết này, đặc biệt là phần thân gốc và kim tiêm, nhưng đến nay vẫn còn rất ít hiểu biết về cấu trúc của kênh chuyển vị (là kênh xuyên qua màng tế bào vật chủ của T3SS, giúp các protein của vi khuẩn có thể dễ dàng đi qua màng vào tế bào chất của vật chủ). Trong cấu trúc này, 2 protein chuyển vị chính (AopB) và phụ (AopD) hình thành phức hệ trên màng tế bào chủ [7]. Trong đó, chaperone AcrH (ở vi khuẩn *A. hydrophila*) có vai trò quan trọng giúp duy trì trạng thái ổn định của các translocator trong tế bào chất và ngăn chặn các tương tác không đặc hiệu do các vùng kỵ nước gây ra, trước khi được vận chuyển đến bề mặt tế bào vật chủ để hình thành kênh chuyển vị. Một số nghiên cứu trước đây đã chỉ ra mỗi một phân tử chaperone có thể tương tác trong phức hệ với một phân tử protein chuyển vị và hình thành nên phức hệ dị dimer như chaperone IpgC với IpaB(51-72), PcrH(21-160) với PopD(47-56), SycD(21-163) với

YopD(56-65), hay chaperone AcrH với AopB(1-264) [9-11]. Đặc biệt, đã có một số cấu trúc của các chaperone trong lớp II được công bố như SycD (*Yersinia enterocolitica*), IpgC (*Shigella flexneri*), PcrH (*Pseudomonas aeruginosa*) và LcrH (*Yersinia pestis*). Các cấu trúc này đều chỉ ra các chaperone được hình thành từ các đoạn lặp tetratricopeptide. Tuy nhiên, mỗi cấu trúc lại có các cấu trúc dị dimer khác nhau, điều này cho thấy sự linh động trong cấu trúc của các chaperone khác nhau. Do đó, việc nghiên cứu biểu hiện và xác định cấu trúc của chaperone AcrH giúp làm sáng tỏ cơ chế hình thành nên kênh chuyên vị của T3SS ở vi khuẩn *A. hydrophila*. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã tinh sạch được protein tái tổ hợp AcrH với lượng lớn và độ tinh sạch cao. Protein này có thể được tiếp tục nghiên cứu về cấu trúc và chức năng như đánh giá cấu trúc bậc 2 và bậc 3 của protein bằng phương pháp CD (circular dichroism) hay với độ tinh sạch cao có thể sử dụng để kết tinh protein và đánh giá bằng phương pháp tinh thể học tia X.

Kết luận

Chúng tôi đã tách dòng và thiết kế được vector biểu hiện pET-28a mang gen mã hóa cho chaperone AcrH. Vector tái tổ hợp pET-28a/AcrH được biến nạp thành công vào tế bào vi khuẩn *E. coli* BL21 (DE3) và biểu hiện thành công protein AcrH bằng chất cảm ứng IPTG với mức độ biểu hiện cao. Chaperone AcrH được tinh sạch bằng phương pháp sắc ký ái lực với cột niken đạt độ tinh sạch cao. Với kết quả này, protein có thể được tinh sạch lượng lớn với độ tinh sạch cao để nghiên cứu về cấu trúc của protein này, giúp làm sáng tỏ được cấu trúc của phức hệ kênh chuyên vị.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ phát triển khoa học và công nghệ quốc gia (NAFOSTED) theo tài trợ số 106-NN.02-2016.58. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] B. Coburn, I. Sekirov, and B.B. Finlay (2007), "Type III secretion systems and disease", *Clin. Microbiol. Rev.*, **20**(4), pp.535-549.
- [2] R.Q. Notti and C.E. Stebbins (2016), *The structure and function of type III secretion systems*, Wiley Online Library, pp.241-264.
- [3] A. Dacanay, et al. (2006), "Contribution of the type III secretion system (TTSS) to virulence of *Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*", *Microbiology*, **152**(6), pp.1847-1856.
- [4] R. Son, et al. (1997), "Antibiotic resistance and plasmid profile of *A. hydrophila* isolates from cultured fish, *Telapia* (*Telapia mossambica*)", *Letters in Applied Microbiology*, **24**(6), pp.479-482.
- [5] P.K. Praveen, et al. (2016), "Incidence of *Aeromonas* spp. infection in fish and chicken meat and its related public health hazards: a review", *Veterinary World*, **9**(1), p. 6.
- [6] S. Müller, M.F. Feldman, and G.R. Cornelis (2001), "The type III secretion system of Gram-negative bacteria: a potential therapeutic target?", *Expert Opinion on Therapeutic Targets*, **5**(3), pp.327-339.
- [7] H. Yu, et al. (2004), "A type III secretion system is required for *A. hydrophila* AH-1 pathogenesis", *Infection and Immunity*, **72**(3), pp.1248-1256.
- [8] J.C. Bennett, and C. Hughes (2000), "From flagellum assembly to virulence: the extended family of type III export chaperones", *Trends in Microbiology*, **8**(5), pp.202-204.
- [9] Van Sang Nguyen, et al. (2015), "Structure of AcrH-AopB chaperone-translocator complex reveals a role for membrane hairpins in type III secretion system translocon assembly", *Structure*, **23**(11), pp.2022-2031.
- [10] V. Job, et al. (2010), "Structural basis of chaperone recognition of type III secretion system minor translocator proteins", *Journal of Biological Chemistry*, **285**(30), pp.23224-23232.
- [11] P.R. Adam, et al. (2012), "Binding affects the tertiary and quaternary structures of the *Shigella* translocator protein IpaB and its chaperone IpgC", *Biochemistry*, **51**(19), pp.4062-4071.

So sánh hiệu quả của các thuật toán metaheuristic cho bài toán tối ưu khung thép sử dụng phân tích phi tuyến

Hà Mạnh Hùng*

Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng

Ngày nhận bài 1/4/2021; ngày chuyển phản biện 5/4/2021; ngày nhận phản biện 6/5/2021; ngày chấp nhận đăng 18/5/2021

Tóm tắt:

Ngày nay, thiết kế tối ưu công trình sử dụng thuật toán metaheuristic được sử dụng một cách thường xuyên hơn nhờ hiệu quả vượt trội của các thuật toán tối ưu này trong việc giải quyết các bài toán có độ phức tạp cao. Nhờ những ưu điểm đó, có khá nhiều thuật toán tối ưu đã và đang được đề xuất. Tuy nhiên, tùy thuộc vào đặc điểm của từng dạng bài toán tối ưu khác nhau mà hiệu quả của thuật toán sẽ khác nhau. Trong bài báo này, bài toán tối ưu của khung thép sử dụng phân tích phi tuyến đã được xem xét. Bốn thuật toán tối ưu sử dụng phổ biến gần đây cho dạng bài toán này được xem xét so sánh bao gồm: bản nâng cấp thuật toán tiến hóa vi phân (EpDE), bản nâng cấp thuật toán tối ưu va chạm giữa các vật chất (ECBO), kỹ thuật tìm kiếm hài hòa (HS) và thuật toán Rao. Một khung thép phẳng 5 tầng được tối ưu với hàm mục tiêu là tổng khối lượng và điều kiện ràng buộc cả về khả năng chịu tải và về chuyển vị lệch tầng. Kết quả tính toán cho thấy, thuật toán EpDE không chỉ tìm kiếm được kết quả tối ưu tốt nhất mà tốc độ tối ưu cũng tốt nhất trong bốn thuật toán.

Từ khóa: khung thép, phân tích phi tuyến, thuật toán metaheuristic, tối ưu.

Chỉ số phân loại: 2.1

Đặt vấn đề

Kết cấu khung thép được ưa chuộng sử dụng hiện nay nhờ vào ưu điểm kết cấu thanh mảnh, khả năng chịu lực cao, thời gian thi công nhanh và có thể sử dụng lại. Chính sự phổ biến đó của khung thép đã thu hút sự quan tâm nghiên cứu rộng rãi của các nhà khoa học, nhằm mục tiêu tăng cao hơn nữa hiệu quả và khả năng làm việc của loại kết cấu này. Cụ thể, trong tính toán khung thép, các kỹ thuật tính toán hiện đại sử dụng phân tích trực tiếp được áp dụng ngày càng nhiều nhằm có thể mô phỏng chính xác hơn nữa ứng xử thực tế của kết cấu khung thép, đặc biệt là vấn đề về phi tuyến hình học và phi tuyến vật liệu [1-6]. Trong thời đại ngày nay, giá vật liệu thép trong xây dựng ngày càng tăng cao, do đó hướng nghiên cứu thiết kế tối ưu cũng thu hút sự quan tâm rất lớn của cộng đồng khoa học, nhằm tối thiểu hóa chi phí xây dựng trong khi chất lượng công trình vẫn được đảm bảo. Tuy nhiên, đây là bài toán thiết kế có độ phi tuyến cao, trong đó các biến được xem là các tiết diện ngang của các phần tử. Các biến này thường được chọn rời rạc từ một danh sách các mặt cắt cho trước sao cho thỏa mãn tất cả các điều kiện ràng buộc về thiết kế, được quy định trong các tiêu chuẩn và tổng giá thành hoặc tổng khối lượng của khung thép là nhỏ nhất. Một số nghiên cứu điển hình về tối ưu khung thép có thể tham khảo trong các tài liệu [7-11]. Do tính phi tuyến cao của bài toán tối ưu khung thép, thuật toán metaheuristic được ưa chuộng sử dụng hơn các thuật toán tối ưu trực tiếp khác. Điểm nổi bật của các thuật toán này là tạo ra sự cân bằng trong việc tìm kiếm các nghiệm thiết kế tối ưu cục bộ và toàn cục, qua đó có thể tìm kiếm được thiết kế tốt nhất có thể. Trên cơ sở đó, việc xây dựng và cải tiến các thuật toán metaheuristic hiệu quả cao cho bài

toán tối ưu khung thép được chú trọng. Một số thuật toán nổi bật có thể kể đến như: bản nâng cấp thuật toán tối ưu va chạm giữa các vật chất (enhanced colliding bodies optimization) (ECBO) do Kaveh và Ghazaan (2015) [12] đề xuất dựa trên định luật về va chạm một chiều giữa hai vật thể trong vật lý; bản nâng cấp thuật toán tiến hóa vi phân (differential evolution) (DE) do Trương và Kim (2018) [13] đề xuất dựa trên việc ứng dụng kỹ thuật đột biến 'DE/pbest/1', trong đó cá thể mới tạo thành chịu sự ảnh hưởng của cá thể tốt trong tập p% của quần thể. Kỹ thuật này vì thế được đặt tên là EpDE. Ngoài ra, kỹ thuật tìm kiếm hài hòa (harmony search - HS) cũng được nhiều nhà khoa học sử dụng do đặc tính cấu tạo của giải thuật này rất phù hợp cho bài toán tối ưu với biến rời rạc như tối ưu khung thép [14]. Thuật toán Rao [15], một trong những thuật toán metaheuristic mới nhất hiện nay, cũng là một lựa chọn thú vị. Đặc điểm của thuật toán này là đơn giản trong áp dụng, yêu cầu rất ít tham số hệ thống nhưng tỏ ra khá hiệu quả trong nhiều dạng bài toán tối ưu hóa khác nhau [15-17].

Như đã đề cập ở trên, bài toán tối ưu khung thép phi tuyến là một bài toán phức tạp. Do đó, việc lựa chọn được một thuật toán phù hợp là rất quan trọng. Trong bài báo này, bốn thuật toán metaheuristic EpDE, ECBO, HS và Rao sẽ được so sánh khả năng của chúng trong việc tối ưu hóa khung thép. Hàm tối ưu là tổng khối lượng của khung thép, trong khi điều kiện ràng buộc bao gồm điều kiện về khả năng chịu tải theo trạng thái giới hạn cường độ và không chế về chuyển vị theo trạng thái giới hạn sử dụng. Một khung thép phẳng 5 tầng với 15 biến thiết kế được xem xét để so sánh, đánh giá hiệu quả của các thuật toán tối ưu này.

*Email: hungmh@nuce.edu.vn

Performance comparison of metaheuristic algorithms for optimisation of steel frames using nonlinear inelastic analysis

Manh Hung Ha*

Faculty of Building and Industrial Construction,
National University of Civil Engineering

Received 1 April 2021; accepted 18 May 2021

Abstract:

Nowadays, structural optimisation using metaheuristic algorithms has been widely used because of the significant benefit of these algorithms in solving highly complicated problems. With the same advantages, many optimisation algorithms have been proposed. However, depending on the characteristics of each optimisation problem type, the algorithm shows different performance. In this paper, the optimisation of steel frames using nonlinear inelastic analysis is considered. The performance of four recent metaheuristic algorithms, including the efficient pbest differential evolutionary (EpDE) algorithm, the enhanced colliding bodies optimisation (ECBO), harmonic search (HS), and Rao algorithms, for this optimisation problem, is compared. A 5x5 planar steel frame is optimised where the objective function is the total weight of the structure and the constraints include both load-carrying capacity and displacement requirements. The results showed that the EpDE algorithm found the best optimal results and had the best converged speed.

Keywords: metaheuristic algorithms, nonlinear inelastic analysis, optimisation, steel frame.

Classification number: 2.1

Thiết lập bài toán tối ưu khung thép sử dụng phân tích phi tuyến

Đối với các bài toán tối ưu kết cấu khung thép luôn mang tính thực tế và phi tuyến cao do các ứng xử phi tuyến về hình học, vật liệu và tính không liên tục của biến thiết kế.

Một số nghiên cứu gần đây [9, 10, 14] về tối ưu hóa kết cấu thép sử dụng phân tích phi tuyến để mô tả chính xác hơn về ứng xử của khung thép đã được công bố. Công thức tối ưu hóa các kết cấu này đã được trình bày trong tài liệu [9] thông qua tối thiểu hóa hàm số $W(X)$ trong công thức (1) với các điều kiện ràng buộc ở công thức (2). Thông thường, điều kiện ràng buộc về hình học là kích thước của các tiết diện cột, dầm của khung thép. Để đơn giản hóa, hàm phạt ở công thức (3) được sử dụng để chuyển từ bài toán

tối ưu có điều kiện ràng buộc thành các bài toán tối ưu không có điều kiện ràng buộc [9].

$$W(X) = \sum_{i=1}^N \rho_i A_i L_i \quad (1)$$

$$1 - constr_m \leq 0 \quad ; \quad 1 - LF_j \leq 0 \quad ; \quad A_i \in [A] \quad ; \quad \left| \frac{d_{k,l}}{d_{k,l}^u} \right| - 1 \leq 0 \quad (2)$$

$$\begin{cases} W_{un}(X) = \left(1 + \sum_{m=1}^{N_{constr}} \alpha_{constr,m} \beta_{1,m} + \sum_{j=1}^{N_{strength}} \alpha_{str,j} \beta_{2,j} + \sum_{k=1}^{N_{displ}} \alpha_{disp,k} \beta_{3,k} \right) \times W(X) \\ \beta_{1,m} = \max(1 - constr_m, 0); \beta_{2,j} = \max(1 - LF_j, 0); \beta_{3,k} = \sum_{l=1}^m \max\left(\left| \frac{d_{k,l}}{d_{k,l}^u} \right| - 1\right) \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó: ρ , L , A lần lượt là khối lượng riêng, chiều dài và diện tích tiết diện của phần tử kết cấu; i là số thứ tự của các phần tử kết cấu, $i = 1, \dots, N_{story}$ là số thứ tự tầng, $j = 1, \dots, N_{strength}$ và $k = 1, \dots, N_{service}$ tương ứng với tổ hợp tải trọng theo giới hạn cường độ và theo điều kiện chuyển vị; $constr_m$ là giá trị tương ứng với điều kiện ràng buộc về cấu tạo thứ m ; $[A]$ là tập hợp các tiết diện của phần tử kết cấu; $d_{k,l}$ là chuyển vị lệch tầng, $d_{k,l}^u$ là chuyển vị lệch tầng giới hạn; $LF = R/S$ là hệ số chịu tải tối đa của kết cấu, là tỷ lệ giữa khả năng chịu tải của công trình (R) và hiệu ứng do tải trọng gây ra (S). Nhằm đạt được mục đích để các cá thể vi phạm điều kiện ràng buộc sẽ tự động bị loại bỏ dần trong quá trình tối ưu, các hệ số phạt $\alpha_{constr,m}$, $\alpha_{str,j}$ và $\alpha_{disp,k}$ cần được chọn với giá trị đủ lớn. Các hệ số phạt trong bài báo này được lấy bằng 10,000.

Ứng dụng các thuật toán metaheuristic trong bài toán tối ưu khung thép phi tuyến

Thuật toán tối ưu ECBO

Thuật toán ECBO được Kaveh và Ghazaan (2015) [12] đề xuất dựa trên thuật toán tối ưu va chạm giữa các vật chất (colliding bodies optimization) (CBO) [18]. Các nội dung cơ bản của thuật toán ECBO như sau:

- Tương ứng với mỗi cá thể, giá trị khối lượng tương ứng được gán với nó và được xác định theo công thức:

$$m_k = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{fit(i)}} \quad , \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Trong đó, $fit(i)$ là giá trị hàm mục tiêu của cá thể thứ i và n là số lượng các thể trong quần thể. Để lựa chọn cặp đôi cá thể mục tiêu, quần thể sẽ được chia thành 2 tập (tập đứng yên và tập chuyển động).

- Vận tốc của cá thể trong tập đứng yên trước khi va chạm sẽ bằng 0 và của tập chuyển động hướng về cá thể trong tập đứng yên là:

$$\begin{aligned} v_i &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, \frac{n}{2} \\ v_i &= x_{i-\frac{n}{2}} - x_i, \quad i = \frac{n}{2} + 1, \frac{n}{2} + 2, \dots, n \end{aligned} \quad (5)$$

Trong đó, x_i là tọa độ của cá thể thứ i .

- Sau va chạm, vận tốc của các cá thể mới trong mỗi nhóm được tính như sau:

$$v_i' = \left[\frac{m_i + \varepsilon m_{i+\frac{n}{2}}}{m_i + m_{i+\frac{n}{2}}} \right] \times v_{i+\frac{n}{2}}, \quad i=1,2,\dots,\frac{n}{2} \quad (6)$$

$$v_i' = \left[\frac{m_i - \varepsilon m_{i-\frac{n}{2}}}{m_i + m_{i-\frac{n}{2}}} \right] \times v_i, \quad i=\frac{n}{2}+1,\frac{n}{2}+2,\dots,n$$

Trong đó, hệ số thay đổi ε được xác định như sau:

$$\varepsilon = 1 - \frac{iter}{iter_{max}} \quad (7)$$

Với, $iter$ là giá trị vòng lặp hiện tại và $iter_{max}$ là tổng số vòng lặp được định nghĩa trước cho chương trình tối ưu.

- Vị trí mới của các cá thể trong tập đứng yên và tập di động được xác định như sau:

$$x_i^{new} = x_i + rand \cdot v_i', \quad i=1,2,\dots,\frac{n}{2} \quad (8)$$

$$x_i^{new} = x_{i-\frac{n}{2}} + rand \cdot v_i', \quad i=\frac{n}{2}+1,\frac{n}{2}+2,\dots,n$$

Trong đó, $rand$ là vec-tơ được tạo ngẫu nhiên trong đoạn $[-1,1]$.

- Nhằm loại bỏ việc bị hội tụ cục bộ, hệ số Pro trong khoảng $(0,1)$ được sử dụng để xem xét xem liệu một hạng tử ở mỗi cá thể đó có bị thay thế hay không. Nếu $rand < Pro$, với $rand$ là một giá trị tạo ngẫu nhiên trong đoạn $(0,1)$, một hạng tử chọn ngẫu nhiên trong cá thể thứ i (x_i) sẽ được thay thế theo công thức sau:

$$x_{ij} = x_{j,min} + random(x_{j,max} - x_{j,min}), \quad i=1,2,\dots,n \quad (9)$$

Trong đó, x_{ij} là hạng tử thứ j của x_i ; $x_{j,max}$ và $x_{j,min}$ là giá trị cận trên và dưới tương ứng của nó. Lưu ý rằng, chỉ 1 hạng tử trong cá thể được xem xét thay đổi.

Thuật toán HS

HS được đề xuất bởi Geem và cs (2001) [19] dựa trên quá trình sáng tạo nghệ thuật của các nhạc sĩ. Nội dung cơ bản của HS gồm các bước sau:

Bước 1: xây dựng ma trận HM gồm HMS cá thể được tạo ra một cách ngẫu nhiên và được sắp xếp lại một cách tăng dần từ cá thể tốt nhất (có giá trị hàm mục tiêu nhỏ nhất) đứng đầu, đến cá thể kém nhất (có giá trị hàm mục tiêu lớn nhất) đứng dưới cùng:

$$HM = \begin{bmatrix} X^1 & Y^1 & Z^1 \\ X^2 & Y^2 & Z^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X^{HMS} & Y^{HMS} & Z^{HMS} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1^1 & \dots & x_n^1 & y_1^1 & \dots & y_n^1 & z_1^1 & \dots & z_n^1 \\ x_1^2 & \dots & x_n^2 & y_1^2 & \dots & y_n^2 & z_1^2 & \dots & z_n^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS} & \dots & x_n^{HMS} & y_1^{HMS} & \dots & y_n^{HMS} & z_1^{HMS} & \dots & z_n^{HMS} \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$C_{pen}(X^1, Y^1, Z^1) \leq C_{pen}(X^2, Y^2, Z^2) \leq \dots \leq C_{pen}(X^{HMS}, Y^{HMS}, Z^{HMS})$$

Trong đó, C_{pen} là giá trị hàm mục tiêu có xét đến điều kiện ràng buộc.

Bước 2: một cá thể tiềm năng $X' = (x'_1, \dots, x'_n)$ được tạo ra thông qua quá trình gồm 3 bước: (1) cân nhắc bộ nhớ, (2) điều chỉnh và (3) lựa chọn ngẫu nhiên. Đầu tiên, đối với x'_i , nếu một số ngẫu nhiên $rand1$ trong đoạn $(0, 1)$ có giá trị nhỏ hơn $HMCR(x'_i)$ thì x'_i được lựa chọn ngẫu nhiên từ các giá trị $\{x_i^1, \dots, x_i^{HMS}\}$ của HM. Khi đó, chúng ta bước qua bước thứ 2. Nếu một số ngẫu nhiên $rand2$ trong khoảng $(0,1)$ có giá trị nhỏ hơn $PAR(x'_i)$ thì x'_i được áp dụng kỹ thuật điều chỉnh theo công thức sau:

$$x'_i = \begin{cases} x'_i + rand \cdot int(1,3) & \text{khi } (rand < 0,5) \\ x'_i - rand \cdot int(1,3) & \text{khi } (rand \geq 0,5) \end{cases} \quad (11)$$

Trong đó: $rand \cdot int(1,3)$ là số tự nhiên ngẫu nhiên trong đoạn $[1,3]$ và $rand$ là số ngẫu nhiên trong khoảng $(0,1)$.

Trong trường hợp $rand1 > HMCR(x'_i)$ thì kỹ thuật ngẫu nhiên sẽ được sử dụng, trong đó x'_i sẽ được tạo mới trong khoảng giá trị đã cho của nó.

Các giá trị $HMCR(x'_i)$ và $PAR(x'_i)$ được xác định theo công thức sau [14]:

$$\begin{cases} HMCR(x'_i) = \left(1 + \frac{1-HMCR}{HMCR} \exp(-\gamma N(0,1)) \right)^{-1} \\ PAR(x'_i) = \left(1 + \frac{1-PAR(Iter)}{PAR(Iter_{max})} \exp(-\gamma N(0,1)) \right)^{-1} \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{Với: } PAR(\text{current iteration}) = PAR_{min} + \frac{Iter}{Iter_{max}} \times (PAR_{max} - PAR_{min}) \quad (13)$$

và $\gamma \in [0,25; 0,50]$ là một giá trị cho trước; HM là ma trận chứa HMS cá thể trong thuật toán HS; HMCR, PARmax và PARmin là các thông số hệ thống được người dùng chọn trước.

Bước 3: nếu $X' = (x'_1, \dots, x'_n)$ có giá trị hàm mục tiêu tốt hơn cá thể kém nhất trong quần thể thì nó sẽ thay thế vị trí của cá thể kém nhất. Thứ tự trong quần thể sẽ được sắp xếp lại theo thứ tự hàm mục tiêu tăng dần.

Thuật toán EpDE

Thuật toán EpDE được Truong và Kim (2018) [13] đề xuất dựa trên thuật toán tiến hóa vi phân (DE) do Storn và Price (1997) [20] đưa ra. Điểm khác nhau căn bản trong EpDE là việc sử dụng kỹ thuật đột biến 'DE/pbest/1', trong đó cá thể tiềm năng U sẽ được xác định dựa theo công thức:

$$U_i = X_{pbest} + F \times (X_{r_1} - X_{r_2}) \quad (14)$$

Trong đó, X_{pbest} là cá thể được lựa chọn ngẫu nhiên trong tập 100p% ($p[0,1]$) cá thể tốt nhất của quần thể. Giá trị p được xác định theo công thức:

$$p(k) = A \times D^{\left(\frac{-B \times (k-1)}{Iter_{max}-1} \right)} \quad (15)$$

Với k chỉ vòng lặp thứ k của quá trình tối ưu; D là số lượng cá thể trong quần thể; A và B là 2 tham số được cho trước. Trong công thức (15), giá trị p sẽ lớn nhất bằng A tại vòng lặp đầu tiên và nhỏ dần khi số vòng lặp tăng lên. Điều này có nghĩa là, trong giai đoạn đầu khi quần thể còn phân tán cao, chương trình tối ưu có xu

hướng khám phá trong quần thể nhằm tìm kiếm các khu vực tiềm năng. Trong giai đoạn sau, giá trị p giảm dần và chương trình có xu hướng sử dụng số lượng ít dần các cá thể tốt nhất trong quần thể nhằm tăng tốc độ hội tụ của quần thể. Một điểm cải tiến khác trong EpDE so với thuật toán DE là hệ số đột biến F được lấy bằng 0,7 và hệ số lai tạo CR nhận giá trị ngẫu nhiên trong khoảng (0,1).

Thuật toán tối ưu Rao

Thuật toán tối ưu Rao được giáo sư Rao (người Ấn Độ) đề xuất năm 2020 [15] với 4 kỹ thuật đột biến, dẫn đến có 4 thuật toán tối ưu Rao khác nhau Rao-1, Rao-2, Rao-3 và Rao-4. Người sử dụng có thể tự lựa chọn thuật toán hiệu quả nhất đối với mỗi bài toán tối ưu. Cách thức tìm kiếm thiết kế tối ưu sử dụng thuật toán Rao phụ thuộc vào các cá thể tốt nhất và kém nhất trong quần thể hiện tại và các tương tác ngẫu nhiên giữa các cá thể. Giả thiết rằng, tại vòng lặp bất kỳ nào đó, cá thể có giá trị hàm mục tiêu tốt nhất và kém nhất trong quần thể ký hiệu tương ứng là y_b và y_w . Như vậy, tương ứng với cá thể thứ k (y_k), một cá thể tiềm năng mới y'_k được tạo ra dựa trên 1 trong 4 kỹ thuật đột biến cơ bản Rao-1, Rao-2, Rao-3 và Rao-4 tương ứng với các công thức (16-19) [15]:

$$y'_k = y_k + r_1 \cdot (y_b - y_w) \quad (16)$$

$$y'_k = y_k + r_1 \cdot (y_b - y_w) + r_2 \cdot c \cdot (|y_k| - |y_r|) \quad (17)$$

$$y'_k = y_k + r_1 \cdot (y_b - |y_w|) + r_2 \cdot c \cdot (|y_k| - |y_r|) \quad (18)$$

$$y'_k = y_k + r_1 \cdot (y_b - y_w) + 0,5 \cdot (r_2 \cdot (y_w - y_r) + r_3 \cdot (y_b - x_r)) - r_4 \cdot (y_w - y_r) \quad (19)$$

Trong đó, y_r là một cá thể ngẫu nhiên của quần thể; r_1, r_2, r_3 và r_4 là các véc-tơ số thực ngẫu nhiên trong khoảng [0,1] của vòng tiến hóa hiện tại; $c=1$ khi hàm mục tiêu của y_k là tốt hơn so với của y_r và $c=-1$ khi hàm mục tiêu của y_r là tốt hơn so với của y_k . Nếu hàm mục tiêu của y'_k tốt hơn của y_k , nó sẽ được lựa chọn thay thế cho vị trí của y_k trong quần thể mới.

Từ các công thức (16-19) có thể thấy rằng kỹ thuật đột biến được sử dụng trong thuật toán Rao chỉ dựa trên các giá trị hàm mục tiêu của các cá thể trong quần thể. Hay nói cách khác là nó không yêu cầu một tham số hệ thống nào. Điều này cho thấy, thuật toán Rao khá đơn giản và dễ sử dụng.

Ví dụ minh họa

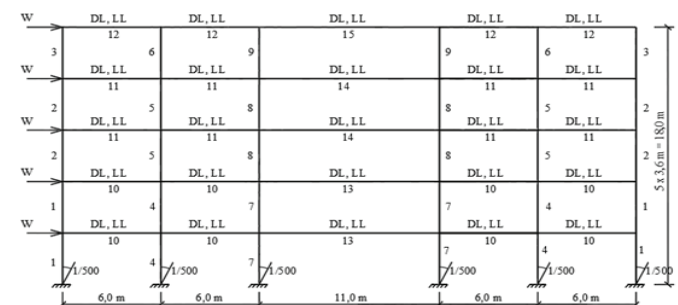
Trong phần này, khung thép phẳng 5 tầng được tối ưu nhằm so sánh, đánh giá hiệu quả của các thuật toán trên. Hàm mục tiêu là tổng khối lượng của khung. Các biến thiết kế là tiết diện của các phần tử dầm và cột. Tập hợp các tiết diện để thiết kế dầm là 267 tiết diện từ W10 đến W44 trong thư viện tiết diện W của AISC [21]. Còn tiết diện để thiết kế cho cột là 158 tiết diện W12, W14, W18, W21, W24 và W27. Một tổ hợp cường độ được xem xét là $(1,2DL + 1,6LL)$ và một tổ hợp sử dụng là $(1,0DL + 0,7W + 0,5LL)$, trong đó DL là tải trọng bản thân, LL là hoạt tải và W là tải trọng gió. Các tổ hợp tải trọng được xét đến trong bài toán dựa theo tiêu chuẩn AISC-LRFD của Mỹ [21]. Đối với tổ hợp cường độ, điều kiện an toàn của công trình thể hiện qua việc $LF \geq 1,0$. Còn đối với tổ hợp sử dụng, điều kiện an toàn của công trình được thỏa mãn khi chuyển vị lệch tầng lớn nhất của

công trình không vượt quá giới hạn của nó được lấy bằng $h/400$ với h là chiều cao tầng. Vật liệu thép là thép A992 với cường độ chảy $F_y = 344,7$ (Mpa) và mô-đun đàn hồi $E = 200$ (Gpa). Để ước lượng hành vi phi tuyến tính phi đàn hồi của khung thép, phần mềm PAAP được sử dụng. Chi tiết cách lập trình PAAP được thể hiện trong tài liệu [1]. Các thông số chi tiết cho từng thuật toán được trình bày trong bảng 1. Lưu ý rằng, các tham số được lựa chọn dựa trên các khuyến nghị trong các tài liệu [7-9].

Bảng 1. Thông số của thuật toán tối ưu sử dụng.

Thông số thuật toán	
EpDE	Số cá thể trong quần thể $D=25$ $Iter_{max}=4000$ $A=1,0$; $B=1,0$ $F=0,7$; $CR=Rand(0, 1)$
ECBO	$D=20$ $Iter_{max}=5000$ $CM=2$ $Pro=0,3$
HS	$D=50$ $HMCR=0,8$ $PAR=0,4$ $Iter_{max}=100000$
Rao	$D=25$ $Iter_{max}=4000$ Rao-2

Hình 1 trình bày sơ đồ hình học của khung thép 5 tầng. Độ lệch ban đầu của cột được lấy bằng $1/500$ để xét đến tính không hoàn hảo của công trình. Các cột của khung được chia thành 9 biến thiết kế và các dầm được chia thành 6 biến thiết kế. Tải trọng tĩnh tải bản thân DL và hoạt tải LL là tải trọng phân bố đều trên dầm có giá trị lần lượt bằng 35 và 25 (kN/m). Tải trọng gió W tác dụng theo phương ngang được quy thành các tải trọng tập trung đặt tại các nút khung như trong hình 1. Giá trị tải trọng gió là 28 (kN).



Hình 1. Khung thép phẳng 5 tầng ($DL=55$ (kN/m); $LL=25$ (kN/m); $W=28$ (kN)).

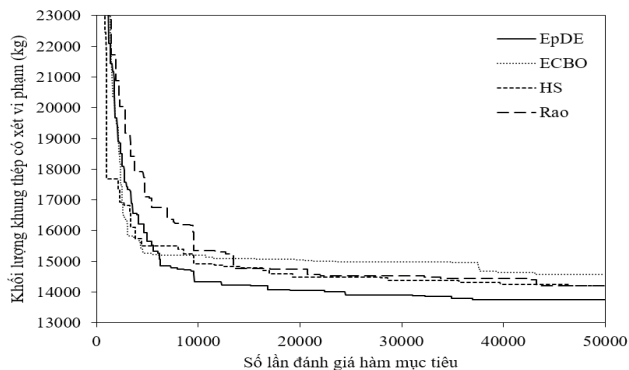
Kết quả tối ưu tốt nhất tìm được bằng cách sử dụng 4 thuật toán được trình bày trong bảng 2. Trong bảng 2, điều kiện về cường độ là tỷ lệ giữa khả năng chịu tải của khung thép và áp lực do tải trọng gây ra tính theo tổ hợp $(1,2DL + 1,6LL)$ và điều kiện về sử dụng là tỷ lệ của chuyển vị lệch tầng lớn nhất và $h/400$ tính theo tổ hợp sử dụng là $(1,0DL + 0,7W + 0,5LL)$. Điều này nghĩa là khung không vi phạm điều kiện ràng buộc khi điều kiện về cường độ không nhỏ hơn 1,0 và điều kiện về chuyển vị không lớn hơn 1,0. Dựa vào kết quả bảng 2, thuật toán EpDE tìm kiếm được kết quả thiết kế tối ưu khung tốt nhất trong bốn thuật toán với khối lượng tối ưu chỉ là 13753 (kg). Thuật toán ECBO cho kết quả kém nhất với 14566 (kg), còn 2 thuật toán HS và Rao tương đương nhau với khối lượng

tối ưu tìm được lần lượt là 14204 và 14213 (kg). Cả 4 thuật toán đều tìm kiếm được thiết kế tối ưu không vi phạm điều kiện ràng buộc nào, hay nói cách khác là thiết kế tối ưu có hiệu quả sử dụng.

Bảng 2. Kết quả tối ưu.

Nội dung	EpDE	ECBO	HS	Rao
Khối lượng tối ưu của khung (kg)	13753	14566	14204	14213
Biến thiết kế 1	W12x19	W12x26	W12x19	W12x19
Biến thiết kế 2	W12x19	W12x19	W12x16	W12x14
Biến thiết kế 3	W12x16	W12x16	W12x22	W12x16
Biến thiết kế 4	W14x38	W21x44	W18x40	W18x40
Biến thiết kế 5	W12x26	W12x22	W12x22	W12x26
Biến thiết kế 6	W12x14	W12x14	W12x14	W12x16
Biến thiết kế 7	W24x55	W21x62	W24x55	W21x57
Biến thiết kế 8	W21x44	W21x48	W21x44	W14x43
Biến thiết kế 9	W18x35	W12x45	W14x38	W18x40
Biến thiết kế 10	W16x26	W16x26	W16x26	W16x26
Biến thiết kế 11	W14x22	W14x22	W16x26	W16x26
Biến thiết kế 12	W16x26	W16x31	W14x26	W12x30
Biến thiết kế 13	W21x55	W21x50	W24x55	W21x55
Biến thiết kế 14	W21x50	W21x55	W21x50	W21x50
Biến thiết kế 15	W24x55	W24x62	W18x65	W21x57
Xét điều kiện cường độ	1,0001	1,0102	1,0055	1,0019
Xét điều kiện chuyển vị	0,6619	0,6334	0,6201	0,6917

Hình 2 trình bày đường cong hội tụ quá trình tối ưu của 4 thuật toán. Kết quả cho thấy, EpDE có tốc độ tốt hơn hẳn so với 3 thuật toán còn lại. ECBO cũng có tốc độ hội tụ khá tốt lúc ban đầu. Tuy nhiên, thuật toán này cho thấy khả năng tìm kiếm thiết kế tối ưu về sau không tốt bằng 3 thuật toán còn lại. HS và Rao có tốc độ tối ưu khá tương đồng. Kết quả này cho thấy, EpDE có thể sử dụng hiệu quả trong cả trường hợp số vòng lặp là ít và nhiều.



Hình 2. Đường cong hội tụ quá trình tối ưu.

Kết luận

Bài báo trình bày so sánh về hiệu quả của các thuật toán tối ưu metaheuristic mạnh hiện nay cho bài toán tối ưu khung thép sử dụng phân tích phi tuyến tính phi đàn hồi. Bốn thuật toán được xem xét là EpDE, ECBO, HS và Rao. Hàm tối ưu là tổng khối lượng của khung thép. Điều kiện ràng buộc bao gồm điều kiện về khả năng chịu tải theo trạng thái giới hạn cường độ và không chế chuyển vị theo trạng thái giới hạn sử dụng. Phân tích phi tuyến tính phi đàn hồi được sử dụng để tính toán ứng xử của khung thép, phục vụ cho việc đánh giá sự vi phạm của khung thép với các điều kiện ràng buộc. Kết quả tối ưu một khung thép phẳng 5 tầng với 15 biến thiết kế cho thấy kết quả tối ưu tìm được của 4 thuật toán đều hiệu quả khi không vi phạm bất cứ điều kiện ràng buộc nào.

Do đó, chúng đều có thể được sử dụng để giải quyết các bài toán tối ưu khung thép. Tuy nhiên, thuật toán EpDE không chỉ tìm kiếm được kết quả tối ưu tốt nhất mà tốc độ tối ưu cũng tốt nhất trong bốn thuật toán. Kết quả tối ưu của thuật toán ECBO là kém nhất trong 4 thuật toán.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H.T. Thai, S.E. Kim (2009), "Practical advanced analysis software for nonlinear inelastic analysis of space steel structures", *Advances in Engineering Software*, **40**(9), pp.786-797.
- [2] V.H. Truong, S.E. Kim (2017a), "An efficient method of system reliability analysis of steel cable-stayed bridges", *Advances in Engineering Software*, **114**, pp. 295-311.
- [3] S.E. Kim, V.H. Truong (2020), "Reliability evaluation of semi-rigid steel frames using advanced analysis", *Journal of Structural Engineering*, **146**(5), DOI: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0002616.
- [4] S.E. Kim, Q.V. Vu, G. Papazafeiropoulos, Z. Kong, V.H. Truong (2020), "Comparison of machine learning algorithms for regression and classification of ultimate load-carrying capacity of steel frames", *Steel and Composite Structures*, **37**(2), pp.193-209.
- [5] Q.V. Vu, V.H. Truong, H.T. Thai (2021), "Machine learning-based prediction of CFST columns using gradient tree boosting algorithm", *Composite Structures*, **259**, DOI: 10.1016/j.compstruct.2020.113505.
- [6] V.H. Truong, G. Papazafeiropoulos, V.T. Pham, Q.V. Vu (2020), "Effect of multiple longitudinal stiffeners on ultimate strength of steel plate girders", *Structures*, **22**, pp.366-382.
- [7] M.R. Maheri, H. Shokrian, M.M. Narimani (2017), "An enhanced honey bee mating optimization algorithm for design of side sway steel frames", *Advances in Engineering Software*, **109**, pp.62-72.
- [8] A. Kaveh, A.B. Gerami (2017), "Optimal design of large-scale space steel frames using cascade enhanced colliding body optimization", *Struct. Multidisc. Optim.*, **55**(1), pp.237-256.
- [9] V.H. Truong, S.E. Kim (2018a), "A robust method for optimization of semi-rigid steel frames subject to seismic loading", *Journal of Constructional Steel Research*, **145**, pp.184-195.
- [10] H.M. Ha, Q.V. Vu, V.H. Truong (2020), "Optimization of nonlinear inelastic steel frames considering panel zones", *Advances in Engineering Software*, **142**, DOI: 10.1016/j.advengsoft.2020.102771.
- [11] H.M. Ha, Q.A. Vu, V.H. Truong (2018), "Optimum design of stay cables of steel cable-stayed bridges using nonlinear inelastic analysis and genetic algorithm", *Structures*, **16**, pp.288-302.
- [12] A. Kaveh, M. Ilchi Ghazaan (2015), "Enhanced colliding bodies algorithm for truss optimization with frequency constraints", *J. Comput. Civ. Eng.*, **29**(6), DOI: 10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000445.
- [13] V.H. Truong, S.E. Kim (2018b), "Reliability-based design optimization of nonlinear inelastic trusses using improved differential evolution algorithm", *Advances in Engineering Software*, **121**, pp.59-74.
- [14] V.H. Truong, S.E. Kim (2017b), "An efficient method for reliability-based design optimization of nonlinear inelastic steel space frames", *Struct. Multidisc. Optim.*, **56**(2), pp.331-351.
- [15] R.V. Rao (2020), "Rao algorithms: three metaphor-less simple algorithms for solving optimization problems", *International Journal of Industrial Engineering Computations*, **11**, pp.107-130.
- [16] R.V. Rao, R.B. Pawar (2020a), "Self-adaptive multi-population Rao algorithms for engineering design optimization", *Applied Artificial Intelligence*, **34**(3), pp.197-250.
- [17] R.V. Rao, R.B. Pawar (2020b), "Constrained design optimization of selected mechanical system components using Rao algorithms", *Applied Soft Computing*, **89**, DOI: 10.1016/j.asoc.2020.106141.
- [18] A. Kaveh, V.R. Mahdavi (2014), "Colliding bodies optimization: a novel meta-heuristic method", *Comput. Struct.*, **139**, pp.18-27.
- [19] Z.W. Geem, J.H. Kim, G.V. Logonathan (2001), "A new heuristic optimization algorithm: harmony search", *Simulation*, **78**, pp.60-68.
- [20] R. Storn, K. Price (1997), "Differential evolution - a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces", *Journal of Global Optimization*, **11**(4), pp.341-359.
- [21] AISC-LRFD (1999), "Manual of steel construction - load and resistance factor design", Chicago (IL): American Institute of Steel Construction.

Mặt đường hấp thụ khí thải và đề xuất áp dụng tại Việt Nam

Nguyễn Văn Nam*, Vũ Đức Sỹ, Phạm Huy Khang

Trường Đại học Giao thông Vận tải

Ngày nhận bài 15/1/2021; ngày chuyển phản biện 18/1/2021; ngày nhận phản biện 22/2/2021; ngày chấp nhận đăng 26/2/2021

Tóm tắt:

Mặt đường hấp thụ khí thải có sử dụng phụ gia là chất xúc tác quang hóa Titan dioxit (TiO_2) đang được nghiên cứu và áp dụng tại nhiều nước tiên tiến trên thế giới. Tuy nhiên, đến nay loại mặt đường này vẫn chưa được nghiên cứu và áp dụng tại Việt Nam. Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu cho loại mặt đường bê tông nhựa hấp thụ khí thải được thực hiện trong điều kiện thực tiễn để đưa ra các đề xuất và kiến nghị trong việc áp dụng loại mặt đường này tại Việt Nam.

Từ khóa: bê tông nhựa (BTN), mặt đường hấp thụ khí thải, phụ gia xúc tác quang hóa.

Chỉ số phân loại: 2.1

Đặt vấn đề

Mặt đường hấp thụ khí thải có sử dụng chất xúc tác quang hóa Titan dioxit (TiO_2) đã và đang được nghiên cứu, triển khai áp dụng tại nhiều nước tiên tiến trên thế giới như Mỹ, Nhật Bản, Hà Lan, Bỉ, Anh... Đây là loại mặt đường hiện đại, có khả năng hấp thụ và phân hủy phần lớn các khí thải độc hại do phương tiện giao thông cơ giới phát thải ra như các khí NO_x (NO và NO_2), CO và các hợp chất hữu cơ dễ bay hơi (VOCs) [1].

Các lợi ích về mặt môi trường của mặt đường và các bề mặt có sử dụng TiO_2 trong việc hấp thụ và phân hủy các khí thải đã được khẳng định bởi các nghiên cứu trong phòng thí nghiệm cũng như ngoài hiện trường ở nhiều nước châu Âu, nơi mà có hơn 2 triệu mét vuông bề mặt hấp thụ khí thải đã được xây dựng, trong đó có hơn 1 triệu mét vuông mặt đường hấp thụ khí thải. Hiệu quả hấp thụ và phân hủy khí NO_x được công bố có thể lên đến hơn 60%, hiệu quả này cũng phụ thuộc vào điều kiện môi trường và công nghệ áp dụng để phân tán TiO_2 vào các bề mặt và mặt đường. Tại Mỹ, mặt đường hấp thụ khí thải sử dụng TiO_2 được áp dụng với mặt đường bê tông xi măng (BTXM), các bề mặt ghép khối như vỉa hè hoặc nơi đỗ xe, bê tông rỗng và lớp bê tông nhựa (BTN) tạo nhám trên bề mặt [1]. Ví dụ các tuyến đường có sử dụng mặt đường hấp thụ khí thải tại Mỹ như tuyến Cermak tại Chicago, tuyến Route 141 gần thành phố St. Louis của bang Missouri, đại lộ Blue Island tại Chicago có làn đường cho xe đạp với lớp mặt hấp thụ khí thải được xây dựng xong vào tháng 4 năm 2013 và được mệnh danh là tuyến đường phố xanh nhất nước Mỹ.

Tại Bỉ, mặt đường hấp thụ khí thải được áp dụng tại tỉnh Antwerp cho 10.000 m^2 mặt đường làn đỗ xe của tuyến đường trục chính Leien of Antwerp được xây dựng vào năm 2004-2005 bằng các khối BTXM có lớp phủ là BTXM TiO_2 dày từ 5 đến 6 mm. Sau khi áp dụng loại mặt đường này, lượng khí thải NO_x đo được tại đây giảm từ 20 đến 70%. Ngoài ra, đường hầm Leopold II ở

thành phố Brussels cũng áp dụng lớp phủ xi măng TiO_2 trên các bề mặt trong của hầm gồm các vách và mái hầm với diện tích khoảng 2.700 m^2 để xử lý khí thải do phương tiện giao thông phát thải ra khi lưu thông trong hầm [2].

Tại Nhật Bản, công nghệ mặt đường hấp thụ khí thải cũng đã được áp dụng thí điểm với hơn 14 địa điểm trong nhiều năm qua. Một trong những tuyến đường được áp dụng thí điểm là tuyến đường vành đai số 7 tại thủ đô Tokyo với diện tích mặt đường hấp thụ khí thải khoảng 300 m^2 . Kết quả quan trắc cho thấy, lượng NO_x bị hấp thụ và phân hủy tại khu vực thí điểm này ước tính đạt từ 50 đến 60 mg mỗi ngày và hàm lượng này tương đương với lượng NO_x phát thải của 1.000 ô tô đi qua [3]. Hà Lan cũng đã triển khai áp dụng mặt đường hấp thụ khí thải cho một số nơi như thành phố Hengelo có xây dựng các khối BTXM TiO_2 để lát đường. Tại Ba Lan, thành phố Nowa Sól cũng đã xây dựng làn đường xe đạp có mặt đường hấp thụ khí thải vào năm 2012. Tại Anh, mặt đường hấp thụ khí thải cũng đã được áp dụng cho tuyến đường Kendal's High Street tại thị trấn Kendal, hạt Cumbria.

Tuy vậy, loại mặt đường hấp thụ khí thải vẫn chưa được nghiên cứu và áp dụng tại Việt Nam. Hiện nay, ô nhiễm không khí, đặc biệt do khí thải của các phương tiện giao thông cơ giới gây ra tại các đô thị lớn của nước ta như Hà Nội và TP Hồ Chí Minh đang ở mức báo động, gây ảnh hưởng lớn tới môi trường và sức khỏe của người dân đô thị. Do vậy, việc nghiên cứu và đề xuất loại mặt đường vừa đảm bảo tính năng khai thác tốt nhưng lại có khả năng hấp thụ và phân hủy khí thải cho Việt Nam sẽ có ý nghĩa lớn về môi trường và bảo vệ sức khỏe cho người dân.

Bài báo này trình bày những kết quả nghiên cứu loại mặt đường BTN hấp thụ khí thải được thực hiện trong điều kiện thí nghiệm của Việt Nam, từ đó đưa ra các đề xuất và kiến nghị trong việc áp dụng loại mặt đường này cho các đô thị lớn của nước ta.

*Tác giả liên hệ: Email: ngvnamgtvt@yahoo.com

Pollution-absorbing pavement and proposals for the application in Vietnam

Van Nam Nguyen*, Duc Sy Vu, Huy Khang Pham

University of Transport and Communications

Received 15 January 2021; accepted 26 February 2021

Abstract:

The pollution-absorbing pavement using titanium dioxide (TiO₂) photocatalyst additive has been studied and applied in many developed countries around the world. However, this type of pavement has not been studied and applied in Vietnam until the present. This paper presents the research results for the pollution-absorbing asphalt pavement carried out in Vietnamese conditions to provide proposals and recommendations for the application of this pavement in Vietnam.

Keywords: asphalt concrete (AC), photocatalyst additive, pollution-absorbing pavement.

Classification number: 2.1

Nội dung nghiên cứu và mô hình thí nghiệm

Chất xúc tác quang hóa TiO₂

TiO₂ là chất bột màu trắng bền nhiệt, không độc và giá thành phù hợp nên được sử dụng rộng rãi trong đời sống hàng ngày. TiO₂ được dùng nhiều trong công nghiệp như một chất độn, cụ thể nó được dùng nhiều trong sơn, mỹ phẩm, men gốm sứ... Năm 1972, Fujishima và Honda đã phát hiện ra khả năng quang xúc tác của TiO₂. Sự kiện này đánh dấu sự bắt đầu một kỷ nguyên mới của những ứng dụng về quang xúc tác của vật liệu TiO₂ [3, 4].

TiO₂ có hoạt tính xúc tác quang cao, không độc hại với con người và môi trường, trở về mặt hóa học và hoàn toàn có thể ứng dụng trong môi trường tự nhiên vì cơ chế của phản ứng quang hóa này có thể xảy ra dưới tác dụng của nguồn chiếu xạ tia tử ngoại tự nhiên từ ánh sáng mặt trời. TiO₂ tinh thể thường tồn tại dưới ba dạng thù hình chính là Anatase, Rutile và Brookite. Trong đó, dạng thù hình Anatase có hoạt tính quang hoá mạnh nhất. Với hoạt tính quang xúc tác cao nên vật liệu TiO₂ được ứng dụng trong các lĩnh vực môi trường như xử lý khí thải, phân hủy các hợp chất hữu cơ độc hại, xử lý nước, diệt khuẩn [3, 4].

Cơ chế quang xúc tác và hấp thụ khí thải của mặt đường có sử dụng TiO₂

Khi mặt đường có sử dụng phụ gia là chất xúc tác quang hóa TiO₂ được chiếu bằng ánh sáng thích hợp có thể tạo ra một

loạt quy trình giống như phản ứng oxy hoá khử và các phân tử ở dạng chuyển tiếp có khả năng oxy hoá khử mạnh. TiO₂ là một chất xúc tác quang hóa mạnh nên khi được chiếu ánh sáng mặt trời có tia cực tím (UV) với bước sóng nhỏ hơn 390 nm, khi đó năng lượng photon ánh sáng (hν) lớn hơn năng lượng vùng cấm của TiO₂ sẽ kích thích các điện tử từ vùng hóa trị nhảy lên vùng dẫn tạo ra các điện tử (e⁻) ở vùng dẫn và các lỗ trống (h⁺) ở vùng hoá trị, thể hiện bằng phản ứng sau [3, 4]:



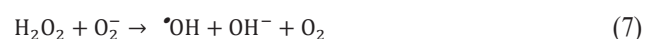
Như đã biết, trong không khí có nhiều hơi nước (H₂O), do vậy các lỗ trống (h⁺) có thể phản ứng trực tiếp với H₂O để tạo ra gốc hydroxyl (*OH) có hoạt tính oxy hóa rất cao theo phản ứng dưới đây [3, 4]:



Trong không khí cũng có nhiều ôxy, do vậy ôxy trong không khí sẽ nhận điện tử (e⁻) ở vùng dẫn tạo thành ion superoxit (O₂⁻). Phản ứng tạo ra ion superoxit như sau [3, 4]:



Ion superoxit được tạo ra từ phản ứng (3) sẽ tham gia vào một số phản ứng khác để tạo ra thêm gốc hydroxyl (*OH) như sau [3, 4]:



Cả gốc hydroxyl (*OH) và ion superoxit (O₂⁻) tạo ra từ các phản ứng nêu trên đều có tính oxy hóa rất mạnh, chúng có thể tham gia vào các phản ứng oxy hoá khử để phân hủy phần lớn các khí thải do phương tiện giao thông cơ giới phát thải ra.

Nếu trong không khí có khí NO_x (NO và NO₂) do động cơ phương tiện phát thải ra thì chúng sẽ bị phân hủy thành ion NO₃⁻ theo các phản ứng dưới đây [5]:



Các ion NO₃⁻ tạo ra từ phản ứng trên sẽ bị hút bám lại trên bề mặt đường và sẽ bị rửa trôi nhanh chóng khi có nước mưa hoặc nước rửa đường trên bề mặt đường.

Nếu trong không khí có khí CO do động cơ phương tiện phát thải ra chúng sẽ bị xử lý theo phản ứng dưới đây [6]:

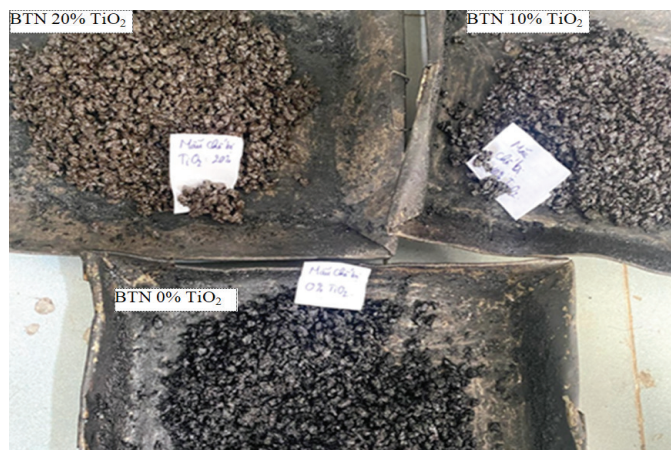


Ngoài phản ứng (11) nêu trên, khí CO còn bị xử lý thông qua một số phản ứng hóa học khác khi có hiệu ứng quang xúc tác xảy ra [7].

Chế tạo hỗn hợp BTN hấp thụ khí thải

Hỗn hợp BTN có khả năng hấp thụ khí thải để làm lớp phủ siêu mỏng tạo nhám cho mặt đường BTN đã được chế tạo trong Phòng thí nghiệm Công trình - Trung tâm Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải bằng cách phối trộn hỗn hợp BTN tạo nhám thông thường với chất xúc tác quang hóa TiO_2 với các hàm lượng là 10 và 20% theo khối lượng nhựa. Chất xúc tác quang hóa TiO_2 dạng bột được sử dụng trong thí nghiệm là sản phẩm thương mại TiO_2 Korea KA-100 Anatase xuất xứ từ Hàn Quốc có kích cỡ hạt từ 0,25-0,35 μm , độ tinh khiết là 98,5% (theo công bố của nhà sản xuất). Các vật liệu sử dụng chế tạo hỗn hợp BTN tạo nhám bao gồm cốt liệu, bột khoáng, nhựa đường Polymer PMB III đáp ứng Tiêu chuẩn TCVN 12759-1:2020 “Bê tông nhựa tạo nhám - Thi công và nghiệm thu - Phần 1: Lớp phủ siêu mỏng tạo nhám” [8].

Hình 1 mô tả 3 loại hỗn hợp BTN với các hàm lượng chất xúc tác quang hóa TiO_2 lần lượt 20, 10 và 0% sau quá trình phối trộn trong phòng thí nghiệm.



Hình 1. Hỗn hợp BTN với các hàm lượng TiO_2 20, 10 và 0%.

Các nhóm mẫu thí nghiệm

Có hai loại nhóm mẫu thí nghiệm được chế tạo gồm:

- Các mẫu BTN hình hộp chữ nhật có kích thước 320 x 260 x 80 mm, trong đó lớp phủ tạo nhám phía trên dày 30 mm là BTN tạo nhám có các hàm lượng TiO_2 0, 10 và 20% (theo khối lượng nhựa) để phục vụ cho việc đánh giá khả năng hấp thụ khí thải của mặt đường.

- Các mẫu BTN hình trụ có các hàm lượng TiO_2 là 0, 10 và 20% (theo khối lượng nhựa) để xác định một số tính chất cơ học của mặt đường BTN.

Mô hình thí nghiệm đánh giá khả năng hấp thụ khí thải của mặt đường

Mô hình thí nghiệm phục vụ đánh giá khả năng hấp thụ khí thải đã được chế tạo bằng cách đặt các mẫu thí nghiệm mặt đường BTN trong các bình thủy tinh kín khí có bố trí hai lỗ tròn nhỏ trên hai mặt bên của bình (kết hợp các nút bịt kín khí) để đưa ống bơm khí thải và đầu đo khí thải vào trong bình. Tiến hành bơm khí thải

từ ống xả xe máy vào các bình chứa mẫu thí nghiệm và giữ cho khí trong bình ổn định sau một khoảng thời gian nhất định. Sau đó đem các bình ra ngoài ánh nắng mặt trời nhằm kích hoạt cơ chế quang xúc tác của TiO_2 . Tiếp theo, tiến hành đo nồng độ khí thải NO_x và CO trong bình theo từng thời điểm thí nghiệm nhất định bằng thiết bị đo khí thải Wöhler A550 Industrial của CHLB Đức như thể hiện trong hình 2.

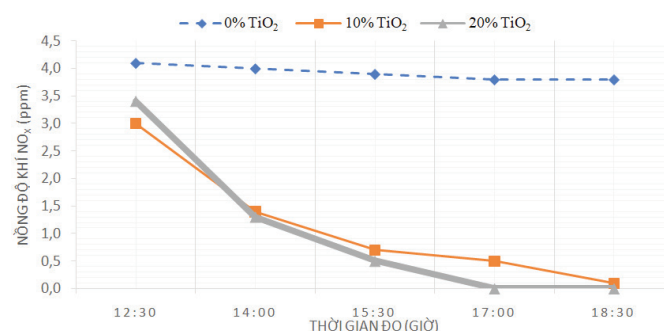


Hình 2. Mô hình thí nghiệm đánh giá khả năng hấp thụ khí thải của mặt đường.

Kết quả và thảo luận

Đánh giá về khả năng hấp thụ và xử lý khí NO_x của mặt đường

Kết quả thí nghiệm đánh giá khả năng hấp thụ khí thải NO_x (NO và NO_2) cho 3 mẫu BTN với các hàm lượng phụ gia xúc tác quang hóa TiO_2 lần lượt là 0, 10 và 20% thể hiện ở biểu đồ hình 3.



Hình 3. Biểu đồ thay đổi nồng độ khí NO_x theo thời gian thí nghiệm.

Nhận xét về khả năng hấp thụ và xử lý khí NO_x của mặt đường:

Đối với các mẫu BTN khi có thêm thành phần phụ gia chất xúc tác quang TiO_2 với hàm lượng 10 và 20% cho khả năng hấp thụ và phân hủy khí thải rất đáng kể sau từ 1,5 đến 3 giờ đồng hồ.

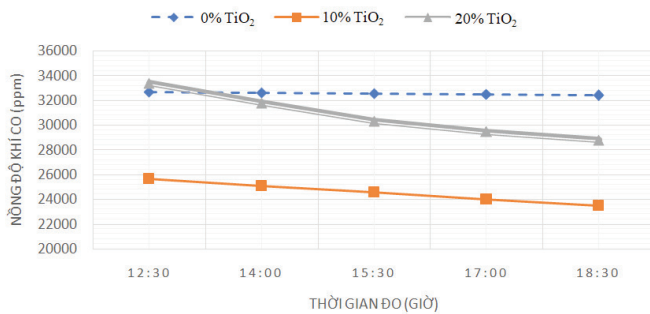
Đối với mẫu BTN 10% TiO_2 : sau 1,5 và 3 tiếng nồng độ NO_x lần lượt giảm tương ứng là 53,3 và 76,7%.

Đối với mẫu BTN 20% TiO_2 : sau 1,5 và 3 tiếng nồng độ NO_x lần lượt giảm tương ứng là 61,8 và 85,3%.

Kết quả thí nghiệm đối với mẫu BTN 20% TiO_2 sau thời gian 4,5 tiếng và mẫu BTN 10% TiO_2 sau thời gian 6 tiếng cho thấy khí NO_x đã bị xử lý hầu như hoàn toàn.

Đánh giá về khả năng hấp thụ và xử lý khí CO của mặt đường

Kết quả thí nghiệm về khả năng hấp thụ khí thải CO được thể hiện trên biểu đồ hình 4.



Hình 4. Biểu đồ thay đổi nồng độ khí CO theo thời gian thí nghiệm.

Nhận xét về khả năng hấp thụ và xử lý khí CO của mặt đường:

Đối với mẫu BTN 10% TiO₂: sau 1,5 và 6 tiếng, nồng độ CO lần lượt giảm tương ứng là 2,3% (tương ứng giảm 582 ppm) và 8,4% (tương ứng giảm 2157 ppm).

Đối với mẫu BTN 20% TiO₂: sau 1,5 và 6 tiếng, nồng độ CO lần lượt giảm tương ứng là 4,9% (tương ứng giảm 1621 ppm) và 13,8% (tương ứng giảm 4601 ppm).

Thí nghiệm đánh giá độ ổn định Marshall của BTN hấp thụ khí thải

Kết quả thí nghiệm độ ổn định Marshall của các mẫu BTN (0, 10, 20% TiO₂) thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Độ ổn định Marshall của 3 loại mẫu BTN (0, 10, 20% TiO₂).

STT	BTN với hàm lượng TiO ₂	Độ ổn định Marshall (kN)	
		Giá trị trung bình của các mẫu thí nghiệm	Giá trị quy định theo TCVN 8819:2011 [9]
1	0%	12,18	≥8
2	10%	11,40	≥8
3	20%	12,16	≥8

Theo các kết quả thu được, ta thấy khi kiểm tra độ ổn định Marshall với các mẫu có thêm thành phần phụ gia TiO₂ (mẫu thêm 10 và 20%) thì đặc tính của BTN về độ ổn định vẫn không thay đổi đáng kể so với mẫu BTN thông thường và đáp ứng theo tiêu chuẩn hiện hành.

Thí nghiệm đánh giá độ dẻo Marshall của BTN hấp thụ khí thải

Kết quả thí nghiệm độ dẻo Marshall của các mẫu BTN (0, 10, 20% TiO₂) thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Độ dẻo Marshall cho 3 loại BTN (0, 10, 20% TiO₂).

STT	BTN với hàm lượng TiO ₂	Độ dẻo Marshall (mm)		
		Giá trị thí nghiệm nhỏ nhất	Giá trị thí nghiệm lớn nhất	Giá trị quy định theo TCVN 8819:2011 [9]
1	0%	2,13	2,74	2÷4
2	10%	2,56	3,06	2÷4
3	20%	2,32	2,80	2÷4

Với các kết quả thí nghiệm độ dẻo Marshall thu được có thể thấy mặt đường BTN hấp thụ khí thải đáp ứng theo tiêu chuẩn hiện hành.

Kết luận và kiến nghị

Vấn đề ô nhiễm môi trường do khí thải của phương tiện giao thông gây ra đang là một vấn đề nóng và cấp thiết, cần phải giải quyết tại các thành phố lớn của nước ta như Hà Nội và TP Hồ Chí Minh. Vì vậy, việc triển khai áp dụng loại mặt đường có khả năng hấp thụ khí thải sẽ mở ra một cánh cửa mới cho việc giải quyết hiệu quả bài toán ô nhiễm môi trường tại các đô thị lớn ở nước ta.

Các đề xuất áp dụng mặt đường hấp thụ khí thải trong xây dựng mặt đường ô tô và sân bay tại Việt Nam gồm:

- + Làm lớp tạo nhám hoặc lớp mặt trên có tính năng hấp thụ khí thải cho mặt đường tại các thành phố lớn, các khu đông dân cư, đô thị, các khu vực thường xuyên ùn tắc hoặc có mật độ giao thông cao.

- + Làm lớp tạo nhám hoặc lớp mặt trên hấp thụ khí thải cho các khu vực đường lãn, sân đỗ, khu vực mặt đường gần nhà ga của các cảng hàng không, đặc biệt là các cảng hàng không nằm trong khu vực đô thị.

Từ những kết quả nghiên cứu trên, kiến nghị cần tiếp tục thực hiện các nghiên cứu sâu hơn như nghiên cứu áp dụng thí điểm và đánh giá thực nghiệm hiện trường cho một số tuyến đường hiện tại để đánh giá khả năng hấp thụ và xử lý khí thải trên phạm vi rộng hơn. Trên cơ sở đó, chúng ta có thể sớm triển khai áp dụng loại mặt đường hấp thụ khí thải này cho các đô thị lớn nhằm góp phần xử lý ô nhiễm môi trường và nâng cao chất lượng không khí một cách bền vững và hiệu quả.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] The Federal Highway Administration (2015), *Towards sustainable pavement systems: a reference document*, Report No. FHWA-HIF-15-002, Washington, DC.
- [2] Elia Boonen and Anne Beeldens (2014), "Recent photocatalytic applications for air purification in Belgium", *Coatings*, **4**, pp.553-573.
- [3] A. Fujishima, X.T. Zhang, and D.A. Tryk (2008), "TiO₂ photocatalysis and related surface phenomena", *Surface Science Reports*, **63**, pp.515-582.
- [4] A. Khataee and G.A. Mansoori (2012), *Nanostructured titanium dioxide materials: properties, preparation and applications*, World Scientific Publishing Co., Hackensack, NJ.
- [5] Joel K. Sikkema (2013), *Photocatalytic degradation of NO_x by concrete pavement containing TiO₂*, PhD Dissertation, Iowa State University, USA.
- [6] The National Aeronautics and Space Administration (1967), *Reaction rates of carbon monoxide with hydroxyl radicals and oxygen atoms*, NASA Technical Note D-4162.
- [7] Carlos Yousse, Eric Puzenat, et al. (2013), "Photocatalytic oxidation of CO in presence of TiO₂: Influence of humidity and oxygen on the kinetic and the mechanism", *Scientific Journal of Environment Pollution and Protection*, **2(4)**, pp.64-73.
- [8] Bộ Khoa học và Công nghệ (2020), *TCVN 12759-1:2020 - Bê tông nhựa tạo nhám - Thi công và nghiệm thu - Phần 1: Lớp phủ siêu mỏng tạo nhám*.
- [9] Bộ Khoa học và Công nghệ (2011), *TCVN 8819:2011: Mặt đường bê tông nhựa nóng - Yêu cầu thi công và nghiệm thu*.

Ứng dụng giải pháp giếng thu nước mặt thay thế hình thức lấy nước truyền thống tại các tỉnh miền núi phía Bắc

Nguyễn Huy Vượng, Phạm Tuấn*, Nguyễn Thành Công, Trần Văn Quang, Đinh Văn Thúc

Viện Thủy công, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Ngày nhận bài 7/4/2021; ngày chuyển phản biện 12/4/2021; ngày nhận phản biện 17/5/2021; ngày chấp nhận đăng 20/5/2021

Tóm tắt:

Giải pháp giếng thu nước mặt (GTNM) được nghiên cứu để lấy nước bổ sung, khắc phục nhược điểm dễ bị bồi lấp cửa thu nước của đập dâng, thậm chí tại các vị trí mà điều kiện thủy văn, địa chất thủy văn cho phép có thể không cần xây dựng đập dâng. Giải pháp này được nghiên cứu bằng mô hình trong phòng thí nghiệm tại Viện Thủy công, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam. Kết quả nghiên cứu và xây dựng công trình thử nghiệm tại xã Mường Lạn, huyện Mường Ảng, tỉnh Điện Biên cho thấy, GTNM có thể thu được lượng nước trên 31 l/s, đảm bảo cấp nước tưới cho hơn 20 ha lúa.

Từ khóa: bồi lấp, cửa lấy nước, đập dâng, giếng thu nước.

Chỉ số phân loại: 2.1

Application of collector well to replace the conventional method in the northern mountainous area

Huy Vuong Nguyen, Tuan Pham*, Thanh Cong Nguyen, Van Quang Tran, Van Thuc Dinh

Hydraulic Construction Institute, Vietnam Academy for Water Resources

Received 7 April 2021; accepted 20 May 2021

Abstract:

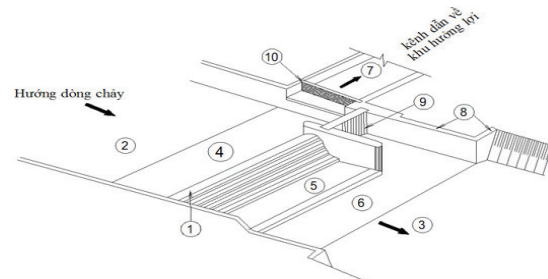
The solution of using a collector well was investigated to take additional water, overcome the weaknesses of the conventional weir that are prone to sediment accumulation intake structures of a weir, especially at the location where weir is not needed. The solution was considered using a laboratory model at Hydraulic Construction Institute - Vietnam Academy for Water Resources. The results of model research and construction of a pilot project in Muong Lan commune, Muong Ang district, Dien Bien province show that collector well can collect water over 31 l/s ensuring water supply for more than 20 ha of rice field.

Keywords: collector well, conventional dam, sediment accumulation, water intake.

Classification number: 2.1

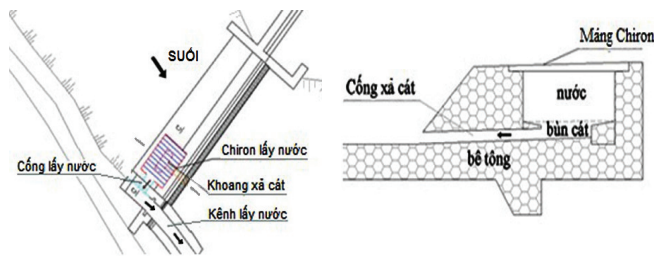
Đặt vấn đề

Địa hình miền núi phía Bắc bị phân cắt rất mạnh bởi các dãy núi cao sườn dốc, xen giữa là các thung lũng hẹp, dẫn tới khu tưới nhỏ, phân bố không tập trung nên công trình thủy lợi nhỏ, chủ yếu là dạng đập dâng + kênh tưới (chiếm 70-80% tổng số lượng các công trình thủy lợi) [1]. Tuy nhiên việc xây dựng đập dâng khá khó khăn và tốn kém, đôi khi không phù hợp với điều kiện địa hình, địa chất thủy văn tại địa phương nên không phát huy được hiệu quả. Bên cạnh đó, các hình thức lấy nước kiểu truyền thống như Chiron, cống cửa bên thường bị bồi lấp cửa thu nước, làm giảm hoặc mất khả năng cấp nước. Theo số liệu thống kê năm 2019, trên địa bàn có khoảng 11.276 đập dâng phục vụ cấp nước sản xuất và 9.718 đập dâng làm nhiệm vụ cấp nước sinh hoạt [2]. Đập dâng trên địa bàn các tỉnh vùng Tây Bắc thường có quy mô nhỏ (chiều cao đập H_d thường từ 1-3 m [1]), lấy nước mặt tại chỗ bằng dòng chảy tự nhiên với hình thức lấy nước theo hướng vuông góc với dòng chảy (cống cửa bên, hình 1) hoặc theo hướng dòng chảy (Chiron, hình 2).



Hình 1. Sơ đồ bố trí công trình đập dâng có cửa lấy nước kiểu bên. 1 - Đập dâng; 2 - Đoạn kênh dẫn thượng lưu; 3 - Kênh dẫn hạ lưu; 4 - Đoạn thu hẹp lấy nước; 5 - Đoạn tiêu năng; 6 - Sân sau; 7 - Cống lấy nước vào kênh; 8 - Trụ bên, tường cánh; 9 - Cống xả cát; 10 - Cửa van/Phai chặn.

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



Hình 2. Mặt bằng và cắt dọc hình thức lấy nước kiểu Chiron.

Với đặc điểm địa hình phân cắt mạnh, các loại hình thiên tai như sạt lở đất, lũ bùn đá xảy ra với tần suất lớn, cộng với công trình đập dâng không có khả năng điều tiết dòng chảy nên trong mùa lũ dòng bùn cát đổ về công trình làm bồi lấp toàn bộ khu vực thượng lưu và cửa lấy nước (hình 3), dẫn đến hệ thống lấy nước của công trình hầu như bị tê liệt chỉ sau một mùa mưa. Đây là hư hỏng chính làm giảm hiệu suất cấp nước cũng như tuổi thọ của công trình [1].



Hình 3. Bồi lấp thượng lưu và cửa thu nước đập dâng. (A) Đập dâng Bản Báng (Tùa Chùa, Điện Biên, 2019); (B) Bồi lấp hoàn toàn đầu mối đập Bản Ten, chỉ còn tường cánh 2 bên (Mường Ảng, Điện Biên, 2019).

Kết quả điều tra khảo sát cho thấy vật liệu bồi lấp phổ biến tại các sông suối miền núi phía Bắc phần lớn là cuội sỏi lẫn cát, đây là loại vật liệu có hệ số thấm lớn, mức độ lưu thông nước tốt, tuy nhiên do điều kiện độ dốc lòng suối lớn nên chiều dày tầng bồi tích này thường rất mỏng, phổ biến từ 2,0 đến 3,0 m. Với các đặc trưng địa chất thủy văn của khu vực lòng suối như trên, để khắc phục vấn đề lấp tắc của hệ thống lấy nước, chúng tôi đã nghiên cứu giải pháp GTNM để thay thế cho hệ thống lấy nước kiểu truyền thống.

Kết quả nghiên cứu thử nghiệm GTNM

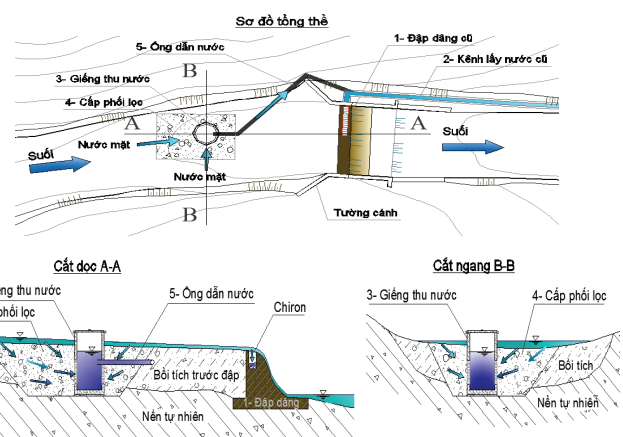
Sơ đồ công nghệ của giải pháp

Đầu mối của hệ thống GTNM có thể bố trí tại thượng lưu đập cũ hoặc có thể xây dựng độc lập trên suối để lấy nước thay cho đập dâng kiên cố, đập tạm. Sơ đồ công nghệ của giải pháp được trình bày ở hình 4.

Kết cấu của hệ thống: GTNM được bố trí ở thượng lưu đập dâng, ống dẫn nước từ giếng chảy vào kênh dẫn nước ở hạ lưu hoặc cửa cống bên của đập.

Nguyên lý hoạt động của giải pháp: nước từ lòng suối thấm qua lớp dăm, sỏi lọc đệm chảy vào giếng qua cửa lấy nước (các khe hở) bên thành giếng. Nước trong giếng được dẫn vào kênh tưới hoặc cống cũ bằng hệ thống ống dẫn hoặc kênh xây mới. Lưu lượng nước thu được từ giếng phụ thuộc vào khả năng thấm nước của vật liệu lấp, diện tích khe lấy nước trên thành giếng cũng như đường kính giếng. Khi cần lưu lượng lớn có thể tăng số lượng giếng thu.

Với phương thức lấy nước ngầm từ trên xuống thì khi có dòng chảy mạnh (dòng chảy lũ), dòng này sẽ mang theo phù sa, rác rưởi



Hình 4. Sơ đồ công nghệ của giải pháp GTNM.

trôi qua bề mặt lớp lọc về hạ lưu. Lớp lọc thô cho phép phù sa đi qua vào GTNM qua ống dẫn về hạ lưu nên không bị lấp tắc.

Thiết kế và thi công công trình thử nghiệm

Đặc điểm tự nhiên khu vực xây dựng mô hình thử nghiệm:

Vị trí xây dựng mô hình thử nghiệm thuộc xã Mường Lạn, đây là xã thuộc vùng khan hiếm nước của huyện Mường Ảng, tỉnh Điện Biên. Toàn xã có 1.132 hộ với 4.132 nhân khẩu phân bố trên địa bàn 14 thôn, nhưng có đến 10 thôn thuộc diện đặc biệt khó khăn (theo Quyết định 582/QĐ-TTg năm 2017). Trên địa bàn xã có gần 20 ha trồng lúa chưa có hệ thống đầu mối cấp nước riêng mà phải chia sẻ nguồn cùng với các diện tích đã được cấp trước đó. Tuy nhiên, do lượng mưa không đều và giảm về mùa khô, cùng với sự xuống cấp của các đập dâng cũ nên lượng nước cấp cho các diện tích này bị thiếu hụt. Người dân phải làm các phai đập tạm để lấy nước bổ sung, song lượng nước cấp không đủ, nhiều chân ruộng chỉ canh tác cầm chừng vào mùa khô.

Thiết kế công trình thử nghiệm:

Giải pháp được lựa chọn dựa trên các cơ sở sau:

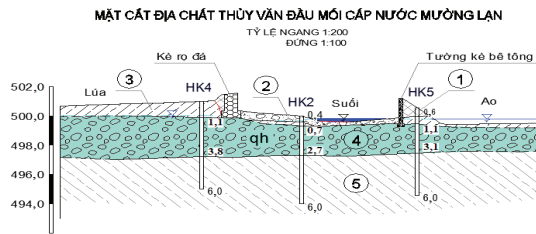
- Đặc điểm địa hình: đoạn suối từ cầu trên đường liên thôn về đến kênh tưới dài 350 m, uốn khúc hình chữ S, lòng suối rộng 12÷21 m, hai bên bờ được kè bằng rọ đá cao 1,6÷2,2 m so với đáy suối, mặt ruộng hai bên cao hơn suối 0,6÷1,2 m. Đầu kênh tưới có cao độ +496,00 m, khu vực đầu mối có cao độ đáy suối 499,10÷499,80 m, độ dốc đáy 1,5%.

- Đặc điểm thủy văn: đoạn suối xây dựng công có nước chảy quanh năm, lưu lượng mùa mưa 0,38÷0,59 m³/s (quan trắc tháng 5, 6, 8), về mùa khô lưu lượng giảm chỉ còn khoảng 0,12 m³/s.

- Đặc điểm địa chất thủy văn: cấu trúc địa chất thủy văn khu vực đầu mối công trình được mô tả trên hình 5.

- Yêu cầu của công trình cấp nước: thu được tối thiểu 30 l/s để tưới cho 20 ha lúa (theo TCVN 9168:2012 [3]) về mùa kiệt.

Với cấu trúc địa chất thủy văn khu vực đầu mối, việc xây dựng đập dâng lấy nước là không phù hợp do đáy suối chỉ thấp hơn ruộng lúa hai bên 0,6-1,2 m, bờ suối là kè rọ đá nên có thể gây ngập, bán ngập đối với các ruộng này, hơn nữa lớp cuội sỏi lẫn cát (lớp 4) có tính thấm nước mạnh nên có thể gây thấm mất nước qua nền và vai đập khi dâng nước.



Hình 5. Mặt cắt địa chất thủy văn đầu mối cấp nước Mương Lạn. Các lớp đất: 1 - Đất đắp, sét pha lẫn sỏi sạn; 2 - Cuội sỏi lẫn cát, sét, hữu cơ; 3 - Sét pha vừa đến pha nhẹ lẫn sỏi sạn; 4 - Cuội sỏi lẫn cát, sạn, sét, tầng, $K=5,1 \times 10^{-3}$ cm/s (tầng chứa nước qh); 5 - Sét pha có lẫn dăm mảnh, $K=1,4 \times 10^{-5}$ cm/s.

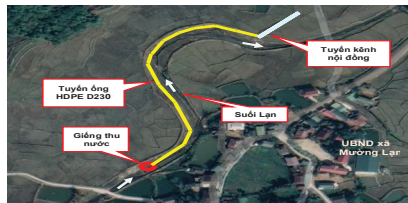
Vị trí xây dựng đầu mối cách cầu trên đường liên thôn khoảng 30 m về hạ lưu, đảm bảo các yêu cầu:

+ Luôn có dòng chảy qua quanh năm, lưu lượng mùa kiệt đủ lớn (khoảng 120 l/s) để cung cấp cho hệ thống thu nước.

+ Lòng suối khá thẳng và ổn định, đáy hơi dốc (độ dốc 1,5%), không quan sát thấy có hiện tượng bồi lắng, bề mặt của trầm tích hạt mịn nên hạn chế hiện tượng bồi lắng khu vực giếng thu.

+ Độ chênh cao giữa địa hình đầu mối (giếng thu nước) và đáy kênh lớn (>3 m) nên dùng ống dẫn nước tự chảy về kênh rất thuận lợi.

Công trình thử nghiệm được thiết kế gồm hai hạng mục chính là đầu mối (giếng thu nước) và ống dẫn nước (hình 6).



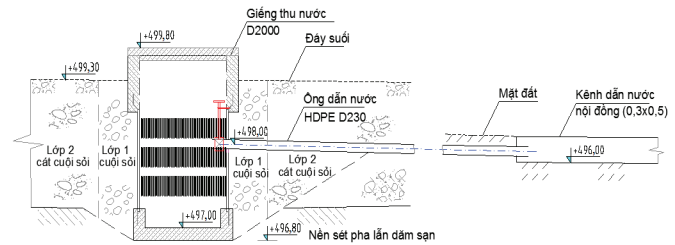
Hình 6. Sơ đồ tổng thể mô hình cấp nước tưới tại Mương Lạn (nguồn: Google Earth).

- Đầu mối công trình nằm cách đầu kênh tưới nội đồng 274 m (đọc theo lòng suối) gồm các hạng mục (xem hình 7):

+ GTNM: giếng có đường kính 2 m có đáy và vành giếng phía trên là bê tông liên kết bằng các thanh thép V7, ở giữa là bộ phận thu nước có kết cấu bằng thép tấm không rỉ dày 3 mm, dài 1,3 m. Trên tấm thép đột các khe hở rộng 5 mm, dài 300 mm, khoảng cách giữa tim 2 khe là 25 mm, số khe trên hàng là 188 khe dọc chia làm 3 hàng cách nhau 150 mm.

+ Lớp lọc đệm gồm 2 lớp: lớp 1 (lớp trong) bao quanh giếng với chiều rộng 0,5 m gồm cuội sỏi có kích thước 20-80 mm. Lớp 2 (lớp ngoài) bao phủ phía ngoài lớp 1 cho đến hết chiều rộng hố móng là cát thô lẫn cuội sỏi có đường kính hạt $d \geq 1$ mm. Trên mặt lớp 2 là cuội sỏi lòng suối hoàn thổ dày 0,2 m.

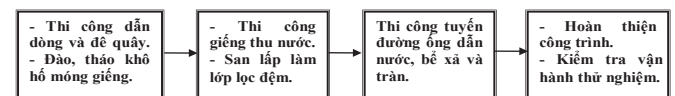
- Tuyến ống dẫn nước: kết cấu ống nhựa HDPE đường kính D230 mm loại PN8, chiều dài 274 m được chôn chìm dưới đất. Tuyến đường ống này có nhiệm vụ dẫn nước từ giếng thu nước đầu nối với tuyến kênh tưới nội đồng. Đầu xả của đường ống có bề tiêu năng, tràn xả thừa trước khi chảy vào kênh.



Hình 7. Sơ đồ giếng thu nước và ống dẫn nước về kênh dẫn nước nội đồng.

Thi công công trình thử nghiệm:

Công tác thi công mô hình GTNM được thực hiện theo trình tự như hình 8.



Hình 8. Sơ đồ trình tự thi công mô hình.

Các bước tiến hành thi công:

Bước 1: Đào kênh dẫn dòng → Đắp dề quây thượng hạ lưu tuyến công trình → Trải lớp bạt chống thấm dọc lòng dẫn kênh dẫn dòng.

Đào hố móng → Bơm hút nước tháo khô hố móng → Làm phẳng mặt bằng đáy hố móng khu vực giếng thu nước.

Bước 2: Đổ bê tông đáy giếng → Lắp đặt hệ thống thu nước thành bên → Hạ toàn bộ cấu kiện thu nước xuống hố móng → Lắp đặt van khóa và đoạn đầu tuyến đường ống dẫn nước nối với giếng thu.

Thi công lớp cấp phối lọc xung quanh giếng thu nước → Đổ bê tông hoàn thiện phần đót giếng phía trên.

Bước 3: Thi công tuyến đường ống dẫn nước.

Đào tuyến đường ống → Đo đạc kiểm tra cao độ đáy tuyến ống → Hàn nối ống HDPE → Hạ các đoạn ống xuống vị trí chôn ống → Xây bể xả và tràn xả thừa nối đường ống với cửa lấy nước của kênh → Xả thử kiểm tra vận hành của hệ thống → Chèn giữ, lấp ống, san lấp hoàn trả mặt bằng.



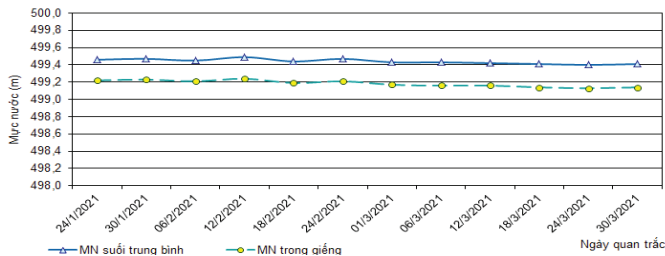
Hình 9. Thi công mô hình GTNM.

Bước 4: Hoàn thiện, chỉnh trang công trình → Khôi phục lại hiện trạng lòng suối cũ; lắp đặt tấm nắp giếng, hệ thống quan trắc mực nước.

Kiểm tra, vận hành thử, đo đạc lưu lượng đầu ra của hệ thống.

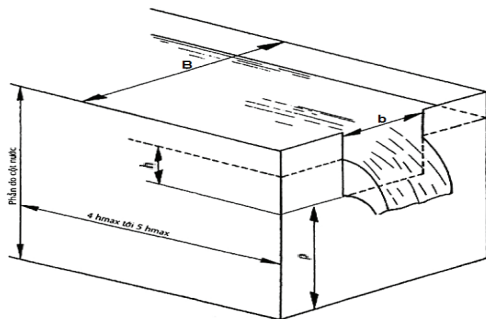
Quan trắc, đánh giá công trình thử nghiệm

Hệ thống quan trắc được lắp trong giếng thu gồm một thước đo với dây đo mực nước suối ở tim suối thượng và hạ lưu. Công tác quan trắc được thực hiện ngay sau khi hoàn thành công trình. Kết quả quan trắc các thông số mực nước trong giếng thu và mực nước suối trong thời gian từ 24/1/2021 đến 30/3/2021 được thể hiện trong biểu đồ hình 10.



Hình 10. Biểu đồ mực nước suối và mực nước trong bể thu.

Lưu lượng thực tế của hệ thống được xác định bằng cách đo lưu lượng dòng chảy trong kênh khi mực nước trong giếng ở cao trình +498,2 m. Dùng đập tràn thành mỏng hình chữ nhật (chiều rộng $b=0,28$ m) đo trong đoạn kênh (rộng $B=0,35$ m) (hình 11) theo tiêu chuẩn TCVN 8193-1:2009 [4], xác định được chiều cao cột nước chảy qua đập tràn này là $h=0,151$ m.



Hình 11. Đo lưu lượng trong kênh bằng đập tràn thành mỏng hình chữ nhật (TCVN 8193-1:2009) [4]. B - chiều rộng lòng kênh; b - chiều rộng tràn; p - chiều cao ngưỡng tràn; h - chiều cao cột nước tràn.

Theo công thức Kindsvater-Carter áp dụng cho đập tràn thành mỏng hình chữ nhật tiêu chuẩn [4], tính được giá trị lưu lượng nước chảy trong kênh là:

$$Q = C_e \cdot \frac{2}{3} \sqrt{2g} \cdot b_e \cdot h_e^{3/2} = 31,3 \text{ (l/s)}$$

Trong đó:

C_e - hệ số lưu lượng (không thứ nguyên), với $b/B=0,28/0,35=0,8$ thì:

$$C_e = 0,596 + 0,045 \cdot \left[\frac{h}{p} \right] = 0,596 + 0,045 \cdot \left[\frac{0,151}{0,2} \right] = 0,63$$

g - gia tốc trọng trường, m/s^2

b_e - chiều rộng hiệu dụng, m. Từ tỷ số $b/B=0,8$ tra trên biểu đồ quan hệ giữa hệ số thực nghiệm k_b và b/B , ta được $k_b=0,0042$ m. Giá trị b_e được tính như sau:

$$b_e = b + k_b = 0,28 + 0,0042 = 0,2842 \text{ m}$$

h_e - cột áp hiệu dụng, m. Với hệ số thực nghiệm $k_h=0,001$ m, cột áp hiệu dụng có giá trị là:

$$h_e = h + k_h = 0,151 + 0,001 = 0,152 \text{ m}$$

Kết quả đo lưu lượng trong kênh dẫn cho thấy, ứng với mực nước trong giếng ở cao trình +498,2 m thì lưu lượng chảy trong kênh là 31,4 l/s. Biểu đồ hình 10 cho thấy, mực nước trong giếng và mực nước suối dao động đồng đều, mức độ tổn thất cột nước vào giếng gần như không đổi, như vậy lưu lượng của giếng thu là ổn định. Thời điểm quan trắc là mùa kiệt, mực nước giếng luôn duy trì ở cao trình +499,2 m (cao hơn cao trình đo lưu lượng +498,2 m), do đó lưu lượng của hệ thống luôn đạt trên 31 l/s, đảm bảo tưới cho 20 ha lúa trong mùa khô. Mặc dù còn cần nhiều thời gian để khẳng định tính bền vững của công trình, song kết quả thực nghiệm bước đầu cho thấy khả năng ứng dụng thực tiễn của giải pháp GTNM.

Giá thành toàn bộ công trình sau khi thi công là 503 triệu đồng, tưới cho diện tích 20 ha thì suất đầu tư là 25,15 triệu đồng/ha. Nếu dùng công trình đập dâng để cấp nước cho diện tích này, đập sẽ có kích thước $B \times L \times H = 20 \times 15 \times 1,4$ m và giá thành (gồm vật liệu, nhân công, máy móc) khoảng 1.400 triệu đồng, tương ứng 70 triệu đồng/ha. Với suất đầu tư thấp hơn và công tác vận hành, bảo trì GTNM tương tự như đập dâng cho thấy hiệu quả về mặt kinh tế của giải pháp này.

Kết luận

Công trình thử nghiệm GTNM tại xã Mường Lạn thu được lưu lượng 31 l/s, đủ để tưới tiêu cho 20 ha lúa với chi phí xây dựng thấp hơn so với các công trình lấy nước kiên cố truyền thống trong khu vực. Bên cạnh đó, các giải pháp công trình thu nước cho thấy các ưu điểm như sau:

- Các hạng mục công trình hầu như không làm biến đổi hiện trạng lòng suối, dòng chảy nên có thể coi giải pháp mang tính thân thiện với môi trường.

- Mô hình công nghệ của giải pháp rất đơn giản, hầu hết vật liệu cho xây dựng là vật liệu địa phương, quy trình vận hành đơn giản, phù hợp với trình độ của đồng bào miền núi.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo dựa trên các số liệu thiết kế thi công mô hình thử nghiệm cấp nước sản xuất của Đề tài “Nghiên cứu đề xuất mô hình tích hợp các giải pháp thu gom, lưu giữ và khai thác các nguồn nước phục vụ cấp nước sinh hoạt và sản xuất cho các vùng khan hiếm nước tỉnh Điện Biên” mã số ĐTĐLCN.37/19 do Bộ Khoa học và Công nghệ quản lý, đơn vị chủ trì thực hiện là Viện Thủy công, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Vũ Đình Hùng, Không Trung Duân (2009), *Đập dâng miền núi*, Nhà xuất bản Nông nghiệp.
- [2] Nguyễn Chí Thanh (2019), “Nghiên cứu đề xuất và ứng dụng các giải pháp khoa học, công nghệ phù hợp nâng cao hiệu quả các công trình đập dâng vùng Tây Bắc”, *Báo cáo kết quả thực hiện đề tài độc lập cấp quốc gia mã số KHCN-TB.14C/13-18*.
- [3] Bộ Khoa học và Công nghệ (2012), *TCVN 9168:2012: Công trình thủy lợi - Hệ thống tưới tiêu - Phương pháp xác định hệ số tưới lúa*.
- [4] Bộ Khoa học và Công nghệ (2009), *TCVN 8193-1:2009: Đo lưu lượng nước trong kênh hở bằng đập tràn và mảng lưỡng venturi - Phần 1: Đập tràn thành mỏng*.

Nghiên cứu ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu đến quá trình tạo hạt xúc tác cracking dạng công nghiệp bằng công nghệ sấy phun

Trương Đức Hoàn^{1,2}, Ngô Thúy Phượng¹, Đinh Đức Mạnh³, Đặng Thanh Tùng³, Đào Thị Kim Thoa², Vũ Xuân Hoàn^{1*}

¹Viện Dầu khí Việt Nam

²Trường Đại học Bách khoa TP Hồ Chí Minh

³Tập đoàn Dầu khí Quốc gia Việt Nam

Ngày nhận bài 2/2/2021; ngày chuyển phản biện 5/2/2021; ngày nhận phản biện 29/3/2021; ngày chấp nhận đăng 2/4/2021

Tóm tắt:

Bài báo trình bày kết quả khảo sát ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu trong quá trình sấy phun tạo hạt xúc tác cracking dạng công nghiệp ở quy mô phòng thí nghiệm. Kết quả cho thấy, giá trị pH của nguyên liệu chủ yếu ảnh hưởng đến pha hoạt tính là HY zeolite. Ở giá trị pH cao, môi trường kiềm mạnh (pH 14), cấu trúc zeolite HY bị phá hủy, dẫn đến xúc tác thu được có diện tích bề mặt thấp. Do đó, pH của hỗn hợp nguyên liệu sấy phun nên điều chỉnh về giá trị thấp, tốt nhất là môi trường axit nhẹ (pH 3). Hàm lượng rắn trong nguyên liệu sấy phun ảnh hưởng quyết định đến kích thước hạt xúc tác cracking dạng công nghiệp. Khi tăng hàm lượng rắn trong nguyên liệu thì kích thước hạt xúc tác cracking tăng và đạt giá trị trung bình lớn nhất ở khoảng 40 μm , tương ứng với hàm lượng rắn là 15% khối lượng (KL). Ở hàm lượng rắn cao hơn (20% KL), kích thước hạt xúc tác và diện tích bề mặt riêng có xu hướng giảm. Do đó, hàm lượng rắn trong nguyên liệu phù hợp vào khoảng 15% KL.

Từ khóa: cracking, FCC, sấy phun, zeolite.

Chỉ số phân loại: 2.4

Đặt vấn đề

Quá trình cracking xúc tác tầng sôi (FCC) là một trong những quá trình chuyển hóa quan trọng nhất được sử dụng trong các nhà máy lọc dầu để chế biến các phân đoạn nặng của dầu thô thành các sản phẩm có giá trị kinh tế cao như xăng, dầu các loại, olefin nhẹ... Xúc tác cracking công nghiệp (xúc tác FCC) đóng vai trò quyết định đến hiệu quả hoạt động của phân xưởng FCC. Hiện nay trên thế giới có khoảng hơn 300 phân xưởng FCC đang hoạt động, hàng năm tiêu thụ khoảng 900 ngàn tấn xúc tác FCC [1, 2].

Xúc tác FCC hiện đại bao gồm hai hợp phần chính là pha hoạt tính và pha nền. Pha hoạt tính thường là các loại zeolite, chủ yếu là Y và ZSM-5, chiếm từ 10-50% khối lượng xúc tác và quyết định chính đến khả năng cracking của xúc tác cũng như hiệu suất sản phẩm xăng và khí. Pha nền chiếm phần còn lại, đóng vai trò chất pha loãng và chất kết dính. Chất pha loãng, phải là chất trơ như cao lanh, đóng vai trò tải nhiệt, hạn chế sự quá nhiệt của các tinh thể zeolite trong quá trình tái sinh, tăng độ bền cơ học của xúc tác, làm giảm lượng Na đầu độc xúc tác... Chất kết dính có thể là các gel của oxit silic, các polyme chứa nhôm, hợp chất chứa đất sét, cũng có thể là aluminosilicat vô định hình. Chất kết dính đóng vai trò gắn kết các hợp phần của xúc tác để tạo hạt vi cầu cho xúc tác FCC [1-3].

Hiện nay, quá trình sản xuất xúc tác FCC chủ yếu được thực hiện theo phương pháp phối trộn (incorporation). Hỗn hợp

nguyên liệu gồm zeolite và các hợp phần chất nền được phối trộn theo công thức nhất định và sử dụng công nghệ sấy phun để tạo hạt vi cầu phù hợp cho thiết bị tầng sôi. Các phân xưởng FCC có cấu hình khác nhau sẽ đòi hỏi kích thước hạt trung bình của xúc tác khác nhau nhằm đảm bảo độ lưu chuyển tốt trong hệ thống. Trong nhiều trường hợp, dựa trên kinh nghiệm của mình các nhà máy lọc dầu sẽ yêu cầu cung cấp loại xúc tác có kích thước hạt phù hợp. Thông thường, kích thước hạt xúc tác FCC yêu cầu nằm trong khoảng 20-100 μm , tốt nhất ở khoảng 40-60 μm [2-4].

Tại Việt Nam, công nghiệp lọc hóa dầu được đẩy mạnh phát triển trong những năm gần đây với 2 phân xưởng RFCC (Residue FCC) được đưa vào hoạt động tại 2 Nhà máy lọc dầu Dung Quất và Nghi Sơn. Tuy nhiên, toàn bộ xúc tác sử dụng cho hai phân xưởng này đều phải nhập khẩu hoàn toàn do trong nước chưa sản xuất được. Với định hướng từng bước nắm bắt và làm chủ công nghệ chế tạo xúc tác FCC, mục tiêu của nghiên cứu này là khảo sát ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu đến quá trình tạo hạt xúc tác để từng bước xây dựng được quy trình chế tạo xúc tác cracking công nghiệp ứng dụng cho các nhà máy lọc dầu ở Việt Nam.

Nội dung nghiên cứu

Nguyên liệu, hóa chất

Nguyên liệu, hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu gồm:

* Tác giả liên hệ: Email: hoanvx@vpi.pvn.vn

Effects of feed properties in spray drying formulation of prototype industrial cracking catalysts

Duc Hoan Truong^{1,2}, Thuy Phuong Ngo¹, Duc Manh Dinh³, Thanh Tung Dang³, Thi Kim Thoa Dao², Xuan Hoan Vu^{1*}

¹Vietnam Petroleum Institute

²Ho Chi Minh University of Technology

³Vietnam National Oil and Gas Group

Received 2 February 2021; accepted 2 April 2021

Abstract:

This paper studied the effects of feed properties in spray drying formulation of prototype industrial cracking catalysts at the laboratory scale. The results showed that the pH of the drying feed mainly affected the active phase HY zeolite. At a high pH value, a strongly alkaline medium (pH 14), the HY zeolite structure was completely destroyed, resulting in the cracking catalyst with a low surface area. Hence, the pH of the drying feed should be adjusted to a low value, preferably a slightly acidic medium (pH 3). The solid content mainly affected the particle size of the cracking catalyst. As increasing the solid content in the drying feed, the particle size of the cracking catalysts increased and reached the maximum average value at about 40 μm which corresponded to the solid content of 15 wt.%. At a higher solid content (20 wt.%), the catalyst particle size and surface area tended to decrease. Thus, the solid content of 15 wt.% was considered to be optimal.

Keywords: cracking, FCC, spray drying, zeolite.

Classification number: 2.4

zeolite HY ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 = 3-6$), thủy tinh lỏng (Na_2O : 29,4% KL, SiO_2 : 9,6% KL, H_2O : 61% KL), nhôm hydroxid (98%), axit clohydric (36-38%) và cao lanh.

Chuẩn bị nguyên liệu sấy phun

Thủy tinh lỏng (chất kết dính) được pha loãng bằng nước cất, sau đó điều chỉnh pH bằng dung dịch HCl 8M, đồng thời khuấy mạnh. Sau khi đạt đến giá trị pH mong muốn, cao lanh (kaolin) và zeolite (HY) lần lượt được thêm vào hỗn hợp, tiếp tục khuấy mạnh để thu được hỗn hợp nguyên liệu huyền phù đồng nhất.

Thực nghiệm sấy phun

Thí nghiệm sấy phun được thực hiện trên máy B-290 Mini

Spray Dryer của Buchi (Thụy Sĩ). Điều kiện sấy phun: nhiệt độ dòng khí sấy 220°C, tốc độ dòng khí sấy 35,5 l/h, công suất nạp nguyên liệu 1,26 l/h (tương ứng với 70% công suất bơm nạp liệu).

Phương pháp đặc trưng xúc tác

Hấp phụ vật lý nitơ được thực hiện trên máy Tristar II (Micromeritics) tại nhiệt độ -196°C. Trước khi phân tích, mẫu được nung ở 540°C trong 3 h. Sau đó được thổi nitơ liên tục và giữ ở 400°C trong 260 phút để loại ẩm trong mao quản xúc tác bằng bộ chuẩn bị mẫu SmartPrep (Micromeritics). Kính hiển vi điện tử quét (SEM) được thực hiện trên máy EVO MA10 (Carl Zeiss). Mẫu phân tích được gắn vào bộ đế mẫu SEM bằng keo cacbon 2 mặt và được làm sạch trước khi đưa vào buồng chứa mẫu. Phân bố kích thước hạt được thực hiện trên bộ sàng rây. Mẫu sau khi đã cân bằng ở độ ẩm tương đối 50%, đã biết trước khối lượng được cho vào các sàng rây có kích thước lỗ sàng thay đổi. Tiến hành cho sàng rây dao động trong thời gian nhất định, những hạt có kích thước nhỏ hơn lỗ sàng sẽ lọt sàng. Cuối cùng thu được các phần trăm của mẫu ở các khoảng kích thước khác nhau trên sàng.

Kết quả và thảo luận

Quá trình sấy phun là quá trình chuyển đổi dòng nhập liệu dạng lỏng thành sản phẩm dạng hạt. Các yếu tố chính ảnh hưởng đến quá trình tạo hạt xúc tác gồm điều kiện sấy phun và tính chất của hỗn hợp nguyên liệu [3, 4]. Tuy nhiên, khả năng điều chỉnh điều kiện sấy phun với thiết bị sẵn có khá hạn chế nên trong nghiên cứu này, hai thông số chính của nguyên liệu sấy phun là pH và hàm lượng rắn trong nguyên liệu sấy phun được khảo sát. Mục tiêu là tìm ra được giá trị pH và hàm lượng rắn tối ưu để thu được xúc tác cracking dạng công nghiệp có kích thước hạt tốt và diện tích bề mặt lớn.

Ảnh hưởng của pH

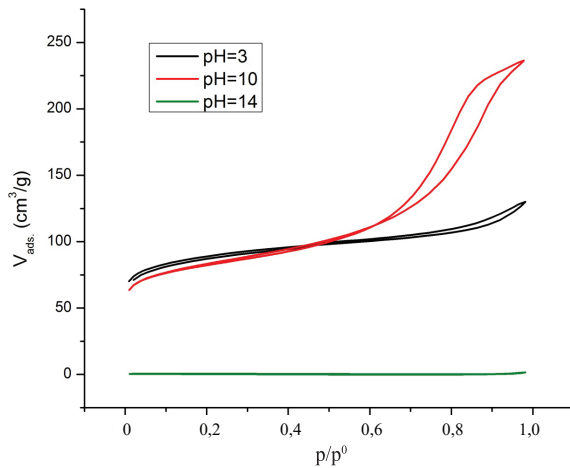
Giá trị pH của nguyên liệu sấy phun là một thông số quan trọng, ảnh hưởng quyết định đến quá trình tạo hạt xúc tác bằng công nghệ sấy phun do tốc độ polymer hóa của silica và độ nhớt của nguyên liệu thay đổi theo giá trị pH. Do đó, để khảo sát ảnh hưởng của pH, mẫu nguyên liệu sấy phun gồm 35% KL HY: 20% KL SiO_2 : 45% KL cao lanh với tỷ lệ rắn R=7,5% KL được sử dụng. Giá trị pH của nguyên liệu được điều chỉnh giảm dần bằng dung dịch HCl 8M. Kết quả phân tích kích thước hạt và hấp phụ vật lý nitơ được trình bày ở các bảng 1, 2 và hình 1.

Từ bảng 1 có thể thấy, kích thước hạt trung bình ở pH 3, 10 và 14 lần lượt là 24,26; 23,70 và 22,57 μm . Ở pH 3 hạt xúc tác thu được có kích thước trung bình lớn hơn so với ở 2 giá trị pH còn lại, tuy nhiên chênh lệch này là không quá lớn. Một điểm quan trọng cần lưu ý là quá trình hiệu chỉnh pH của nguyên liệu từ 14 về 3 sẽ đi ngang qua điểm pH 7, dung dịch silica dễ dàng bị gel hóa. Do đó cần phải điều chỉnh pH nhanh kết hợp với khuấy mạnh để tránh hỗn hợp nguyên liệu bị gel hóa, độ nhớt tăng mạnh, gây khó khăn trong quá trình bơm nguyên liệu.

Bảng 1. Phân bố kích thước hạt của các mẫu xúc tác thu được khi thay đổi pH của nguyên liệu.

Kích thước hạt, μm	<20	20-40	40-80	>80	D_{th}
pH 3	54,17	38,34	5,45	2,04	24,26
pH 10	57,38	35,36	5,33	1,94	23,70
pH 14	65,98	27,03	4,10	2,89	22,57

Kết quả phân tích đường đẳng nhiệt hấp phụ/giải hấp N_2 của các mẫu được tổng hợp ở pH khác nhau được trình bày ở hình 1. Có thể thấy ở pH 3 và pH 10, mẫu xúc tác thu được có dạng kết hợp loại I+IV, chứng tỏ sự có mặt của hệ thống đa mao quản gồm vi mao quản và mao quản trung bình. Ở áp suất tương đối p/p^0 cao, có sự khác biệt rõ ràng giữa 2 mẫu pH 3 và pH 10. Ở pH 10, sản phẩm thu được có dung lượng hấp phụ tăng mạnh và vòng trễ lớn, chứng tỏ đã hình thành mao quản trung bình lớn hơn so với mẫu pH 3. Riêng ở pH 14, mẫu xúc tác thu được giống vật liệu đặc, không có lỗ xốp, có thể do cấu trúc zeolite bị phá hủy trong môi trường kiềm mạnh [5].

**Hình 1.** Đường đẳng nhiệt hấp phụ/giải hấp N_2 của các mẫu xúc tác thu được khi thay đổi pH của nguyên liệu.

Kết quả đo diện tích bề mặt các mẫu cho thấy, khi pH tăng thì diện tích bề mặt tổng giảm. Ở pH 3, sản phẩm sấy phun có diện tích bề mặt vi mao quản lớn nhất, chứng tỏ hệ vi mao quản của zeolite Y được bảo vệ tốt nhất ở giá trị pH này. Ở pH 10, diện tích bề mặt mao quản trung bình lớn nhất, nhưng diện tích vi mao quản giảm, dẫn đến diện tích tổng giảm (bảng 2). Ở pH 14 thì kết quả diện tích bề mặt rất thấp ($2 \text{ m}^2/\text{g}$). Kết quả này là phù hợp do cấu trúc zeolite Y kém bền trong môi trường kiềm mạnh. Các ion nhôm và silic trong khung mạng bị tấn công bởi ion OH^- và tách ra khỏi khung mạng, đặc biệt ở môi trường kiềm mạnh, nhiệt độ sấy phun cao (220°C), dẫn đến làm sập cấu trúc zeolite [5].

Bảng 2. Diện tích bề mặt của các mẫu xúc tác thu được khi thay đổi pH của nguyên liệu.

Diện tích bề mặt (m^2/g)	pH 3	pH 10	pH 14
Diện tích bề mặt vi mao quản	216	165	-
Diện tích bề mặt mao quản trung bình	115	140	-
Diện tích bề mặt tổng	331	305	2

Như vậy, có thể thấy pH ảnh hưởng mạnh đến hiệu quả của quá trình sấy phun, đặc biệt ở giá trị pH cao (pH 14), cấu trúc zeolite Y bị phá hủy, sản phẩm thu được không có lỗ xốp. Ở giá trị pH thấp (pH 3), cấu trúc zeolite được bảo toàn, kích thước hạt thu được là tốt nhất. Do đó, giá trị pH 3 sẽ được sử dụng cho các nghiên cứu tiếp theo.

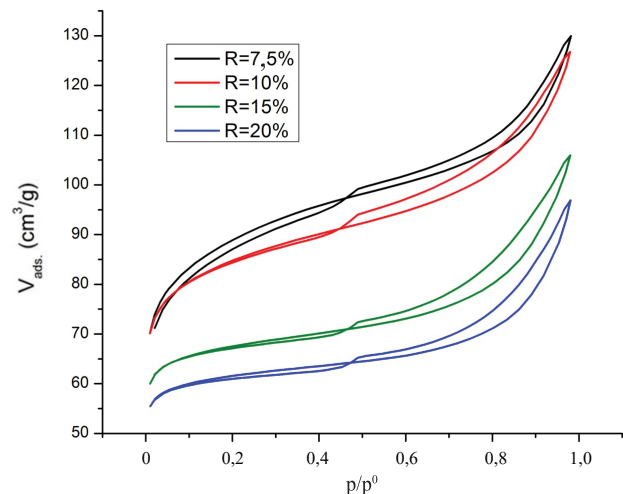
Ảnh hưởng của hàm lượng rắn

Hàm lượng rắn trong hỗn hợp nguyên liệu cũng ảnh hưởng mạnh đến quá trình sấy phun tạo hạt xúc tác cracking dạng công nghiệp. Để khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng rắn, trong nghiên cứu này mẫu nguyên liệu với thành phần 35% KL zeolite HY: 20% KL silica: 45% KL cao lanh được giữ nguyên, thay đổi hàm lượng nước để thu được hàm lượng rắn (R) dao động trong khoảng 7,5 đến 20% KL. Giá trị pH của nguyên liệu được điều chỉnh về 3 bằng HCl 8M. Kết quả đo phân bố kích thước hạt, hấp phụ vật lý nitơ và phân tích hình ảnh SEM được trình bày ở bảng 3, 4 và các hình 2, 3.

Bảng 3. Phân bố kích thước hạt của các mẫu xúc tác thu được khi thay đổi hàm lượng rắn trong nguyên liệu (R).

Kích thước hạt, μm	<20	20-40	40-80	>80	D_{th}
R=7,5% KL	54,17	38,34	5,45	2,04	24,26
R=10% KL	55,63	38,21	4,60	1,56	23,59
R=15% KL	20,91	26,07	37,93	15,09	43,89
R=20% KL	23,39	33,07	33,87	9,67	39,79

Kết quả sàng rây cho thấy kích thước hạt tăng rõ rệt từ 24 lên trên $40 \mu\text{m}$ khi hàm lượng rắn tăng lên 15% KL. Khi hàm lượng rắn tăng lên thì xác suất tương tác giữa các phần tử tăng lên, dẫn đến sẽ tạo thành những phần tử lớn hơn. Khi tiếp tục tăng hàm lượng rắn lên 20% KL thì kích thước hạt có xu hướng bắt đầu giảm đi. Nguyên nhân do hàm lượng rắn quá cao dẫn đến độ nhớt tăng lên làm giảm khả năng chuyển động của các phần tử, giảm khả năng tương tác cũng như gặp nhau của các hợp phần [4].

**Hình 2.** Đường đẳng nhiệt hấp phụ/giải hấp N_2 của các mẫu xúc tác thu được khi thay đổi hàm lượng rắn trong nguyên liệu.

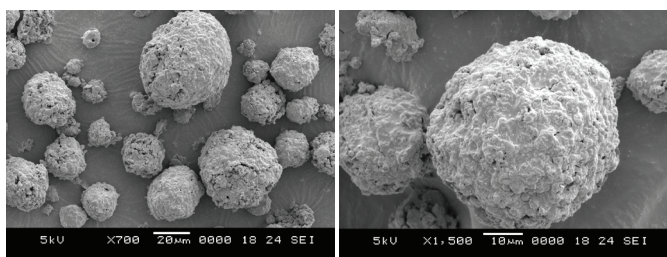
Từ hình 2 có thể thấy, đường đẳng nhiệt hấp phụ/giải hấp phụ N_2 của các mẫu xúc tác thu được khi thay đổi tỷ lệ rắn đều có dạng I-IV, chứng tỏ sự hình thành hệ thống đa mao quản trong mẫu xúc tác. Khi tăng hàm lượng rắn thì dung lượng hấp phụ giảm, đặc biệt mạnh khi hàm lượng rắn $\geq 15\%$ KL.

Bảng 4. Diện tích bề mặt của các mẫu xúc tác thu được khi thay đổi hàm lượng rắn trong nguyên liệu (R).

Diện tích bề mặt (m^2/g)	R=7,5% KL	R=10% KL	R=15% KL	R=20% KL
Diện tích vi mao quản	216	236	225	211
Diện tích mao quản trung bình	115	87	40	32
Diện tích bề mặt tổng	331	323	265	243

Kết quả phân tích diện tích bề mặt của các xúc tác được trình bày trong bảng 4. Có thể thấy khi tăng hàm lượng rắn thì diện tích bề mặt tổng và diện tích mao quản trung bình của pha nền giảm. Diện tích vi mao quản gần như không đổi, chứng tỏ thay đổi hàm lượng rắn hầu như không ảnh hưởng đến cấu trúc zeolite Y. Như vậy hàm lượng rắn thấp thì có lợi cho sự hình thành cấu trúc xốp, đa mao quản của xúc tác.

Kết quả phân tích hình ảnh SEM trên mẫu đại diện với hàm lượng rắn 15% KL cho thấy sản phẩm xúc tác cracking thu được có hình cầu, kích thước tương đối đồng đều, tập trung ở khoảng 40 μm , phù hợp với kết quả phân tích bằng sàng rây (hình 3).



Hình 3. Ảnh SEM của sản phẩm xúc tác cracking thu được từ mẫu nguyên liệu với hàm lượng rắn 15% KL.

Như vậy, có thể thấy hàm lượng rắn ảnh hưởng lớn đến chất lượng sản phẩm xúc tác thu được. Khi hàm lượng rắn tăng thì kích thước hạt tăng, nhưng diện tích bề mặt tổng giảm. Do đó, hàm lượng rắn tối ưu được lựa chọn là khoảng 15% KL. Ở tỷ lệ

này, ảnh SEM cho kết quả hạt tròn, đồng đều. Kết quả phân tích kích thước hạt cho thấy tạo thành hạt lớn với kích thước trung bình $D_{tb} \sim 40 \mu m$, kết quả phân tích hấp phụ vật lý nitơ cho thấy diện tích bề mặt giảm, nhưng không quá nhiều.

Kết luận

Trong nguyên cứu này, hai thông số quan trọng của nguyên liệu sấy phun đã được khảo sát gồm pH và hàm lượng rắn. Kết quả cho thấy pha hoạt tính HY zeolite dễ bị phá hủy bởi môi trường kiềm. Do đó, pH của nguyên liệu nên duy trì ở khoảng 3, tương ứng môi trường axit yếu. Tuy nhiên, giá trị pH gần như không ảnh hưởng đến kích thước hạt xúc tác cracking thu được. Khác với pH, tăng hàm lượng rắn trong nguyên liệu sấy phun cho phép điều chỉnh kích thước hạt trung bình lên khoảng 40 μm , tương ứng với hàm lượng rắn trong nguyên liệu sấy phun khoảng 15% KL. Kết quả này mở ra khả năng chế tạo hạt xúc tác cracking dạng công nghiệp sử dụng thiết bị sấy phun quy mô phòng thí nghiệm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Khoa học và Công nghệ thông qua nhiệm vụ theo Nghị định thư với CHLB Đức, mã số NĐT.43.GER/18. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Nam Thanh (2014), Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu khả năng đầu tư xây dựng nhà máy xúc tác FCC tại Việt Nam, Viện Dầu khí Việt Nam.
- [2] E.T.C. Vogt, B.M. Weckhuysen (2015), “Fluid catalytic cracking: recent developments on the grand old lady of zeolite catalysis”, *Chemical Society Reviews*, **44**, pp.7342-7370.
- [3] G.M. Woltermann, J.S. Magee, S.D. Griffith (1993), “Commercial preparation and characterization of FCC catalysts”, *Fluid catalytic cracking: science and technology*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp.105-144.
- [4] J. Andrieu, G. Dessalces, C. Joly-Vuillemin, J.P. Reymond, F. Kolenda (1992), “Spray drying as a shaping technique for catalyst production”, *Drying ‘92 proceedings of the international drying symposium*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, pp.533-542.
- [5] D. Verboekend, N. Nuttens, R. Locu, J. Van Aelst, P. Verolme, J.C. Groen, J. Pérez-Ramírez, B.F. Selsa (2016), “Synthesis, characterisation, and catalytic evaluation of hierarchical faujasite zeolites: milestones, challenges, and future directions”, *Chemical Society Reviews*, **45**, pp.3331-3352.

Tổng hợp vật liệu Fe_2O_3 kích thước nanomet ứng dụng làm điện cực âm pin sạc lại

Bùi Thị Hằng*, Trần Văn Đáng, Nguyễn Văn Quy

Viện Đào tạo Quốc tế về Khoa học Vật liệu, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

Ngày nhận bài 20/4/2021; ngày chuyển phản biện 23/4/2021; ngày nhận phản biện 24/5/2021; ngày chấp nhận đăng 31/5/2021

Tóm tắt:

Điện cực sắt đóng vai trò quan trọng trong pin sắt - khí. Việc làm chủ công nghệ chế tạo vật liệu điện cực này là bước quan trọng để cải thiện dung lượng, hiệu suất phóng - nạp, và giảm giá thành của pin thương phẩm. Phương pháp sol-gel được biết đến là một phương pháp đơn giản, dễ thực hiện để chế tạo vật liệu kích thước nanomet. Trong nghiên cứu này, hạt nano $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ với các hình dạng khác nhau đã được tổng hợp bằng phương pháp sol-gel để làm điện cực âm cho pin sắt - khí. Phép đo đặc trưng điện hóa thực hiện trên điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ sử dụng các vật liệu nano Fe_2O_3 tổng hợp được đã chỉ ra kích thước, hình thái học của hạt sắt ảnh hưởng mạnh đến khả năng chu trình hóa của chúng. Tối ưu hóa quy trình chế tạo để thu được kích thước, hình dạng hạt Fe_2O_3 cho đặc trưng điện hóa tốt nhất đã được thực hiện. Ảnh hưởng của chất phụ gia K_2S trong dung dịch điện ly lên đặc trưng điện hóa của điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ cũng được nghiên cứu.

Từ khóa: $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ kích thước nanomet, phương pháp sol-gel, pin sắt - khí.

Chỉ số phân loại: 2.5

Đặt vấn đề

Trong thời gian gần đây, xe điện đang được phát triển nhanh ở nhiều quốc gia trên thế giới, trong đó có Việt Nam. Sử dụng xe điện thay thế các phương tiện dùng nhiên liệu hóa thạch sẽ là xu thế tất yếu trên thế giới, góp phần làm giảm tình trạng ô nhiễm môi trường đang diễn ra ở nhiều quốc gia. Hiện nay, hầu hết các xe điện đều sử dụng pin Li-ion, loại pin này có chi phí cao, không an toàn và khả năng tích trữ năng lượng của nó đã đạt mức tới hạn [1]. Vì vậy, việc phát triển một thế hệ pin mới thay thế pin Li-ion ứng dụng cho xe điện như pin kim loại - khí, pin rắn, pin kim loại - ion đa hóa trị... đang là nhiệm vụ rất cấp bách. Trong số các loại pin mới này, pin kim loại - khí thu hút được sự quan tâm nghiên cứu của đông đảo các nhà khoa học vì chúng có năng lượng lý thuyết cao hơn, chi phí thấp hơn pin Li-ion [2, 3]. Có nhiều loại pin kim loại - khí như pin nhôm - khí, sắt - khí, kẽm - khí, Liti - khí [4-8]... nhưng pin sắt - khí được kỳ vọng hơn cả vì dung lượng lý thuyết cao, tuổi thọ dài, độ ổn định điện hóa cao, an toàn môi trường và chi phí phù hợp do sắt là nguồn vật liệu rẻ, có nhiều trên trái đất [9]. Tuy nhiên, ứng dụng thực tế của pin sắt - khí bị giới hạn bởi tính không ổn định nhiệt động lực học của sắt trong môi trường kiềm [4]. Phản ứng sinh khí hydro xảy ra đồng thời với phản ứng khử $\text{Fe}(\text{OH})_2$ trong quá trình nạp, dẫn đến gây mất nước của dung dịch điện ly cũng như làm giảm hiệu suất nạp của pin [10].

Các kết quả nghiên cứu trước đây của nhóm nghiên cứu cho thấy kích thước, hình thái học, hàm lượng của hạt sắt ảnh hưởng mạnh đến đặc trưng điện hóa của điện cực sắt [11-13]. Cụ thể, với cùng tỷ lệ các thành phần trong điện cực, hạt sắt có hình dạng khác nhau, cho các đặc trưng điện hóa khác nhau. Tỷ lệ thành

phần các chất cấu thành điện cực cũng ảnh hưởng mạnh đến đặc trưng điện hóa của nó như hạt sắt kích thước nanomet cần lượng chất kết dính nhiều hơn hạt sắt kích thước micromet. Các chất phụ gia cho điện cực như nano các bon và chất phụ gia cho dung dịch điện ly như K_2S đều có tác động tích cực đến khả năng chu trình hóa của điện cực sắt, giúp cải thiện dung lượng, năng lượng, hiệu suất của pin sắt - khí [14-16]. Do vậy, việc chủ động tạo ra vật liệu ô-xít sắt có kích thước, hình thái học phù hợp cho ứng dụng làm điện cực âm trong pin sắt khí là rất quan trọng.

Phương pháp sol-gel được biết đến là một phương pháp đơn giản, dễ thực hiện để chế tạo vật liệu có kích thước nanomet cho các ứng dụng khác nhau. Kể thừa, phát triển các kết quả đã đạt được của các nghiên cứu trước [11-15], đồng thời với mong muốn góp phần làm giảm giá thành pin thương phẩm trên thị trường, trong công trình này, chúng tôi sử dụng phương pháp sol-gel để chế tạo vật liệu Fe_2O_3 với kích thước, hình dạng có thể điều khiển cho phù hợp với ứng dụng trong pin sắt - khí nhằm cải thiện khả năng chu trình hóa của điện cực sắt.

Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Muối $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (Sigma Aldrich) được sử dụng làm nguồn sắt và axit oxalic ($\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) (Sigma Aldrich) được sử dụng làm phân tử phối tử (ligand molecules) trong quy trình tổng hợp bột nano $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ bằng phương pháp sol-gel. Trước tiên, muối $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ và $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ được hòa tan trong 100 ml dung môi ethanol để tạo các dung dịch 0,1 M tương ứng. Tiếp theo, nhỏ dung dịch axit vào dung dịch muối sắt đang được khuấy đều. Hỗn hợp dung dịch sau đó được duy trì

*Tác giả liên hệ: Email: hang@itims.edu.vn

Synthesis of Fe_2O_3 nanomaterials for a rechargeable battery anode

Thi Hang Bui*, Van Dang Tran, Van Quy Nguyen

International Training Institute for Materials Science,
Hanoi University of Science and Technology

Received 20 April 2021; accepted 31 May 2021

Abstract:

Iron electrode plays an important role in iron-air batteries. Mastering the fabrication technology of this electrode material is a key step in improving capacity, cycling efficiency, and lowering the cost of commercial batteries. The sol-gel method is known to be simple and easy to implement for producing nanomaterials. In this study, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanoparticles with various shapes were synthesised by the sol-gel method for iron-air battery anodes. Electrochemical characteristic measurements performed on $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ electrodes using synthesised Fe_2O_3 nanomaterials showed that the size and morphology of iron particles strongly affect their cycleability. Optimisation of the fabrication process to obtain the suitable Fe_2O_3 particle size and shape for the best electrochemical properties was performed. Additionally, the effect of the K_2S additive in electrolyte solution on the electrochemical properties of the $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ electrode was also studied.

Keywords: $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ nanomaterials, iron-air battery, sol-gel method.

Classification number: 2.5

ở nhiệt độ 60°C cho đến khi gel được hình thành. Trong quá trình này, độ pH của dung dịch được điều chỉnh ở các giá trị khác nhau để thu được các mẫu khác nhau. Các gel này được lọc rửa sạch, sấy khô ở 60°C và ủ ở nhiệt độ 400°C hoặc 600°C trong 2 giờ để thu được bột sắt oxit. Danh sách các mẫu chế tạo bằng phương pháp sol-gel này ở các điều kiện khác nhau được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Danh sách các mẫu Fe_2O_3 chế tạo bằng phương pháp sol-gel trong các điều kiện khác nhau.

TT	Ký hiệu mẫu	Điều kiện chế tạo
1	pH3	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$, pH=3, $t_{\text{nung}}=400^\circ\text{C}$
2	pH7	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$, pH=7, $t_{\text{nung}}=400^\circ\text{C}$
3	pH11	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$, pH=11, $t_{\text{nung}}=400^\circ\text{C}$
4	pH11-600C	$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + \text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$, pH=11, $t_{\text{nung}}=600^\circ\text{C}$

Cấu trúc hạt $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ chế tạo được được xác định bằng phép đo nhiễu xạ tia X (XRD) và kích thước, hình thái học của chúng được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM). Để khảo sát đặc trưng điện hoá của vật liệu oxit sắt vừa tổng hợp được, lá

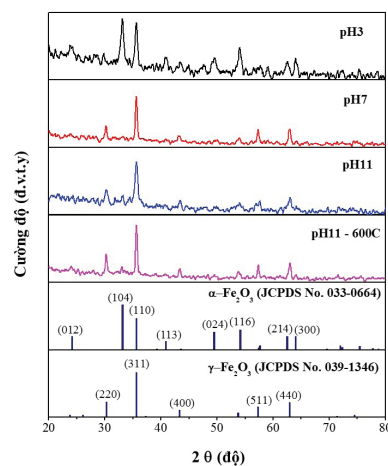
điện cực được chế tạo bằng cách nghiền trộn 45% bột $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, 45% chất phụ gia cacbon acetylene black (AB) và 10% chất kết dính polytetrafluoroethylene (PTFE; Daikin Co.), sau đó cán mỏng ra với độ dày khoảng 1 mm. Chất phụ gia AB được dùng để làm tăng độ dẫn điện của điện cực composit $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$. Các điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ được cắt từ lá điện cực thành dạng đĩa tròn mỏng có đường kính 1 cm. Đĩa điện cực sau đó được ép lên vật liệu dẫn dòng là lưới titanium với lực ép khoảng 150 kg/cm^2 để gắn chặt điện cực vào lưới titanium. Nghiên cứu ảnh hưởng của chất phụ gia trong dung dịch điện ly K_2S được thực hiện với nồng độ K_2S 0,01 M.

Các phép đo quét thế vòng tuần hoàn (CV) được thực hiện trên cell 3 điện cực với $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ là điện cực làm việc (WE), Pt là điện cực đối (CE) và Hg/HgO là điện cực so sánh (RE). Dung dịch điện ly là KOH 8 M hoặc KOH 7,99 M + K_2S 0,01 M. Các phép đo CV được thực hiện với tốc độ quét 5 mV/s và thế quét trong khoảng từ -1,3 đến -0,1 V.

Kết quả và thảo luận

Cấu trúc tinh thể vật liệu

Để xác định cấu trúc vật liệu oxit sắt tổng hợp được bằng phương pháp sol-gel, phép đo nhiễu xạ tia X được thực hiện, kết quả được biểu diễn trên hình 1. Từ giản đồ nhiễu xạ tia X ta thấy ở các mẫu các đỉnh nhiễu xạ xuất hiện ở các góc $2\theta=24,13^\circ, 33,11^\circ, 35,61^\circ, 40,83^\circ, 49,41^\circ, 53,99^\circ, 57,49^\circ, 62,38^\circ$ và $63,96^\circ$ thể hiện cho các mặt (012), (104), (110), (113), (024), (116), (018), (214) và (300) tương ứng. Các đỉnh nhiễu xạ này trùng với các đỉnh nhiễu xạ của phổ chuẩn $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ theo JCPDS số 033-0664. Bên cạnh đó, đỉnh nhiễu xạ ở $30,24^\circ$ và $35,63^\circ$ trùng với các đỉnh nhiễu xạ của phổ chuẩn $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ theo JCPDS số 039-1346. Hai đỉnh chính xuất hiện ở $2\theta=33,11^\circ$ và $35,61^\circ$, trong đó, đỉnh chính thứ hai ở $35,61^\circ$ có thể do pha $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ hoặc $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ và không có đỉnh lạ nào thể hiện tạp chất xuất hiện trong phổ nhiễu xạ. Các đỉnh nhiễu xạ xuất hiện trên giản đồ đều chứng tỏ $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ là pha chính trong vật liệu tổng hợp được. Như vậy, vật liệu $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ đã được chế tạo thành công bằng phương pháp sol-gel và có độ sạch tương đối cao.

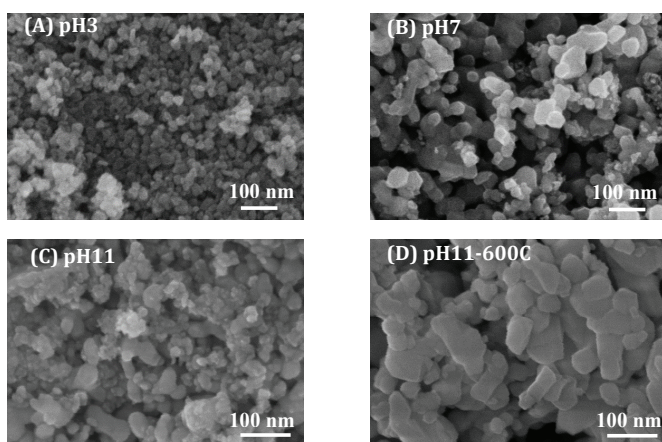


Hình 1. Phổ nhiễu xạ tia X của mẫu Fe_2O_3 chế tạo ở các điều kiện khác nhau.

Hình thái học vật liệu

Vật liệu Fe_2O_3 tổng hợp được bằng phương pháp sol-gel ở các điều kiện khác nhau được tiến hành chụp SEM và kết quả thể hiện trên hình 2. Khi pH=3 (hình 2A), nhiệt độ ủ 400°C, hạt Fe_2O_3 thu được rất nhỏ (cỡ vài chục nanomet) và tương đối đồng đều. Khi tăng pH lên 7 (hình 2B), giữ nguyên nhiệt độ ủ 400°C, hiện tượng hạt kết đám bắt đầu xuất hiện làm kích thước hạt Fe_2O_3 tăng lên và không đồng đều. Tiếp tục tăng pH lên 11 (hình 2C) và nhiệt độ ủ mẫu không thay đổi, hạt bị kết đám nhiều hơn, kích thước không đồng đều, có những hạt nhỏ vài chục nanomet và những hạt to vài trăm nanomet. Giữ nguyên pH=11 và tăng nhiệt độ ủ mẫu từ 400 lên 600°C (hình 2D) hạt Fe_2O_3 chuyển thành những mảnh dẹt to hơn, bề mặt trơn nhẵn, kích thước từ vài chục đến vài trăm nanomet.

Hạt Fe_2O_3 có kích thước, hình dạng khác nhau sẽ thể hiện đặc trưng điện hóa khác nhau. Nói cách khác, kích thước, hình thái học khác nhau của các mẫu Fe_2O_3 chế tạo ở các điều kiện khác nhau sẽ ảnh hưởng khác nhau đến đặc trưng điện hóa của chúng. Như vậy, bằng việc thay đổi các điều kiện chế tạo mẫu bằng phương pháp sol-gel ta có thể thay đổi được hình dạng, kích thước của hạt Fe_2O_3 để đạt được đặc trưng điện hóa mong muốn.

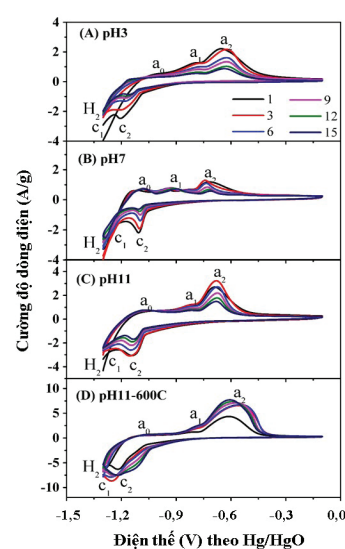


Hình 2. Ảnh SEM của mẫu Fe_2O_3 chế tạo ở các điều kiện khác nhau: (A) pH3, (B) pH7, (C) pH11 và (D) pH11-600C.

Đặc trưng điện hóa

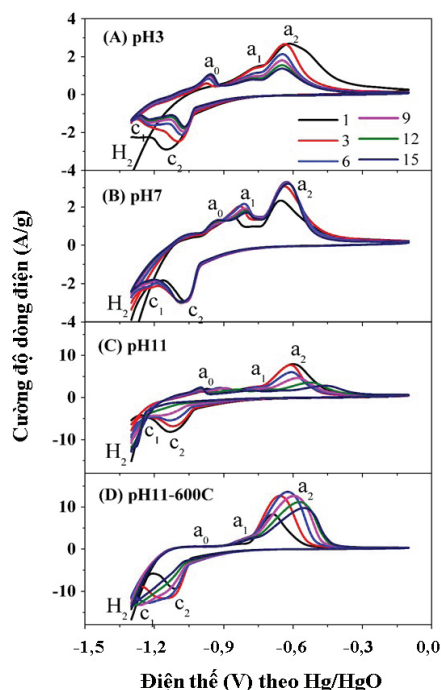
Kết quả đo CV của điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ sử dụng các mẫu Fe_2O_3 chế tạo bằng phương pháp sol-gel ở các điều kiện khác nhau trong dung dịch KOH 8 M được thể hiện trên hình 3. Khi quét thế theo chiều tăng từ -1,3 đến -0,1 V và ngược lại, đường CV của tất cả các mẫu pH3 (hình 3A), pH7 (hình 3B), pH11 (hình 3C) và pH11-600C (hình 3D) đều xuất hiện các đỉnh oxy hóa - khử theo chiều phóng - nạp. Các đỉnh oxy hóa xuất hiện ở thế khoảng -1,0 V (a_0), -0,8 V (a_1) và -0,6 V (a_2), trong khi chỉ có một đỉnh khử xuất hiện ở thế khoảng -1,1 V (c_2) cùng với đỉnh sinh khí hydro theo chiều quét ngược lại. Đỉnh khử sắt Fe(II)/Fe(c) bị che phủ hoàn toàn bởi đỉnh sinh khí hydro (H_2) ở các mẫu, ngoại trừ mẫu pH11-600C (hình 3D). Đỉnh a_0 xuất hiện do sự hấp phụ nhóm OH^- của điện cực sắt tạo thành $\text{Fe(OH)}_{\text{ad}}$ trước khi xảy ra phản ứng oxy hóa sắt ở đỉnh

a_1 . Cặp đỉnh a_1/c_1 tương ứng với quá trình oxy hóa - khử của Fe(I)/Fe(II) , trong khi cặp đỉnh a_2/c_2 tương ứng với quá trình oxy hóa - khử của Fe(II)/Fe(III) . Đỉnh oxy hóa a_2 cao hơn nhiều so với đỉnh a_1 , chứng tỏ đỉnh a_2 bao gồm cả hai quá trình oxy hóa Fe/Fe(II) và Fe(II)/Fe(III) . Đó là do lớp thụ động Fe(OH)_2 hình thành tại đỉnh a_1 gây ra sự tăng quá thế của cặp phản ứng Fe/Fe(II) , dẫn đến cả hai cặp phản ứng oxy hóa xảy ra tại đỉnh a_2 . Dòng điện tại các đỉnh giảm dần theo số chu kỳ quét ở các mẫu pH3 (hình 3A), pH7 (hình 3B), pH11 (hình 3C). Đáng chú ý, ở mẫu pH11-600C (hình 3D), các đỉnh oxy hóa - khử xuất hiện rõ ràng hơn, đỉnh khử c_1 tách biệt với đỉnh sinh khí hydro và cường độ dòng oxy hóa - khử tăng theo số chu kỳ quét. Điều này chứng tỏ mẫu pH11-600C cho khả năng chu trình hóa tốt hơn những mẫu còn lại.

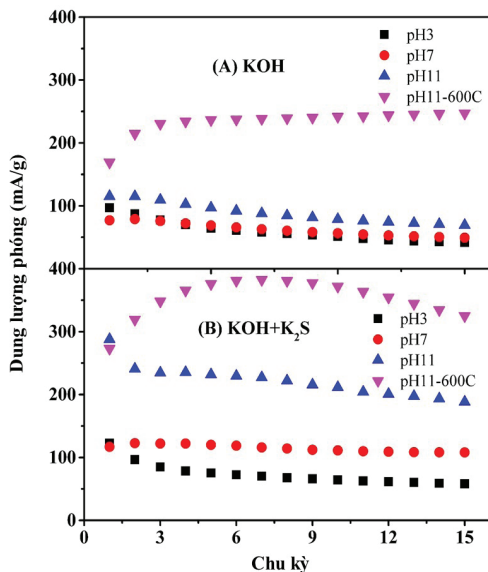


Hình 3. Đặc trưng CV của điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ ($\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{AB}:\text{PTFE}=45:45:10\%$) sử dụng Fe_2O_3 chế tạo ở các điều kiện khác nhau trong dung dịch KOH 8 M.

So sánh đường đặc trưng CV của các mẫu Fe_2O_3 chế tạo được với nhau ta thấy, mẫu pH11-600C (hình 3D) cho cặp đỉnh oxy hóa - khử a_2/c_2 cao hơn, rộng hơn các mẫu còn lại. Như vậy, cùng một tỷ lệ thành phần $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{AB}:\text{PTFE}=45:45:10\%$, các mẫu thể hiện đặc trưng điện hóa khác nhau, chứng tỏ kích thước, hình thái học của hạt Fe_2O_3 chế tạo được đã ảnh hưởng mạnh đến khả năng chu trình hóa của sắt. Quan sát ảnh SEM của các mẫu tương ứng trên hình 2 cho thấy, mẫu pH11-600C (hình 2D) có dạng mảnh dẹt, trong khi các mẫu khác có dạng hình cầu (hình 2A) và dạng hạt tự do (hình 2B, 2C). Các mẫu đều có kích cỡ hạt nanomet nhưng pH11-600C có kích thước hạt lớn hơn các mẫu còn lại. Điều này chứng tỏ, hình dạng và kích thước hạt Fe_2O_3 ảnh hưởng mạnh đến khả năng chu trình hóa của nó. Trong điều kiện thí nghiệm này, dạng mảnh dẹt của Fe_2O_3 (mẫu pH11-600C) khi chế tạo điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{AB}:\text{PTFE}=45:45:10\%$ cho đường CV tốt nhất chứng tỏ hình dạng, kích thước này của Fe_2O_3 là phù hợp nhất. Đó có thể do các mảnh dẹt nano Fe_2O_3 có bề mặt trơn nhẵn, mỏng khi nghiền trộn với AB sẽ tạo thành điện cực có liên kết giữa các hạt Fe_2O_3 với AB và giữa các hạt Fe_2O_3 với nhau chặt chẽ hơn, giúp cho quãng đường dịch chuyển của các điện tử giữa các hạt sắt thuận tiện hơn so với các mẫu khác.



Hình 4. Đặc trưng CV của điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ ($\text{Fe}_2\text{O}_3:\text{AB}:\text{PTFE}=45:45:10\%$) sử dụng Fe_2O_3 chế tạo ở các điều kiện khác nhau trong dung dịch $\text{KOH}+\text{K}_2\text{S}$.



Hình 5. Sự thay đổi dung lượng phóng theo số chu kỳ phóng - nạp của điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ trong dung dịch (A) KOH và (B) $\text{KOH}+\text{K}_2\text{S}$.

Để khảo sát ảnh hưởng của chất phụ gia K_2S đối với điện cực composit $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$, phép đo CV của các mẫu được thực hiện trong dung dịch điện ly $\text{KOH}+\text{K}_2\text{S}$, kết quả được thể hiện trên hình 4. Khi có K_2S trong dung dịch điện ly, các đỉnh oxy hóa cao hơn, nhọn hơn và đỉnh khử c_1 đã bắt đầu được tách khỏi đỉnh sinh khí H_2 ở mẫu có độ pH thấp (hình 4A, 4B) so với mẫu $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ tương ứng trong dung dịch KOH (hình 3). Các đỉnh

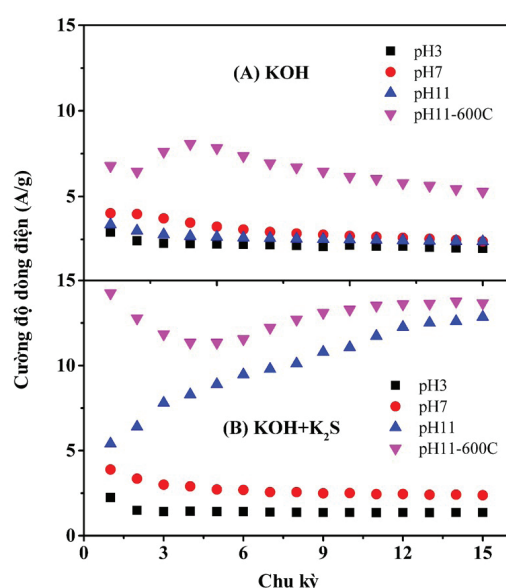
oxy hóa cao hơn chứng tỏ tốc độ phản ứng oxy hóa của sắt tăng lên, tuy nhiên, cường độ dòng điện vẫn suy giảm dần theo chu kỳ quét. Đối với mẫu pH11 và pH11-600C, các đỉnh oxy hóa dịch dần về phía thế dương hơn, trong khi đỉnh khử dịch dần về phía thế âm hơn, gây nên sự tăng quá thế. Điều này ảnh hưởng không tốt đến quá trình phóng - nạp của điện cực. Tuy vậy, sự có mặt của K_2S trong dung dịch điện ly đã có ảnh hưởng tích cực đến khả năng chu trình hóa của điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$. Đó có thể do ion S^{2-} kết hợp vào mạng oxit sắt và tương tác với Fe(I) , Fe(II) hoặc Fe(III) trong lớp màng oxit để kích thích sự phân hủy của sắt [17, 18] và làm tăng độ dẫn điện của điện cực [19-21], do đó cải thiện khả năng chu trình hóa của sắt.

Để thấy rõ ảnh hưởng của chất phụ gia K_2S trong dung dịch điện ly đối với điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$, dung lượng phóng của điện cực được tính toán từ kết quả đo CV của điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ trong KOH (hình 3) và trong $\text{KOH}+\text{K}_2\text{S}$ (hình 4), kết quả được biểu diễn trên hình 5.

Trong dung dịch điện ly cơ bản KOH 8 M (hình 5A), mẫu Fe_2O_3 chế tạo trong điều kiện pH11-600C cho dung lượng phóng cao nhất và tương đối ổn định sau vài chu kỳ đầu. Khi dung dịch điện ly chứa chất phụ gia K_2S (hình 5B), tất cả các mẫu đều cho dung lượng phóng cao hơn so với trong dung dịch điện ly cơ bản KOH 8 M. Kết quả này chứng tỏ ảnh hưởng tích cực của K_2S trong dung dịch điện ly đối với khả năng chu trình hóa, dung lượng của điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$. So sánh dung lượng của các mẫu pH=3, 7, 11 và pH11-600C trong $\text{KOH}+\text{K}_2\text{S}$ (hình 5B) ta thấy mẫu pH11-600C vẫn cho giá trị dung lượng cao nhất. Như vậy, đối với các mẫu Fe_2O_3 tổng hợp bằng phương pháp sol-gel, mẫu Fe_2O_3 chế tạo trong điều kiện pH11-600C có ưu thế vượt trội hơn cả, thể hiện ở các đỉnh oxy hóa - khử cao hơn, rộng hơn, dung lượng phóng của nó lớn hơn các mẫu còn lại. Điều đó chứng tỏ vật liệu này có tiềm năng ứng dụng làm điện cực âm trong pin sắt - khí.

Một yếu tố quan trọng để đánh giá vai trò của chất phụ gia K_2S trong dung dịch điện ly là khả năng khử lượng H_2 sinh ra, do vậy lượng H_2 sinh ra của các mẫu được tính toán từ phép đo CV (hình 4) ở tất cả các chu kỳ trong dung dịch có và không có S^{2-} , kết quả được biểu diễn trên hình 6.

Các mẫu Fe_2O_3 chế tạo trong điều kiện pH3 và pH7 có lượng H_2 sinh ra trong dung dịch điện ly chứa K_2S (hình 6B) nhỏ hơn lượng H_2 sinh ra trong dung dịch điện ly không có chất phụ gia (hình 6A), trong khi hiện tượng ngược lại xuất hiện ở các mẫu pH11 và pH11-600C. Kết quả này chứng tỏ, lượng H_2 sinh ra đã bị khử phần lớn trong quá trình phản ứng đối với mẫu pH3 và pH7. Đối với pH11 và pH11-600C, do quá thế phản ứng oxy hóa - khử của sắt tăng lên khi có mặt K_2S làm cho dòng khử không tách biệt với dòng H_2 sinh ra, gây nên sự tăng dòng H_2 . Hiện tượng này có thể quan sát trên đường CV của mẫu pH11 và pH11-600C (hình 3, 4). Như vậy, ảnh hưởng tích cực của K_2S đến đặc trưng điện hóa của điện cực $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{AB}$ vẫn được thể hiện như: làm tăng tốc độ phản ứng oxy hóa - khử, giảm lượng H_2 sinh ra, tăng cường độ dòng điện, dẫn đến cải thiện



Hình 6. Sự thay đổi lượng H_2 sinh ra theo số chu kỳ phóng - nạp của điện cực Fe_2O_3/AB trong dung dịch (A) KOH và (B) KOH+ K_2S .

dung lượng, hiệu suất phóng - nạp của điện cực Fe_2O_3/AB . Qua các phép đo đặc trưng điện hóa ta thấy, trong số các mẫu Fe_2O_3 chế tạo được, mẫu pH11-600C có tiềm năng ứng dụng làm điện cực âm cho pin sắt - khí.

Kết luận

Vật liệu Fe_2O_3 kích thước nanomet với các hình dạng khác nhau đã được chế tạo thành công bằng phương pháp sol-gel. Khảo sát đặc trưng điện hóa của điện cực Fe_2O_3/AB sử dụng các mẫu Fe_2O_3 đã tổng hợp được chỉ ra kích thước, hình thái học của hạt ảnh hưởng mạnh đến khả năng chu trình hóa của chúng. Bằng việc thay đổi điều kiện chế tạo, kích thước, hình dạng hạt Fe_2O_3 có thể điều khiển được để cho đặc trưng điện hóa tốt nhất cho ứng dụng làm điện cực trong pin sạc lại. Sự có mặt của chất phụ gia K_2S trong dung dịch điện ly cho thấy ảnh hưởng tích cực của nó đến tính chất điện hóa của điện cực Fe_2O_3/AB như: làm tăng tốc độ phản ứng oxy hóa - khử sắt, tăng dung lượng của điện cực Fe_2O_3/AB và giảm lượng H_2 sinh ra. Trong số các mẫu $\alpha-Fe_2O_3$ chế tạo được bằng phương pháp sol-gel, mẫu nano $\alpha-Fe_2O_3$ chế tạo trong điều kiện pH11-600C có tiềm năng ứng dụng làm điện cực âm cho pin sắt - khí.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo thông qua đề tài mã số B2021-BKA-03. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Hislop Markham (2017), "Solid-state EV battery breakthrough from Li-ion battery inventor John Goodenough", *North American Energy News*, The American Energy News. <http://theamericanenergynews.com/markham-on-energy/solid-state-battery-advance-goodenough>.

[2] L. Binder, W. Odar (1984), "Experimental survey of rechargeable alkaline zinc electrodes", *J. Power Sources*, **13**, pp.9-21.

[3] A. Mukherjee and I.N. Basumallick (1993), "Metallized graphite as an improved cathode material for aluminium/air batteries", *J. Power Sources*, **45**(2), pp.243-246.

[4] T.S. Balasubramanian, A.K. Shukla (1993), "Effect of metal-sulfide additives on charge/discharge reactions of the alkaline iron electrode", *J. Power Sources*, **41**, pp.99-105.

[5] B.T. Hang, H. Hayashi, S.H. Yoon, S. Okada and J.I. Yamaki (2008) " Fe_2O_3 -filled carbon nanotubes as a negative electrode for an Fe-air battery", *J. Power Sources*, **178**(1), pp.393-401.

[6] A.S. Rajan, S. Sampath and A.K. Shukla (2014), "An in situ carbon-grafted alkaline iron electrode for iron-based accumulators", *Energy & Environmental Science*, **7**, pp.1110-1116.

[7] S.H. Sahgong, S.T. Senthilkumar, K. Kim, S.M. Hwang and Y. Kim (2015), "Rechargeable aqueous Na-air batteries: highly improved voltage efficiency by use of catalysts", *Electrochem. Commun.*, **61**, pp.53-56.

[8] C.A.C. Souza, I.A. Carlos, M.C. Lopes, G.A. Finazzi, M.R.H. de Almeida (2004), "Self-discharge of Fe-Ni alkaline batteries", *J. Power Sources*, **132**, pp.288-290.

[9] S.U. Falk, A.J. Salking (1971), "Alkaline storage batteries", *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, **30**, pp.139-140.

[10] N. Jayalakshmi, V.S. Muralidharan (1990), "Electrochemical behaviour of iron oxide electrodes in alkali solutions", *J. Power Sources*, **32**, pp.277-286.

[11] B.T. Hang, S.H. Yoon, S. Okada and J. Yamaki (2007), "Effect of metal-sulfide additives on electrochemical properties of nano-sized Fe_2O_3 -loaded carbon for Fe/air battery anodes", *J. Power Sources*, **168**(2), pp.522-532.

[12] B.T. Hang and D.H. Thang (2016), "Electrochemical properties of Fe_2O_3 microparticles and their application in Fe/air battery anodes", *Journal of Alloys and Compounds*, **655**, pp.44-49.

[13] B.T. Hang, T.T. Anh and D.H. Thang (2016a), "Effect of Fe_2O_3 morphology on the electrochemical properties of Fe_2O_3/C composite electrode as Fe-air battery anode", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, **16**, pp.7999-8006.

[14] T.T. Anh, V.M. Thuan, D.H. Thang, B.T. Hang (2017), "Effect of Fe_2O_3 and binder on the electrochemical properties of Fe_2O_3/AB (acetylene black) composite electrodes", *Journal of Electronic Materials*, **46**, pp.3458-3462.

[15] B.T. Hang and D.H. Thang (2016b), "Effect of additives on the electrochemical properties of Fe_2O_3/C nanocomposite for Fe/air battery anode", *J. Electroanal. Chem.*, **762**, pp.59-65.

[16] K. Micka, Z. Zabransky (1987), "Study of iron oxide electrodes in an alkaline electrolyte", *J. Power Sources*, **19**, pp.315-323.

[17] G.P. Kalaighan, V.S. Muralidharan and K.I. Vasu (1987), "Triangular potential sweep voltammetric study of porous iron electrodes in alkali solutions", *J. Appl. Electrochem.*, **17**, pp.1083-1092.

[18] D.W. Shoesmith, P. Taylor, M.G. Bailey and B. Ikeda (1978), "Electrochemical behaviour of iron in alkaline sulphide solutions", *Electrochim. Acta*, **23**, pp.903-916.

[19] C.A. Caldas, M.C. Lopes, I.A. Carlos (1998), "The role of FeS and $(NH_4)_2CO_3$ additives on the pressed type Fe electrode", *J. Power Sources*, **74**, pp.108-112.

[20] P. Periasamy, B.R. Babu, S.V. Iyer (1996), "Electrochemical behaviour of Teflon-bonded iron oxide electrodes in alkaline solutions", *J. Power Sources*, **63**, pp.79-85.

[21] K. Vijayamohan, A.K. Shukla and S. Sathyanarayana (1990), "Role of sulfide additives on the performance of alkaline iron electrodes", *J. Electroanal. Chem.*, **289**, pp.55-68.

Nghiên cứu xây dựng công thức tạo sản phẩm bột nêm dinh dưỡng từ bột đậm thủy phân phụ phẩm cá tra

Bùi Thị Thu Hiền^{1*}, Nguyễn Thanh Bình¹, Phạm Thị Diễm¹,
Bùi Thị Minh Nguyệt¹, Đào Văn Hào², Lê Xuân Quế², Trương Vĩnh Thành²

¹Viện Nghiên cứu hải sản

²Công ty Cổ phần đầu tư du lịch và phát triển thủy sản

Ngày nhận bài 20/4/2021; ngày chuyển phản biện 23/4/2021; ngày nhận phản biện 24/5/2021; ngày chấp nhận đăng 31/5/2021

Tóm tắt:

Quá trình chế biến cá tra đã tạo ra một số phụ phẩm có giá trị kinh tế và sinh học như đầu, xương, vây, nhưng các sản phẩm này vẫn chưa được tận dụng triệt để. Bột đậm thủy phân từ phụ phẩm cá tra có hàm lượng dinh dưỡng cao, hương vị hấp dẫn được sử dụng làm nguyên liệu chính trong sản xuất một số sản phẩm thực phẩm giá trị gia tăng. Mục đích của nghiên cứu này là xây dựng được công thức tạo sản phẩm bột nêm từ bột đậm thủy phân phụ phẩm cá tra. Các thành phần chính như bột đậm cá tra, tinh bột, gia vị cơ bản (muối, đường, bột hành, gừng, tiêu...) được nghiên cứu và lựa chọn trong công thức tạo bột nêm. Nghiên cứu xác định tỷ lệ các thành phần nguyên liệu chính được thực hiện với 25-45% bột đậm từ phụ phẩm cá tra kết hợp với 20-35% tinh bột biến tính; 16-24% muối; 5-20% đường kính; 0,5-2% hỗn hợp gia vị bột hành, bột gừng, bột tiêu. Chất lượng sản phẩm được đánh giá thông qua các chỉ tiêu cảm quan, hàm lượng protein, carbohydrat... Kết quả nghiên cứu đã xây dựng được công thức sản xuất sản phẩm bột nêm dinh dưỡng từ bột đậm thủy phân phụ phẩm cá tra có hàm lượng protein 18-22%, carbohydrat 30-33%, hàm lượng muối 18-20%, hàm ẩm $\leq 10\%$ và các chỉ tiêu an toàn thực phẩm đạt yêu cầu theo các quy định hiện hành.

Từ khóa: bột đậm, bột nêm, cá tra, phụ phẩm, thủy phân.

Chỉ số phân loại: 2.10

Đặt vấn đề

Cá tra (*Pangasius hypophthalmus*) là đối tượng thủy sản có vị trí quan trọng trong lĩnh vực nuôi trồng, chế biến thủy sản ở nước ta nói chung và Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) nói riêng. Theo số liệu công bố của Hiệp hội Chế biến và xuất khẩu thủy sản Việt Nam (VASEP), năm 2019 ngành cá tra có diện tích nuôi đạt 6,6 nghìn ha với sản lượng 1,42 triệu tấn, giá trị xuất khẩu mang lại 2,06 tỷ USD. Ngành công nghiệp chế biến cá tra xuất khẩu tạo ra một lượng lớn phụ phẩm (chiếm 65-70% sản lượng nguyên liệu) như thịt vụn, xương, đầu cá, nội tạng... [1]. Phụ phẩm cá chứa nhiều protein và acid béo không sinh cholesterol, cùng với các khoáng chất khác có thể sản xuất ra nhiều sản phẩm có giá trị như bột cá, collagen, gelatin, dầu cá, bột đậm, bột canxi và ứng dụng trong nhiều sản phẩm khác [1]. Những năm gần đây, việc tận dụng phụ phẩm cá tra đang nhận được sự quan tâm của các doanh nghiệp nhằm chế biến ra các mặt hàng có giá trị gia tăng mà một trong những hướng đi mới có nhiều tiềm năng phát triển là sản xuất bột nêm gia vị từ phụ phẩm cá tra.

Bột nêm là sản phẩm được làm từ hỗn hợp bột đậm thực vật hoặc động vật phối trộn với các loại gia vị và phụ gia, được sử dụng để điều chỉnh hương vị của các món ăn trong quá trình chế biến. Trên thế giới, sản phẩm bột nêm được sản xuất từ nhiều nguồn

nguyên liệu phong phú, bao gồm cả thủy hải sản. Các sản phẩm bột nêm có nguồn gốc thủy sản phát triển rất đa dạng tại thị trường Nhật Bản, Hàn Quốc, Thái Lan, như hạt nêm cá ngừ Topvalu, hạt nêm rong biển, hạt nêm cá cơm, hạt nêm tôm, bột nêm cho một số món súp ăn liền từ cá tra [2-4]... Các sản phẩm nhập ngoại có hàm lượng bột đậm cao (10-50%) và sử dụng các gia vị có nguồn gốc tự nhiên như bột rong biển, muối, bột hành, tỏi, bột ngô, tiêu, ớt, tinh bột. Giá thành các sản phẩm này từ 600.000-1.800.000 đ/kg. Tại Việt Nam, bột nêm chiếm tỷ trọng 33% trong tổng số các mặt hàng gia vị, doanh số của mặt hàng bột nêm và bột ngọt tăng trưởng 4,6%, đóng góp 18,9% vào tổng doanh số của ngành hàng thực phẩm [5]. Theo khảo sát, mỗi năm Việt Nam tiêu thụ khoảng 1.500 tấn bột nêm [6]. Nhưng phần lớn bột nêm xuất xứ trong nước hiện nay đều có nguồn gốc từ động, thực vật, được sản xuất bằng cách phối trộn các chất điều vị, phụ gia tạo ngọt, hương và màu tổng hợp là thành phần chính, tỷ trọng của các thành phần dinh dưỡng như bột thịt xương, nước cốt hầm xương, nước hầm xương cô đặc, đậm đặc nành... chỉ chiếm 2-3% tổng khối lượng, giá dao động từ 60.000-80.000 đ/kg. Các sản phẩm bột nêm có nguồn gốc từ thủy sản còn khá hạn chế về chủng loại.

Hiện tại, một số nhà khoa học quan tâm nghiên cứu sản xuất bột nêm có nguồn gốc từ hải sản, như bột nêm tôm từ phụ phẩm đầu tôm, bột gia vị từ phụ phẩm cá ngừ, cá chẽm... Theo các nghiên

*Tác giả liên hệ: Email: hien.rimf@gmail.com

Research on formula establishment to produce nutritional seasoning powder from pangasius by-product hydrolysed protein

Thi Thu Hien Bui^{1*}, Thanh Binh Nguyen¹,
Thi Diem Pham¹, Thi Minh Nguyet Bui¹, Van Hao Dao²,
Xuan Que Le², Vinh Thanh Truong²

¹Research Institute for Marine Fisheries

²Travel Investment & Seafood Development Corporation

Received 20 April 2021; accepted 31 May 2021

Abstract:

The processing of pangasius fish has produced a number of by-products with economic and biological value such as heads, bones, and fins, but these products have not been fully utilised. The hydrolysed protein powder from pangasius by-products has a high nutritional content, attractive taste and mainly used as the raw material in the production of some value-added food products. The purpose of this study was to develop a formula to create seasoning products from protein powder hydrolysed pangasius by-products. The main ingredients such as pangasius protein powder, starch, basic spices (salt, sugar, onion powder, ginger, pepper, etc.) were studied and selected in the recipe for seasoning powder. In which, the research process to determine the ratio of the main ingredients was done with 25-45% protein powder from pangasius by-products combined with 20-35% modified starch; 16-24% salt; 5-20% sugar; 0.5-2% spice mixture of onion powder, ginger powder, pepper powder. Product quality was assessed through sensory criteria, protein content, carbohydrates, etc. Research results had built a formula for producing nutritional seasoning products from protein powder hydrolysed pangasius by-products with protein content 18-22%, carbohydrates 30-33%, salt content 18-20%, moisture content $\leq 10\%$, and food safety criteria meet the requirements according to current regulations.

Keywords: by-products, hydrolysis, pangasius, protein powder, seasoning powder.

Classification number: 2.10

cứu đã công bố, sản phẩm bột nêm tôm được tạo từ bột đậm đầu tôm có độ ẩm 74,5% được phối trộn với dextrin và NaCl theo tỷ lệ tương ứng 6 và 10% so với lượng chế phẩm sử dụng và sấy để giảm độ ẩm, hạn chế tổn thất hàm lượng carotenoid và tăng giá trị cảm quan cho sản phẩm sau sấy [7]. Sản phẩm bột gia vị dinh dưỡng từ cơ thịt sẫm màu cá ngừ, trong đó cơ thịt sẫm màu cá ngừ được thủy phân bằng enzyme, sau đó sấy dịch thủy phân thành bột và phối trộn với các gia vị khác để tạo nên bột gia vị cá ngừ có hàm lượng protein 21-36,2% [8]... Tuy nhiên, chưa có sản phẩm hay các nghiên cứu liên quan đến bột nêm từ cá tra.

Mặt khác, với việc ứng dụng công nghệ enzyme vào quá trình xử lý phụ phẩm, tận thu bột đậm từ nguồn phụ phẩm trong quá trình chế biến đang là một hướng đi mới, hiệu quả, an toàn và bền vững cho ngành chế biến cá tra. Phụ phẩm cá tra (đầu, xương, vây) được xử lý và thủy phân bằng hỗn hợp enzyme protease, trải qua các công đoạn như lọc, sấy để tạo sản phẩm bột đậm thủy phân. Nguồn bột đậm thu được có hàm lượng protein cao (63,17%), hàm lượng amino acid đạt 6,41%, giá trị dinh dưỡng và cảm quan đều ghi nhận ở mức tốt, đạt các chỉ tiêu về an toàn thực phẩm theo quy định tại Quyết định số 46/2007/QĐ-BYT.

Xuất phát từ những lý do trên, việc sản xuất bột nêm từ phụ phẩm cá tra là rất cần thiết. Nghiên cứu này có ý nghĩa thực tiễn rất lớn, không những góp phần hạn chế ô nhiễm môi trường do việc thải bỏ phụ phẩm cá tra gây ra mà còn tận dụng nguồn nguyên liệu giá rẻ, giúp nâng cao hiệu quả kinh tế cho nguồn nguyên liệu này, tạo ra một sản phẩm bột nêm có giá trị dinh dưỡng cao, giá thành phù hợp với người tiêu dùng trong nước và làm đa dạng hóa các mặt hàng bột nêm, hạt nêm trên thị trường.

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng

Bột đậm phụ phẩm cá tra là sản phẩm của quy trình thủy phân phụ phẩm cá tra (đầu, xương, vây, bụng).

Vật liệu: muối, bột ngọt, tinh bột biến tính, bột gừng, bột hành, bột tiêu... theo QCVN 4-1:2010/BYT.

Phương pháp

Thí nghiệm được tiến hành trên cơ sở thay đổi một hay hai nhân tố và cố định các nhân tố còn lại. Kết quả của thí nghiệm trước được sử dụng làm thông số cố định cho thí nghiệm kế tiếp, thí nghiệm được bố trí ngẫu nhiên với 3 lần lặp lại. Các thí nghiệm được thực hiện dựa trên nguyên lý sử dụng bột đậm thu hồi từ quá trình xử lý phụ phẩm cá tra kết hợp với các thành phần gia vị cơ bản như muối, đường, tinh bột... để điều chỉnh hương vị phù hợp cho sản phẩm.

Nghiên cứu xác định tỷ lệ bột đậm từ phụ phẩm cá tra: lựa chọn tỷ lệ bột đậm thích hợp sao cho đáp ứng được hàm lượng protein 18-22%. Bột đậm phụ phẩm cá tra có hàm lượng protein 62-63%, do đó bố trí khảo sát trên 5 công thức với tỷ lệ bột đậm phụ phẩm cá tra lần lượt là: 25, 30, 35, 40, 45% kết hợp với tinh bột bắp để tỷ lệ công thức đạt 100%, đánh giá cảm quan theo phương pháp cho điểm của TCVN 3215-79 và phân tích chỉ tiêu protein.

Nghiên cứu lựa chọn và xác định tỷ lệ các gia vị tạo mùi: tiến hành thí nghiệm với 3 công thức: CT6: 1% bột hành; 0,5% bột tiêu; 0,5% bột gừng; CT7: 0,5% bột hành; 1% bột tiêu; 0,5% bột gừng; CT8: 0,5% bột hành; 0,5% bột tiêu; 1% bột gừng. Đánh giá cảm quan để lựa chọn tỷ lệ hỗn hợp gia vị tạo mùi.

Nghiên cứu xác định tỷ lệ các loại gia vị tạo vị: tỷ lệ muối ảnh hưởng rất nhiều đến vị của sản phẩm. Khi bổ sung quá nhiều muối sản phẩm sẽ có vị mặn cao, rất khó sử dụng trong quá trình dùng hạt nêm chế biến món ăn. Nhưng khi để tỷ lệ muối quá thấp sẽ không tạo được vị và khó trong quá trình bảo quản cho sản phẩm hạt nêm khi lưu thông. Các tỷ lệ muối được thí nghiệm gồm: 16, 18, 20, 22 và 24%. Đánh giá điểm cảm quan và phân tích hàm lượng muối để xác định tỷ lệ muối phù hợp. Nghiên cứu xác định tỷ lệ đường lần lượt như sau: 5, 10, 15, 20%. Đánh giá điểm cảm quan để xác định tỷ lệ đường phù hợp.

Nghiên cứu xác định tỷ lệ tinh bột bắp: tinh bột bắp được sử dụng với mục đích kết dính các bột đậm với các thành phần gia vị khác, 4 thí nghiệm với tỷ lệ tinh bột bắp lần lượt là 20, 25, 30 và 35%. Đánh giá điểm cảm quan và xác định hàm lượng carbohydrat sao cho sản phẩm đạt 30-33%, từ đó lựa chọn tỷ lệ tinh bột bắp phù hợp.

Chất lượng sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra: tiến hành đánh giá cảm quan, phân tích các chỉ tiêu hóa học và vi sinh của sản phẩm hạt nêm từ phụ phẩm cá tra và so sánh hàm lượng protein tổng số với các sản phẩm hạt nêm cùng loại khác trên thị trường.

Phương pháp phân tích

Phương pháp lấy mẫu theo TCVN 5276-90. Phương pháp xác định đạm tổng số Nts theo TCVN 3705-90. Phương pháp xác định hàm ẩm theo TCVN 8135-90. Phân tích đánh giá cảm quan theo phương pháp mô tả cho điểm TCVN 3215-79 với hội đồng đánh giá cảm quan 5 người và thang điểm như được thể hiện trên bảng 1. Sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra được pha vào nước nóng với tỷ lệ 10-15 g trong 500 ml nước.

Bảng 1. Thang điểm cảm quan của bột nêm phụ phẩm cá tra.

Chỉ tiêu	Thang điểm					Hệ số quan trọng
	5	4	3	2	1	
Màu	Màu vàng sáng, đồng nhất	Màu vàng, đồng nhất	Màu vàng, nâu không đồng nhất	Nâu nhạt	Nâu thẫm	1
Mùi	Mùi thơm, không tanh	Mùi thơm nhẹ, không tanh	Không rõ mùi thơm, tanh nhẹ	Tanh nhẹ	Tanh	1,2
Vị	Đậm đà, ngọt hậu vị	Đậm đà, ngọt hậu vị ít	Nhạt, hậu vị ngọt rõ	Nhạt, hậu vị ít	Nhạt, không có ngọt hậu vị	0,8
Trạng thái	Bột khô, tơi, xốp	Bột khô, tơi, hơi cứng	Bột khô, cứng, không tơi	Bột ẩm, vón cục nhẹ	Vón cục, cứng	1

Kết quả và thảo luận

Kết quả phân tích chất lượng bột đậm thu hồi từ phụ phẩm cá tra sử dụng trong sản xuất bột nêm

Bột đậm sử dụng trong nghiên cứu là sản phẩm của quy trình thủy phân phụ phẩm cá tra (đầu, xương, vây, bụng) dạng bột sấy phun tơi, mịn, không vón cục, có màu vàng nhạt, mùi thơm đặc

trung của bột cá, không rõ mùi tanh, vị ngọt rất đặc trưng, chất lượng bột đậm được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả phân tích chất lượng sản phẩm bột đậm phụ phẩm cá tra.

TT	Chỉ tiêu	Đơn vị đo	Kết quả phân tích	Phương pháp phân tích
I Chỉ tiêu dinh dưỡng				
1	Protein	%	63,17±0,12	TCVN 3705-1990
2	Amino acid tổng	%	6,41±0,25	TCVN 3708-1990
3	Naa/Nts	%	63,42± 0,15	
4	Độ ẩm	%	4,80±0,25	TCVN 3702 - 1990
5	Lipid tổng số	%	0,85±0,06	TCVN 3701-1990
6	Tro tổng	%	2,72±0,05	TCVN 5105-2009
II Chỉ tiêu an toàn vệ sinh thực phẩm về vi sinh vật				
7	Tổng số vi sinh vật hiếu khí	cfu/g	3,3x10 ²	ISO 4833-1:2013
8	<i>C. perfringens</i>	cfu/g	<10	ISO 7937:2004
9	<i>E. coli</i>	cfu/g	<10	ISO 16649-2:2001
10	<i>Staphylococcus aureus</i>	cfu/g	<10	AOAC 975.55
11	<i>Salmonella</i>	(cfu/25 g)	KPH	ISO 6579-1:2017
12	<i>V. parahaemolyticus</i>	cfu/g	<10	NMKL 156:1997
13	Tổng số bào tử nấm men và nấm mốc	cfu/g	KPH	ISO 21527-2:2008

KPH: không phát hiện, Naa: đạm axit amin, Nts: đạm tổng số.

Từ kết quả phân tích thành phần hóa học cho thấy, bột đậm từ nguồn phụ phẩm cá tra có giá trị dinh dưỡng cao, hàm lượng protein của bột đậm chiếm đến 63,17% đạt yêu cầu quy cách của bột cá thực phẩm [9]. Đặc biệt, tỷ lệ Naa/Nts đạt 63,42%, tương đương với tỷ lệ Naa/Nts của bột đậm moi 62,59%, bột đậm cá nục 60,4% trong nghiên cứu [10]. Hàm lượng các acid amin tự do cao sẽ giúp sản phẩm được tiêu hóa và hấp thụ nhanh. Các chỉ tiêu về vi sinh vật đều trong ngưỡng an toàn theo Quyết định số 46/2007/QĐ-BYT. Do đó bột đậm thủy phân từ phụ phẩm cá tra là nguồn nguyên liệu thích hợp để sản xuất các sản phẩm dinh dưỡng như bột nêm, bánh, snack hay được sử dụng để tăng cường hàm lượng đạm trong thực phẩm.

Kết quả lựa chọn tỷ lệ bột đậm phụ phẩm cá tra

Với tỷ lệ protein của bột đậm phụ phẩm cá tra đạt 63,17±0,12%, nhóm tác giả sẽ thay đổi tỷ lệ bột đậm trong công thức bột nêm phụ phẩm cá tra từ 25-45%. Kết quả phân tích protein và đánh giá cảm quan được trình bày ở bảng 3.

Bảng 3. Kết quả phân tích protein và đánh giá cảm quan.

Tỷ lệ bột đậm	Hàm lượng protein (%)	Đánh giá cảm quan
CT1: 25%	15,80	Mùi thơm nhẹ, không rõ hậu vị, màu vàng nhạt
CT2: 30%	18,95	Mùi thơm, hậu vị ngọt ít, màu vàng nhạt
CT3: 35%	22,11	Mùi thơm rõ, rõ hậu vị, màu vàng
CT4: 40%	25,27	Đậm mùi bột đậm, hậu vị rõ, màu vàng đậm
CT5: 45%	28,42	Đậm mùi bột đậm, hậu vị rõ, màu vàng đậm

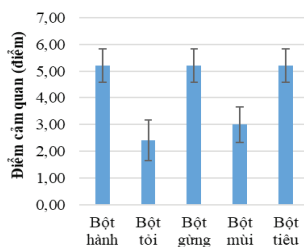
Với mục đích tăng giá trị dinh dưỡng cho sản phẩm bột nêm và giá thành sản xuất không quá cao, trong nghiên cứu này, tỷ lệ protein cần đạt trong sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra được

xác định từ 18-22%, theo đó CT2 và CT3 sẽ đáp ứng được yêu cầu chất lượng của sản phẩm. Hàm lượng protein của sản phẩm bột nêm cá tra trong nghiên cứu tương đồng với hàm lượng protein trong các nghiên cứu sản xuất bột nêm tôm 21,4% [7], bột gia vị dinh dưỡng từ cá ngừ 21-36,2% [8]. Các sản phẩm trên thị trường trong nước hiện nay có hàm lượng protein dao động từ 18-22%, tuy nhiên tỷ lệ bột đậm từ nguyên liệu chính (bột thịt, nước cốt xương, bột đậm) rất thấp (2-3%), còn lại là nguồn protein từ đạm thực vật thủy phân và bột chiết xuất nấm men. Trong khi các sản phẩm nhập khẩu như hạt nêm cá ngừ Topvalu có protein 20%; hạt nêm tôm Ajinomoto có protein 22,8%; và tỷ lệ bột đậm từ nguyên liệu chính (cá, tôm) chiếm tỷ lệ cao (20-50%).

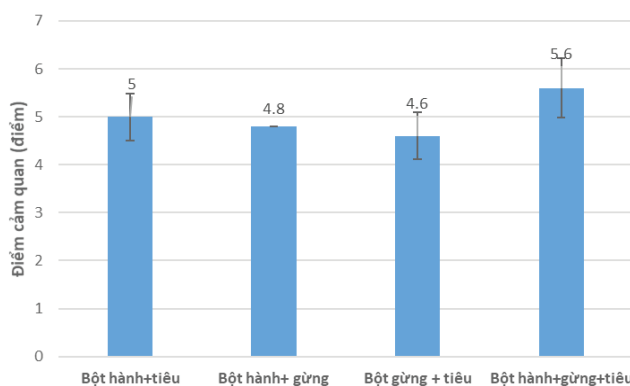
Do đó, đánh giá bằng chỉ tiêu protein và cảm quan cho thấy tỷ lệ bột đậm phụ phẩm cá tra bằng 30-35% là phù hợp để sản xuất bột nêm từ phụ phẩm cá tra.

Kết quả nghiên cứu lựa chọn và xác định tỷ lệ các gia vị tạo mùi cho sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra

Kết quả nghiên cứu lựa chọn các loại gia vị tạo mùi cho sản phẩm bột nêm phụ phẩm cá tra: sau khi lựa chọn được tỷ lệ bột đậm phụ phẩm cá tra phù hợp với quá trình sản xuất bột nêm, nhóm tác giả tiếp tục lựa chọn các loại gia vị như bột hành, tỏi, gừng, tiêu, mùi giúp tăng mùi vị cho sản phẩm. Kết quả đánh giá điểm cảm quan về mùi khi kết hợp bột đậm từ phụ phẩm cá tra với các nhóm gia vị khác nhau được thể hiện trên hình 1 và 2.



Hình 1. Kết quả cảm quan của từng loại gia vị tạo mùi kết hợp với bột đậm phụ phẩm cá tra.



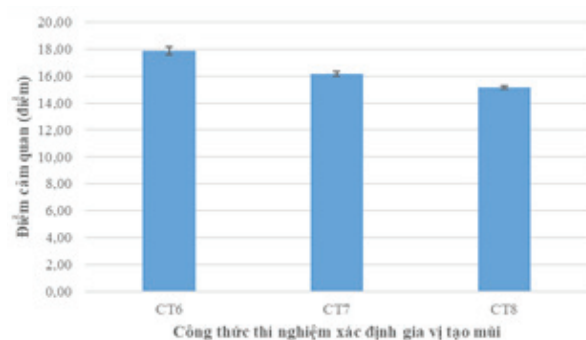
Hình 2. Kết quả điểm cảm quan khi kết hợp hỗn hợp các gia vị tạo mùi với bột đậm phụ phẩm cá tra.

Qua khảo sát thành phần các sản phẩm bột nêm hiện có trên thị trường trong nước cho thấy các gia vị như bột hành, bột tỏi, bột gừng, bột mùi (ngò) là những gia vị tạo mùi, hương phổ biến cho

sản phẩm bột nêm. Trong nghiên cứu này, kết hợp bột đậm phụ phẩm cá tra với từng gia vị như bột tỏi và bột mùi không hài hòa, không kích thích vị giác khi cảm quan (thể hiện rõ ở mức điểm cảm quan rất thấp, lần lượt là $2,40 \pm 0,76$ và $3,00 \pm 0,66$ điểm). Đối với bột hành, gừng, tiêu thu được mức điểm cảm quan cao ở mức $5,20 \pm 0,62$ điểm (hình 1). Ngoài ra, đặc tính của bột hành có chứa nhiều tinh dầu allixin có tác dụng diệt khuẩn mạnh, chống oxy hóa, là một chất bảo quản tự nhiên giúp tăng thời gian bảo quản của sản phẩm. Bột gừng và bột tiêu giúp tăng hương vị cho các sản phẩm có nguồn gốc từ cá.

Khi kết hợp lần lượt bột hành và bột tiêu, bột hành và bột gừng, bột gừng và bột tiêu với bột đậm, điểm cảm quan thu được ở mức khá cao, lần lượt là $5,00 \pm 0,49$; $4,80 \pm 0$; $4,60 \pm 0,49$ điểm, nhưng mùi của sản phẩm vẫn chưa hài hòa, chưa kích thích khứu giác của người sử dụng. Nhưng khi kết hợp đủ 3 loại gia vị bột gừng, bột hành, bột tiêu, sản phẩm đã có mùi tốt hơn với điểm cảm quan đạt mức $5,60 \pm 0,62$ điểm (hình 2). Sản phẩm đã kích thích được khứu giác của người sử dụng, hài hòa với quá trình nêm nhém khi chế biến. Mặt khác trong những nghiên cứu đã được công bố trước đây, các tác giả cũng sử dụng bột hành, tiêu, gừng trong sản phẩm bột nêm có nguồn gốc từ hải sản như sử dụng 3% bột tiêu, 4% bột gừng cho sản phẩm gia vị hải sản từ bột đậm thủy phân nội tạng bạch tuộc [11]; sử dụng 0,05 g bột gừng, 0,15 g bột hành, 0,1 g tiêu trắng trong sản phẩm gia vị ăn liền từ hải sản [12]. Do đó, nhóm gia vị tạo mùi cho sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra bao gồm bột hành, bột tiêu, bột gừng.

Kết quả nghiên cứu xác định tỷ lệ các gia vị tạo mùi: điểm cảm quan được thể hiện trên hình 3. Với 3 công thức thực nghiệm trên, điểm cảm quan thu được cao nhất ở CT6, đạt $17,88 \pm 0,30$ điểm và thấp nhất tại CT8 với $15,18 \pm 0,12$ điểm. Với nhóm gia vị này, bột tiêu và gừng có tính nóng vị cay thường được bổ sung với một tỷ lệ rất thấp trong các gia vị món ăn.



Hình 3. Kết quả điểm cảm quan xác định tỷ lệ các gia vị tạo mùi. CT6: 1% bột hành, 0,5% bột tiêu, 0,5% bột gừng; CT7: 0,5% bột hành, 1% bột tiêu, 0,5% bột gừng; CT8: 0,5% bột hành, 0,5% bột tiêu, 1% bột gừng.

Trong các sản phẩm trên thị trường hiện nay cũng như trong các nghiên cứu trước đây: bột nêm từ đầu tôm, bột gia vị cá ngừ đã công bố cũng sử dụng tỷ lệ các gia vị tạo mùi (gừng, tiêu, hành) trong mức 0,5-4% [8], sản phẩm bột gia vị ăn liền từ hải sản, bột bạch tuộc tỷ lệ hỗn hợp bột gia vị gừng, tiêu, hành trong khoảng 6,5-10,5% [11, 12].

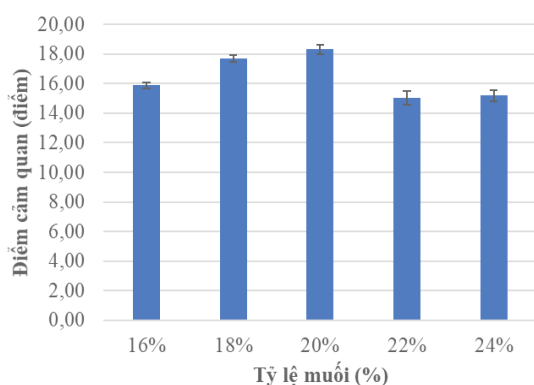
Do đó, căn cứ trên kết quả đánh giá cảm quan, nghiên cứu xác định tỷ lệ hỗn hợp gia vị 1% bột hành, 0,5% bột tiêu, 0,5% bột gừng cho quá trình sản xuất bột nêm dinh dưỡng từ phụ phẩm cá tra là phù hợp.

Kết quả nghiên cứu xác định tỷ lệ các gia vị tạo vị cho sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra

Qua kết quả khảo sát ghi nhận được các chất tạo vị như muối, bột ngọt, đường, các chất điều vị siêu ngọt như E621, E635, E627 là những gia vị, phụ gia phổ biến trong các sản phẩm bột nêm hiện có trên thị trường. Trong các nghiên cứu đã công bố thì các gia vị phổ biến bao gồm đường, muối, mỳ chính, tinh bột có trong thành phần các loại bột gia vị như bột nêm tôm [7], bột nêm cá nục [8], bột gia vị bạch tuộc [11], bột gia vị hải sản [12].

Đối với bột đậm từ phụ phẩm cá tra là sản phẩm của quá trình thủy phân bằng enzyme nên có chứa nhiều các axit amin thành phần. Vị của thực phẩm phụ thuộc phần lớn vào loại axit amin có trong thực phẩm đó, thành phần và hàm lượng axit amin quyết định mạnh mẽ tới vị của thực phẩm [13]. Với đặc thù hàm lượng acid glutamic thịt cá tra cao từ 5,88-6,91% chất khô, chiếm tỷ lệ lớn nhất trong các acid amin thành phần [14], cao hơn nhiều so với hàm lượng acid glutamic có trong các thịt nguyên liệu thủy sản khác như trong thịt cá chép, cá hồi, cá ngừ, mực, tôm lần lượt 2,25; 3,22; 3,48; 2,11; 2,84 g/100 g [15]. Acid glutamic là một trong những acid amin cơ bản tạo vị “umami” là vị ngon ngọt cho sản phẩm [15], là thành phần chính trong sản xuất bột ngọt.

Kết quả nghiên cứu xác định tỷ lệ muối: kết quả cảm quan và phân tích hàm lượng muối được thể hiện ở hình 4 và bảng 4.



Hình 4. Kết quả điểm cảm quan của các công thức xác định tỷ lệ muối.

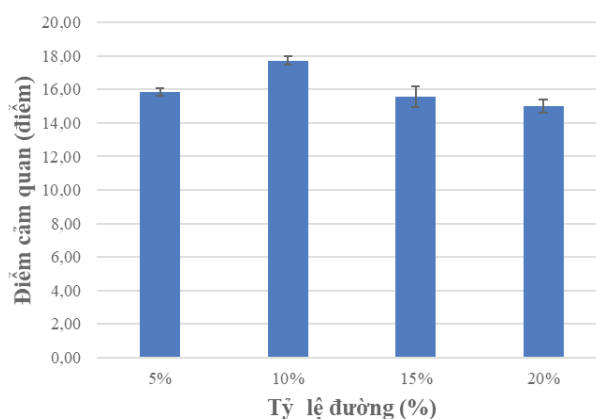
Bảng 4. Kết quả phân tích hàm lượng muối.

STT	Tỷ lệ muối (%)	Hàm lượng NaCl (%)
1	16	15,67±0,24
2	18	17,86±0,31
3	20	19,24±0,12
4	22	21,61±0,27
5	24	23,84±0,10

Khi sử dụng muối ở tỷ lệ 22 và 24%, điểm cảm quan thu được ở mức trung bình với số điểm lần lượt là 15,03±0,45 và 15,18±0,38 điểm. Khi sử dụng 2 tỷ lệ muối này bột nêm thu được có vị mặn cao, hàm lượng NaCl ở mức 21,61±0,27% và 23,84±0,10%, cao hơn so với yêu cầu chất lượng của sản phẩm (hàm lượng NaCl trong ngưỡng 18-20%). Nhưng khi giảm xuống 20 và 18% thì điểm cảm quan đã đạt mức khá với số điểm lần lượt là 18,32±0,31 và 17,72±0,24 điểm, được hội đồng cảm quan đánh giá rất cao, vị mặn vừa phải, rất phù hợp khi sử dụng sản phẩm vào quá trình chế biến các món ăn. Đặc biệt, với tỷ lệ muối sử dụng 20% vị của sản phẩm rất hài hòa, tăng mùi vị đặc trưng của sản phẩm và độ ngọt hậu vị với hàm lượng muối đạt 19,24±0,12% (trong ngưỡng cho phép của sản phẩm). Hàm lượng muối trong sản phẩm bột nêm cá tra đang thấp hơn so với một số sản phẩm bột nêm đã công bố như bột nêm tôm, bột nêm cá nục, cá ngừ đã nêu ở phần trên. Sản phẩm bột nêm cá tra không bổ sung bột ngọt để điều vị, mà có sẵn hàm lượng cao acid glutamic trong thành phần nên có vị ngọt tự nhiên, nếu sử dụng hàm lượng muối cao sẽ ảnh hưởng đến vị ngọt của sản phẩm. Do đó nghiên cứu lựa chọn tỷ lệ muối 20% cho quá trình sản xuất bột nêm từ phụ phẩm cá tra.

Kết quả nghiên cứu xác định tỷ lệ đường: đường đóng một vai trò quan trọng làm dịu vị mặn của muối, giúp sản phẩm có vị hài hòa hơn. Tỷ lệ đường trong sản phẩm được khảo sát lần lượt như sau: 5, 10, 15, 20%. Kết quả điểm cảm quan được thể hiện ở hình 5.

Với tỷ lệ đường sử dụng là 5% sản phẩm đạt điểm 15,85±0,23, đạt mức điểm khá, nhưng do tỷ lệ đường sử dụng còn thấp, vị của sản phẩm vẫn chưa được hài hòa. Khi sử dụng tỷ lệ đường 10% điểm cảm quan là 17,72±0,24, đạt mức điểm khá và sản phẩm có vị hài hòa hơn, tăng độ ngọt cho sản phẩm, giúp sản phẩm hạt nêm khi chế biến các món ăn ngon hơn.



Hình 5. Kết quả điểm cảm quan xác định tỷ lệ đường.

Tiếp tục tăng tỷ lệ đường lên 15 và 20%, điểm cảm quan giảm mạnh còn 15,57±0,63 và 15,00±0,39 điểm do ở các tỷ lệ đường này sản phẩm quá ngọt, phá vỡ sự hài hòa trong mùi vị của sản phẩm. Vị ngọt của đường đã át hết vị ngọt của bột đậm.

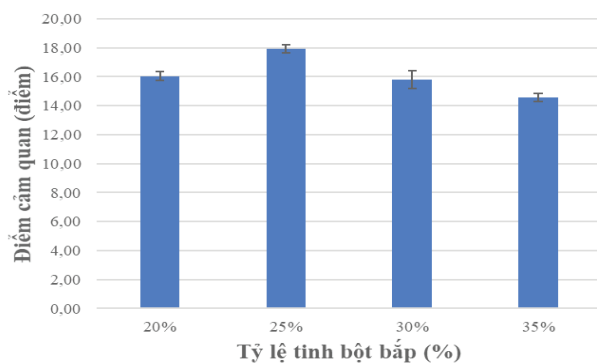
Do đó nghiên cứu đã lựa chọn tỷ lệ đường 10% cho quá trình sản xuất bột nêm từ phụ phẩm cá tra. Nghiên cứu của Bùi Trọng

Tâm (2020) [16] cũng đã sử dụng 10% đường trong sản xuất bột nêm dinh dưỡng từ cá nục và nghiên cứu của Bùi Xuân Đông (2019) [8] cũng sử dụng 10% đường trong sản xuất bột gia vị cá ngừ.

Kết quả nghiên cứu xác định tỷ lệ tinh bột bắp trong sản xuất bột nêm từ phụ phẩm cá tra

Hàm lượng carbohydrat trong sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra bao gồm thành phần carbohydrat có trong đường, tinh bột bắp và chất trợ sây maltodextrin trong bột đậm phụ phẩm cá tra 2,5%. Để xác định tỷ lệ tinh bột bắp phù hợp, chúng tôi bổ sung tinh bột bắp với các tỷ lệ: 20, 25, 30, 35% và tiến hành đánh giá cảm quan, phân tích hàm lượng carbohydrat cho từng mẫu.

Kết quả cảm quan và hàm lượng carbohydrat được thể hiện ở hình 6 và bảng 5.



Hình 6. Biểu đồ điểm cảm quan lựa chọn tỷ lệ tinh bột bắp phù hợp.

Bảng 5. Kết quả phân tích hàm lượng carbohydrat.

Bột bắp	Hàm lượng carbohydrat
20%	26,52±0,14%
25%	30,22±0,27%
30%	33,11±0,30%
35%	37,15±0,16%

Khi sử dụng tinh bột bắp 30 và 35% điểm cảm quan đạt thấp, lần lượt là 15,80±0,63 và 14,58±0,29 điểm, hàm lượng tinh bột càng cao, càng ảnh hưởng tới độ hòa tan của hạt nêm trong nước. Với tỷ lệ 20 và 25% mức điểm cảm quan thu được ở mức khá, lần lượt là 16,05±0,32 và 17,93±0,27 điểm, không ảnh hưởng đến trạng thái của món ăn. Nhưng với tỷ lệ tinh bột bắp 20% thì hàm lượng carbohydrat trong sản phẩm là 26,52±0,14%, không đạt yêu cầu chất lượng của sản phẩm. Mặt khác, tỷ lệ tinh bột 25% cũng được sử dụng trong sản phẩm bột gia vị từ bột thịt cá tra [17]. Do đó, tỷ lệ tinh bột bắp 25% là phù hợp với sản phẩm.

Kết quả hiệu chỉnh công thức bột nêm từ phụ phẩm cá tra

Các thí nghiệm được tiến hành để điều chỉnh lại công thức sao cho tổng các tỷ lệ gia vị đạt 100%. Mục đích là tạo bột nêm có giá trị cảm quan tốt, khi sử dụng vào các món ăn có vị hài hòa, đậm đà, hấp dẫn. Kết quả thể hiện trong bảng 6.

Bảng 6. Kết quả điều chỉnh công thức bột nêm từ phụ phẩm cá tra.

	CT9	CT10	CT11	CT12	CT13	CT14
Bột đậm	30	32	35	30	32	34
Muối	20	20	20	21	21	21
Đường	15	13	10	15	15	13
Bột hành	1	1	1	1,5	1,5	1,5
Bột tiêu	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25
Bột gừng	0,5	0,5	0,5	0,25	0,25	0,25
Tinh bột bắp	33	33	33	32	30	30
Điểm cảm quan	18,01±0,23	16,45±0,31	17,09±0,18	18,14±0,25	16,05±0,20	18,75±0,21
Xếp loại sản phẩm (TCVN 3215-79)	Khá	Khá	Khá	Khá	Khá	Tốt
Protein (%)	18,95±0,25	20,21±0,10	22,11±0,24	18,95±0,25	20,21±0,10	21,48±0,24
NaCl (%)	19,24±0,13	19,19±0,17	19,20±0,14	20,06±0,20	20,11±0,15	19,86±0,13
Carbohydrat (%)	36,07±0,23	36,10±0,17	36,15±0,30	35,31±0,32	32,89±0,17	32,57±0,25

Để sản phẩm có điểm cảm quan cao nhất và thành phần protein cao trong khoảng 18-22%, hàm lượng carbohydrat trong khoảng 30-33%, hàm lượng muối NaCl trong khoảng 18-20% và phù hợp với mọi đối tượng tiêu dùng, nhóm nghiên cứu chọn công thức CT14 gồm: 34% bột đậm phụ phẩm cá tra, 21% muối, 13% đường, 1,5% bột hành, 0,25% bột gừng, 0,25% bột tiêu, 30% tinh bột bắp cho sản phẩm bột nêm phụ phẩm cá tra.

Kết quả phân tích chất lượng sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra

Sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra được đánh giá cảm quan và phân tích các chỉ tiêu hóa học, vi sinh, kết quả được thể hiện trong bảng 7.

Bảng 7. Kết quả phân tích chất lượng sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra.

Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị đo trên sản phẩm	Yêu cầu kỹ thuật	Quy định tham chiếu
Chỉ tiêu cảm quan				
Màu sắc		Màu vàng nhạt	Màu vàng nhạt, vàng	
Mùi vị		Không có vị lạ	Không có vị lạ	TCVN 3215-79
Trạng thái		Dạng bột mịn	Dạng hạt/dạng bột	
Tạp chất		Không có tạp chất	Không có tạp chất	
Chỉ tiêu hoá lý				
Độ ẩm	%	4,71	≤ 10	Tham khảo tiêu chuẩn chất lượng các sản phẩm hiện có trên thị trường
Protein	%	21,48	18-22	
NaCl	%	19,86	18-20	
Carbohydrat	%	32,57	30-33	
Các chỉ tiêu vi sinh vật				
Tổng số vi sinh vật hiếu khí	cfu/g	1,2*10 ²	10 ⁴	
<i>E. coli</i>	cfu/g	0	3	TCVN 7396- 2004, Quyết định số 46/2007/QĐ-BYT
<i>S. aureus</i>	cfu/g	0	10 ²	
<i>Salmonella</i>	cfu/25g	0	0	
Tổng số bào tử nấm men, nấm mốc	cfu/g	0	10 ²	

Sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra có hàm lượng protein đạt 21,48%, cao hơn nhiều so với các sản phẩm bột nêm khác của Việt Nam đang lưu hành trên thị trường như bột nêm Knorr, bột nêm Aji-ngon 20% protein (thông tin ghi trên bao bì). Các chỉ tiêu về vi sinh vật đều nằm trong ngưỡng cho phép theo TCVN 7396-2004 và Quyết định số 46/2007/QĐ-BYT của Bộ Y tế. Với các căn cứ nêu trên, sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra hoàn toàn phù hợp để đưa ra thị trường, đáp ứng nhu cầu của người tiêu dùng.

Kết luận

Nghiên cứu đã tiến hành khảo sát và lựa chọn được các thành phần phù hợp tạo nên bột nêm từ phụ phẩm cá tra có vị hài hòa, hấp dẫn mà không cần dùng đến các chất điều vị và chất tạo ngọt tổng hợp. Kết quả lựa chọn công thức phù hợp cho sản phẩm bột nêm từ phụ phẩm cá tra như sau: 34% bột đậm phụ phẩm cá tra, 21% muối, 13% đường, 1,5% bột hành, 0,25% bột gừng, 0,25% bột tiêu, 30% tinh bột bắp cho sản phẩm bột nêm phụ phẩm cá tra. Sản phẩm bột nêm có kết quả cảm quan tốt, màu vàng nhạt, mùi thơm nhẹ của bột đậm thủy phân phụ phẩm cá tra, vị hài hòa, hàm lượng protein 18-22%, hàm lượng muối 18-20%, carbohydrat 30-33%, đạt các tiêu chuẩn an toàn thực phẩm.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện thông qua Dự án: “Hoàn thiện công nghệ và thiết bị sản xuất bột cá và bột nêm từ phụ phẩm cá Tra”, mã số ĐM.49.DN20. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Bộ Khoa học và Công nghệ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Thị Lan Chi, Bùi Thị Hồng Khanh, Vũ Hồng Thiên (2009), *Nghiên cứu xây dựng quy trình công nghệ sản xuất bột canxi thực phẩm từ phụ phẩm xương cá tra*, Viện Nghiên cứu nuôi trồng thủy sản II.
- [2] M.A. Rahman, M. Saifullah and M.N. Islam (2012), *Fish power in instant fish soup mix*, Department of Food Technology and Rural Industries, Bangladesh Agricultural University.
- [3] A. Jeyakumari, Christin Joseph, A.A. Zynudheen and R. Anandan (2016), “Quality evaluation of fish soup powder supplemented with carrageenan”, *International Journal of Science, Environment and Technology*, **5**(6), pp.4362-4369.

- [4] R.R. Chavan, S.T. Sharangdhar (2015), “Development of fish soup powder from fresh water Cat fish (*Pangasianodon hypophthalmus*)”, *International Journal of Sciences & Applied Research*, **2**(12), pp.88-95.
- [5] Công ty Nielsen Việt Nam (2016), *Báo cáo khảo sát thị trường hạt nêm, bột ngọt Việt Nam 2016*.
- [6] Công ty Nghiên cứu thị trường Kantar Worldpanel (2013), *Khảo sát thị trường bột nêm Việt Nam*.
- [7] Phạm Thị Đan Phượng (2013), “Chế biến bột nêm từ chế phẩm đậm giàu carotenoid thu nhận từ đầu tôm thẻ chân trắng”, *Tạp chí Khoa học - Công nghệ Thủy sản*, **3**, tr.39-46.
- [8] Bùi Xuân Đông (2019), *Dự án: “Sản xuất bột gia vị dinh dưỡng từ cơ thịt sẫm màu cá ngừ bằng công nghệ sinh học”*, Đề án phát triển và ứng dụng công nghệ sinh học trong lĩnh vực công nghiệp chế biến đến năm 2020, Bộ Công Thương.
- [9] Lê Thị Minh Thủy và Trương Thị Mộng Thu (2020), “Nghiên cứu sản xuất bột đậm và bột canxi từ xương cá tra (*Pangasianodon hypophthalmus*) bằng phương pháp thủy phân enzyme”, *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, **56**(2), tr.248-254.
- [10] Lê Hương Thủy (2015), “Nghiên cứu ứng dụng công nghệ enzyme để sản xuất bột đậm thủy phân giàu acid amin từ moi và cá nục ứng dụng trong sản xuất nước mắm công nghiệp”, *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*, **2**, tr.101-106.
- [11] F. Jia-huan, Y. Ying, M. Wei-jie (2018), “Optimization of processing technology of seafood condiments from Octopus Viscera”, *Science and Technology of Food Industry*, **39**(17), pp.193-198.
- [12] F. Fei, S. QingHong, W. XiangYang (2011), “Research on instant rice noodle seasoning formula of seafood flavor”, *China Condiment*, **4**, pp.62-65.
- [13] M. Kawai, Y. Sekine-Hayakawa, A. Okiyama, Y. Ninomiya (2012), “Gustatory sensation of L- and D-amino acids in humans”, *Amino Acids*, **43**(6), pp.2349-2358.
- [14] Trần Minh Phú (2014), “Đánh giá chất lượng cá tra (*Pangasianodon hypophthalmus*) thương phẩm ở các khu vực nuôi khác nhau”, *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, **1**, tr.15-21.
- [15] Nguyễn Công Khẩn (2007), *Bảng thành phần thực phẩm Việt Nam*, Nhà xuất bản Y học.
- [16] Bùi Trọng Tâm (2020), *Báo cáo dự án sản xuất thử nghiệm bột nêm dinh dưỡng từ dịch thủy phân moi và cá nục*, Chương trình công nghệ sinh học nông nghiệp - thủy sản 2020, Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn.
- [17] S.T. Sharangdhar, R.R. Chavan, M.T. Sharangdhar, J.M. Koli and S.Y. Metar (2015), “Development of fish soup powder from fresh water cat fish (*Pangasianodon hypophthalmus*)”, *International Journal of Sciences & Applied Research*, **2**(12), pp.88-95.

Nghiên cứu sấy măng bằng công nghệ sấy bơm nhiệt Sasaki

Đoàn Thị Bắc¹, Tạ Thu Hằng^{1*}, Nguyễn Đắc Bình Minh¹, Nguyễn Thị Hoàng Lan², Trần Thu Trang³

¹Viện Nghiên cứu và Phát triển Vùng, Bộ KH&CN

²Học viện Nông nghiệp Việt Nam

³Công ty Hanel PT

Ngày nhận bài 4/1/2021; ngày chuyển phản biện 8/1/2021; ngày nhận phản biện 26/2/2021; ngày chấp nhận đăng 12/3/2021

Tóm tắt:

Nghiên cứu được tiến hành nhằm khảo sát ảnh hưởng của các chế độ chần ở các nồng độ muối và nhiệt độ sấy bằng công nghệ sấy bơm nhiệt Sasaki đến chất lượng của sản phẩm măng sấy nhằm giữ được màu sắc, hương vị và chất lượng sản phẩm. Măng tươi được cắt thành lát có độ dày 6 mm, được xử lý chần trong nước muối ở 100°C với các nồng độ khác nhau (0, 1, 3, 5%) trong 15 phút, sau đó được sấy ở chế độ nhiệt khác nhau (30, 40, 50°C) bằng máy sấy Sasaki và được kiểm tra độ ẩm, màu sắc, hàm lượng xyanua, vi sinh vật, khả năng bù nước, chất lượng cảm quan sản phẩm. Kết quả cho thấy, măng tươi được chần trong nước muối nóng có nhiệt độ 100°C, nồng độ muối 3% trong 15 phút, được sấy ở 40°C bằng máy sấy Sasaki cho chất lượng tốt nhất. Chế độ xử lý này giúp màu sắc của măng ít biến đổi nhất và sự bù nước tốt nhất so với các chế độ xử lý khác. Măng khô có màu vàng sáng, đều nhau, mùi đặc trưng, dẻo dai, ít bị biến dạng, hàm lượng xyanua thấp và hàm lượng vi sinh đạt dưới ngưỡng, đảm bảo an toàn vệ sinh thực phẩm.

Từ khóa: chần măng, măng bát độ, măng sấy, sấy nhiệt độ thấp.

Chỉ số phân loại: 2.10

Đặt vấn đề

Măng là một trong những loại thực vật được dùng làm món ăn phổ biến và chiếm vị trí quan trọng trong ẩm thực của người dân các nước Đông Nam Á cũng như Việt Nam. Măng chủ yếu được sử dụng ở dạng tươi, khô, cắt nhỏ, ngâm chua, đóng hộp hoặc lên men [1]. Tuy nhiên, hàm lượng carbohydrate và protein của măng giảm sau khi đóng hộp và lên men [2, 3]. Măng có ít chất béo và calo nhưng lại giàu chất dinh dưỡng như vitamin, protein, khoáng chất và chất xơ. Loại thực phẩm này cũng là một nguồn cung cấp kali tốt và chứa flavonoid, phenol tổng số và axit phenolic có khả năng chống oxy hóa [4], chống ung thư, kháng khuẩn, chống viêm [5, 6]. Tuy nhiên, ngoài các chất dinh dưỡng, măng còn chứa một hàm lượng chất độc gây chết người (cyanua) cần được loại bỏ trước khi sử dụng [7] (EFSA 2004). Các glycoside xyanogenic này khi thủy phân nội sinh tạo ra axit hydrocyanic có hại cho con người. Nồng độ hydro xyanua gây chết người cấp tính được báo cáo là 0,5-3,5 mg/kg thể trọng [7]. Bằng cách xử lý thích hợp, chất xyanua có thể được loại bỏ hoặc giảm bớt trước khi tiêu thụ, do đó làm giảm đáng kể nguy cơ gây hại cho sức khỏe con người.

Hiện nay, ở nước ta măng là một trong những cây trồng quan trọng nhưng mang tính thời vụ, dễ hư hỏng trong tự nhiên và thiếu công nghệ sau thu hoạch thích hợp. Do đó, việc chế biến, bảo quản và sử dụng măng đòi hỏi phải có những cơ sở khoa học cùng với kiến thức bản địa của người dân. Măng tươi mới thu hoạch phải được chế biến trước khi nấu để loại bỏ chất độc và vị đắng. Các quá trình (gọt vỏ, cắt lát, rửa dưới dòng nước chảy, đun sôi trong nhiều

giờ...) được người dân áp dụng dựa trên kiến thức truyền thống mà chưa có nghiên cứu khoa học nào về khía cạnh này. Để làm khô măng, người dân thường sấy măng bằng than củi hoặc phơi khô dưới ánh nắng mặt trời. Tuy nhiên, măng được làm khô bằng cách này dễ bị nhiễm khuẩn, không đảm bảo độ khô cần thiết, nếu bảo quản thời gian dài rất dễ bị mốc, hỏng. Do vậy, một số cơ sở sản xuất thủ công đã sử dụng lưu huỳnh là một chất độc trong quá trình sấy khô măng để chống ẩm mốc và tạo màu vàng cho măng có màu đẹp hơn. Một vài doanh nghiệp đã sử dụng phương pháp sấy nóng nhưng thời gian sấy lâu và khó giữ được màu sắc, hương vị ban đầu của sản phẩm. Vì vậy, việc thử nghiệm một công nghệ sấy mới với thời gian ngắn, đảm bảo độ khô, màu sắc và mùi vị cho sản phẩm, đặc biệt là an toàn cho người sử dụng là rất cần thiết.

Với lý do đó, Viện Nghiên cứu và Phát triển Vùng - Bộ KH&CN đã tiến hành “Nghiên cứu bảo quản măng bằng công nghệ sấy bơm nhiệt Sasaki”. Đây là một công nghệ sấy nhiệt độ thấp tuần hoàn độc đáo, được nghiên cứu ứng dụng tại Việt Nam theo tiêu chuẩn của Nhật Bản. Với nguyên lý sấy khô dạng bơm nhiệt, tách nước cưỡng bức ra khỏi sản phẩm sấy, làm bốc hơi nước từ trong sản phẩm, giúp cho sản phẩm giữ nguyên màu, nguyên mùi vị và rút ngắn 50% thời gian sấy, đặc biệt tiết kiệm 83% điện năng tiêu thụ so với sấy nhiệt truyền thống và 43% so với máy sấy dùng bơm nhiệt. Ngoài ra, công nghệ Sasaki có chức năng chiếu tia UV diệt khuẩn, giúp đảm bảo chất lượng, vệ sinh thực phẩm và có hệ thống cảm biến thông minh giúp tự động cân bằng nhiệt độ, độ ẩm trong buồng sấy, kết nối các hệ thống quản trị thông minh.

*Tác giả liên hệ: Email: ttrang311@yahoo.com

Study on drying bamboo shoots by Sasaki heat pump drying technology

Thi Bac Doan¹, Thu Hang Ta^{1*}, Dac Binh Minh Nguyen¹,
Thi Hoang Lan Nguyen², Thu Trang Tran³

¹Institute of Regional Research and Development,
Ministry of Science and Technology

²Vietnam National University of Agriculture

³Hanel PT Company

Received 4 January 2021; accepted 12 March 2021

Abstract:

The study was conducted to investigate the effects of blanching regimes at the salt concentration and drying temperature using Sasaki heat pump drying technology on the quality of dried bamboo shoots to create a product that can be kept color, flavour, and quality. Fresh bamboo shoots were cut into slices with a thickness of 6 mm, boiled in hot saltwater at 100°C at different concentrations (0, 1, 3, 5%) for 15 minutes. Then, they were dried in the temperature setting differences (30, 40, 50°C) by Sasaki dryers and tested for moisture, color, cyanide content, microorganisms, water compensation capacity, and product sensory quality. Fresh bamboo shoots were boiled in hot saltwater at 100°C, 3% salt concentration for 15 minutes, and dried at 40°C by Sasaki drier for the best quality. This treatment mode provides the lowest color variation and the best water compensation compared to other treatment modes. Dried bamboo shoots are bright yellow, uniform color, characteristic odour, toughness with little deformation, low cyanide content, and microbiological content below the threshold of food hygiene and safety.

Keywords: bat do bamboo shoots, blanching bamboo shoots, dried bamboo shoots, low-temperature drying.

Classification number: 2.10

Đối tượng, thời gian, thiết bị và phương pháp nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu

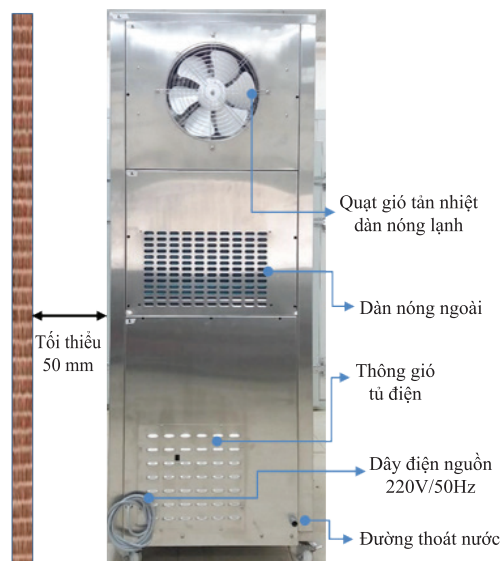
Đối tượng nghiên cứu là măng bát độ, mua tại thị trấn Lập Thạch, tỉnh Vĩnh Phúc. Thời gian từ khi thu hái đến khi đưa vào thí nghiệm không quá 24 h. Măng được lựa chọn đồng đều về kích thước, sau khi thu hái được bóc vỏ, rửa sạch và xử lý theo các công thức.

Thời gian nghiên cứu

Thời gian thực hiện nghiên cứu từ tháng 4 đến tháng 10/2020.

Thiết bị nghiên cứu

Máy sấy Sasaki sử dụng để nghiên cứu có model HPTSASAKI010, sản xuất tại Việt Nam, là dòng máy sấy bơm nhiệt nhỏ được tích hợp các hệ thống hút ẩm, tạo nhiệt, điều khiển, quạt gió trong cùng một thân máy với buồng sấy, khối lượng sấy tối đa 100 kg tùy theo loại sản phẩm (hình 1). Nhiệt độ sấy rộng, trong khoảng 3-80°C.



Hình 1. Khái quát một số bộ phận của thiết bị sấy Sasaki HPTSASAKI010.

Phương pháp nghiên cứu

Bố trí thí nghiệm:

Thí nghiệm 1: Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ chần măng tươi đến chất lượng sản phẩm măng sấy khô. Nguyên liệu măng sau thu hái được đưa về phòng thí nghiệm để sơ chế và làm sạch, thái miếng dọc theo thân măng với độ dày 6 mm, sau đó tiến hành xử lý nhiệt bằng cách chần trong nước muối nóng 100°C ở các nồng độ muối khác nhau (0, 1, 3, 5%) trong 15 phút, vớt ra rửa sạch để ráo nước, chuẩn bị cho công đoạn sấy khô.

Thí nghiệm 2: Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến chất lượng sản phẩm măng sấy khô. Nguyên liệu măng tươi sau khi được thái lát và xử lý chần ở nồng độ muối tốt nhất (kết quả của thí nghiệm 1) được đem đi sấy tại các nhiệt độ khác nhau (30, 40, 50°C) đến độ ẩm 6-7%.

Phương pháp phân tích các chỉ tiêu:

- Độ ẩm của sản phẩm được xác định theo phương pháp sấy khô đến khối lượng không đổi theo TCVN 4415:1987.

- Xác định chỉ số màu sắc (L, a, b) bằng máy đo màu sắc cầm tay NR3000. Đo tại 3 vị trí khác nhau trên lát cắt của sản phẩm, giá trị màu sắc được đánh giá theo hệ thống CIE (L, a, b). Giá trị tổng chênh lệch màu sắc (DE) của quá trình sấy măng được tính theo công thức: $DE = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2}$, trong đó: ΔE = tổng chênh lệch màu sắc; ΔL = sự khác biệt của độ sáng; Δa = sự khác biệt của độ đỏ; Δb = sự khác biệt của độ vàng.

- Sự bù nước được thể hiện thông qua tỷ lệ bù nước. Tỷ lệ bù nước cho ta biết khả năng của sản phẩm sấy khô tăng khối lượng lên bao nhiêu lần sau khi cho hút nước, được xác định bằng cách ngâm mẫu sau khi sấy khô vào nước ở nhiệt độ phòng (25°C) và 100°C.

Tỷ lệ bù nước = $\frac{m_2 - m_1}{m_1} \times 100$ (%), trong đó m_1 là khối lượng mẫu sấy khô đem đi bù nước (g); m_2 là khối lượng mẫu sấy khô đã ngâm nước (g).

- Đánh giá chất lượng cảm quan dựa vào phương pháp cho điểm theo TCVN 3215-79. Hàm lượng *Coliform* xác định theo TCVN 6848-2007. Hàm lượng *E. coli* xác định theo TCVN 7924-2:2008. Tổng số bào tử nấm men - mốc xác định theo TCVN 8275-2:2010. Hàm lượng vi sinh vật hiếu khí tổng số xác định theo TCVN 4884:2005. Hàm lượng xyanua được xác định dựa theo phương pháp quang phổ của Hogg và Ahlgren (1942) [8].

Phương pháp xử lý số liệu: số liệu được xử lý thống kê bằng phần mềm Minitab 16 ở mức ý nghĩa $p=0,05$ với 3 lần lặp lại và phần mềm Microsoft Excel 2007.

Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Ảnh hưởng của chế độ chần măng tươi đến thời gian sấy và chất lượng sản phẩm măng sấy

Ảnh hưởng của chế độ chần măng tươi đến khả năng tách ẩm và thời gian sấy măng: kết quả đánh giá độ ẩm và thời gian sấy khô giữa các công thức măng chần với nước nóng có nồng độ muối khác nhau được thể hiện trong bảng 1.

Bảng 1. Ảnh hưởng của chế độ chần măng tươi đến khả năng tách ẩm và thời gian sấy măng.

% NaCl	Độ ẩm măng tươi (%)	Độ ẩm trung bình măng sau sấy (%)	Thời gian sấy (phút)
ĐC (0)		6,37 ^a	990
1	88,49	6,33 ^a	975
3		6,31 ^a	960
5		6,35 ^a	945

Ghi chú: các giá trị trong cùng một cột có chỉ số mũ khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa ở mức ý nghĩa $p=0,05$.

Số liệu bảng 1 cho thấy, chế độ chần măng bằng nước muối nóng có ảnh hưởng đến thời gian sấy khô măng để đạt được độ ẩm từ 6-7%. Ở công thức măng được chần với nước nóng có bổ sung thêm muối có thời gian sấy ngắn hơn so với công thức đối chứng (măng chần với nước nóng không bổ sung muối), trong đó công thức măng chần nước nóng có nồng độ muối 5% cho thời gian sấy ngắn nhất (945 phút). Mẫu măng chần bằng nước nóng không có muối thì thời gian sấy lâu nhất (990 phút). Từ đó, có thể thấy chế độ chần măng tươi có bổ sung thêm muối ảnh hưởng đến khả năng tách ẩm và thời gian sấy khô măng. Sự ảnh hưởng này có thể liên quan đến sự tách nước thẩm thấu trong giai đoạn tiền xử lý nguyên liệu trong các dung dịch thẩm thấu. Quá trình này phụ thuộc vào hiện tượng khuếch tán độ ẩm từ nguyên liệu thực phẩm bằng cách ngâm trong dung dịch ưu trương, ở môi trường nước muối có một phần muối ngấm vào trong tế bào và nước thì ngấm qua màng tế bào và đi ra. Thêm vào đó, việc bổ sung muối còn giúp ngăn cản

sự phát triển của một số vi sinh vật gây độc trong sản phẩm [9, 10].

Ảnh hưởng của chế độ chần măng tươi đến màu sắc của măng sấy: chế độ chần có ảnh hưởng lớn đến chất lượng và giá trị cảm quan, đồng thời giúp ổn định cấu trúc và màu sắc cho sản phẩm. Kết quả đánh giá màu sắc của lát măng ở các chế độ chần được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của chế độ chần măng tươi đến màu sắc của măng sấy.

Chỉ số	% NaCl	Măng tươi	Măng sau khi chần	Măng sau sấy
Chi số L	59,41	ĐC (0)	41,98 ^c	38,35 ^d
		1	44,57 ^b	44,79 ^c
		3	45,92 ^a	49,90 ^a
		5	45,70 ^a	46,42 ^b
Chi số a	8,10	ĐC (0)	6,26 ^b	12,12 ^b
		1	7,66 ^a	15,42 ^a
		3	7,55 ^a	16,53 ^a
		5	7,20 ^a	16,44 ^a
Chi số b	24,36	ĐC (0)	27,35 ^a	41,85 ^a
		1	27,22 ^a	37,75 ^b
		3	25,28 ^c	36,13 ^c
		5	26,12 ^b	40,83 ^a
ΔE		CT1	17,78 ^a	27,68 ^a
		CT2	15,12 ^b	21,14 ^c
		CT3	13,52 ^c	17,33 ^d
		CT4	13,85 ^c	22,58 ^b

Ghi chú: các giá trị trong cùng một cột có chỉ số mũ khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa ở mức ý nghĩa $p=0,05$.

Từ số liệu bảng 2 cho thấy, chần măng tươi ở các nồng độ muối khác nhau đều có ảnh hưởng đến màu sắc của các mẫu măng sau chần và sấy khô. Sau khi chần, các chỉ số được xử lý thống kê ($p=0,05$) có sự khác nhau về màu sắc giữa các mẫu măng. Chỉ số L (độ sáng) của măng được chần bằng nước muối có nồng độ 3 và 5% là khác nhau không có ý nghĩa thống kê, nhưng có sự khác biệt với các mẫu măng chần bằng nước không có muối và nước muối có nồng độ 1%. Chỉ số L cao nhất khi măng được chần bằng nước muối có nồng độ 3% (45,92), thấp nhất khi chần bằng nước sôi không có muối (41,98).

Sau khi sấy, màu sắc của 4 mẫu măng đều có sự sai khác khi xử lý thống kê. Các mẫu măng được chần bằng nước muối sau khi sấy cho chỉ số L tăng so với mẫu trước khi sấy, nhưng với mẫu chần ở công thức đối chứng không có muối thì chỉ số L lại bị giảm từ 41,98 xuống 38,35. Mẫu măng sấy sau khi chần bằng nước muối 3% có chỉ số L cao nhất (49,90).

Giá trị a của tất cả các mẫu đều giảm đi sau khi chần, sau đó đều có xu hướng tăng lên sau khi sấy khô. Măng chần ở nồng độ muối 1, 3, 5% có xu hướng tăng cao hơn nhưng không có sự khác biệt giữa hai công thức khi xử lý thống kê. Chỉ số a thấp nhất là công thức đối chứng chần măng trong nước nóng không có muối.

Giá trị b của các công thức sau khi sấy có xu hướng tăng lên sau khi chần và sấy khô, và sự tăng lên này khác nhau giữa các công thức. Tổng chênh lệch màu sắc ΔE có sự khác biệt giữa măng sau khi sấy khô và mẫu măng tươi, giá trị ΔE thấp nhất ở măng sấy sau khi chần bằng nước muối nồng độ 3% (17,33). Từ đó, có thể thấy măng tươi được chần bằng nước muối nồng độ 3% sau khi sấy

có các chỉ số màu sắc tốt nhất.

Ảnh hưởng của chế độ chần măng tươi đến sự bù nước của sản phẩm măng sấy: đặc tính bù nước của các sản phẩm sấy khô được sử dụng rộng rãi làm chỉ số chất lượng. Tỷ lệ bù nước hợp lý chứng tỏ sự ổn định cấu trúc tế bào của sản phẩm. Sau khi tính toán và xử lý thống kê ($p=0,05$), tỷ lệ bù nước của các mẫu măng tại các thời điểm được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng của chế độ chần măng tươi đến sự bù nước (%) của sản phẩm măng sấy.

Nhiệt độ bù nước (°C)	Thời gian bù nước (phút)	% NaCl			
		ĐC	1	3	5
25	30	127,67 ^d	155,50 ^a	187,17 ^a	169,00 ^b
	60	214,83 ^c	261,50 ^a	265,83 ^a	242,00 ^b
	90	287,67 ^d	312,67 ^b	321,17 ^a	295,50 ^c
	120	329,67 ^c	350,83 ^b	357,33 ^a	322,83 ^d
100	3	101,17 ^d	143,00 ^a	152,67 ^a	150,17 ^b
	6	195,83 ^d	203,33 ^c	223,17 ^a	208,67 ^b
	9	236,33 ^d	242,67 ^c	273,67 ^a	251,33 ^b
	12	265,67 ^d	271,17 ^c	303,00 ^a	281,00 ^b

Ghi chú: các giá trị trong cùng một hàng có chỉ số mũ khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa ở mức ý nghĩa $p=0,05$.

Kết quả xử lý thống kê ($p=0,05$) ở bảng 3 thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa giữa tỷ lệ bù nước của các mẫu măng khi được chần bằng các nồng độ muối khác nhau. Tỷ lệ này có xu hướng tăng khi tăng nồng độ muối từ 0 lên 3%, sau đó giảm khi tăng nồng độ muối lên 5%. Tỷ lệ bù nước cao nhất là mẫu măng được chần bằng nước muối 3% và thấp nhất ở mẫu măng được chần bằng nước không chứa muối. Kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu của P.R. Nirmala và cộng sự (2018) [11] về ảnh hưởng của NaCl đến sự bù nước của quả lý gai Ấn Độ sấy khô, sự tăng khả năng bù nước có thể liên quan đến lực hút mạnh giữa nước (hợp chất phân cực) với các điện tích âm và dương của NaCl (phân tử lưỡng cực). Tuy nhiên, khi nồng độ muối cao có thể phá vỡ mô tế bào, thành tế bào tạo thành cụm với các tinh thể muối vô định hình làm giảm khả năng hút nước.

Ảnh hưởng của chế độ chần măng tươi đến chất lượng cảm quan của sản phẩm măng sấy: trong lĩnh vực nghiên cứu về thực phẩm và nguyên liệu, những tính chất và quy trình chế biến sẽ luôn đòi hỏi các phép thử cảm quan để đánh giá nhận thức của con người đối với các thay đổi trong sản phẩm. Kết quả đánh giá chất lượng cảm quan của các mẫu măng được thể hiện trong bảng 4.

Bảng 4. Đánh giá chất lượng cảm quan của măng sấy được chần trong các nồng độ muối khác nhau.

% NaCl	Màu sắc	Mùi	Cấu trúc, hình dạng	Tổng điểm có hệ số trọng lượng (điểm)	Xếp loại chất lượng
ĐC (0)	4,3	4,7	4,3	17,6	Khá
1	4,6	4,9	4,3	18,2	Khá
3	4,9	4,9	4,7	19,3	Tốt
5	4,4	4,9	4,6	18,3	Khá

Kết quả bảng 4 cho thấy, măng khi được xử lý trong nước nóng có nồng độ muối 3% được đánh giá xếp loại chất lượng tốt (19,3 điểm) bao gồm màu sắc, mùi và cấu trúc cũng được đánh giá cao nhất (lần lượt là 4,9; 4,9; 4,7 điểm). Các mẫu măng được xử lý chần nước

nóng có nồng độ muối 1 và 5% cũng được đánh giá cảm quan cao hơn so với mẫu măng xử lý chần trong nước nóng không chứa muối. Như vậy, chế độ chần măng tươi bằng nước muối có nồng độ 3% ở 100°C trong 15 phút giúp tiết kiệm thời gian sấy, mà vẫn giữ được màu sắc tươi sáng, tăng sự bù nước và có mùi hương, cấu trúc được đánh giá cao. Chế độ này phù hợp để xử lý măng tươi cho các công đoạn tiếp theo.

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy tới thời gian sấy và chất lượng sản phẩm măng sấy

Măng tươi sau khi được xử lý chần nước muối nồng độ 3% ở 100°C trong 15 phút được đem đi sấy tại các nhiệt độ khác nhau đến độ ẩm 6-7% để xác định nhiệt độ sấy thích hợp và đánh giá chất lượng sản phẩm sau sấy (khối lượng 5 kg/mẻ).

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến khả năng tách ẩm và thời gian sấy măng: kết quả đánh giá các ảnh hưởng của nhiệt độ đến khả năng tách ẩm và thời gian sấy được thể hiện trong bảng 5.

Bảng 5. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến khả năng tách ẩm và thời gian sấy măng.

Nhiệt độ sấy (°C)	Độ ẩm măng tươi (%)	Độ ẩm măng sau sấy (%)	Thời gian sấy (phút)
30°C	88,18 ^a	6,45 ^a	1050
40°C	87,92 ^a	6,44 ^a	960
50°C	87,9 ^a	6,45 ^a	870

Ghi chú: các giá trị trong cùng một cột có chỉ số mũ khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa ở mức ý nghĩa $p=0,05$.

Số liệu bảng 5 cho thấy, nhiệt độ sấy có ảnh hưởng rõ rệt tới khả năng tách ẩm và thời gian sấy măng. Khi sấy măng đến độ ẩm 6-7% thì măng được sấy ở nhiệt độ 50°C có thời gian sấy ngắn nhất (870 phút), măng sấy ở nhiệt độ 30°C có thời gian sấy dài nhất (1050 phút). Như vậy, nhiệt độ sấy càng cao thì thời gian sấy măng càng ngắn và khả năng tách ẩm càng nhanh. Kết quả này cũng phù hợp với nguyên lý của quá trình sấy: nhiệt độ càng cao thì khả năng truyền nhiệt của tác nhân không khí nóng vào nguyên liệu sẽ càng nhanh. Do đó, hàm ẩm trên bề mặt vật liệu sấy sẽ bốc hơi nhanh hơn so với nhiệt độ thấp. Măng có thể sấy ở nhiệt độ 30-50°C, tuy nhiên cần đánh giá chất lượng sản phẩm để tìm ra nhiệt độ sấy phù hợp nhất.

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến màu sắc sản phẩm măng sấy: kết quả ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến chỉ số màu sắc của măng sau khi sấy khô được thể hiện trong bảng 6.

Bảng 6. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến chỉ số màu sắc của măng sau khi sấy.

Nhiệt độ sấy (°C)	Chỉ số L		Chỉ số a		Chỉ số b	
	Măng tươi	Măng sau sấy	Măng tươi	Măng sau sấy	Măng tươi	Măng sau sấy
30	60,38 ^a	51,38 ^a	8,37 ^a	14,80 ^c	24,56 ^a	35,72 ^c
40	60,28 ^a	50,21 ^b	8,48 ^a	16,04 ^b	24,60 ^a	36,36 ^b
50	60,35 ^a	49,59 ^c	8,38 ^a	17,58 ^a	24,63 ^a	37,82 ^a

Ghi chú: các giá trị trong cùng một cột có chỉ số mũ khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa ở mức ý nghĩa $p=0,05$.

Số liệu bảng 6 cho thấy, màu sắc của măng sau khi sấy khô có liên quan đến nhiệt độ sấy. Chỉ số màu sắc L của mẫu măng sấy biến đổi theo xu hướng giảm chỉ số màu sáng, trong khi chỉ số a

(màu đỏ), chỉ số b (màu vàng) có xu hướng tăng lên so với mẫu măng tươi khi nhiệt độ sấy tăng lên. Điều này dẫn đến sự xuất hiện màu vàng thẫm hơn, màu sắc vàng và đỏ của mẫu măng sấy tăng lên. Trong các nhiệt độ sấy, sấy ở nhiệt độ 30°C măng khô có sự biến đổi chỉ số màu sắc L, a, b là thấp nhất. Khi xử lý thống kê, các chỉ số màu sắc khác biệt giữa mẫu măng khô và măng tươi đều có sự khác biệt ở các công thức nhiệt độ với độ tin cậy 95%. Nhiệt độ càng cao thì sự biến đổi màu sắc càng lớn hơn. Sự suy giảm của các giá trị L và sự gia tăng của các giá trị a và b có thể do xảy ra phản ứng hóa nâu ở các nhiệt độ sấy không thích hợp, enzyme peroxidase và PPO bị bất hoạt trong quá trình sấy măng [12].

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến sự bù nước của sản phẩm măng sấy: tỷ lệ bù nước của măng khô sau khi sấy ở nhiệt độ 30, 40, 50°C với nhiệt độ bù nước là 25 và 100°C được thể hiện ở bảng 7.

Bảng 7. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến sự bù nước của sản phẩm măng sấy.

Nhiệt độ bù nước (°C)	Thời gian bù nước (phút)	Tỷ lệ bù nước (%)		
		30°C	40°C	50°C
25	30	151,33 ^a	167,33 ^a	160,67 ^b
	60	242,83 ^c	258,00 ^a	249,33 ^b
	90	296,17 ^c	310,83 ^a	298,50 ^b
	120	322,33 ^c	351,00 ^a	326,67 ^b
100	3	131,33 ^c	158,33 ^a	136,67 ^b
	6	227,33 ^c	248,00 ^a	232,33 ^b
	9	283,50 ^c	303,33 ^a	286,83 ^b
	12	306,83 ^c	339,33 ^a	312,33 ^b

Ghi chú: các giá trị trong cùng một hàng có chỉ số mũ khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa ở mức ý nghĩa p=0,05.

Số liệu bảng 7 cho thấy, sự khác biệt giữa các công thức sấy măng khi măng bù nước ở 25°C và 100°C là có ý nghĩa (xử lý thống kê với độ tin cậy 95%). Măng sấy ở nhiệt độ 40°C có tỷ lệ bù nước cao nhất (ở cả hai nhiệt độ bù nước) và tại các thời điểm đo mẫu. Măng sấy ở nhiệt độ 30°C và 50°C cho tỷ lệ bù nước thấp hơn. Độ bù nước cao hơn khi sấy ở 40°C có thể do quá trình làm khô nhanh hơn, gây ra ít thay đổi cấu trúc tế bào hơn trong sản phẩm cuối cùng. Tuy nhiên, tỷ lệ bù nước của măng sấy ở nhiệt độ 30°C kém hơn có thể do sấy ở nhiệt độ thấp nên thời gian sấy lâu hơn, kết cấu của sản phẩm kém hơn.

Mất kết cấu là nguyên nhân chính dẫn đến tỷ lệ bù nước kém khi sấy ở nhiệt độ thấp. Sự phá hủy thành tế bào cao hơn xảy ra ở nhiệt độ cao, dẫn đến giảm khả năng hấp thụ nước. Điều này phù hợp với các kết luận của Paramasivam và cộng sự (2012) [13] trong nghiên cứu về mô hình toán học và kỹ thuật sấy lát măng bằng phương pháp sấy khay tại các nhiệt độ biến đổi.

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến chất lượng cảm quan của sản phẩm măng sấy: nhiệt độ sấy có ảnh hưởng đến màu sắc, mùi vị và cấu trúc của sản phẩm sấy. Sau khi sấy măng ở các nhiệt độ khác nhau, các kiểm nghiệm viên sẽ đánh giá cảm quan các mẫu măng bằng phương pháp cho điểm theo TCVN 3215-79, kết quả được thể hiện trong bảng 8.

Bảng 8. Đánh giá chất lượng cảm quan của măng sấy khô với các nhiệt độ sấy khác nhau.

Nhiệt độ sấy (°C)	Màu sắc	Mùi	Cấu trúc, hình dạng	Tổng điểm có hệ số trọng lượng (điểm)	Xếp loại chất lượng
30	4,7	4,6	4,4	18,2	Khá
40	4,9	4,7	4,7	19,1	Tốt
50	4,6	4,7	4,6	18,4	Khá



Măng sấy khô ở nhiệt độ 40°C cho sản phẩm có màu sắc, cấu trúc, hình dạng đẹp nhất, mùi thơm hơn và được xếp loại chất lượng tốt.

Măng sấy khô tại nhiệt độ 40°C có màu sắc, cấu trúc, hình dạng đẹp nhất, mùi thơm hơn và được xếp loại chất lượng tốt (19,1 điểm). Măng được sấy ở nhiệt độ 30°C và 50°C được xếp loại chất lượng khá, trong đó có sự khác biệt rõ rệt về màu sắc và cấu trúc so với măng được sấy ở nhiệt độ 40°C.

Từ những kết quả đánh giá về chất lượng và cảm quan ở trên cho thấy, măng tươi được chần ở nồng độ muối 3% và sấy khô ở 40°C cho sản phẩm măng sấy tốt nhất, và sản phẩm này được tiến hành đánh giá các chỉ tiêu vi sinh và hàm lượng độc tố xyanua.

Đánh giá chỉ tiêu vi sinh vật và hàm lượng xyanua của sản phẩm măng sấy

Các chỉ tiêu vi sinh vật là một trong những yếu tố cần thiết để đánh giá chất lượng sản phẩm. Đặc biệt, măng có hàm lượng xyanua là chất độc có nguy cơ gây hại cho sức khỏe con người cần được kiểm soát trước khi sử dụng. Sản phẩm măng sau khi chần và sấy khô ở 40°C được tiến hành đánh giá các chỉ tiêu vi sinh và hàm lượng xyanua, kết quả được thể hiện ở bảng 9.

Bảng 9. Kết quả phân tích vi sinh và hàm lượng xyanua trong sản phẩm măng sấy.

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị tính	Kết quả
1	Coliforms	CFU/g	KPH
2	E. coli	CFU/g	KPH
3	Tổng số bào tử nấm men - nấm mốc	CFU/g	1,2x10 ²
4	Vi sinh vật hiếu khí tổng số	CFU/g	13x10 ²
5	Hàm lượng xyanua	g/100 g	0,0019

KPH: không phát hiện.

Từ kết quả đánh giá ở bảng 9 cho thấy, sản phẩm măng khô sau khi sấy đến độ ẩm 6-7% không thấy xuất hiện vi sinh vật gây hại như: *Coliforms*, *E. coli*. Tổng số bào tử nấm men - nấm mốc, vi sinh vật hiếu khí tổng số đều dưới ngưỡng cho phép theo Quyết định số 46/2007/QĐ-BYT của Bộ Y tế. Đặc biệt, hàm lượng xyanua trong măng sấy khô còn rất ít, chỉ chiếm 0,0019 g/100 g (liều xyanua gây tử vong cho con người là 1,5 mg/kg trọng lượng cơ thể) và thấp hơn so với công bố của Pandey và Ojha (2011) [14]. Như vậy, sản phẩm măng sấy khô trong nghiên cứu của chúng tôi đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm và an toàn cho người sử dụng.

Kết luận

Măng tươi được xử lý trong nước muối có nồng độ 3% tại 100°C trong 15 phút và sấy ở 40°C cho chất lượng tốt nhất. Chế độ xử lý này giúp màu sắc của măng ít bị biến đổi nhất và sự bù nước tốt nhất so với các chế độ xử lý khác. Măng khô có màu vàng sáng, đều nhau, mùi đặc trưng, măng dẻo dai, ít bị biến dạng. Đồng thời, sau khi chân ở chế độ này và sấy bằng công nghệ sấy bơm nhiệt Sasaki, hàm lượng xyanua và vi sinh vật đều đạt dưới ngưỡng cho phép theo quy định. Sản phẩm măng sấy khô đảm bảo chất lượng và an toàn vệ sinh thực phẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. Choudhury, J.K. Sahu, G.D. Sharma (2012), "Value addition to bamboo shoots: a review", *J. Food Sci. Technol.*, **49**(4), pp.407-414, DOI:10.1007/s13197-011-0379-z.
- [2] V. Kumbhare, A. Bhargava (2007), "Effect of processing on nutritional value of central Indian Bamboo shoots. Part I", *J. Food Sci. Technol.*, **44**(1), pp.29-31.
- [3] C. Nirmala, M.L. Sharma, David (2008), "A comparative study of nutrient components of freshly harvested and canned bamboo shoots of *D. giganteus* Munro", *J. Am. Bamboo Soc.*, **21**(1), pp.41-47.
- [4] G. Oboh, A.O. Ademosun (2011), "Characterization of the antioxidant properties of phenolic extracts from citrus peels", *J. Food Sci. Technol.*, **49**, pp.729-736, DOI:10.1007/s13197-010-0222-y.
- [5] F. Galeotti, E. Barile, P. Curir, M. Dolci, V. Lanzotti (2008), "Flavonoids from carnation (*Dianthus caryophyllus*) and their antifungal activity", *Phytochem. Lett.*, **1**, pp.44-48.
- [6] P. Mattile, J. Hellstorm (2007), "Phenolic acids in potatoes, vegetables and some of their products", *J. Food Comp. Anal.*, **20**, pp.152-160.
- [7] European Food Safety Authority (2004), "Opinion of the scientific panel on food additives flavourings, processing aids and materials in contact with food (AFC) on hydrocyanic acids in flavourings and other food ingredients with flavouring properties", *The EFSA Journal*, **105**, pp.1-28, DOI: 10.2903/j.efsa.2004.105.
- [8] P.G. Hogg, H.L. Ahlgren (1942), "A rapid method for determining hydrocyanic acid content of single plants of sudan grass", *J. Am. Soc. Agron.*, **34**, pp.199-200.
- [9] C. Tortoe (2010), "A review of osmodehydration for food industry", *African Journal of Food Science*, **4**(6), pp.303-324.
- [10] Y. Tunde and Akintunde (2008), "Effect of pretreatment on drying time and quality of chilli pepper", *Journal of Food Processing and Preservation*, **34**, pp.595-608.
- [11] P.R. Nirmala, M. Goutam, T. Rocky (2018), "Effect of pre-treatment of salt solution and drying methods on the quality of processed Aonla (*Emblica officinalis* Gaertn.)", *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.*, **7**(8), pp.1438-1466, DOI: 10.20546/ijcmas.2018.708.165.
- [12] Q. Dini, Adil Basuki Ahza, Natthawuddhi Donlao, Puwanart Fuggate (2012), *Effects of Pretreatment and Drying Temperature on Quality of Dried Bamboo Shoots (Dendrocalamus Membranaceus Munro)*, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, Indonesia.
- [13] S.K. Paramasivam, Manish Kanwat, Vijay K. Choudhary (2012), "Mathematical modeling and thin-layer drying kinetics of bamboo slices on convective tray drying a varying temperature", *Journal of Food Processing and Preservation*, DOI: 10.1111/j.1745-4549.2012.00725.x.
- [14] Ashok Kumar Pandey & Vijayalakshmi Ojha (2011), "Precooking processing of bamboo shoots for removal of anti-nutrients", *J. Food Sci. Technol.*, DOI: 10.1007/s13197-011-0463-4.

Ảnh hưởng của một số thông số trong quá trình trích ly đến khả năng kháng oxy hóa của dầu hạt chè (*Camellia sinensis* O. Kuntze)

Phan Thị Phương Thảo^{1, 2*}, Giang Trung Khoa², Vũ Hồng Sơn¹

¹Viện Công nghệ sinh học và Công nghệ thực phẩm, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

²Khoa Công nghệ thực phẩm, Học viện Nông nghiệp Việt Nam

Ngày nhận bài 2/11/2020; ngày chuyển phản biện 9/11/2020; ngày nhận phản biện 25/12/2020; ngày chấp nhận đăng 15/1/2021

Tóm tắt:

Nghiên cứu được thực hiện trên hạt chè (*Camellia sinensis* O. Kuntze) với 22,01% dầu được thu hoạch từ giống Trung du ở Phú Thọ nhằm xác định thông số phù hợp trong quá trình trích ly, giúp tăng khả năng kháng oxy hóa của dầu hạt chè (TSO). Nghiên cứu đã tiến hành đánh giá ảnh hưởng của kích thước nguyên liệu, tỷ lệ nguyên liệu/dung môi, nhiệt độ, thời gian, tốc độ và số lần trích ly đối với các đặc tính kháng oxy hóa của dầu (thông qua đánh giá các chỉ số IC_{50} , hàm lượng polyphenol tổng số - TPC, tổng hàm lượng carotenoid và tocopherol). Một số thông số phù hợp trong quá trình trích ly được xác định như sau: kích thước nguyên liệu 0,25-0,5 mm, tỷ lệ nguyên liệu/dung môi 1/8-1/10, nhiệt độ trích ly 35-45°C, thời gian trích ly 7-9h, tốc độ trích ly là 200-250 vòng/phút (v/p) và số lần trích ly là 2 lần. TSO được chiết xuất trong các điều kiện thích hợp có hoạt tính quét gốc tự do DPPH (IC_{50}), TPC, tổng hàm lượng carotenoid và tocopherol lần lượt là 62,19 mg/ml, 4,45 mg GAE/g chất khô, 89 mg/kg và 710 mg/kg. Hàm lượng cao các yếu tố kháng oxy hóa giúp TSO không những là một loại dầu thực vật quý mà còn có tính chất như một chất kháng oxy hoá tự nhiên.

Từ khóa: dầu hạt chè, khả năng kháng oxy hóa, quá trình trích ly, thông số.

Chỉ số phân loại: 2.11

Đặt vấn đề

Nhờ điều kiện khí hậu và đất đai thích hợp cho sự phát triển của cây chè, Việt Nam có diện tích trồng chè đứng thứ 5 thế giới với các sản phẩm chủ yếu là búp, lá chè. Cây chè được trồng ở 23 tỉnh, tập trung nhiều ở các tỉnh trung du và miền núi với diện tích lớn, cho thấy tiềm năng thu nhận hạt chè cao [1]. Tuy nhiên ở nước ta, nguồn nguyên liệu quý giá này vẫn chưa được quan tâm khai thác, trong khi nhiều quốc gia trên thế giới đã sử dụng hạt chè để sản xuất dầu ăn, thuốc thảo dược như Đức, Trung Quốc, Nhật Bản, Ấn Độ [2]. Hạt chè có chứa nhiều hợp chất có giá trị sử dụng như saponin, protein, lipid..., trong đó lipid chiếm 29-34%. Như vậy, nghiên cứu sản xuất TSO mở ra tiềm năng lớn giúp nâng cao giá trị cây chè, tăng thêm thu nhập cho nông dân, đồng thời phát triển các sản phẩm mới có lợi cho sức khỏe và phù hợp với nhu cầu sử dụng của con người. TSO thực sự là cơ hội mở ra tiềm năng phát triển mới cho ngành sản xuất dầu thực vật.

TSO là một loại dầu ăn được, có vai trò như một dạng thực phẩm tăng cường sức khỏe trong chế độ ăn uống do hoạt tính kháng oxy hóa của nó [3]. “Tuổi thọ” của TSO cao là nhờ hàm lượng axit béo linolenic và linoleic thấp; sự có mặt của polyphenol và vitamin E (các chất kháng oxy hoá) có tác dụng lớn trong việc giúp TSO ít bị oxy hóa hơn [4]. TSO có màu vàng, lỏng và trong

suốt, có tác dụng làm giảm huyết áp, cholesterol, đồng thời có hàm lượng cao các chất chống oxy hoá (polyphenols, carotenoids, vitamin E) và giàu các chất làm mềm cho da... [3, 5, 6].

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp trích ly dung môi để chiết xuất dầu, đánh giá ảnh hưởng của một số thông số của quá trình trích ly: kích thước nguyên liệu, tỷ lệ nguyên liệu/dung môi, nhiệt độ, thời gian, tốc độ, số lần trích ly đối với khả năng kháng oxy hóa của TSO giống Trung du ở tỉnh Phú Thọ thông qua TPC, carotenoid, tocopherol và hoạt tính kháng oxy hóa (khả năng loại bỏ gốc tự do DPPH). Mục đích của nghiên cứu nhằm xây dựng quy trình trích ly tạo sản phẩm TSO có khả năng kháng oxy hóa cao.

Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Vật liệu nghiên cứu

Quả chè được thu hoạch từ cây chè giống Trung du tại Phú Thọ, là những quả già có chất lượng đồng đều và không bị sâu bệnh. Hạt chè sau khi bóc tách vỏ quả được sấy khô ở 55°C đến độ ẩm 8-10%. Sau đó, nhân hạt (sau khi tách vỏ hạt) được nghiền rây để giảm kích thước và đồng nhất mẫu.

Hóa chất: natri thiosunfat, natri cacbonat, thuốc thử Folin-Ciocalteu, axit galic, DPPH, ethyl acetat, methanol, petroleum ether, acetone, ethanol.

*Tác giả liên hệ: Email: phanphuongthao.cntp@gmail.com

Effect of process parameters on the antioxidant activity of Vietnamese tea (*Camellia sinensis* O. Kuntze) seed oil

Thi Phuong Thao Phan^{1,2*}, Trung Khoa Giang²,
Hong Son Vu¹

¹Hanoi University of Science and Technology

²Vietnam National University of Agriculture

Received 2 November 2020; accepted 15 January 2021

Abstract:

This research was carried out on Tea (*Camellia sinensis* O. Kuntze.) seeds (containing 22.01% oil) harvested from Trung du tea trees varieties, cultivated in Phu Tho, Vietnam to select the most suitable processing methods which enhance the high antioxidant activity of the oil in the seed oil extraction. The objective of this research is to study the effects of particle size, material/solvent ratio, temperature, time, speed of solvent movement, and extraction cycle on antioxidant properties of the oil (by analysing IC_{50} , total polyphenol content, total carotenoid, and total tocopherol value). The suitable extraction conditions were determined as follows: particle size was 0.25-0.5 mm, the solid-solvent ratio was 1/8-1/10, the extraction temperature was 35-45°C, the extraction time was 7-9h, speed of solvent movement was 200-250 r/m and the extraction cycle was two times. The tea seed oil extracted under the suitable conditions had the DPPH radical scavenging activity (IC_{50}), total polyphenol content, total carotene, and total tocopherol of 62.19 mg/ml, 4.45 mgGAE/g dry weight, 89 mg/kg, and 710 mg/kg, respectively. The high content of antioxidants makes tea seed oil has a good antioxidant capacity, high oxidation stability, and relatively long shelf life. Therefore, research on using wasted tea seed sources to extract oil has great potential for the vegetable oil industry and a high potential of application in food technology.

Keywords: antioxidant properties, extraction process, parameter, tea seed oil.

Classification number: 2.11

Thiết bị: tủ sấy Memmer, cân phân tích Practum 224-1S, cân kỹ thuật Ohaus, máy so màu UV-Vis Shimadzu, hệ thống sắc ký lỏng HPLC 10A Shimadzu, bể siêu âm Elmasonic, máy vortex IKA MS3, máy nghiền rây Retsch ZM200, máy ly tâm Mikro 200R, hệ thống cô quay chân không Buchi.

Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp công nghệ: để thu nhận TSO, hệ dung môi ethanol/ethyl acetate được sử dụng theo tỷ lệ 3/1. Tiến hành trích ly với sự thay đổi các thông số theo khảo sát, sau đó loại dung môi ở 40±0,5°C bằng thiết bị cô quay chân không. Dầu thu được được sấy kín và bảo quản trong tủ lạnh sâu (-20±0,5°C).

Nghiên cứu tiến hành khảo sát 7 mức nhiệt độ trích ly (25-55°C), 5 mức kích thước nguyên liệu (0,25-2 mm), 6 mức tốc độ trích ly (từ trích ly tĩnh 0 v/p đến trích ly động 250 v/p), 4 mức thời gian (5, 7, 9 và 11h), 3 mức số lần trích ly (1, 2 và 3), 4 mức tỷ lệ nguyên liệu/dung môi (1/6, 1/8, 1/10, 1/12).

Phương pháp phân tích:

Xác định TPC theo phương pháp được mô tả bởi Fu và cs (2011) [7]: axit gallic được sử dụng làm chất chuẩn đối chiếu, xây dựng đường chuẩn bằng cách lập dãy điểm chuẩn axit gallic với các nồng độ 100, 80, 60, 40 và 20 µg/ml, lấy 0,5 ml dung dịch chuẩn thêm vào 2,5 ml thuốc thử Folin-Ciocalteu đã được pha loãng 10 lần; sau 4 phút, cho thêm 2 ml dung dịch natri cacbonat 7,5%. Độ hấp thụ của hỗn hợp được đo ở bước sóng 760 nm sau khi để trong 2h ở nhiệt độ phòng. Các mẫu TSO được pha loãng 10 lần bằng methanol 80%, sau đó siêu âm không nhiệt độ, ly tâm để xử lý mẫu, lấy 0,5 ml thực hiện các bước tương tự như đối với dung dịch chuẩn. Kết quả được biểu thị bằng mg axit gallic (mg GAE) trên trọng lượng khô của dầu.

$$X = \frac{OD \times c \times V}{a \times m}$$

Trong đó: X là TPC (mg GAE/gck); OD là độ hấp thụ quang của mẫu ở bước sóng 760 nm; c là độ pha loãng dịch chiết (lần); V là thể tích dịch chiết (ml); a là hệ số của phương trình đường chuẩn axit gallic ($y = ax + b$); m là khối lượng mẫu dùng để chiết dịch (gck).

Xác định hàm lượng carotenoid tổng số theo phương pháp được mô tả bởi Franke và cs (2010) [8] có một số thay đổi: 0,04 g dầu được pha loãng trong 5 ml petroleum ether/acetone (1/1 theo thể tích). Sự hấp thụ của petroleum ether/acetone (1/1 theo thể tích) được dùng làm mẫu đối chứng. Hàm lượng carotenoid (mg/kg) được tính theo công thức sau:

$$X = \frac{A \times y \times 10^7}{A_{cm}^{\%} \times 1000 \times g}$$

Trong đó: X là hàm lượng carotenoid (mg/kg); A là giá trị độ hấp thụ ở bước sóng 445 nm; y là thể tích dung dịch chiết (ml); g là khối lượng mẫu (g), $A_{cm}^{\%}$ là hệ số hấp thụ trung bình của phân tử carotenoid.

Xác định hoạt tính kháng oxy hóa (khả năng bắt gốc tự do DPPH) thông qua chỉ số IC_{50} được thực hiện theo [9]. Dung dịch

gốc được điều chế bằng cách hòa tan 24 mg DPPH với 100 ml methanol, sau đó được bảo quản ở -20°C cho đến khi sử dụng. Pha loãng dung dịch gốc 10 lần bằng ethyl acetat. Pha loãng mẫu theo các nồng độ 200, 100, 50, 25 và 12,5 mg/ml bằng ethyl acetat. Các mẫu dầu, mẫu đối chứng được thêm 2.850 µl dung dịch DPPH đã pha loãng, để 30 phút trong bóng tối. Tiến hành đo tại bước sóng 517 nm. Kết quả thể hiện bằng phần trăm ức chế gốc tự do: $I(\%) = [(A_{\text{đối chứng}} - A_{\text{mẫu}}) / A_{\text{đối chứng}}] \times 100$, khi có phần trăm ức chế các gốc tự do xây dựng phương trình của mẫu (tương quan giữa I% và nồng độ mẫu) dạng $y = ax + b$. Từ đó, thay thế I% bằng 50% đã thu giá trị IC_{50} (ức chế 50% gốc tự do).

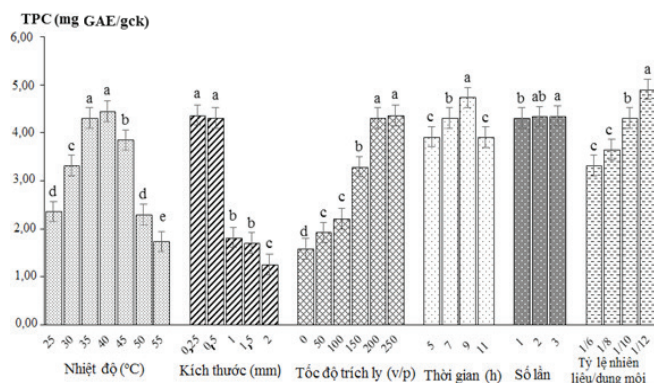
Xác định tổng hàm lượng tocopherol: việc xác định tocopherol được thực hiện theo [10], bằng phương pháp HPLC, sử dụng mô hình Varian 210-263 (Hoa Kỳ), máy dò huỳnh quang. Việc định lượng được thực hiện bằng tiêu chuẩn hóa và các giá trị được xác định dựa trên diện tích pic và được biểu thị bằng mg/kg.

Phương pháp xử lý số liệu

Các số liệu được xử lý bằng phần mềm Excel, sau đó phân tích phương sai một yếu tố (ANOVA) - tiến hành bằng phần mềm Minitab 16 ở mức ý nghĩa 5%. Số liệu thể hiện là giá trị trung bình của 3 lần nhắc lại và được làm tròn tới chữ số thập phân thứ 2 ± độ lệch chuẩn (SD). Các chữ số khác nhau ở cùng thông số khảo sát trên đồ thị thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 5%.

Kết quả và thảo luận

Ảnh hưởng của một số thông số trong quá trình trích ly đến TPC của TSO



Hình 1. Ảnh hưởng của một số thông số trong quá trình trích ly tới TPC trong TSO (các số liệu theo một nhóm yếu tố có chữ cái khác là khác nhau có ý nghĩa thống kê ở mức 5%).

TPC thu được trong TSO tăng dần khi nhiệt độ tăng từ 25 đến 40°C, với giá trị TPC đạt 4,45 mg GAE/gck, sau đó giảm dần khi nhiệt độ tiếp tục tăng từ 40 đến 55°C. Kết quả này phù hợp với nhận định của Simon và cs (1990) [11]: khi nhiệt độ trích ly tăng, khả năng hòa tan của nguyên liệu sẽ tăng, từ đó giúp khuếch tán các hợp chất polyphenol tốt hơn; đồng thời độ nhớt của dung môi giảm; quá trình chuyển chất và sự thâm ướt của nguyên liệu tăng, từ đó việc chiết các hợp chất polyphenol đạt hiệu quả cao hơn. Khi tăng nhiệt độ chiết quá cao, các hợp chất polyphenol

trong nguyên liệu bị phân hủy bởi các phản ứng thủy phân, oxy hóa nội tại và polymer hóa. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Giang Trung Khoa và cs (2017) [12] về ảnh hưởng của nhiệt độ trích ly với TPC thu được từ lá chè: TPC tăng khi nhiệt độ tăng từ 35 đến 45°C, khi nhiệt độ tiếp tục tăng thì TPC của lá chè giảm.

Khi kích thước nguyên liệu tăng thì TPC trong TSO giảm, đạt giá trị cao nhất là 4,37 mg GAE/gck với kích thước 0,25 mm (kích thước 0,5 mm cho thấy không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với kích thước 0,25 mm). Theo Nguyễn Thị Hoàng Lan và cs (2016) [13], kích thước nguyên liệu có ảnh hưởng đến diện tích tiếp xúc giữa nguyên liệu và dung môi, nhìn chung, kích thước của nguyên liệu càng nhỏ thì hiệu suất trích ly càng tăng. Kích thước nguyên liệu nhỏ sẽ có bề mặt tiếp xúc với dung môi lớn hơn, dung môi sẽ dễ dàng thâm sâu hòa tan và tách chiết polyphenol, giúp quá trình chiết tách các hợp chất hiệu quả hơn, do đó TPC tăng khi kích thước giảm.

Khảo sát với các điểm tốc độ từ trích ly tĩnh tới trích ly động ở các tốc độ khác nhau, bước nhảy của tốc độ lớn mới có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê. Nhìn chung, TPC trong TSO tăng khi tốc độ chiết tăng, với hàm lượng polyphenol cao nhất ở tốc độ 200 và 250 v/p.

TPC trong dầu hạt chè không có sự khác biệt khi tỷ lệ nguyên liệu/dung môi tăng từ 1/6 đến 1/8, khi tiếp tục tăng tỷ lệ nguyên liệu/dung môi giá trị TPC có sự khác biệt và tăng lên, đạt giá trị cao nhất ở tỷ lệ 1/12. Có thể thấy, hiệu quả tách chiết các chất có liên quan tới việc sử dụng dung môi là rõ ràng. Theo nhận định của Nguyễn Thị Hoàng Lan và cs (2016) [13], khi sử dụng lượng dung môi quá ít thì hiệu suất trích ly dầu sẽ thấp do lượng đó không đủ để hòa tan dầu ở trong nguyên liệu, tuy nhiên khi sử dụng lượng dung môi dư thừa sẽ gây lãng phí, ngoài ra còn làm tăng lượng tạp chất, quá trình thu hồi dung môi mất thời gian khiến hiệu quả kinh tế không cao. Hàm lượng các hợp chất tách chiết được cũng ảnh hưởng theo xu hướng của hiệu suất trích ly dầu.

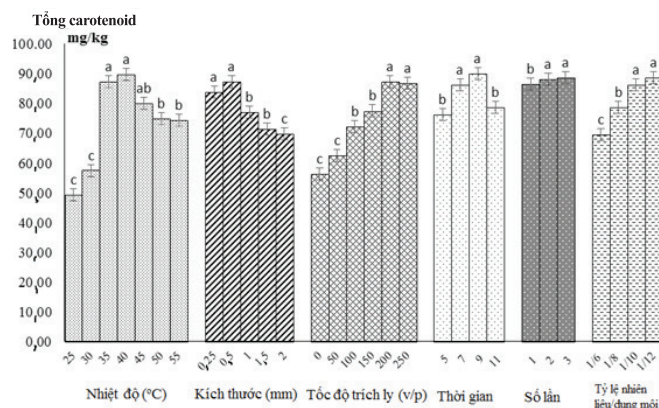
Labbe và cs (2006) [14] đã chứng minh rằng, chiết xuất polyphenol bị ảnh hưởng rất nhiều bởi thời gian chiết. Kết quả thu được cho thấy, TPC trong TSO tăng từ 5 lên 9h và có sự khác biệt rõ ràng ở mức ý nghĩa $\alpha=5\%$. Tuy nhiên, từ 9 đến 11h, TPC trong mẫu dầu đã giảm xuống.

TPC thu được từ TSO giữa ba cấp độ khảo sát 1, 2 và 3 lần trích ly không khác nhau đáng kể. Điều này có thể được giải thích như sau: trích ly là quá trình khuếch tán phân tử chiết xuất hòa tan vào dung môi và khuếch tán ra khỏi tế bào. Khi polyphenol đạt đến nồng độ cân bằng giữa bên trong và bên ngoài tế bào, quá trình chiết xuất kết thúc. Khi tăng số lần trích ly, TPC không tăng hoặc có thể tăng rất ít.

So sánh TPC của TSO so với một loại dầu phổ biến là dầu đậu nành, Dương Thị Phượng Liên và cs (2014) [15] xác định TPC trong dầu đậu nành bằng 2,61 mg GAE/g, cho thấy hàm lượng trong TSO xét chung khoảng 4,45 mg GAE/g là cao hơn so với dầu đậu nành, điều này có thể là minh chứng cho khả năng kháng oxy hóa tốt của TSO thu nhận.

Ảnh hưởng của một số thông số trong quá trình trích ly tới hàm lượng carotenoid của TSO

Theo Velasco và Dobarganes (2002) [16], carotenoid có thể làm giảm sự oxy hóa dầu của dầu bằng cách lọc ánh sáng, khử các gốc tự do. Kết quả cho thấy, nhìn chung sự tác động của các thông số tới hàm lượng carotenoid có xu hướng tương đối giống với sự tác động của các thông số trong quá trình trích ly tới tổng TPC (hình 2).



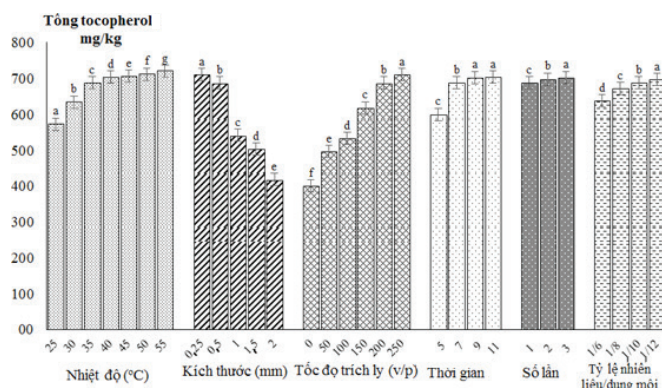
Hình 2. Ảnh hưởng của một số thông số trong quá trình trích ly tới hàm lượng carotenoid trong TSO (các số liệu theo một nhóm yếu tố có chữ cái khác là khác nhau có ý nghĩa thống kê ở mức 5%).

Cũng giống như TPC của dầu, ban đầu nhiệt độ tăng giúp tăng hiệu quả tách chiết, khiến tổng hàm lượng carotenoid trong TSO tăng, tuy nhiên sau đó tổng hàm lượng carotenoid có xu hướng giảm khi nhiệt độ tăng cao. Với dải nhiệt độ khảo sát, xử lý thống kê cho thấy tác động của nhiệt độ cũng được chia thành các nhóm ảnh hưởng tới hàm lượng carotenoid.

Khi kích thước của nguyên liệu lớn hơn, tổng hàm lượng carotenoid trong TSO có giá trị thấp dần, giá trị này thu được ở kích thước 0,25 và 0,5 mm không khác biệt khi xử lý thống kê, đồng thời cho hàm lượng carotenoid cao nhất (khoảng 0,089 mg/g tương đương 89 mg/kg); hàm lượng thấp nhất ở kích thước cao nhất 2 mm. Về ảnh hưởng của tốc độ trích ly, ở các mẫu TSO tổng hàm lượng carotenoid có xu hướng tương tự với TPC, với 6 điểm khảo sát kết quả chỉ chia thành 3 nhóm, khi tốc độ có sự khác biệt lớn (100 v/p) mới thấy sự khác biệt. Hàm lượng carotenoid tăng khi tăng tỷ lệ 1/6 lên 1/12, ở tỷ lệ 1/10 và 1/12 không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê. Với sự thay đổi của thời gian, hàm lượng carotenoid không khác nhau rõ ràng, ở 11h hàm lượng carotenoid giảm giống như xu hướng ở TPC trong dầu thu nhận, có thể nói thời gian trích ly quá dài không có tác động tốt tới hàm lượng các chất kháng oxy hóa.

Ảnh hưởng của một số thông số trong quá trình trích ly tới tổng hàm lượng tocopherol

Vitamin E (gồm tocopherol và tocotrienol) là chất chống oxy hóa tự nhiên, giúp kéo dài tuổi thọ của dầu, ngăn ngừa sự ôi thiu [17]. Tocopherol là hàm lượng chính, lượng tocotrienol rất ít. Do đó chúng tôi khảo sát hàm lượng tocopherol của các mẫu thử nghiệm (hình 3).



Hình 3. Ảnh hưởng của một số thông số trong quá trình trích ly tới hàm lượng tocopherol trong TSO (các số liệu theo một nhóm yếu tố có chữ cái khác là khác nhau có ý nghĩa thống kê ở mức 5%).

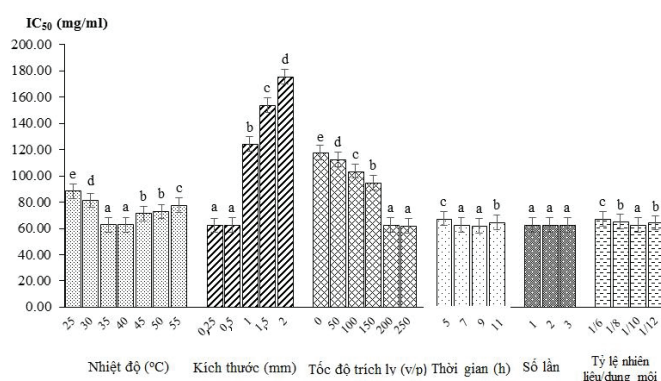
Nhìn chung xu hướng ảnh hưởng của nhiệt độ, kích thước, tốc độ trích ly đối với hàm lượng tocopherol giống với sự ảnh hưởng của nhiệt độ, kích thước, tốc độ trích ly tới TPC trong dầu hạt chè. Với sự thay đổi của nhiệt độ, hàm lượng tocopherol thấp nhất là 0,572 mg/g ở 25°C và tăng dần, đạt giá trị cao nhất ở 55°C với hàm lượng tocopherol bằng 710 mg/kg; sự thay đổi của kích thước nguyên liệu khi tăng từ 0,25 lên 2 mm cũng gây thay đổi hàm lượng tocopherol theo xu hướng giảm, hay nói cách khác kích thước tỷ lệ nghịch với hàm lượng tocopherol. Về sự ảnh hưởng của tốc độ trích ly đến hàm lượng tocopherol kết quả cho thấy, tốc độ trích ly tỷ lệ thuận với hàm lượng tocopherol. Sự thay đổi như vậy bởi vì nhiệt độ trích ly tăng, kích thước giảm, tốc độ trích ly tăng, giúp tăng hiệu quả chiết các hợp chất tocopherol, đồng thời hợp chất tocopherol bền oxy hóa trước các yếu tố nên sự thay đổi nhiệt độ không làm hao hụt hàm lượng.

Năm 2008, Fazel và cs [3] đã xác định hàm lượng vitamin E và phenolic trong TSO, với hàm lượng tocopherol chiếm 0,376 mg/g và tocotrienol chiếm 0,013 mg/g. Hàm lượng tocopherol trong mẫu dầu hạt chè đang nghiên cứu được xác định là 710 mg/kg (0,710 mg/g), gấp gần 2 lần so với kết quả của Fazel và cs xác định. Có thể nói, với hàm lượng tocopherol cao như vậy, TSO có tiềm năng lớn trong việc trở thành một loại dầu có độ bền oxy hóa cao.

Kết quả về khảo sát thời gian trích ly cho thấy hàm lượng tocopherol tăng theo thời gian. Tuy nhiên, tại 9 hay 11h trích ly, hàm lượng tocopherol gần như không thay đổi. Về yếu tố số lần trích ly, hàm lượng tocopherol tăng khi số lần chiết xuất tăng. Hiệu quả chiết tocopherol có phụ thuộc vào số lần trích ly, tuy nhiên có thể thấy sự chênh lệch giữa trích ly 2 và 3 lần là không nhiều.

Ảnh hưởng của một số thông số trong quá trình trích ly tới hoạt tính kháng oxy hóa IC_{50} của TSO

Hoạt động quét gốc tự do DPPH được sử dụng rộng rãi để điều tra hoạt động chống oxy hóa (khả năng kháng oxy hóa) của các loại thực vật và hợp chất tinh khiết khác nhau [18]. Chúng tôi xác định giá trị IC_{50} (nồng độ tại đó ức chế được 50% gốc tự do DPPH), từ đó xác định khả năng bắt gốc tự do của TSO hay khả năng kháng oxy hóa. Chỉ số IC_{50} càng cao thì khả năng chống oxy hóa càng thấp và ngược lại.



Hình 4. Ảnh hưởng của một số thông số trong quá trình trích ly tới IC₅₀ của TSO (các số liệu theo một nhóm yếu tố có chữ cái khác là khác nhau có ý nghĩa thống kê ở mức 5%).

Nghiên cứu của Phan Thị Bích Trâm và Nguyễn Thị Diễm My (2016) [19] cho thấy có mối tương quan nghịch giữa TPC và khả năng loại gốc tự do thông qua giá trị IC₅₀. Như vậy, sự tác động của các thông số tới giá trị IC₅₀ có thể được giải thích bởi xu hướng tác động của các thông số trong quá trình trích ly tới TPC của TSO. Sự tác động của các thông số tới IC₅₀, TPC, hàm lượng carotenoid và tocopherol có mối liên hệ. Chúng tôi nhận thấy, tỷ lệ nghịch không chỉ giữa giá trị IC₅₀ với TPC mà còn với cả hàm lượng carotenoid và tocopherol.

Hoạt tính kháng oxy hóa tăng dần khi tăng nhiệt độ từ 25 đến 40°C (giá trị IC₅₀ thấp nhất là 62,19 mg/ml ở 40°C) và giảm dần khi nhiệt độ tăng từ 40 lên 55°C, như vậy xét cùng sự ảnh hưởng tới hàm lượng các chất kháng oxy hóa ở các khảo sát trên, nhiệt độ 25 đến 40°C là khoảng nhiệt độ trích ly thu nhận TSO có khả năng kháng oxy hóa cao nhất. Với sự ảnh hưởng của kích thước, IC₅₀ tỷ lệ thuận với kích thước nguyên liệu, hay nói cách khác khả năng bắt gốc tự do DPPH tỷ lệ nghịch với kích thước của bột hạt chè. Tốc độ trích ly tăng thì IC₅₀ giảm, có nghĩa là khả năng bắt gốc tự do DPPH tốt nhất ở tốc độ 200 và 250 v/p, tuy nhiên không có sự khác biệt ở hai mức tốc độ này đối với cả IC₅₀ và hàm lượng các chất oxy hóa, tốc độ 200 v/p là phù hợp. Thời gian 7 và 9h giống với tác động của hàm lượng các chất kháng oxy hóa, là các thời gian cho kết quả tốt nhất về hoạt tính kháng oxy hóa. Tỷ lệ nguyên liệu/dung môi tăng từ 1/6 đến 1/10 thì hoạt tính kháng oxy hóa cũng tăng, tuy nhiên khi tăng tới 1/12 hoạt tính kháng oxy hóa lại giảm xuống, kết quả thống kê cho kết quả tương đương với hoạt tính kháng oxy hóa của TSO tại tỷ lệ 1/8.

Kết luận

Trong nghiên cứu này, phương pháp thí nghiệm đơn yếu tố đã được sử dụng để xác định ảnh hưởng của từng thông số trong quá trình trích ly tới khả năng kháng oxy hóa của TSO. Kết quả chỉ ra sự tác động của một số thông số trong quá trình trích ly đến TPC, tổng hàm lượng carotenoid, tocopherol, hoạt tính kháng oxy hóa là rõ ràng. Cụ thể: ở kích thước 0,25-0,5 mm, tốc độ 200-250 v/p, nhiệt độ 35-45°C, thời gian 7-9h, tỷ lệ nguyên liệu/dung môi 1/8-1/10, trích ly 2 lần (để tiết kiệm thời gian và không gây thất thoát các hợp chất kháng oxy hóa) cho

khả năng kháng oxy hóa cao nhất. Đây là tiền đề cho việc tối ưu hóa quy trình trích ly, xây dựng quy trình trích ly TSO có hàm lượng các chất kháng oxy hóa cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Trần Đình Phá và cs (2011), "Kết quả nghiên cứu bước đầu về tiềm năng ứng dụng sản phẩm từ hạt chè", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*, **3**, tr.1-11.
- [2] W. Yuefei, et al. (2011), "Fatty acid composition and antioxidant activity of tea seed oil extracted by optimized supercritical carbon dioxide", *Int. J. Mol. Sci.*, **12**, pp.7708-7719.
- [3] M. Fazel, et al. (2008), "Determination of main tea seed oil antioxidants and their effects on common kilka oil", *International Food Research Journal*, **15**(2), pp.209-217.
- [4] Ravichandran (1993), "Fat stability and amino acids in south Indian tea seeds", *Int. J. Food Sci. Technol.*, **28**, pp.639-646.
- [5] M.A. Sahari, D. Ataii, M. Hamed (2004), "Characteristics of tea seed oil in comparison with sunflower and olive oils and its effect as a natural antioxidant", *JAOCs*, **81**, pp.585-588.
- [6] E. Fattahi Far, M.A. Sahari, M. Barzegar (2006), *Interesterification of tea seed*.
- [7] L. Fu, et al. (2011), "Antioxidant capacities and total phenolic contents of 62 fruits", *Food Chemistry*, **129**(2), pp.345-350.
- [8] S. Franke, et al. (2010), "Analysis of carotenoids and vitamin E in selected oilseeds, press cakes and oils", *Europ. J. Lipid Sci. Technol.*, **112**, pp.1122-1129.
- [9] K. Thaipong, et al. (2006), "Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts", *Journal of Food Composition and Analysis*, **19**, pp.669-675.
- [10] AOCS Official Method Ce8-89 (2017), *Tocopherols and tocotrienols in vegetable oils and fats*.
- [11] Denys J. Charles, James E. Simon (1990), "Comparison of extraction methods for the rapid determination of essential oil content and composition of basil", *Journal of the American Society for Horticultural Science*, **115**, pp.458-462.
- [12] Giang Trung Khoa, Bùi Quang Thuật, Ngô Xuân Mạnh (2017), "Bước đầu nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ đến hiệu suất trích ly polyphenol từ lá chè *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze", *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*, **15**, tr.205-213.
- [13] Nguyễn Thị Hoàng Lan và cs (2016), "Ảnh hưởng của một số điều kiện công nghệ đến hiệu suất trích ly dầu ngô", *Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam*, **14**, tr.1825-1834.
- [14] D. Labbé, et al. (2006), "Effect of Brewing temperature and duration on green tea catechin EGCG enriched fractions", *Separation and Purification Technology*, **49**, pp.1-9.
- [15] Dương Thị Phượng Liên (2014), "Ảnh hưởng quá trình trích ly đến tổng hàm lượng polyphenol và khả năng chống oxy hóa từ đậu nành", *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Cần Thơ*, **1**, tr.8-15.
- [16] Joaquín Velasco, Carmen Dobarganes (2002), "Oxidative stability of virgin olive oil", *Journal of the American Oil Chemists' Society*, **78**, p.1197.
- [17] E. Gimeno, et al. (2000), "Rapid determination of vitamin E in vegetable oils by reversed phase high performance liquid chromatography", *Journal of Chromatography A*, **881**, pp.251-254.
- [18] L.P. Leong, G. Shui (2002), "An investigation of antioxidant capacity of fruits in Singapore markets", *Food Chem.*, **76**, pp.69-75.
- [19] Phan Thị Bích Trâm, Nguyễn Thị Diễm My (2016), "Khảo sát hoạt tính các hợp chất kháng oxy hóa trong lá và thân cây chùm ngây (*Moringa oleifera*)", *Tạp chí Khoa học, Trường Đại học Cần Thơ*, **3**, tr.179-184.

Phân tích cơ sở hạ tầng và nguồn nhân lực công nghệ xạ trị ở Việt Nam

Hoàng Anh Tuấn*, Đinh Văn Chiến

Cục Năng lượng nguyên tử

Ngày nhận bài 5/2/2021; ngày chuyển phản biện 8/2/2021; ngày nhận phản biện 16/3/2021; ngày chấp nhận đăng 1/4/2021

Tóm tắt:

Trong nghiên cứu này, các tác giả tổng hợp và phân tích kết quả điều tra thống kê năm 2019-2020 về cơ sở hạ tầng và nguồn nhân lực của các cơ sở xạ trị ở Việt Nam, từ đó đánh giá kết quả thực hiện mục tiêu Quy hoạch chi tiết phát triển, ứng dụng bức xạ trong y tế đến năm 2020, đồng thời đánh giá tỷ lệ sử dụng xạ trị thực tế (ARUR) của Việt Nam. Kết quả điều tra thống kê đã được phân tích để thảo luận về phân bố địa lý và đánh giá các tỷ số đặc trưng PT/LINAC, PT/RO, PT/ROMP, PT/RTT của các cơ sở xạ trị trong ứng dụng công nghệ xạ trị LINAC. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, tuy Việt Nam chưa đạt mục tiêu quy hoạch đến năm 2020, nhưng đã đạt nhiều thành tựu về phát triển mạng lưới cơ sở xạ trị trong toàn quốc và đầu tư thiết bị xạ trị LINAC đạt mức 0,73 thiết bị LINAC/triệu dân; tỷ lệ sử dụng xạ trị thực tế bằng LINAC đạt 20% với việc ứng dụng các kỹ thuật tiên tiến như IMRT, VMAT, IGRT, SRS, SBRT và đầu tư thiết bị mô phỏng CT, MRI, PET/CT. Tổng số bác sỹ, nhân viên y vật lý, kỹ thuật viên xạ trị trong toàn quốc tương ứng là 318, 151 và 356 người. Các cơ sở xạ trị và đội ngũ chuyên gia chủ yếu tập trung ở Hà Nội và TP Hồ Chí Minh với 67% thiết bị LINAC đáp ứng 80% số bệnh nhân xạ trị LINAC hàng năm. Một mô hình dự báo nhu cầu xạ trị đã được đề xuất và áp dụng để xác định số lượng thiết bị LINAC, nguồn nhân lực kỳ vọng cần thiết cho giai đoạn 2020-2040 nhằm đạt tỷ lệ sử dụng xạ trị thực tế 25-35% số bệnh nhân mắc ung thư mới hàng năm. Theo đó, số lượng thiết bị LINAC kỳ vọng cần thiết đến năm 2030 và năm 2040 tương ứng đạt tỷ lệ 1,1 LINAC/triệu dân và 1,7 LINAC/triệu dân, nhu cầu nguồn nhân lực RO, ROMP, RTT được dự báo sẽ tăng tương ứng tối thiểu 12, 34 và 67% từ năm 2021 đến năm 2030 và 71% cho giai đoạn 2031-2040.

Từ khóa: cơ sở hạ tầng, dự báo nhu cầu, LINAC, nguồn nhân lực, quy hoạch, tỷ lệ sử dụng xạ trị thực tế, xạ trị.

Chỉ số phân loại: 2.11

Đặt vấn đề

Theo số liệu thống kê của Cơ quan Nghiên cứu ung thư quốc tế (IARC), số ca mắc ung thư mới của Việt Nam năm 2020 là 183.000 người và với xu hướng ngày càng tăng trong giai đoạn đến 2040 [1]. Quy hoạch chi tiết phát triển, ứng dụng bức xạ trong y tế đến năm 2020 được ban hành theo Quyết định số 1958/QĐ-TTg ngày 04/11/2011 của Thủ tướng Chính phủ (Quy hoạch chi tiết) đã đặt ra mục tiêu đến năm 2020: thành lập và hoàn thiện mạng lưới các cơ sở y tế ứng dụng bức xạ trong khám, chữa bệnh, đào tạo và nghiên cứu khoa học, với các mục tiêu cụ thể là: 80% tỉnh, thành phố trực thuộc Trung ương có cơ sở y học hạt nhân và cơ sở ung bướu có thiết bị xạ trị; toàn quốc đạt tỷ lệ ít nhất 01 thiết bị xạ trị và 01 thiết bị xạ hình trên 01 triệu dân... Để đánh giá kết quả đạt được so với mục tiêu, nhiệm vụ của Quy hoạch chi tiết trong lĩnh vực xạ trị, đồng thời đánh giá nhu cầu phát triển trong giai đoạn sau 2020, chúng tôi đã tiến hành điều tra thống kê về cơ sở hạ tầng và nguồn nhân lực của các cơ sở xạ trị trong toàn quốc. Ngoài ra, kết quả điều tra thống kê sẽ được sử dụng làm cơ sở để thảo luận về phân bố địa lý, đánh giá và so sánh các tỷ số đặc trưng trong ứng dụng công nghệ xạ trị ở Việt Nam. Các tỷ số đặc trưng [2, 3] bao gồm tỷ số giữa số bệnh nhân và số thiết bị LINAC (PT/LINAC), tỷ số giữa số bệnh nhân và số lượng bác sỹ xạ trị (PT/RO), tỷ số giữa

số bệnh nhân và số lượng nhân viên y vật lý xạ trị (PT/ROMP), tỷ số giữa số bệnh nhân và số lượng kỹ thuật viên xạ trị (PT/RTT). Đây là các tỷ số được chấp nhận rộng rãi trong lĩnh vực ứng dụng công nghệ xạ trị trên thế giới và thường được sử dụng để đánh giá mức độ hợp lý trong mối quan hệ giữa số lượng bệnh nhân được điều trị hàng năm và nguồn nhân lực của các cơ sở xạ trị hoặc của một quốc gia. Số liệu điều tra thống kê của Việt Nam và của các cơ quan chuyên môn quốc tế sẽ được sử dụng làm cơ sở xây dựng mô hình dự báo nhu cầu phát triển cơ sở hạ tầng và nguồn nhân lực xạ trị, góp phần xây dựng quy hoạch thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 theo Nghị định số 41/2019/NĐ-CP ngày 15/5/2019 của Chính phủ quy định chi tiết việc lập, thẩm định, phê duyệt, công bố, thực hiện, đánh giá và điều chỉnh quy hoạch phát triển, ứng dụng năng lượng nguyên tử.

Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

Tiến hành điều tra thống kê về cơ sở hạ tầng và nguồn nhân lực của các cơ sở xạ trị trong toàn quốc. Tổng hợp và phân tích số liệu điều tra thống kê để đánh giá kết quả thực hiện mục tiêu quy hoạch đến năm 2020, xác định tỷ lệ sử dụng xạ trị thực tế ở Việt Nam, thảo luận về phân bố địa lý và các tỷ số đặc trưng PT/LINAC, PT/RO, PT/ROMP, PT/RTT đối với các cơ sở ứng dụng công nghệ xạ

*Tác giả liên hệ: Email: hatuan@most.gov.vn

Analysis of radiotherapy technology infrastructure and human resources in Vietnam

Anh Tuan Hoang*, Van Chien Dinh

Vietnam Atomic Energy Agency

Received 5 February 2021; accepted 1 April 2021

Abstract:

In this study, the authors synthesise and analyse the results of the 2019-2020 statistical survey on infrastructure and human resources of radiotherapy centers in Vietnam, thereby assessing the results of the detailed planning on the development and application of radiation in health to 2020, and at the same time assessing the actual radiotherapy utilisation rate of Vietnam. Statistical survey results were analysed to discuss geographic distribution and evaluate the characteristic ratios of PT/LINAC, PT/RO, PT/ROMP, PT/RTT of the radiotherapy centers in the application of LINAC radiotherapy technology. Research results show that although Vietnam has not met its planned target by 2020, it has obtained many achievements in developing a network of radiotherapy centers nationwide and investing in LINAC radiotherapy equipment reaching 0.73 LINAC/mil. people and the actual radiotherapy utilisation rate (ARUR) being 20% with application of advanced technologies such as IMRT, VMAT, IGRT, SRS, SBRT, simulation devices such as CT, MRI, PET/CT. The total number of radiotherapists, medical physicists, and technicians nationwide are 318, 151, and 356 people, respectively. Radiotherapy centers and specialists are highly concentrated in Hanoi and Ho Chi Minh city with 67% of LINAC machines, responding to 80% of patients receiving cancer treatment by LINAC annually. A model for forecasting radiotherapy demand has been proposed and applied to determine the expected number of LINAC machines, human resources needed for the period 2020-2040 to achieve the actual radiotherapy utilisation rate of 25-35% of new cancer cases annually. Accordingly, the number of LINAC machines needed by 2030 and 2040 will reach 1.1 LINAC/million people and 1.7 LINAC/million people. The demand for RO, ROMP, and RTT human resources is forecasted to increase at least by 12, 34, and 67% from 2021 to 2030, respectively, and 71% for all from 2031 to 2040.

Keywords: actual radiotherapy utilisation rate, demand projection, human resources, infrastructure, LINAC, planning, radiotherapy.

Classification number: 2.11

trị ở Việt Nam. Tỷ lệ sử dụng xạ trị thực tế (ARUR) là tỷ lệ giữa số bệnh nhân được xạ trị và tổng số ca ung thư mới trong năm của một quốc gia, liên hệ chặt chẽ với tỷ số PT/LINAC và số thiết bị xạ trị trên một triệu dân.

Các số liệu được tổng hợp từ một số nguồn, bao gồm kết quả điều tra thống kê ứng dụng công nghệ xạ trị năm 2019-2020, dữ liệu của Cơ quan Năng lượng nguyên tử quốc tế (IAEA), Cơ quan Nghiên cứu ung thư quốc tế (IARC), Hiệp hội Xạ trị và ung thư học châu Âu (ESTRO) và các tài liệu liên quan. Số liệu điều tra thống kê của Việt Nam và của các cơ quan chuyên môn quốc tế sẽ được sử dụng làm cơ sở xây dựng mô hình dự báo nhu cầu phát triển cơ sở hạ tầng và nguồn nhân lực xạ trị trong quy hoạch cho giai đoạn 2020-2040. Trong mô hình dự báo, chúng tôi sử dụng hàm mục tiêu là tỷ lệ sử dụng xạ trị thực tế kỳ vọng của Việt Nam và các tham số PT/LINAC, RO/LINAC, ROMP/LINAC, RTT/LINAC để dự báo số lượng thiết bị LINAC, số lượng bác sỹ, nhân viên y vật lý, kỹ thuật viên xạ trị kỳ vọng cần thiết.

Trong năm 2019, chúng tôi đã xây dựng phương án, mẫu phiếu điều tra thống kê ứng dụng công nghệ xạ trị và gửi đến 40 cơ sở xạ trị trên cả nước. Các chỉ tiêu điều tra thống kê trong mẫu phiếu bao gồm số lượng thiết bị xạ trị LINAC, Tele-Co60, xạ trị áp sát, xạ phẫu, số lượng bệnh nhân xạ trị, bác sỹ xạ trị, nhân viên y vật lý xạ trị, kỹ thuật viên xạ trị trong các năm 2017, 2018, 2019 và các thông tin liên quan của cơ sở xạ trị. Công tác điều tra thống kê được tiến hành theo 2 đợt: đợt 1 từ tháng 8-12/2019, đợt 2 từ tháng 8-12/2020. Năm 2020, 04 cơ sở xạ trị được thành lập mới, nâng tổng số cơ sở xạ trị trong toàn quốc là 44 cơ sở. Đến tháng 12/2020, chúng tôi đã nhận được báo cáo cập nhật số liệu đến hết tháng 12/2019 và thông tin về số lượng thiết bị, nhân lực, bệnh nhân cập nhật đến tháng 9/2020 của 35/44 cơ sở xạ trị gửi về Cục Năng lượng nguyên tử. Cần lưu ý rằng, mặc dù 09/44 cơ sở xạ trị (bao gồm 04 cơ sở mới được thành lập) chưa có số liệu cập nhật về nguồn nhân lực và số bệnh nhân xạ trị, nhưng không ảnh hưởng đáng kể đến kết quả điều tra thống kê.

Kết quả và thảo luận

Kết quả điều tra thống kê

Kết quả điều tra thống kê về cơ sở hạ tầng và nguồn nhân lực ứng dụng công nghệ xạ trị của các cơ sở xạ trị bao gồm các chủng loại, số lượng thiết bị xạ trị, số lượng bác sỹ xạ trị (RO), nhân viên y vật lý xạ trị (ROMP), kỹ thuật viên xạ trị (RTT).

Năm 2019, theo kết quả điều tra thống kê, Việt Nam có 40 cơ sở xạ trị tại 40 bệnh viện với tổng số 95 thiết bị xạ trị và xạ phẫu, trong đó: 66 thiết bị LINAC tại 33 cơ sở (07 cơ sở chưa có thiết bị LINAC), 08 thiết bị xạ phẫu tại 06 cơ sở, 05 Tele-Co60 (thực tế chỉ có 02 thiết bị đang được sử dụng) và 16 thiết bị áp sát tại một số cơ sở. Đối với 35 cơ sở xạ trị có báo cáo nguồn nhân lực (87,5%), tổng số RO, ROMP, RTT tương ứng là 276, 131 và 310 người, trong đó, tổng số RO, ROMP, RTT của 28 cơ sở xạ trị LINAC tương ứng là 250, 123 và 277 người. Đa số nhân viên y vật lý ở các cơ sở xạ trị đã có kinh nghiệm trên 05 năm, tốt nghiệp cử nhân hoặc thạc sỹ chuyên ngành vật lý hạt nhân, kỹ thuật hạt nhân từ các trường đại học ở Hà Nội, TP Hồ Chí Minh. Một thực tế cần được

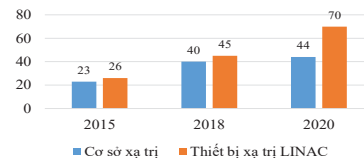
nhấn mạnh đối với lĩnh vực y vật lý ở Việt Nam là chưa hình thành một hệ thống đáp ứng thực sự chuẩn mực quốc tế về đào tạo văn bằng ở trường đại học và đào tạo lâm sàng tại cơ sở xạ trị. Tổng số bệnh nhân xạ trị LINAC của 28/33 cơ sở với 60 thiết bị LINAC là 34.580 bệnh nhân (không tính số bệnh nhân xạ trị LINAC của 05 cơ sở còn lại với 06 thiết bị LINAC); tổng số bệnh nhân được điều trị xạ phẫu, Tele-Co60, xạ trị áp sát là 4.687 bệnh nhân. Từ số liệu của IARC [1] về số ca mắc ung thư mới ở Việt Nam trong các năm 2018 và 2020, ước tính số ca mắc ung thư mới năm 2019 ở Việt Nam là 174.000 ca. Do đó, trong năm 2019, với tổng số 34.580 bệnh nhân được xạ trị LINAC, thì tỷ lệ ARUR ở Việt Nam là 19,87%. Nếu tính thêm số lượng bệnh nhân được xạ trị LINAC chưa thống kê được của 05 cơ sở xạ trị với 06 thiết bị LINAC tại Hà Nội và TP Hồ Chí Minh thì tỷ lệ ARUR ở Việt Nam là 20% hoặc cao hơn một ít.

Năm 2020, với việc đầu tư 04 thiết bị LINAC tại 04 cơ sở xạ trị mới được thành lập, Việt Nam có tổng số 99 thiết bị xạ trị và xạ phẫu tại 44 cơ sở xạ trị của 44 bệnh viện, trong đó: 70 thiết bị LINAC tại 37 cơ sở, 08 thiết bị xạ phẫu, 05 Tele-Co60 và 16 thiết bị áp sát. Dựa trên tổng số RO, ROMP, RTT của 28 cơ sở xạ trị với 60 thiết bị LINAC tương ứng là 250, 123, 277 người, các hệ số RO/LINAC, ROMP/LINAC và RTT/LINAC của Việt Nam được đánh giá tương ứng là 4,2-2,0-4,6. Khi sử dụng các hệ số này để ước tính số lượng nhân lực của 09 cơ sở xạ trị với 10 LINAC, thì đến năm 2020, Việt Nam có tổng số RO, ROMP, RTT ước tính tương ứng là 318, 151 và 356 người.

Sự phát triển ứng dụng công nghệ xạ trị

Trong những năm qua, nhiều cơ sở xạ trị ở Việt Nam đã được xây dựng, phát triển và đầu tư thiết bị xạ trị LINAC ứng dụng các kỹ thuật tiên tiến như xạ trị điều biến liều (IMRT), xạ trị cung tròn điều biến liều theo thể tích (VMAT), xạ trị theo hướng dẫn hình ảnh (IGRT), xạ phẫu (SRS), xạ trị lập thể định vị thân (SBRT) nhằm nâng cao chất lượng điều trị. Công nghệ Varian Truebeam đã được ứng dụng từ năm 2018 tại các bệnh viện Trung ương Quân đội 108, Ung bướu TP Hồ Chí Minh, Vinmec Central Park [4-7]. Ngoài ra, nhiều thiết bị LINAC hiện đại đã được ứng dụng như Elekta Versa HD tại Bệnh viện Chợ Rẫy (2018), Bệnh viện K (2019); Elekta Infinity tại Bệnh viện K (2017); Elekta Synergy ở Bệnh viện K (2018), Đa khoa Hợp Lực (2018), Ung bướu Nghệ An (2019), Ung bướu Bắc Giang (2020), Đa khoa Ninh Bình (2020), Đa khoa Hưng Yên (2020), Hữu nghị Lạc Việt (2020)...

Theo các tài liệu [5-7] và kết quả điều tra thống kê của chúng tôi, sự phát triển số cơ sở xạ trị và thiết bị LINAC ở Việt Nam được thể hiện trong hình 1. Giai đoạn 2015-2020 đánh dấu sự phát triển nhanh chóng về số lượng các cơ sở xạ trị và số lượng thiết bị LINAC được đầu tư, phản ánh việc đáp ứng nhu cầu điều trị ung thư ngày càng tăng ở Việt Nam và kết quả thực hiện Quy hoạch chi tiết. Trong giai đoạn 2015-2020, số cơ sở xạ trị tăng gần 2,0 lần (đạt tỷ lệ 35% tỉnh/thành phố trực thuộc Trung ương có cơ sở ung bướu có thiết bị xạ trị so với mục tiêu 80% trong Quy hoạch chi tiết), số lượng thiết bị LINAC tăng 2,7 lần (đạt tỷ lệ 0,73 thiết bị LINAC/triệu dân so với mục tiêu tối thiểu 01 thiết bị xạ trị/triệu dân vào năm 2020 của Quy hoạch chi tiết).



Hình 1. Số lượng cơ sở xạ trị và thiết bị LINAC ở Việt Nam giai đoạn 2015-2020.

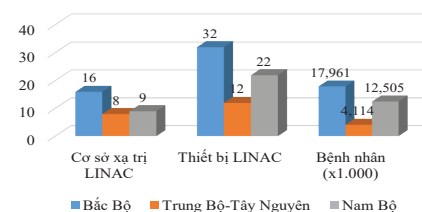
Phân bố địa lý các cơ sở xạ trị

Phân bố địa lý và kết quả hoạt động xạ trị trong năm 2019 của 33 cơ sở xạ trị có thiết bị LINAC theo ba vùng Bắc Bộ, Trung Bộ - Tây Nguyên, Nam Bộ và 03 thành phố Hà Nội, Đà Nẵng, TP Hồ Chí Minh được trình bày trong bảng 1. Phân bố địa lý các cơ sở xạ trị LINAC, thiết bị LINAC, số bệnh nhân xạ trị LINAC năm 2019 được thể hiện trong hình 2. Các cơ sở xạ trị LINAC chủ yếu tập trung ở Hà Nội, TP Hồ Chí Minh, Đà Nẵng, đặc biệt là ở Bệnh viện K Hà Nội, Bệnh viện Trung ương Quân đội 108, Bệnh viện Ung bướu TP Hồ Chí Minh, Bệnh viện Chợ Rẫy. Tổng số thiết bị LINAC và số bệnh nhân xạ trị LINAC của Hà Nội và TP Hồ Chí Minh tương ứng là 44 LINAC (66,7%), 27.416 bệnh nhân (79,3%).

Bảng 1. Phân bố địa lý các cơ sở xạ trị LINAC năm 2019.

Khu vực, thành phố	Số cơ sở xạ trị LINAC	Số thiết bị xạ trị LINAC	Tỷ lệ thiết bị LINAC (%)	Số bệnh nhân xạ trị LINAC*	Tỷ lệ bệnh nhân xạ trị LINAC (%)	Dân số năm 2019 (triệu người)
Bắc Bộ	16	32	48,5	17.961	51,94	35
Trung Bộ - Tây Nguyên	8	12	18,2	4.114	11,9	26
Nam Bộ	9	22	33,3	12.505	36,16	35
Tổng	33	66	100	34.580	100	96
Hà Nội	10	25	37,9	15.363	44,43	8
Đà Nẵng	3	5	7,6	1.284	3,71	1,1
TP Hồ Chí Minh	7	19	28,8	12.053	34,86	9
Tổng	20	49	74,3	28.700	83,0	18,1

*Không tính 5 cơ sở xạ trị với 6 thiết bị LINAC chưa có số liệu cập nhật về số bệnh nhân.



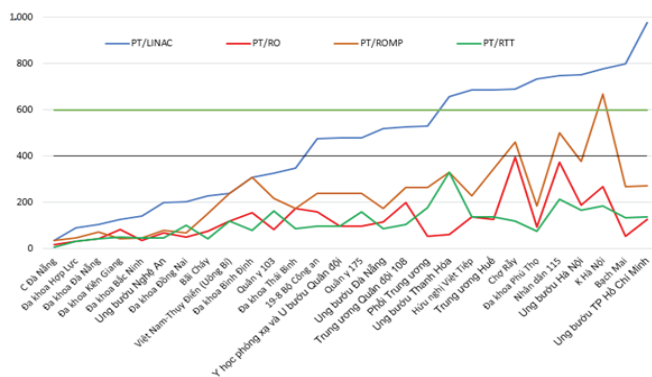
Hình 2. Phân bố địa lý các cơ sở xạ trị LINAC, thiết bị LINAC, số bệnh nhân xạ trị LINAC năm 2019.

Tỷ số đặc trưng và phân loại các cơ sở xạ trị

Thông thường, giá trị của các tỷ số đặc trưng PT/LINAC, PT/RO, PT/ROMP, PT/RTT nằm trong một khoảng nhất định. Khi tỷ số này lớn hơn giới hạn thì cần xem xét việc bổ sung thiết bị, nhân lực hoặc ngược lại khi tỷ số thấp hơn giới hạn có nghĩa là hiệu quả, tính kinh tế của việc đầu tư trang thiết bị còn thấp, cần xem xét nâng cao theo điều kiện thực tế. Trong nghiên cứu này, các tỷ số đặc trưng lần đầu tiên được xác định cho 28 cơ sở xạ trị có thiết bị LINAC và được trình bày trong bảng 2 và hình 3 (sắp xếp theo thứ tự tăng dần của tỷ số PT/LINAC).

Bảng 2. Tỷ số đặc trưng PT/LINAC, PT/RO, PT/ROMP, PT/RTT của 28 cơ sở xạ trị LINAC năm 2019.

STT	Cơ sở xạ trị	Số LINAC	PT/LINAC	PT/RO	PT/ROMP	PT/RTT
1	C Đà Nẵng	1	34	17	34	6
2	Đa khoa Hợp Lực	1	91	30	46	30
3	Đa khoa Đà Nẵng	2	105	42	70	42
4	Đa khoa Kiên Giang	2	125	83	42	50
5	Đa khoa Bắc Ninh	1	140	35	47	47
6	Ung bướu Nghệ An	2	200	67	80	44
7	Đa khoa Đồng Nai	1	202	51	67	101
8	Bãi Cháy	2	227	76	151	41
9	Việt Nam - Thụy Điển (Uông Bí)	1	240	120	240	120
10	Đa khoa Bình Định	1	309	155	309	77
11	Quân y 103	2	325	81	217	163
12	Đa khoa Thái Bình	1	347	174	174	87
13	19-8 Bộ Công an	1	475	158	238	95
14	Y học phóng xạ và U bướu Quân đội	1	478	96	239	96
15	Quân y 175	2	480	96	240	160
16	Ung bướu Đà Nẵng	2	520	116	173	87
17	Trung ương Quân đội 108	3	527	198	264	105
18	Phối Trung ương	1	530	53	265	177
19	Ung bướu Thanh Hóa	1	656	60	328	328
20	Hữu nghị Việt Tiệp	1	686	137	229	137
21	Trung ương Huế	2	687	125	344	137
22	Chợ Rẫy	4	690	394	460	120
23	Đa khoa Phú Thọ	1	732	92	183	73
24	Nhân dân 115	2	750	375	500	214
25	Ung bướu Hà Nội	2	753	188	376	167
26	K Hà Nội	12	779	267	667	183
27	Bạch Mai	1	800	53	267	133
28	Ung bướu TP Hồ Chí Minh	7	976	127	273	137

**Hình 3. Phân bố các tỷ số đặc trưng của 28 cơ sở xạ trị (năm 2019).**

Theo tài liệu “Xạ trị ung thư: Đối mặt với thách thức toàn cầu” [8], công suất xạ trị (PT/LINAC) của một thiết bị LINAC từ 400 đến 600 bệnh nhân/năm. Số lượng bệnh nhân được xạ trị của một thiết bị LINAC trong một năm còn tùy thuộc vào cơ sở xạ trị cụ thể. Để tính toán số lượng LINAC cần thiết cho một cơ sở xạ trị, vùng địa lý hoặc cả nước cần thiết phải sử dụng số liệu PT/LINAC ở phạm vi thích hợp. Tỷ số PT/LINAC năm 2019 của Việt Nam ước tính khoảng 540 bệnh nhân xạ trị/LINAC. Phân tích số liệu về các tỷ số đặc trưng của 28 cơ sở xạ trị được trình bày trong bảng 2 và hình 3, có thể phân loại các cơ sở xạ trị ở Việt Nam theo ba nhóm sau đây: nhóm I: cơ sở xạ trị có tỷ số PT/LINAC ≥ 600 ; nhóm II: cơ sở xạ trị với $400 \leq$ tỷ số PT/LINAC < 600 ; nhóm III: cơ sở xạ trị có tỷ số PT/LINAC

< 400 . Theo phân nhóm như trên, có 10 cơ sở thuộc nhóm I với 33 thiết bị LINAC, 6 cơ sở thuộc nhóm II với 10 thiết bị LINAC, 12 cơ sở xạ trị thuộc nhóm III với 17 thiết bị LINAC. Trong bảng 2, danh sách các cơ sở xạ trị thuộc các nhóm I, II, III tương ứng số thứ tự là 19-28, 13-18 và 1-12. Các tỷ số đặc trưng theo IAEA [2], ESTRO [3] cùng với các tỷ số đặc trưng trong ứng dụng công nghệ xạ trị của Việt Nam theo ba nhóm cơ sở xạ trị LINAC được trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Tỷ số đặc trưng của ba nhóm cơ sở xạ trị LINAC của Việt Nam, IAEA, ESTRO.

	PT/LINAC	PT/RO	PT/ROMP	PT/RTT
IAEA	400-500	250-300	300-400	100-150
ESTRO	400-450	200-250	450-500	-
Việt Nam (2019)	Nhóm I (600-1.000)	53-394	183-667	73-328
	Nhóm II (400-600)	53-198	173-265	87-160
	Nhóm III (<400)	17-174	34-309	6-163

Dựa trên số liệu được trình bày trong bảng 2 và bảng 3, có thể đưa ra các đánh giá so sánh và khuyến cáo như sau:

Đối với nhóm I: 02 bệnh viện ở TP Hồ Chí Minh (Chợ Rẫy và Nhân dân 115) có tỷ số PT/RO > 300 , cần sớm có kế hoạch đầu tư thiết bị LINAC, bổ sung số lượng bác sỹ và nhân viên y vật lý xạ trị. Bệnh viện K Hà Nội có tỷ số PT/ROMP là 667, vượt quá giới hạn của IAEA và ESTRO, cần có kế hoạch bổ sung khoảng 30% nhân viên y vật lý, đầu tư thiết bị LINAC. Các bệnh viện Ung bướu Hà Nội, K Hà Nội, Nhân dân 115, Ung bướu Thanh Hóa có tỷ số PT/RTT > 150 theo khuyến cáo của IAEA, cần có kế hoạch kịp thời bổ sung số lượng kỹ thuật viên xạ trị.

Đối với nhóm II: các tỷ số đặc trưng của 6 cơ sở xạ trị nhóm II về cơ bản nằm trong giới hạn khuyến cáo của IAEA, chỉ có tỷ số PT/RTT của Bệnh viện 175 là 160, vượt giới hạn 150.

Đối với nhóm III: các tỷ số đặc trưng của 12 cơ sở xạ trị nhóm III về cơ bản nằm trong giới hạn khuyến cáo của IAEA, ESTRO, chỉ có tỷ số PT/RTT của Bệnh viện Quân y 103 là 163, vượt giới hạn 150. Tuy nhiên, cần phải nâng cao năng lực điều trị, chất lượng nguồn nhân lực và hiệu quả đầu tư đối với 12 cơ sở xạ trị thuộc nhóm III.

Mô hình dự báo nhu cầu LINAC và nguồn nhân lực

Việc lập kế hoạch quốc gia về phát triển ứng dụng công nghệ xạ trị đòi hỏi phải có hiểu biết kỹ lưỡng về hồ sơ dịch tễ học ung thư của đất nước, tỷ lệ sử dụng xạ trị thực tế ARUR và dự báo tương lai của dữ liệu này. Theo IAEA, tỷ lệ ARUR ở các nước có thu nhập trung bình là 28% (9-46%) và tỷ lệ xạ trị tối ưu là 52% (47-56%) [9]. Theo kết quả điều tra thống kê ứng dụng công nghệ xạ trị ở Việt Nam được trình bày ở trên, tỷ lệ sử dụng xạ trị LINAC thực tế ARUR ở Việt Nam là 20%, do đó chúng ta có thể kỳ vọng tỷ lệ này sẽ tăng dần trong giai đoạn sau 2020.

Trong mô hình dự báo nhu cầu, chúng tôi đặt mục tiêu tỷ lệ kỳ vọng ARUR sử dụng LINAC tương ứng là 25% cho giai đoạn 2020-2030 và 35% cho giai đoạn 2030-2040. Ngoài ra, theo báo cáo của Bộ Y tế bang Victoria (Úc) [10], số lượng cần thiết RO, ROMP, RTT tỷ lệ với số thiết bị LINAC kỳ vọng với các hệ số tương ứng là 3,0-1,7-10,0. Theo kết quả điều tra thống kê, các hệ số RO/LINAC, ROMP/LINAC và RTT/LINAC của Việt Nam đã được xác định tương ứng là 4,2-2,0-4,6. Kết hợp kết quả nghiên cứu của

IAEA [8], Úc [10] và kết quả điều tra thống kê trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng các hệ số PT/LINAC, RO/LINAC, ROMP/LINAC và RTT/LINAC trong mô hình đánh giá dự báo tương ứng là 500-3,0-1,7-5,0. Số lượng LINAC kỳ vọng cần thiết sẽ là $(ARUR \times N)/500$, trong đó N là số ca mắc ung thư mới hàng năm theo số liệu của IARC. Kết quả đánh giá dự báo số lượng LINAC, RO, ROMP, RTT cần thiết kỳ vọng tối thiểu cho giai đoạn đến 2040 được trình bày trong bảng 4 (các số liệu có dấu (-) vào năm 2020 là số lượng LINAC, ROMP, RTT thiếu hụt so với nhu cầu kỳ vọng).

Bảng 4. Dự báo nhu cầu LINAC và nguồn nhân lực xạ trị đến năm 2040.

Năm	Số ca ung thư mới [1]	Số ca điều trị kỳ vọng	Số LINAC	RO	ROMP	RTT
2020	183.000	45.750	92 (-22)	276	156 (-5)	460 (-104)
2025	209.000	52.250	105	315	179	525
2030	237.000	59.250	119	357	202	595
2035	265.000	92.750	186	558	316	930
2040	291.000	101.850	204	612	347	1.020

Với giả thiết tỷ lệ tăng trưởng dân số của Việt Nam là 1,16%/năm, thì đến năm 2030 và năm 2040, số lượng LINAC/triệu dân dự báo tương ứng đạt tỷ lệ 1,1 LINAC/triệu dân và 1,7 LINAC/triệu dân. Nhu cầu nguồn nhân lực RO, ROMP, RTT được dự báo tăng tương ứng tối thiểu 12, 34 và 67% từ năm 2021 đến năm 2030 và 71% trong giai đoạn 2031-2040.

Như vậy, sử dụng tỷ lệ xạ trị thực tế ở Việt Nam làm mục tiêu thay cho chỉ tiêu số thiết bị xạ trị trên một triệu dân trong quy hoạch phát triển ứng dụng công nghệ xạ trị cho phép xác định các nguồn lực và giải pháp phát triển cần thiết một cách đồng bộ. Ngoài việc đầu tư thiết bị LINAC ứng dụng các kỹ thuật hiện đại như IMRT, IGRT, VMAT, SRS, SBRT, cần thiết tiến hành nghiên cứu khả thi các dự án đầu tư công nghệ hiện đại như MRI/LINAC, xạ trị proton, xạ trị BNCT ứng dụng chùm neutron từ lò phản ứng nghiên cứu hoặc thiết bị gia tốc. Để khai thác hiệu quả thiết bị xạ trị hiện đại, cần phải đồng thời đầu tư thiết bị mô phỏng như CT mô phỏng, MRI, PET/CT, PET/MRI và nâng cao chất lượng nguồn nhân lực thông qua một chương trình đào tạo quốc gia trong lĩnh vực xạ trị.

Kết luận

Lần đầu tiên tiến hành điều tra thống kê và tổng hợp, phân tích số liệu về cơ sở hạ tầng và nguồn nhân lực của các cơ sở xạ trị ở Việt Nam, đã ghi nhận sự tăng trưởng đáng kể về số cơ sở xạ trị, số thiết bị xạ trị LINAC trong giai đoạn thực hiện Quy hoạch chi tiết phát triển, ứng dụng bức xạ trong y tế đến năm 2020 theo Quyết định của Thủ tướng Chính phủ. Đến năm 2020, Việt Nam đã đầu tư, phát triển 44 cơ sở xạ trị, đạt tỷ lệ 0,73 LINAC/triệu dân và 35% tỉnh/thành phố trực thuộc Trung ương có cơ sở ung bướu có thiết bị xạ trị. Tổng số bác sĩ, nhân viên y vật lý, kỹ thuật viên xạ trị trong toàn quốc tương ứng là 318, 151 và 356 người. Có sự tập trung cao đội ngũ chuyên gia, thiết bị LINAC (67%) và bệnh nhân xạ trị LINAC (80%) ở Hà Nội và TP Hồ Chí Minh. Năm 2019, với tổng số 34.580 bệnh nhân xạ trị LINAC, tỷ lệ sử dụng xạ trị thực tế (ARUR) ứng dụng công nghệ LINAC ở Việt Nam đạt khoảng 20%.

Nhờ việc xác định tỷ số đặc trưng giữa số lượng bệnh nhân trên một thiết bị LINAC (PT/LINAC), các cơ sở xạ trị của Việt Nam

được phân loại theo ba nhóm. Căn cứ các tỷ số đặc trưng PT/RO, PT/ROMP, PT/RTT được xác định đối với 28 cơ sở xạ trị LINAC, cần phải kịp thời bổ sung nhân lực và đầu tư thiết bị đối với các cơ sở xạ trị thuộc Nhóm I với số bệnh nhân là 600-1.000/LINAC/năm bởi vì các tỷ số đặc trưng của cơ sở xạ trị này vượt quá giới hạn khuyến cáo của IAEA và ESTRO; cần phải nâng cao năng lực điều trị, chất lượng nguồn nhân lực và hiệu quả đầu tư đối với 12 cơ sở xạ trị thuộc nhóm III với số bệnh nhân dưới 400/LINAC/năm.

Cần thiết sử dụng tỷ lệ xạ trị thực tế ở Việt Nam làm mục tiêu thay cho chỉ tiêu số thiết bị xạ trị trên một triệu dân trong việc xây dựng Quy hoạch phát triển, ứng dụng năng lượng nguyên tử thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 theo Quyết định số 108/QĐ-TTg ngày 22/01/2021 của Thủ tướng Chính phủ. Với mục tiêu sử dụng xạ trị thực tế đạt tỷ lệ 25-35% cho giai đoạn 2030-2040, số lượng thiết bị LINAC cần thiết đến năm 2030 và 2040 được dự báo theo mô hình chúng tôi đề xuất là 119 và 204 thiết bị, tương ứng tỷ lệ 1,1 LINAC/triệu dân và 1,7 LINAC/triệu dân. Nhu cầu nguồn nhân lực bác sĩ xạ trị, nhân viên y vật lý và kỹ thuật viên dự báo tăng tương ứng tối thiểu 12, 34 và 67% từ năm 2021 đến năm 2030 và 71% trong giai đoạn 2031-2040.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ Đề tài “Xây dựng bản đồ công nghệ bức xạ và đồng vị phóng xạ trong lĩnh vực y tế, công nghiệp” mã số ĐM.48.DA/19, thuộc Chương trình Đổi mới công nghệ quốc gia. Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Ban chủ nhiệm và các cơ quan quản lý Chương trình, các bệnh viện có cơ sở xạ trị đã hỗ trợ thực hiện nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] https://gco.iarc.fr/tomorrow/en/dataviz/isotype?populations=704&single_unit=10000.
- [2] International Atomic Energy Agency (2010), “Planning national radiotherapy services: a practical tool”, *IAEA Human Health Series*, **14**, pp.31-58.
- [3] B. Slotman, B. Cottier, S. Bentzen, et al. (2005), “Overview of national guidelines for infrastructure and staffing of radiotherapy. ESTRO-QUARTS: work package 1”, *Radiotherapy and Oncology*, **75**, p.6.
- [4] Đặng Huy Quốc Thịnh, Nguyễn Trung Hiếu (2018), “Ứng dụng xạ trị kỹ thuật cao bằng máy Truebeam-Varian tại Bệnh viện Ung bướu TP Hồ Chí Minh”, *Hội thảo khoa học quốc gia lần thứ III ứng dụng năng lượng nguyên tử phục vụ phát triển kinh tế - xã hội*, Cục Năng lượng nguyên tử, tr.71-75.
- [5] Hoàng Anh Tuấn (2015), “Tổng hợp kết quả giai đoạn 2006-2015 thực hiện Chiến lược ứng dụng năng lượng nguyên tử vì mục đích hòa bình đến năm 2020”, *Tuyển tập báo cáo 10 năm thực hiện Chiến lược Ứng dụng năng lượng nguyên tử vì mục đích hòa bình đến năm 2020 (giai đoạn 2006-2015)*, Cục Năng lượng nguyên tử, tr.11-28.
- [6] Mai Trọng Khoa (2015), “Tình hình ứng dụng năng lượng bức xạ ion hóa trong ngành y tế Việt Nam”, *Tuyển tập báo cáo 10 năm thực hiện Chiến lược Ứng dụng năng lượng nguyên tử vì mục đích hòa bình đến năm 2020 (giai đoạn 2006-2015)*, Cục Năng lượng nguyên tử, tr.77-83.
- [7] Hoàng Anh Tuấn (2018), “Tổng quan về ứng dụng năng lượng nguyên tử phục vụ phát triển kinh tế - xã hội”, *Hội thảo khoa học quốc gia lần thứ III ứng dụng năng lượng nguyên tử phục vụ phát triển kinh tế - xã hội*, Cục Năng lượng nguyên tử, tr.7-11.
- [8] M. Barton, M. Williams (2017), “Assessing needs and demand for radiotherapy”, *Radiotherapy in cancer care: facing the global challenge*, IAEA, pp.43-57.
- [9] E. Rosenblatt, et al. (2018), “Radiotherapy utilization in developing countries: an IAEA study”, *Radiother Oncol*, **128**, pp.400-405.
- [10] Hua Zhang (2010), *Victorian Medical Radiations: Workforce Supply and Demand Projections (2010-2030)*, Published by the Modelling, GIS and Planning Products Unit, Victorian Government, Department of Health, Melbourne, Victoria, Australia, pp.9.

QUY ĐỊNH VỀ BÀI VIẾT ĐĂNG TẢI TRÊN TẠP CHÍ

Yêu cầu chung

Bài viết gửi đăng trên Tạp chí phải là bài viết nguyên thủy (chưa được công bố trước đó). Tác giả không được gửi đăng bài viết 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 viết gửi về Tòa soạn dưới dạng file mềm và bản in; có thể gửi trực tiếp đến Tạp chí (Phòng 507, số 113 Trần Duy Hưng, Cầu Giấy, Hà Nội) hoặc qua hòm thư điện tử, địa chỉ: khcnvn@most.gov.vn.

Tên bài báo

- Tên bài báo được viết bằng tiếng Việt và tiếng Anh, trên trang đầu của bài báo, 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.

Tóm tắt

Tóm tắt bằng tiếng Việt và tiếng Anh. 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. Chỉ số phân loại (theo hướng dẫn).

Dẫn nhập/đặt vấn đề

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.

Đối tượng và phương pháp

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...

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.

Bàn luận

Chủ yếu bàn luận các vấn đề liên quan đến mục tiêu đề tài.

Nhận xét, đánh giá một cách khách quan các kết quả nghiên cứu, có so sánh với các tác giả khác để khẳng định hoặc phủ định những hiểu biết đã có, qua đó nêu được những điểm mới và đóng góp của đề tài.

Dự báo hướng nghiên cứu tiếp và khả năng ứng dụng các kết quả nghiên cứu vào thực tiễn.

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.

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 1 hoặc [2, 5, 7-9] với nhiều số chỉ dẫn.

Tác giả (Năm xuất bản), "Tên tài liệu được trích dẫn", *Tên nguồn*, **tập (số)**, pp<trang đầu-trang cuối>

Tác giả: là tác giả/các tác giả của tài liệu được tham khảo, trích dẫn.

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...

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).

Tập (số): dành cho nguồn trích là tạp chí, sách hoặc các xuất bản phẩm khác (phần này in đậm).

Trang đầu-trang cuối là số thứ tự các trang phản ánh nơi cư trú của tài liệu được trích dẫn trong tài liệu nguồn.

Chú ý: nếu có ≥ 2 tài liệu tham khảo do cùng 1 tác giả/nhóm tác giả, cùng năm công bố, thì các tài liệu tham khảo này cần được đánh dấu a, b... sau năm xuất bản (ví dụ: 1986a).

Nếu có một số tài liệu tham khảo trong cùng 1 bài báo được trích dẫn có số trang khác nhau thì cần trích dẫn thêm số trang, ví dụ: Kitchen (1982, p 39).

Các yêu cầu khác

- Bài viết không đạt yêu cầu, Tòa 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.

PHÂN LOẠI LĨNH VỰC KHOA HỌC

1. Khoa học tự nhiên

- 1.1. Toán học và thống kê
- 1.2. Khoa học máy tính và thông tin
- 1.3. Vật lý
- 1.4. Hóa học
- 1.5. Khoa học trái đất và môi trường
- 1.6. Khoa học sự sống
- 1.7. Khoa học nano
- 1.8. Khoa học tính toán
- 1.9. Các lĩnh vực khác của khoa học tự nhiên

2. Khoa học kỹ thuật và công nghệ

- 2.1. Kỹ thuật dân dụng: kỹ thuật kiến trúc; kỹ thuật xây dựng; kỹ thuật kết cấu và đô thị; kỹ thuật giao thông vận tải; kỹ thuật thủy lợi; kỹ thuật địa chất công trình
- 2.2. Kỹ thuật điện, kỹ thuật điện tử, kỹ thuật thông tin
- 2.3. Kỹ thuật cơ khí, chế tạo máy
- 2.4. Kỹ thuật hóa học
- 2.5. Kỹ thuật vật liệu và luyện kim
- 2.6. Kỹ thuật y học
- 2.7. Kỹ thuật môi trường
- 2.8. Công nghệ sinh học công nghiệp
- 2.9. Công nghệ nano
- 2.10. Kỹ thuật thực phẩm và đồ uống
- 2.11. Các lĩnh vực khác của khoa học kỹ thuật và công nghệ

3. Khoa học y - dược

- 3.1. Y học cơ sở
- 3.2. Y học lâm sàng
- 3.3. Y học dự phòng
- 3.4. Dược học
- 3.5. Các lĩnh vực khác của Y - dược học

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 63 - Number 6 - June 2021

Thiết kế nền tảng Biosensing quang học dựa trên cấu trúc nano điện môi - kim loại - điện môi.

Phạm Đình Đạt, Phạm Tiến Thành

Thành phần hóa học và hoạt tính *in vitro* kháng nấm *Colletotrichum* spp. gây bệnh thán thư trên cây trồng của dầu nghệ (*Curcuma longa* L.).

Phạm Trung Hiếu, Trần Đại Lâm, Phạm Thị Năm, Vũ Đình Hoàng, Nguyễn Hồng Tuyên, Trịnh Thị Hồng, Lê Đăng Quang

Đánh giá độ nhạy các thông số và hiệu chỉnh mô hình DNDC phục vụ tính toán phát thải khí nhà kính từ hoạt động canh tác lúa nước.

Bùi Thị Thu Trang, Chu Sỹ Huân, Mai Văn Trinh, Đinh Thái Hưng

Nghiên cứu lan truyền khối nước mang mầm bệnh trong hệ thống nuôi trồng thủy sản ven biển.

Nguyễn Đình Vượng, Tăng Đức Thắng

Nhân dòng, biểu hiện và tinh sạch chaperone AcrH của vi khuẩn *Aeromonas hydrophila* sử dụng vật chủ *Escherichia coli*.

Nguyễn Văn Sáng, Nguyễn Thị Uyên

So sánh hiệu quả của các thuật toán metaheuristic cho bài toán tối ưu khung thép sử dụng phân tích phi tuyến.

Hà Mạnh Hùng

Mặt đường hấp thụ khí thải và đề xuất áp dụng tại Việt Nam.

Nguyễn Văn Nam, Vũ Đức Sỹ, Phạm Huy Khang

Ứng dụng giải pháp giếng thu nước mặt thay thế hình thức lấy nước truyền thống tại các tỉnh miền núi phía Bắc.

Nguyễn Huy Vượng, Phạm Tuấn, Nguyễn Thành Công, Trần Văn Quang, Đinh Văn Thức

Nghiên cứu ảnh hưởng của tính chất nguyên liệu đến quá trình tạo hạt xúc tác cracking dạng công nghiệp bằng công nghệ sấy phun.

Trương Đức Hoàn, Ngô Thúy Phương, Đinh Đức Mạnh, Đặng Thanh Tùng, Đào Thị Kim Thoa, Vũ Xuân Hoàn

Tổng hợp vật liệu Fe_2O_3 kích thước nanomet ứng dụng làm điện cực âm pin sạc lại.

Bùi Thị Hằng, Trần Văn Đáng, Nguyễn Văn Quy

Nghiên cứu xây dựng công thức tạo sản phẩm bột nêm dinh dưỡng từ bột đạm thủy phân phụ phẩm cá tra.

Bùi Thị Thu Hiền, Nguyễn Thanh Bình, Phạm Thị Diễm, Bùi Thị Minh Nguyệt, Đào Văn Hào, Lê Xuân Quế, Trương Vĩnh Thành

Nghiên cứu sấy măng bằng công nghệ sấy bơm nhiệt Sasaki.

Đoàn Thị Bắc, Tạ Thu Hằng, Nguyễn Đức Bình Minh, Nguyễn Thị Hoàng Lan, Trần Thu Trang

Ảnh hưởng của một số thông số trong quá trình trích ly đến khả năng kháng oxy hóa của dầu hạt chè (*Camellia sinensis* O. Kuntze).

Phan Thị Phương Thảo, Giang Trung Khoa, Vũ Hồng Sơn

Phân tích cơ sở hạ tầng và nguồn nhân lực công nghệ xạ trị ở Việt Nam.

Hoàng Anh Tuấn, Đinh Văn Chiến

1 Designing a new optical biosensing platform based on an insulator-metal-insulator nanostructure.

Dinh Dat Pham, Tien Thanh Pham

6 Chemical composition and *in vitro* antifungal activity of turmeric oil from *Curcuma longa* L. rhizome against *Colletotrichum* spp.

Trung Hieu Pham, Dai Lam Tran, Thi Nam Pham, Dinh Hoang Vu, Hong Tuyen Nguyen, Thi Hong Trinh, Dang Quang Le

11 Research on the sensitivity of parameters and calibrates DNDC model for calculating emissions from paddy rice cultivation activities.

Thi Thu Trang Bui, Sy Huan Chu, Van Trinh Mai, Thai Hung Dinh

18 Research on the spread of pathogens-carrying water in the coastal aquaculture system.

Dinh Vuong Nguyen, Duc Thang Tang

23 Cloning, expression, and purification of chaperone AcrH from *Aeromonas hydrophila* using *Escherichia coli* host cells.

Van Sang Nguyen, Thi Uyen Nguyen

28 Performance comparison of metaheuristic algorithms for optimisation of steel frames using nonlinear inelastic analysis.

Manh Hung Ha

33 Pollution-absorbing pavement and proposals for the application in Vietnam.

Van Nam Nguyen, Duc Sy Vu, Huy Khang Pham

37 Application of collector well to replace the conventional method in the northern mountainous area.

Huy Vuong Nguyen, Tuan Pham, Thanh Cong Nguyen, Van Quang Tran, Van Thuc Dinh

41 Effects of feed properties in spray drying formulation of prototype industrial cracking catalysts.

Duc Hoan Truong, Thuy Phuong Ngo, Duc Manh Dinh, Thanh Tung Dang, Thi Kim Thoa Dao, Xuan Hoan Vu

45 Synthesis of Fe_2O_3 nanomaterials for a rechargeable battery anode.

Thi Hang Bui, Van Dang Tran, Van Quy Nguyen

50 Research on formula establishment to produce nutritional seasoning powder from pangasius by-product hydrolysed protein.

Thi Thu Hien Bui, Thanh Binh Nguyen, Thi Diem Pham, Thi Minh Nguyet Bui, Van Hao Dao, Xuan Que Le, Vinh Thanh Truong

57 Study on drying bamboo shoots by Sasaki heat pump drying technology.

Thi Bac Doan, Thu Hang Ta, Dac Binh Minh Nguyen, Thi Hoang Lan Nguyen, Thu Trang Tran

63 Effect of process parameters on the antioxidant activity of Vietnamese tea (*Camellia sinensis* O. Kuntze) seed oil.

Thi Phuong Thao Phan, Trung Khoa Giang, Hong Son Vu

68 Analysis of radiotherapy technology infrastructure and human resources in Vietnam.

Anh Tuan Hoang, Van Chien Dinh