

# Nghiên cứu tối ưu hóa công nghệ sấy cá lóc *Channa maculata* bằng phương pháp sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại

Lê Thị Hồng Ánh<sup>1</sup>, Dương Hồng Quân<sup>1</sup>, Bùi Huy Chính<sup>2</sup>, Hoàng Ngọc Cương<sup>3</sup>, Lâm Thế Hải<sup>1</sup>, Trần Quốc Đảm<sup>1</sup>, Đặng Xuân Cường<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Thảo Minh<sup>1</sup>, Lê Hoàng Phụng<sup>4</sup>, Đặng Văn Hải<sup>1</sup>, Hoàng Thái Hà<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Công nghiệp thực phẩm TP Hồ Chí Minh

<sup>2</sup>Sở KH&CN Bà Rịa - Vũng Tàu

<sup>3</sup>Trường Đại học Bình Dương

<sup>4</sup>Trường Đại học Kiên Giang

Ngày nhận bài 19/2/2021; ngày chuyển phản biện 25/2/2021; ngày nhận phản biện 5/4/2021; ngày chấp nhận đăng 9/4/2021

## Tóm tắt:

Bài báo trình bày về điều kiện sấy bức xạ hồng ngoại kết hợp bơm nhiệt trên đối tượng cá lóc dựa theo mô hình thực nghiệm đa nhân tố bậc 1 của Box-Wilson. Kết quả cho thấy, mô hình toán học  $Y = 8,92 + 0,44X_1 - 0,53X_2 - 0,48X_3 - 0,098X_1X_2 - 0,39X_1X_3 + 0,126X_2X_3$  thể hiện mối tương quan giữa thời gian sấy ( $Y$ ) và các nhân tố tác động: nồng độ sorbitol ( $X_1$ ), nhiệt độ sấy ( $X_2$ ) và tốc độ gió ( $X_3$ ), trong đó nhiệt độ sấy ảnh hưởng đến thời gian sấy mạnh hơn so với các yếu tố khác. Điều kiện sấy tối ưu là sorbitol 2,5%, nhiệt độ sấy 57,5°C, tốc độ gió 1,6 m/s, và thời gian sấy là 8,27h. Cá lóc khô ở điều kiện tối ưu đã đạt chất lượng cảm quan, vệ sinh an toàn thực phẩm và độ an toàn cao hơn so với các phương pháp sấy không khí và phơi dưới ánh sáng nắng mặt trời. Kết quả là cơ sở khoa học cho việc hoàn thiện và triển khai rộng rãi phương pháp sấy này trong sản xuất.

**Từ khóa:** Box-Wilson, bơm nhiệt, bức xạ hồng ngoại, cá lóc, sấy.

**Chỉ số phân loại:** 4.5

## Đặt vấn đề

Cá lóc có kích cỡ trung bình, con lớn nhất có thể đạt 5-7 kg và sống được 4-5 năm, thậm chí có những con sống được đến 10 năm. Cá lóc thuộc loài cá dữ, thân dài hình trụ, miệng rộng, hàm răng nhọn và sắc. Cá lóc sinh trưởng rất nhanh, một con cá lóc trưởng thành có thể có chiều dài 15-16 cm/1 năm tuổi và 38-45 cm/2 năm tuổi.

Hiện nay, sản phẩm cá lóc được bảo quản tươi ở dạng đông lạnh, ướp muối hoặc chế biến ở dạng khô, trong đó lượng cá lóc chế biến ở dạng khô tăng nhanh do kéo dài được thời gian bảo quản, dễ chế biến thành nhiều món ăn như: chiên thường, chiên giòn, chiên sốt, nướng... hoặc chế biến thành các món ăn đặc sản như: cá lóc khô một nắng nướng chấm muối ớt, cá lóc khô một nắng chiên tỏi ớt và cá lóc khô một nắng chiên giòn...

Để làm khô cá lóc, hiện nay người ta vẫn dùng phương pháp phơi nắng, dùng lò sấy thủ công với tác nhân sấy là khói lò hoặc thiết bị sấy với tác nhân sấy là không khí được đốt nóng qua calorife kiểu khí - khói... Các phương pháp này có ưu điểm là đơn giản, chi phí đầu tư thấp nhưng có nhược điểm là luôn phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, sản phẩm khô không đồng đều, tốn nhiều diện tích sân phơi, công lao động phụ và khó áp dụng cơ khí hóa, tự động hóa.

Một trong những kỹ thuật sấy mới có nhiều ưu điểm hiện nay là sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại. Công nghệ này giúp giảm thời gian sấy, cho phép sấy ở nhiệt độ thấp để hạn chế đến mức thấp nhất sự giảm sút chất lượng sản phẩm do nhiệt, phù hợp với vật liệu sấy có liên kết keo - mao dẫn như thịt, cá nói chung và cá lóc nói riêng [1-4]. Hơn nữa, công nghệ sấy này còn giúp hạn chế sự biến tính có thể làm giảm đặc tính quan trọng của nguyên liệu sấy đó là khả năng tái hydrat hóa sau sấy [5]. Vì vậy, việc nghiên cứu xác định chế độ sấy tối ưu cho sản phẩm cá lóc bằng phương pháp sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại để hoàn thiện công nghệ sấy nhằm triển khai ứng dụng rộng rãi trong sản xuất là vấn đề cấp thiết.

## Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

### Vật liệu

**Vật liệu:** cá lóc tươi *Channa maculata* có khối lượng 150-250 g/con, được thu mua từ huyện Cần Giỏi, TP Hồ Chí Minh có độ ẩm ban đầu 76,40%, được đánh giá chất lượng dựa theo TCVN 11045:2015. Cá sau khi thu mua được ướp đá, bảo quản trong thùng xốp cách nhiệt và vận chuyển về phòng thí nghiệm của Trường Đại học Công nghiệp thực phẩm TP Hồ Chí Minh, tiến hành rửa sạch bằng nước muối có nồng độ 1% khoảng

\* Tác giả liên hệ: Email: Hoangha.huifi@gmail.com

# Study on the drying condition optimisation of the heating pump and the infrared radiation for the snakehead fish *Channa maculata*

Thi Hong Anh Le<sup>1</sup>, Hong Quan Duong<sup>1</sup>,  
Huy Chich Bui<sup>2</sup>, Ngoc Cuong Hoang<sup>3</sup>, The Hai Lam<sup>1</sup>,  
Quoc Dam Tran<sup>1</sup>, Xuan Cuong Dang<sup>1</sup>,  
Thi Thao Minh Nguyen<sup>1</sup>, Hoang Phuong Le<sup>4</sup>,  
Van Hai Dang<sup>1</sup>, Thai Ha Hoang<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Ho Chi Minh city University of Food Industry

<sup>2</sup>Ba Ria - Vung Tau Department of Science and Technology

<sup>3</sup>Binh Duong University

<sup>4</sup>Kien Giang University

Received 19 February 2021; accepted 9 April 2021

## Abstract:

The paper focused on the drying condition of the infrared radiation combining the heat pump for the snakehead fish basing on the level 1 multi-factor experimental planning model of Box-Wilson. The results showed the mathematical model ( $Y = 8.92 + 0.44X_1 - 0.53X_2 - 0.48X_3 - 0.098X_1X_2 - 0.39X_1X_3 + 0.126X_2X_3$ ) that expressed the relationship between the drying time (Y) and the impact factors (the sorbitol concentration ( $X_1$ ), the drying temperature ( $X_2$ ), and the wind speed ( $X_3$ ), in which the drying temperature ( $X_2$ ) affected the drying time stronger than other factors. The optimisation condition of drying was the sorbitol concentration of 2.5%, the drying temperature at 57.5°C, the wind speed of 1.6 m/s, and the drying time of 8.27 hours. Dried snakehead fish at the optimum condition got the sensory quality, food hygiene, and safety higher than the air drying and sun drying methods. The results are a scientific basis for completing the technology and widely deploying the drying method in production.

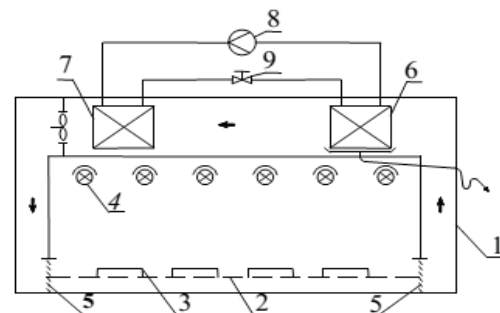
**Keywords:** Box-Wilson, drying, heat pump, infrared radiation, snakehead fish.

**Classification number:** 4.5

5 phút để loại bỏ tạp chất. Sau đó, cá được ngâm trong dung dịch sorbitol có nồng độ 2-12% trong thời gian 30 phút, tiếp theo chần qua nước sôi 90°C trong thời gian 15 giây, vớt ra, để ráo [6, 7]. Sau đó cá lóc được đem đi sấy trong thiết bị sấy thí nghiệm kiểu bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại đến độ ẩm 24±0,3%.

**Thiết bị thí nghiệm:** sử dụng thiết bị sấy bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại do Trường Đại học Công nghiệp thực phẩm TP

Hồ Chí Minh chế tạo. Thiết bị có năng suất 5 kg/m², công suất tiêu thụ điện 4,54 kW/h, tự động điều chỉnh nhiệt độ với sai số ±0,1°C và vận tốc gió với sai số ±0,1 m/s. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo thiết bị sấy như hình 1. Nguyên lý làm việc của thiết bị như sau: không khí ẩm được quạt hút ra từ buồng sấy được làm lạnh và tách ẩm qua giàn lạnh, sau đó được gia nhiệt khi đi qua giàn nóng đến nhiệt độ nhất định, rồi thổi qua bề mặt nguyên liệu được gia nhiệt bằng các đèn bức xạ hồng ngoại để nhận ẩm thoát ra từ vật liệu sấy. Không khí này được đưa trở về giàn lạnh thành vòng tuần hoàn.



Hình 1. Thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại. 1: vỏ tủ sấy; 2: giá đỡ nguyên liệu dạng lưới; 3: nguyên liệu sấy; 4: đèn bức xạ hồng ngoại; 5: bộ phận phân phối gió; 6: dàn lạnh; 7: dàn nóng (dàn nóng); 8: máy nén lạnh; 9: van tiết lưu.

## Phương pháp nghiên cứu

**Nghiên cứu thực nghiệm:** áp dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm để nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của 3 yếu tố: nồng độ sorbitol  $Z_1$  (%), nhiệt độ sấy  $Z_2$  (°C), vận tốc gió  $Z_3$  (m/s) đến thời gian sấy Y (h).

Ma trận thí nghiệm được xây dựng theo phương án quy hoạch thực nghiệm bậc 1 của Box-Wilson. Số lượng thí nghiệm theo phương án này được tính theo công thức sau [5]:

$$N = 2^m \quad (1)$$

Trong đó:  $2^m$ : số thí nghiệm ở mức trên và dưới; m: số yếu tố ảnh hưởng. Với số yếu tố đầu vào  $m=3$  thì tổng số thí nghiệm  $N=8$ .

Từ hệ tọa độ  $Z_1, Z_2, Z_3$  chuyển sang hệ tọa độ mới không thứ nguyên  $X_1, X_2, X_3$  theo công thức sau:

$$X_i = \frac{Z_i - Z_{i0}}{\Delta Z_i} \quad (2)$$

$$\Delta Z_i = \frac{Z_{it} - Z_{id}}{2} \quad (3)$$

Trong đó:  $X_i$ : giá trị mã hóa của yếu tố thứ i ( $i = 1 \div 3$ );  $Z_{it}, Z_{i0}, Z_{id}$ : giá trị thực của yếu tố thứ i ở mức trên, mức cơ sở và mức dưới;  $\Delta Z_i$ : khoảng biến thiên của yếu tố thứ i;  $Z_{it}, Z_{i0}, Z_{id}$  có giá trị mã hóa -1, 0, +1.

Mức biến thiên, khoảng biến thiên và giá trị mã hóa của các yếu tố được lựa chọn theo bảng 1.

**Bảng 1.** Mức biến thiên, khoảng biến thiên và giá trị mã hoá của các yếu tố  $Z_i$ .

| Các mức                        | Các yếu tố ảnh hưởng       |                     |                         |
|--------------------------------|----------------------------|---------------------|-------------------------|
|                                | $Z_1$ (%) nồng độ sorbitol | $Z_2$ (°C) nhiệt độ | $Z_3$ (m/s) vận tốc gió |
| Mức trên (+1)                  | 12                         | 60                  | 3                       |
| Mức cơ sở (0)                  | 7                          | 55                  | 2                       |
| Mức dưới (-1)                  | 2                          | 50                  | 1                       |
| Khoảng biến thiên $\Delta Z_i$ | 5                          | 5                   | 1                       |

Mô hình toán các hàm thời gian sấy  $Y$  được biểu diễn bằng phương trình hồi quy bậc 1 [5]:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^m \sum_{j=i+1}^m b_{ij} x_i x_j \quad (4)$$

Sau khi kiểm tra tính tương thích của mô hình, nếu mô hình bậc 1 không thích ứng ta có thể chuyển sang mô hình bậc 2 hoặc 3.

*Xác định các thông số công nghệ của quá trình sấy:*

Các yếu tố ảnh hưởng (các yếu tố vào):

- Nhiệt độ dòng khí sấy được xác định bằng thiết bị đo nhiệt độ điện tử hiện số mã hiệu SGK-MF-904 (Hồng Kông), khoảng đo  $-40 \div 200^\circ\text{C}$ , sai số  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ .

- Vận tốc gió được xác định bằng thiết bị đo tốc độ gió Testo 405- $V_1$  (Đức).

- Dung dịch sorbitol: tinh khiết do hãng Merck (Đức) cung cấp.

- Độ ẩm vật liệu sấy được xác định bằng phương pháp sấy đến khối lượng không đổi ở  $105^\circ\text{C}$ . Độ ẩm của mẫu được tính theo công thức sau [4]:

$$X = \frac{(G_1 + G_2)}{(G_1 - G)} \times 100\% \quad (5)$$

Trong đó:  $X$ : độ ẩm của vật liệu sấy (%);  $G_1$ : khối lượng cốc sấy và mẫu thử trước sấy (g);  $G_2$ : khối lượng cốc thử và mẫu thử sau sấy (g);  $G$ : khối lượng cốc sấy (g).

- Mức độ biến đổi độ ẩm trong quá trình sấy được tính theo công thức sau [8]:

$$W_2 = 100 - \frac{G_1(100 - W_1)}{G_2} (\%) \quad (6)$$

Trong đó:  $G_1$ ,  $G_2$ : khối lượng của nguyên liệu trước và sau khi sấy (g);  $W_1$ ,  $W_2$ : độ ẩm của nguyên liệu trước và sau khi sấy (%).

Các chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật (các thông số ra):

- Thời gian sấy  $Y$  (h) là khoảng thời gian thực hiện một mẻ sấy được tính từ lúc bắt đầu sấy đến khi sản phẩm đạt độ khô theo yêu cầu công nghệ (24%) và được xác định bằng đồng hồ đo thời gian thông dụng.

- Tỷ lệ tái hydrat hóa  $H_w$  (%): cân 20 g ( $m_1$ ) cá lóc đã được

sấy khô cho vào 250 ml nước cất. Sau 15 phút vớt cá ra, để ráo nước trong 5 phút và cân khối lượng mẫu cá lóc đã ngâm nước ( $m_2$ ). Tỷ lệ tái hydrat hóa của cá lóc được tính theo công thức sau [8]:

$$H_w = \frac{m_2 - m_1}{m_1} (\%) \quad (7)$$

- Chất lượng cảm quan của cá khô  $Q$  (điểm) được đánh giá theo phương pháp cho điểm với thang điểm 20 mô phỏng theo TCVN 3215-1979.

- Phương pháp xác định vi sinh vật: xác định tổng số vi sinh vật hiếu khí (Cfu/g) theo TCVN 5367:1991; xác định *E. coli* (Cfu/g) theo TCVN 7924-2008; xác định *Coliforms* (Cfu/g) theo TCVN 4882:2007; xác định *Salmonella* (Cfu/g) theo TCVN 4829:2005; xác định *V. cholerae* (Cfu/g) theo TCVN 7905-1:2008; xác định *S. aureus* (Cfu/g) theo TCVN 4830-1:2005.

*Phương pháp xử lý số liệu:* mỗi nghiệm thức được lặp lại 3 lần. Phân tích thống kê ANOVA, hồi quy và tối ưu hóa bằng phần mềm Statgraphics centurion XVI, Excel.

## Kết quả và thảo luận

### Kết quả nghiên cứu thực nghiệm sấy cá lóc

Dựa trên kết quả khảo sát miền nghiên cứu tối ưu, nồng độ sorbitol từ 2 đến 14%, vận tốc gió thay đổi trong khoảng 1-3 m/s, và nhiệt độ sấy trong khoảng  $50 \div 60^\circ\text{C}$  thấy rằng, càng tăng nồng độ sorbitol, thời gian sấy càng dài, chất lượng cảm quan, tỷ lệ hoàn nguyên của cá sấy càng cao. Nồng độ sorbitol hơn 14%, chất lượng cảm quan, tỷ lệ hoàn nguyên của cá sấy thấp hơn so với nồng độ sorbitol 2-12%. Tốc độ gió lớn hơn 3 m/s, cá sấy có tỷ lệ hoàn nguyên và chất lượng cảm quan thấp hơn khi sấy với tốc độ gió 1-3 m/s. Nhiệt độ sấy  $55^\circ\text{C}$  cho cá khô có chất lượng cảm quan và tỷ lệ hoàn nguyên đạt mức cao hơn so với các nhiệt độ khác. Vì vậy, trong nghiên cứu này miền tối ưu đã được tiến hành như phân bố thí nghiệm. Ma trận và kết quả thí nghiệm được ghi trong bảng 2. Giá trị thí nghiệm hàm thời gian sấy  $Y$  là trung bình cộng của 3 lần thí nghiệm lặp lại.

**Bảng 2.** Ma trận và kết quả thí nghiệm theo mô hình bậc 1 Box-Wilson.

| Số thí nghiệm | $Z_1$ | $Z_2$ | $Z_3$ | $X_1$ | $X_2$ | $X_3$ | $X_1X_2$ | $X_1X_3$ | $X_2X_3$ | $X_1X_2X_3$ | $Y$   |
|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|-------------|-------|
| 1             | 2     | 50    | 1     | -1    | -1    | -1    | +1       | +1       | +1       | -1          | 9,13  |
| 2             | 12    | 50    | 1     | +1    | -1    | -1    | -1       | -1       | +1       | +1          | 11,00 |
| 3             | 2     | 60    | 1     | -1    | +1    | -1    | -1       | +1       | -1       | +1          | 8,00  |
| 4             | 12    | 60    | 1     | +1    | +1    | -1    | +1       | -1       | -1       | -1          | 9,50  |
| 5             | 2     | 50    | 3     | -1    | -1    | +1    | +1       | -1       | -1       | +1          | 8,70  |
| 6             | 12    | 50    | 3     | +1    | -1    | +1    | -1       | +1       | -1       | -1          | 9,00  |
| 7             | 2     | 60    | 3     | -1    | +1    | +1    | -1       | +1       | +1       | -1          | 8,10  |
| 8             | 12    | 60    | 3     | +1    | +1    | +1    | +1       | +1       | +1       | +1          | 7,98  |

Từ kết quả ở bảng 2, sử dụng phần mềm Statgraphics centurion XVI, Excel để xác định các hệ số hồi quy theo phương trình (4). Phân tích thống kê cho thấy sai tiêu chuẩn của tất cả các mẫu đều nhỏ hơn 0,05%. Kết quả này chứng tỏ có

sự phù hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm, đồng thời đảm bảo độ tin cậy trong nghiên cứu thực nghiệm. Phân tích ANOVA cho thấy, mối tương quan chặt chẽ giữa các yếu tố tác động đã nghiên cứu lên hàm mục tiêu Y ( $R^2 > 0,9$ ) (bảng 3). Sau khi tính toán và kiểm tra, đảm bảo sự tương thích của mô hình toán với thực nghiệm, ta được mô hình toán là phương trình hồi quy dạng tuyến tính:

$$Y = 8,92 + 0,44X_1 - 0,53X_2 - 0,48X_3 - 0,098X_1X_2 - 0,39X_1X_3 + 0,126X_2X_3 \quad (8)$$

**Bảng 3. Kết quả phân tích ANOVA mô hình đáp ứng.**

| Thông số            | Tổng bình phương | Bậc tự do | Trung bình bình phương | Tỷ lệ F | Hệ số p |
|---------------------|------------------|-----------|------------------------|---------|---------|
| A: nồng độ sorbitol | 1,57531          | 1         | 1,57531                | 5041,00 | 0,0090  |
| B: nhiệt độ sấy     | 2,25781          | 1         | 2,25781                | 7225,00 | 0,0075  |
| C: vận tốc gió      | 1,85281          | 1         | 1,85281                | 5929,00 | 0,0083  |
| AB                  | 0,0780125        | 1         | 0,0780125              | 249,64  | 0,0402  |
| AC                  | 1,27201          | 1         | 1,27201                | 4070,44 | 0,0100  |
| BC                  | 0,127513         | 1         | 0,127513               | 408,04  | 0,0315  |
| Sai số tổng         | 0,0003125        | 1         | 0,0003125              |         |         |
| Tương quan tổng     | 7,16379          | 7         |                        |         |         |
| $R^2$ hiệu chỉnh    | 95,97%           |           |                        |         |         |

Từ phương trình hồi quy (8) cho thấy, với các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình sấy đã được lựa chọn trong nghiên cứu này: nồng độ sorbitol ngâm nguyên liệu  $X_1$  (%), nhiệt độ sấy  $X_2$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) và vận tốc gió  $X_3$  (m/s) đều có ảnh hưởng lớn đến thời gian sấy và chất lượng cá lóc khô. Trong đó, nồng độ sorbitol có tác động mạnh nhất đến thời gian sấy ( $b_1=0,44$ ), tiếp đến vận tốc gió ( $b_3=-0,48$ ) và sau cùng là nhiệt độ sấy ( $b_2=-0,53$ ) ( $p<0,05$ ). Như vậy, trong giới hạn miền nghiên cứu: khi nhiệt độ sấy càng cao, nồng độ sorbitol ngâm nguyên liệu sấy càng thấp thì thời gian sấy càng ngắn.

Phương trình hồi quy hàm thời gian sấy Y bằng cách đạo hàm riêng đối với mỗi yếu tố  $X_i$  và cho bằng 0 ta được hệ 3 phương trình tuyến tính. Giải hệ phương trình này, được giá trị tối ưu dạng mã của các yếu tố vào  $X_1, X_2, X_3$  như sau:

$$\begin{aligned} X_1 &= -0,9 \\ X_2 &= 0,5 \\ X_3 &= -0,4 \end{aligned} \quad (9)$$

Thay các giá trị  $X_1, X_2, X_3$  từ công thức (9) vào công thức (8) xác định được giá trị tối ưu của hàm thời gian sấy  $Y=8,27\text{h}$ .

Chuyển sang giá trị thực của các yếu tố  $X_i$  theo công thức:

$$Z_i = X_i \cdot \Delta Z_i + Z_i^0 \quad (10)$$

Thay giá trị  $X_1, X_2, X_3$  từ công thức (9) vào công thức (10), có giá trị tối ưu dạng thực của các yếu tố vào như sau:

$$Z_1 = -0,9 \cdot 5 + 7 = 2,5\% \quad (11)$$

$$Z_2 = 0,5 \cdot 5 + 55 = 57,5^{\circ}\text{C} \quad (12)$$

$$Z_3 = -0,4 \cdot 1 + 2 = 1,6 \text{ m/s} \quad (13)$$

Như vậy, chế độ tối ưu sấy cá lóc bằng phương pháp sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại là: nồng độ sorbitol là 2,5%, nhiệt độ không khí trong buồng sấy là 57,5 $^{\circ}\text{C}$  và tốc độ gió đi ngang qua nguyên liệu là 1,6 m/s.

Trên cơ sở các thông số tối ưu tìm được, chúng tôi đã tiến hành 3 thí nghiệm lặp lại ở chế độ tối ưu của các yếu tố vào: nồng độ sorbitol  $Z_1=2,5\%$ , nhiệt độ dòng khí sấy  $Z_2=57,5^{\circ}\text{C}$ , tốc độ gió đi ngang qua nguyên liệu  $Z_3=1,6 \text{ m/s}$ . Ngoài việc kiểm định thời gian sấy, đã xác định điểm cảm quan chất lượng sản phẩm sấy Q (điểm) và tỷ lệ tái hydrat hóa  $H_w$  (%).

**Bảng 4. Kết quả thí nghiệm sấy ở chế độ tối ưu của các yếu tố vào.**

| Mẫu sản phẩm sấy   | Nồng độ sorbitol $Z_1$ (%) | Nhiệt độ dòng khí sấy $Z_2$ ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Tốc độ dòng khí sấy $Z_3$ (m/s) | Thời gian sấy $\tau$ (h) | Tỷ lệ tái hydrat hóa $H_w$ (%) | Chất lượng cảm quan Q (điểm) |
|--------------------|----------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| TN1                | 2,5                        | 57,5                                               | 1,6                             | 8,24                     | 67,00                          | 18,23                        |
| TN2                | 2,5                        | 57,5                                               | 1,6                             | 8,30                     | 66,67                          | 18,24                        |
| TN3                | 2,5                        | 57,5                                               | 1,6                             | 8,26                     | 66,78                          | 18,24                        |
| Giá trị trung bình |                            |                                                    |                                 | 8,27                     | 66,82                          | 18,24                        |

Kết quả nghiên cứu xác định các thông số tối ưu về thời gian sấy cá lóc khô đảm bảo độ tin cậy được thể hiện ở bảng 4. Ngoài ra, chất lượng cảm quan đạt loại tốt (18,24 điểm) và tỷ lệ tái hydrat hóa 66,82% đạt yêu cầu công nghệ. Kết quả phù hợp với công bố trên thế giới về khả năng tái hydrate hóa của mực và cá khi sử dụng sorbitol [6, 7]. Các công bố cho thấy sorbitol giúp giảm thiểu độ xơ cứng và gia tăng độ tái hydrate của cá và mực, đồng thời có vai trò bảo quản cá và mực dựa trên việc bất hoạt quá trình chuyển hóa thối và giảm thiểu sự bay hơi nước của cá và mực [6, 7].

#### Phân tích một số chỉ tiêu chất lượng sản phẩm cá lóc khô

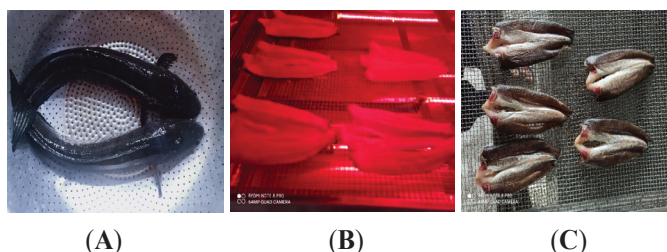
Cá lóc sau khi sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại được phân tích đánh giá chất lượng theo các chỉ tiêu: cảm quan, vật lý, hóa học và vi sinh. Chất lượng sản phẩm cá lóc được sấy bằng không khí nóng và phơi nắng với quy trình xử lý cá lóc trước khi sấy tương tự như khi sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại cũng được đánh giá song hành (bảng 5).

**Bảng 5. Kết quả xác định một số chỉ tiêu chất lượng của sản phẩm cá lóc khô.**

| Chỉ tiêu         | Đơn vị tính        | Kết quả                                 |
|------------------|--------------------|-----------------------------------------|
| Chế độ sấy       |                    | Sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại |
| Nồng độ sorbitol | %                  | 2,5                                     |
| Nhiệt độ sấy     | $^{\circ}\text{C}$ | 57,5                                    |
| Vận tốc gió      | m/s                | 1,6                                     |
| Độ ẩm cá ban đầu | %                  | 76,40                                   |
|                  |                    | Sấy bằng không khí nóng                 |
|                  |                    | Phơi nắng                               |
|                  |                    | 2,5                                     |
|                  |                    | 55÷70                                   |
|                  |                    | 1,2                                     |
|                  |                    | 76,40                                   |

| Chỉ tiêu                     |             | Kết quả                                                                    |                                                                                          |                                                                                      |
|------------------------------|-------------|----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Chế độ sấy                   | Đơn vị tính | Sấy bom nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại                                    | Sấy bằng không khí nóng                                                                  | Phơi nắng                                                                            |
| Độ ẩm cá sau khi sấy         | %           | 24±0,3                                                                     | 24±0,3                                                                                   | 26±0,3                                                                               |
| Chỉ tiêu cảm quan            | Đơn vị tính | Sấy bom nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại                                    | Sấy bằng không khí nóng                                                                  | Phơi nắng                                                                            |
| Màu sắc                      |             | Màu cánh gián đặc trưng của cá khô, không lên dầu, bề mặt không có vết đen | Màu cánh gián đặc trưng của cá khô, không lên dầu, bề mặt không có vết đen               | Thịt cá màu vàng sẫm, ít sáng bóng, bề mặt không có vết đen                          |
| Mùi                          |             | Mùi thơm đặc trưng của cá khô, không có mùi của hiện tượng phân hủy        | Mùi thơm đặc trưng của cá khô, không có mùi của hiện tượng phân hủy, hơi có mùi hôi khét | Mùi thơm đặc trưng của cá khô, không có mùi của hiện tượng phân hủy, có mùi hôi khét |
| Vị                           |             | Vị ngọt đậm                                                                | Mặn dịu, ngọt thịt                                                                       | Mặn dịu, ngọt thịt                                                                   |
| Trạng thái                   |             | Khô đều, thịt dai, không lẫn tạp chất                                      | Khô hơi đều, thịt dai, không lẫn tạp chất                                                | Ít khô đều, thịt dai, không lẫn tạp chất                                             |
| Chỉ tiêu vật lý              | Đơn vị tính | Sấy bom nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại                                    | Sấy bằng không khí nóng                                                                  | Phơi nắng                                                                            |
| Tỷ lệ tái hydrat hóa         | %           | 67,00±2,3                                                                  | 63,22±2,12                                                                               | 57,01±2,4                                                                            |
| Lượng tạp chất               | %           | 0                                                                          | 0                                                                                        | 0                                                                                    |
| Hoạt độ nước                 |             | 0,79±0,05                                                                  | 0,79±0,05                                                                                | 0,80±0,05                                                                            |
| Thời gian                    | h           | 8,27                                                                       | 11,05                                                                                    | 17                                                                                   |
| Chỉ tiêu hóa học             | Đơn vị tính | Sấy bom nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại                                    | Sấy nóng                                                                                 | Phơi nắng                                                                            |
| Nitơ tổng số                 | %           | 14±0,06                                                                    | 14±0,06                                                                                  | 14±0,06                                                                              |
| Protein thô                  | %           | 93±0,08                                                                    | 93±0,08                                                                                  | 93±0,08                                                                              |
| Tổng số vi sinh vật hiếu khí | Cfu/g       | 2,7x10 <sup>2</sup>                                                        | 2,9x10 <sup>2</sup>                                                                      | 3,3x10 <sup>2</sup>                                                                  |
| <i>E. coli</i>               | Âm tính     | Âm tính                                                                    | Âm tính                                                                                  | Âm tính                                                                              |
| Coliforms                    | Âm tính     | Âm tính                                                                    | Âm tính                                                                                  | Âm tính                                                                              |
| <i>Salmonella</i>            | Âm tính     | Âm tính                                                                    | Âm tính                                                                                  | Âm tính                                                                              |
| <i>V. cholerae</i>           | Cfu/g       | <10                                                                        | <10                                                                                      | <10                                                                                  |
| <i>S. aureus</i>             | Âm tính     | Âm tính                                                                    | Âm tính                                                                                  | Âm tính                                                                              |

Bảng 5 cho thấy, cá lóc sấy lạnh kết hợp bức xạ hồng ngoại có chất lượng tốt và đảm bảo tiêu chuẩn vệ sinh an toàn thực phẩm theo quy định hiện hành của Bộ Y tế.



**Hình 2. Hình ảnh sấy cá lóc bằng bom nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại.** (A) Cá lóc tươi; (B) Cá lóc trong thiết bị sấy phối hợp bom nhiệt và bức xạ hồng ngoại; (C) Cá lóc khô.

Cá lóc sấy phối hợp đối lưu và bức xạ hồng ngoại đảm bảo được chất lượng cảm quan, các chỉ tiêu hóa lý và vi sinh tốt hơn so với cá lóc sấy bằng các phương pháp khác. Hơn nữa, công nghệ sấy phối hợp đối lưu và bức xạ hồng ngoại hoàn toàn có thể triển khai ở điều kiện Việt Nam. Sấy phối hợp đối lưu và bức xạ hồng ngoại sẽ là công nghệ sấy được ứng dụng nhiều trong lĩnh vực công nghệ sau thu hoạch, góp phần đảm bảo chất lượng các sản phẩm có nguồn gốc tự nhiên.

## Kết luận

Thực nghiệm đa yếu tố theo phương án quy hoạch thực nghiệm bậc 1 Box-Wilson khi sấy cá lóc bằng phương pháp sấy phối hợp bom nhiệt và bức xạ hồng ngoại đã thiết lập được mô hình toán:  $Y = 8,92 + 0,44X_1 - 0,53X_2 - 0,48X_3 - 0,098X_1X_2 - 0,39X_1X_3 + 0,126X_2X_3$ , biểu diễn mối quan hệ giữa thời gian sấy  $Y$  với nồng độ sorbitol  $X_1$ , nhiệt độ sấy  $X_2$  và tốc độ gió  $X_3$ , trong đó nồng độ sorbitol  $X_1$  là yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất đến thời gian sấy.

Giá trị tối ưu của các yếu tố vào: nồng độ sorbitol 2,5%, nhiệt độ sấy 57,5°C, tốc độ gió 1,6 m/s và giá trị tối ưu của thông số ra: thời gian sấy ngắn 8,27h. Cá lóc sấy ở điều kiện tối ưu này đạt chất lượng cảm quan, vệ sinh an toàn thực phẩm và có chất lượng vượt trội so với các phương pháp sấy bằng không khí nóng hoặc phơi nắng. Nghiên cứu là cơ sở quan trọng để hoàn thiện công nghệ và triển khai ứng dụng rộng rãi trong sản xuất.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đào Trọng Hiếu, Ngô Đăng Nghĩa (2005), “Nghiên cứu chế độ sấy tối ưu cho sản phẩm cá cơm khô bằng phương pháp sấy kết hợp hồng ngoại và bom nhiệt”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy sản*, **2**, tr.8-11.
- [2] Đào Trọng Hiếu (2013), *Nghiên cứu sự biến đổi thành phần hóa học, tính chất vật lý và đề xuất biện pháp nâng cao chất lượng cá cơm sấy (Spateloides gracilis) sấy hồng ngoại xuất khẩu*, Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Nha Trang.
- [3] Ching Lik Hii, Sachin Vinayak Jangam, Sze Pheng Ong, A.S. Mujumdar (2012), *Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations*, Published in Singapore.
- [4] Dov Prusky, Maria Lodovica Gullino (2009), *Post-harvest Pathology*, Springer Science & Business Media.
- [5] V.R. Sagar, P. Suresh Kumar (2010), “Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review”, *J. Food Sci. Technol.*, **47**, pp.15-26.
- [6] Zensuke Iseya, Tomokazu Kubo, Hiroki Saeki (2000), “Effect of sorbitol on moisture transportation and textural change of fish and squid meats during curing and drying processes”, *Fisheries Science*, **66**, pp.1144-1149.
- [7] Tomokazu Kubo, Hiroki Saeki (2001), “Role of sorbitol in manufacturing dried seafood from heated squid meat”, *Fisheries Science*, **67**, pp.524-529.
- [8] Nguyễn Thị Mỹ Trang, Vũ Ngọc Bội, Nguyễn Thị Hương, Hoàng Thái Hà, Đặng Xuân Cường (2016), “Nghiên cứu tối ưu hóa công đoạn sấy rong nho (*Caulerpa lentillifera*) bằng kỹ thuật sấy lạnh kết hợp bức xạ hồng ngoại”, *Tạp chí Khoa học Công nghệ Thủy sản*, **4**, tr.133-139.