

# TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU XÁC ĐỊNH THÔNG SỐ SẤY CHO CÁ CƠM THƯỜNG BẰNG BƠM NHIỆT KẾT HỢP VỚI BỨC XẠ HỒNG NGOẠI

Lê Như Chính<sup>1\*</sup>, Nguyễn Văn Phúc<sup>1</sup>, Trần Đình Khoa<sup>2</sup>, Đỗ Trọng Quý<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bộ môn Kỹ thuật nhiệt, Khoa Cơ Khí, Trường Đại học Nha Trang

<sup>2</sup>Trường Cao Đẳng Lý Tự Trọng, TP. Hồ Chí Minh

\*E-mail: chinhl@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/11/2022

Ngày nhận bài được sửa theo ý kiến phản biện: 05/01/2023

Ngày bài được duyệt đăng: 10/01/2023

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm xác định các thông số sấy tối ưu cho cá cơm thường bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại. Các thí nghiệm được thiết kế theo phương pháp của Taguchi với các thông số sấy bao gồm nhiệt độ sấy ( $t$ ), vận tốc tác nhân sấy ( $V$ ), khoảng cách bức xạ hồng ngoại ( $H$ ) và công suất hồng ngoại ( $IP$ ). Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu bằng phương pháp bề mặt đáp ứng RSM đã thu được các thông số sấy tối ưu sao cho cá cơm có chất lượng tốt, thời gian sấy ngắn và tiết kiệm năng lượng. Cụ thể là các thông số sấy tối ưu cho cá cơm khô được xác định như sau:  $t = 47,35$  °C,  $V = 1,73$  m/s,  $H = 30$  cm,  $IP = 1000$  W, độ ẩm tương đối của tác nhân sấy  $\phi = 15 \div 17\%$ , thời gian sấy  $T_{sấy} = 126$  phút.

**Từ khóa:** Sấy cá cơm, sấy cá cơm bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại.

## I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiệp hội chế biến và xuất khẩu thủy sản Việt Nam (VASEP) đã thống kê cho thấy năm nay, ngành thủy sản có thể lần đầu tiên vượt mốc xuất khẩu trên 10 tỷ USD, tăng khoảng  $12 \div 15\%$  so với năm 2021. Trong đó, sản phẩm nuôi trồng thủy sản là cá tra và tôm sẽ chiếm khoảng 65%, các sản phẩm khai thác từ biển như cá cơm, cá nục,...khoảng 35%. [15]. Có thể nói mặt hàng cá cơm khô chế biến hiện nay cũng còn nhiều hạn chế, phương pháp chế biến chủ yếu là chế biến nhỏ lẻ, thủ công từ các làng nghề bằng phương pháp truyền thống như phơi nắng nên chất lượng cá cơm khô bị giảm đáng kể. Bên cạnh đó, một số cơ sở chế biến cá cơm khô vẫn sử dụng các dạng lò sấy tự chế sử dụng phương pháp sấy bằng không khí nóng. Phương pháp trên thường có nhiệt độ sấy cao là biến đổi màu sắc, mùi vị và giảm chất lượng của sản phẩm [1- 3]. Đặc biệt hơn phương pháp phơi nắng, vấn đề về vệ sinh, an toàn thực phẩm khó được đảm bảo, làm giảm giá trị sử dụng, giá trị kinh tế và làm giảm giá trị xuất khẩu [2- 4]. Hiện nay, phương pháp sấy bằng bơm nhiệt (HP) và sấy bằng bức xạ hồng ngoại (IR) đã và đang được ứng dụng nhiều trong thực tế, mỗi phương pháp đều có

những ưu điểm và nhược điểm riêng. Do đó, nghiên cứu kết hợp phương pháp sấy bằng HP với IR (IR-HP) nhằm phát huy những ưu điểm và hạn chế nhược điểm để phù hợp cho sấy cá cơm là rất cần thiết [1-2, 10, 12-13].

## II. ĐỐI TƯỢNG, THIẾT BỊ VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1 Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là cá cơm thường (*Stolephorus commersonnii*), kích cỡ thân cá dài từ  $5 \div 7$  cm, cá có màu sắc, mùi tanh tự nhiên của cá cơm tươi (Hình 4a). Cá cơm được thu mua tại cảng Cửa Bé, Phường Vĩnh Trường, Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa, quá trình vận chuyển cá cơm được bảo quản bằng nước đá rồi chuyển về phòng thí nghiệm Nhiệt lạnh, Trường Đại học Nha Trang. Tại đây, cá cơm được rửa sạch và luộc với thời gian khoảng 5 phút trong dung dịch nước muối (NaCl) có nồng độ  $2 \div 3\%$  (Hình 2). Cá cơm sau khi luộc được tiến hành sấy trên máy IR-HP (Hình 1) với các thông số sấy đã được thiết kế theo ma trận quy hoạch thực nghiệm của Taguchi (Bảng 2). Quá trình sấy của mỗi thí

nghiệm (TN) được kết thúc khi hàm lượng ẩm cuối của cá cơm khô đạt khoảng  $20 \pm 1\%$  [1, 3, 11].

**2.2. Thiết bị nghiên cứu**

**2.2.1. Máy sấy bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại IR-HP**

Nghiên cứu được tiến hành trên máy sấy bằng bơm nhiệt kết hợp với hồng ngoại IR-HP (Hình 1). Máy sấy được thiết kế và chế tạo tại phòng thí nghiệm nhiệt lạnh, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Nha Trang với tính năng kỹ thuật như sau: Năng suất đạt 1kg/mẻ, công suất của mỗi máy nén (0,745 kW), công suất đèn hồng ngoại (1 kW), quạt ly tâm (0,5 kW). Máy sấy có thể điều chỉnh được các thông số sấy theo yêu cầu của công nghệ như: nhiệt độ sấy đạt từ  $20 \div 70^\circ\text{C}$ , vận tốc tác nhân sấy (TNS) từ  $0,5 \div 5 \text{ m/s}$ , khoảng cách từ bề mặt đèn IR đến vật liệu sấy (VLS) từ  $0,2 \div 0,45 \text{ m}$  [3-4].

**2.2.2. Các thiết bị khác sử dụng trong nghiên cứu**

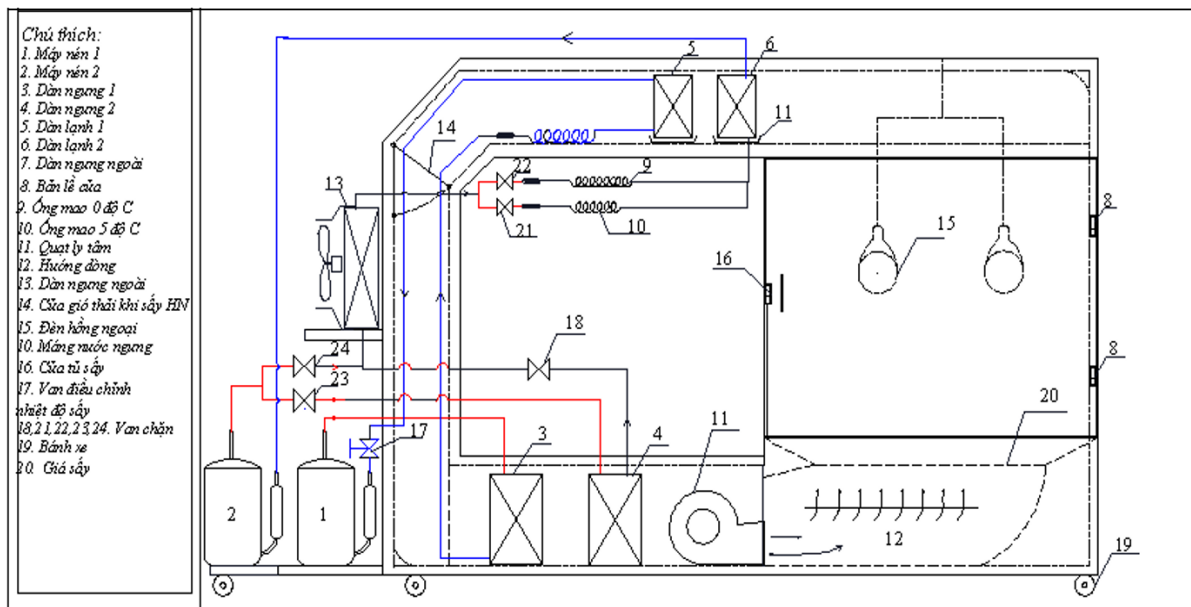
Xác định khối lượng của cá cơm theo thời gian sấy bằng cân phân tích điện tử Model: XT2200C, sai số là  $\pm 0,01\text{g}$ , Thụy Sĩ.

Xác định độ ẩm tương đối của không khí tại phòng sấy bằng ẩm kế hiện số Model: Testo 605H1, sai số là  $\pm 3\%RH$ , Đức.

Xác định vận tốc TNS tại phòng sấy bằng lưu tốc kế hiện số Model: LM81AT, sai số là  $\pm 3\%$ , Đài Loan.

Xác định nhiệt độ trong phòng sấy bằng nhiệt kế hiện thị số EXTECH, với 12 đầu đo, Model TM500, với độ chính xác là  $\pm (0,4\% R_{dg} + 1^\circ\text{C})$ , Đài Loan.

Xác định điện năng tiêu thụ theo thời gian sấy bằng công tơ điện tử 1 pha, 220V, 50Hz, Model: EMIC CE-38, cấp chính xác: 1, Việt Nam.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý của máy sấy bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại IR-HP [3-4]

Bảng 1. Các mức thí nghiệm với 3 yếu tố ảnh hưởng chính và các mức thí nghiệm

STT	Thông số đầu vào	Mức dưới	Mức cơ sở	Mức trên	Khoảng biến thiên
1	Nhiệt độ sấy, t [°C]	45	50	55	15
2	Vận tốc TNS, V [m/s]	1	2	3	1
3	Khoảng cách từ bề mặt đèn IR đến VLS H [cm]	30	35	40	5

**2.3. Phương pháp nghiên cứu**

**2.3.1. Thiết kế thí nghiệm theo phương pháp của Taguchi**

Trong nghiên cứu này, phương pháp Taguchi được sử dụng để thiết kế tất cả các thí nghiệm cho quá trình sấy cá cơm. Các thông số ảnh hưởng chính đến quá trình sấy cá cơm đã được lựa chọn dựa trên kết quả của một số nghiên cứu trước [2-4, 5-6]. Theo

đó, các thông số đầu vào của bài toán tối ưu được xác định và trình bày trong Bảng 1.

**2.3.2. Phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM – Response Surface Methodology)**

RSM là phương pháp thống kê toán học được sử dụng để thiết lập phương trình toán hồi quy từ thực nghiệm. Phương pháp này có thể biểu diễn mối quan hệ giữa các biến đầu vào độc lập với các

biến đầu ra phụ thuộc [2, 4-6]. Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích hồi quy được sử dụng để thiết lập mô hình thực nghiệm cho việc dự đoán các mục tiêu chính ( $R_{DD}$ ,  $T_{DD}$ ,  $SEC_{DD}$ ). Mỗi quan hệ giữa giá trị đầu vào và các hàm mục tiêu được viết theo phương trình (2.1) [2, 5-6]:

$$Y = f(t, V, H) \quad (2.1)$$

Trong đó: Y là các hàm mục tiêu cụ thể như tỷ lệ hút nước phục hồi (HNPH)  $R_{DD}$  (%), suất tiêu hao năng lượng  $SEC_{DD}$  (kWh/kgH<sub>2</sub>O), thời gian sấy (TGS)  $T_{DD}$  (h). Các thông số đầu vào của bài toán được trình bày trong Bảng 1. Phương trình (2.1) có thể được viết theo các hàm mục tiêu với "k" biến đầu vào dưới dạng phương trình bậc 2 như sau [2, 4-6, 10]:

$$\hat{Y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i X_i + \sum_{i,j=1}^k b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} X_i^2 \quad (2.2)$$

Trong đó:  $\hat{Y}$  là các mục tiêu đáp ứng;  $b_0$  là hằng số;  $b_i$ ,  $b_{ij}$  và  $b_{ii}$  là các hệ số hồi quy bậc nhất và bậc 2;  $X_i$ ,  $X_j$  là các biến mã hóa của quá trình sấy. Kết

quả thực nghiệm theo phương pháp Taguchi [8] được trình bày trong Bảng 2. Các thông số sáy tối ưu cho cá cơm được xác định theo sơ đồ Hình 2.

**2.3.3. Phương pháp xác định**

Xác định hàm lượng ẩm và tốc độ sáy của cá cơm biến đổi theo thời gian

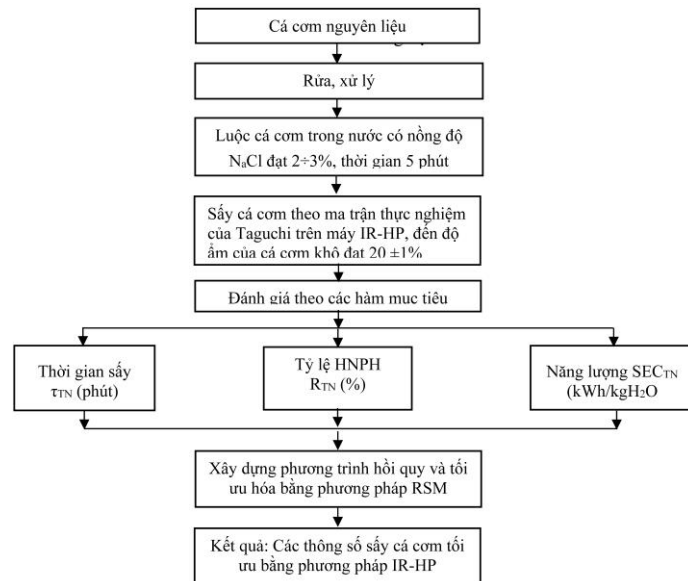
Độ ẩm của cá cơm biến đổi trong quá trình sấy được xác định bằng phương pháp cân bằng khối lượng theo công thức [1-4]:

$$W_i = 100 - \frac{(100 - W_1)}{G_1} \cdot G_i \quad (2.3)$$

Trong đó:  $W_i$  là hàm lượng ẩm tương đối của cá cơm tại thời điểm i, %;  $W_1$  là độ ẩm ban đầu của cá cơm, %;  $G_1$  là khối lượng ban đầu của cá cơm, g;  $G_i$  là khối lượng của cá cơm tại thời điểm i, g. Tốc độ sáy của cá cơm theo thời gian sấy được tính theo công thức sau [1, 13]:

$$u = \frac{dw}{d\tau} \approx \frac{\Delta w}{\Delta \tau} \quad (2.4)$$

Trong đó: U là tốc độ sáy, %/h;  $\Delta \tau$  là khoảng thời gian giữa các lần xác định  $\Delta \tau = \tau_{i+1} - \tau_i$ ; Biến thiên hàm lượng ẩm theo  $\Delta \tau$  là  $\Delta w = w_i - w_{i+1}$ .



Hình 2. Sơ đồ bố trí thực nghiệm xác định chế độ sáy tối ưu cho cá cơm

Xác định tỷ lệ hút nước phục hồi của cá cơm khô sau khi sấy

Tỷ lệ HNPH của cá cơm khô sau khi sấy được xác định bằng phương pháp ngâm cá cơm khô trong nước cất (nước ngập mẫu cá cơm khô) ở nhiệt độ đạt khoảng 25 ÷ 30°C. Theo mỗi thời gian 30 phút, mẫu cá cơm ngâm được vớt ra, thấm khô nước dính ướt trên bề mặt ngoài thân cá cơm và tiến hành cân khối lượng mẫu, thực hiện cho đến

khi khối lượng mẫu cá ngâm giữa 2 lần cân liên nhau là không đổi. Tỷ lệ HNPH của cá cơm khô ( $R_{TN}$ ) được xác định theo công thức sau [9-11]:

$$R_{TN} = \frac{m_{vla} - m_{vlk}}{m_{vlk}} \cdot 100 \quad (2.5)$$

Trong đó:  $m_{vla}$  là khối lượng của mẫu cá cơm sau khi ngâm nước, gVLA;  $m_{vlk}$  là khối lượng của mẫu cá cơm sau khi sấy, gVLK.

Xác định suất tiêu hao năng lượng trong quá trình sấy cá cơm bằng IR-HP

Suất tiêu hao năng lượng trong quá trình sấy cá cơm bằng IR-HP được xác định theo công thức [12-13]:

$$SEC = \frac{E_p}{\Delta G_w} \quad (2.6)$$

Trong đó: SEC (specific energy consumption): Năng lượng tiêu thụ, kWh/kgH<sub>2</sub>O; E<sub>p</sub>: là tổng điện năng tiêu thụ của tủ sấy, kWh; ΔG<sub>w</sub>: là lượng nước bay hơi ra khỏi vật liệu sấy, kg.

Phương pháp đánh giá sai số của phương trình dự đoán và thực nghiệm

Sai số phần trăm trung bình E, % được xác định theo công thức [10-11]:

$$E(\%) = \frac{100}{n} \sum \frac{|\hat{Y}_{i,MP} - Y_{i,TN}|}{\hat{Y}_{i,MP}} \quad (2.7)$$

Trong đó:  $\hat{Y}_{i,MP}$ ,  $Y_{i,TN}$ , lần lượt là giá trị dự đoán, giá trị thực nghiệm, n là số lần thí nghiệm.

Phương pháp đánh giá điểm chất lượng cảm quan

Điểm chất lượng cảm quan của cá cơm khô được đánh giá bằng phương pháp cho điểm theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3215 – 79. Cá cơm khô sau khi sấy đạt đến độ ẩm yêu cầu, được tiến hành đánh giá theo các chỉ tiêu và hệ số quan trọng như sau: Màu sắc, hệ số 1,2; mùi, hệ số 0,8; vị, hệ số 1; trạng thái cơ thịt, hệ số 1 [7].

Phương pháp xác định các chỉ tiêu hóa học và vi sinh vật

Xác định hàm lượng ẩm trong cá cơm trước khi sấy theo TCVN 3700: 1990; xét nghiệm chỉ tiêu E. coli theo phương pháp kiểm nghiệm TCVN 7924-2: 2008; xác định Coliforms theo TCVN 6848: 2007; xác định Salmonella theo TCVN 10780-1: 2017; xác định tổng vi sinh vật hiếu khí theo TCVN 4884-1: 2015. Các chỉ tiêu vi sinh trên được xét nghiệm tại Trung tâm kiểm nghiệm, Sở y tế, Khánh Hòa.

### III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Trong nghiên cứu này độ ẩm của cá cơm sau khi luộc đã được xác định là  $W_1 = 74\%$ . Độ ẩm của cá cơm khô được xác định qua mỗi thời gian sấy bằng phương pháp cân khối lượng theo công thức

(2.3) đến khi độ ẩm cuối của cá cơm khô đạt  $20 \pm 1\%$ . Trong đó, mỗi thí nghiệm được lặp 3 lần để đảm bảo độ chính xác, kết quả nghiên cứu theo ma trận thí nghiệm của Taguchi được trình bày trên Bảng 2.

#### 3.1. Xây dựng các phương trình hồi quy từ thực nghiệm theo phương pháp RSM

Qua kết quả nghiên cứu thực nghiệm (Bảng 2), tác giả đã xây dựng được các phương trình hồi quy dự đoán (DD) thời gian sấy TGS = T<sub>DD</sub>; tỷ lệ HNPH của cá cơm khô R = R<sub>DD</sub>; suất tiêu hao năng lượng SEC = SEC<sub>DD</sub> cho cá cơm sấy bằng IR-HP.

Trong đó: Hệ số xác định R<sup>2</sup> = 96,25%, giá trị dự đoán R<sup>2</sup>(Pred) = 91,56%, giá trị hiệu chỉnh R<sup>2</sup>(Adj) = 94,58%, SS là tổng bình phương, MS là bình phương trung bình, DF là bậc tự do, F là tỷ lệ phương sai của Fisher, P là giá trị thống kê. Kết quả phân tích phương sai ANOVA cho phương trình bậc 2 dự đoán T<sub>DD</sub> (h) được trình bày trong Bảng 3 cho thấy các thông số sấy như t, V, H, t<sup>2</sup>, V<sup>2</sup>, H<sup>2</sup>, (tV), (tH) đều có giá trị p < 0,05. Hơn nữa, giá trị R<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> (Pred) R<sup>2</sup>(Adj) của phương trình hồi quy lần lượt là 0,9625, 0,9156 và 0,9458, các giá trị của R<sup>2</sup> rất gần tới 1. Điều này có thể kết luận rằng phương trình hồi quy đã xây dựng được là phù hợp với thực nghiệm và có ý nghĩa về mặt thống kê. Như vậy, phương trình hồi quy (3.1) là đủ tin cậy để dự đoán thời gian sấy T<sub>DD</sub> (h) cho cá cơm khi sấy bằng IR-HP.

$$T_{DD} = 11,111 - 0,267t - 7V + 0,330H + 0,0068t^2 + 0,583V^2 + 0,010H^2 + 0,087tV - 0,0196tH \quad (3.1)$$

#### 3.1.2. Phương trình hồi quy dự đoán suất tiêu hao năng lượng SEC<sub>DD</sub>, kWh/kg H<sub>2</sub>O

Kết quả tương tự khi phân tích ANOVA cho phương trình bậc 2 dự đoán SEC<sub>DD</sub> cho thấy giá trị P của phương trình hồi quy là rất nhỏ so với 0,05 nên các thông số sấy như t, V, H, t<sup>2</sup>, H<sup>2</sup>, V<sup>2</sup>, tV, tH là có ảnh hưởng đáng kể đến mô hình. Hơn nữa, giá trị R<sup>2</sup>, R<sup>2</sup> (Pred) R<sup>2</sup>(Adj) của phương trình hồi quy lần lượt là 0,9625, 0,9156 và 0,9458, các giá trị của R<sup>2</sup> rất gần tới 1. Điều này có thể kết luận rằng phương trình hồi quy được đưa ra là phù hợp và có ý nghĩa về mặt thống kê. Như vậy, phương trình hồi quy (3.2) là đủ tin cậy để dự đoán SEC<sub>DD</sub> cho quá trình sấy cá cơm bằng IR-HP.

$$SEC_{DD} = 44,444 - 1,070t - 28V + 1,322H + 0,0274t^2 + 2,333V^2 + 0,042H^2 + 0,348tV - 0,078tH \quad (3.2)$$

Bảng 2. Ma trận và kết quả thí nghiệm

TN	Biên mã hóa			Biên thực			Kết quả thí nghiệm		
	t (°C)	V (m/s)	H (cm)	t (°C)	V (m/s)	H (cm)	T <sub>TN</sub> (h)	R <sub>TN</sub> (%)	SEC <sub>TN</sub> (kWh/kg H <sub>2</sub> O)
1	1	1	1	45	1	30	3,50	68,00	14,00
2	1	1	1	45	1	30	3,00	68,70	12,00
3	1	1	1	45	1	30	2,92	68,70	11,67
4	1	2	2	45	2	35	2,50	68,70	10,00
5	1	2	2	45	2	35	2,75	71,20	11,00
6	1	2	2	45	2	35	2,67	68,70	10,67
7	1	3	3	45	3	40	4,00	69,00	16,00
8	1	3	3	45	3	40	3,00	67,40	12,00
9	1	3	3	45	3	40	3,00	71,70	12,00
10	2	1	2	50	1	35	3,00	70,00	12,00
11	2	1	2	50	1	35	2,83	62,80	11,33
12	2	1	2	50	1	35	3,00	65,90	12,00
13	2	2	3	50	2	40	2,50	70,00	10,00
14	2	2	3	50	2	40	2,75	65,90	11,00
15	2	2	3	50	2	40	2,83	71,20	11,33
16	2	3	1	50	3	30	2,00	70,00	8,00
17	2	3	1	50	3	30	2,17	71,20	8,67
18	2	3	1	50	3	30	2,50	65,90	10,00
19	3	1	3	55	1	40	2,50	70,00	10,00
20	3	1	3	55	1	40	2,25	71,10	9,00
21	3	1	3	55	1	40	2,33	69,10	9,33
22	3	2	1	55	2	30	2,00	69,70	8,00
23	3	2	1	55	2	30	2,00	68,70	8,00
24	3	2	1	55	2	30	2,17	65,90	8,67
25	3	3	2	55	3	35	2,50	71,20	10,00
26	3	3	2	55	3	35	2,50	71,20	10,00
27	3	3	2	55	3	35	2,33	70,00	9,33

Bảng 3. Kết quả phân tích phương sai ANOVA cho thiết kế thí nghiệm dự đoán T<sub>TN</sub> (h)

Nguồn	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	Ghi chú
Hồi quy	8	7,24280	7,24280	0,90535	57,70	0,000	ý nghĩa
<b>Bậc nhất</b>	3	5,06867	6,23681	2,07894	132,51	0,000	ý nghĩa
t	1	4,09298	4,09298	4,09298	260,88	0,000	ý nghĩa
V	1	0,08681	0,89198	0,89198	56,85	0,000	ý nghĩa
H	1	0,88889	1,74093	1,74093	110,96	0,000	ý nghĩa
<b>Bậc hai</b>	3	0,87423	1,87403	0,62468	39,82	0,000	ý nghĩa
t*t	1	0,17605	0,17605	0,17605	11,22	0,004	ý nghĩa
V*V	1	0,68531	1,53125	1,53125	97,60	0,000	ý nghĩa
H*H	1	0,01286	0,31337	0,31337	19,97	0,000	ý nghĩa
<b>Tương tác</b>	2	1,29990	1,29990	0,64995	41,43	0,000	ý nghĩa
t*V	1	0,21618	0,85224	0,85224	54,32	0,000	ý nghĩa
t*H	1	1,08372	1,08372	1,08372	69,07	0,000	ý nghĩa
Sai số	18	0,28241	0,28241	0,01569			
<b>Tổng</b>	26	7,52521					

**3.1.3. Phương trình hồi quy dự đoán tỷ lệ hút nước phục hồi trở lại của cá cơm khô RDD, %**

Kết quả phân tích phương sai ANOVA cho phương trình bậc 2 dự đoán tỷ lệ HNPH của cá cơm khô RDD cho thấy các hệ số của H, H<sup>2</sup> và tV có giá trị P lần lượt là 0,712; 0,294 và 0,516 (P > 0,05) do đó độ tin cậy là nhỏ hơn 95% nên các hệ số này ảnh hưởng không đáng kể đến mô hình hồi quy (3.3), các thông số khác như t, V, t<sup>2</sup>, V<sup>2</sup>, tH đều có giá trị p < 0,05. Hơn nữa, giá trị R<sup>2</sup> của phương trình hồi quy là 0,8123, R<sup>2</sup> rất gần tới 1. Điều này cho thấy phương trình hồi quy được đưa ra là phù hợp và có ý nghĩa về mặt thống kê. Như vậy, phương trình hồi quy (3.3)

đủ tin cậy để dự đoán tỷ lệ HNPH của cá cơm khi sấy bằng IR-HP.

$$RDD = 395,356 - 8,626t - 16,372V - 0,04711t^2 - 2,661V^2 + 0,119tH \quad (3.3)$$

**3.2. Tối ưu hóa đa mục tiêu xác định chế độ sấy cá cơm bằng IR-HP**

**3.2.1. Kết quả tối ưu hóa xác định chế độ sấy**

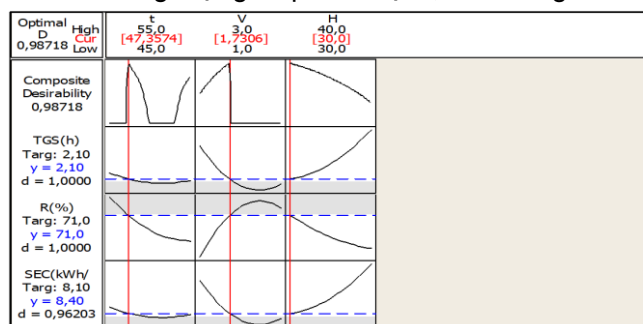
Để xác định được các thông số sấy sao cho thỏa mãn các mục tiêu là thời gian sấy cá cơm là nhỏ nhất, chất lượng sản phẩm cá cơm khô tốt nhất và tiêu hao năng lượng là bé nhất. Nghiên cứu đã tiến hành tối ưu hóa đa mục tiêu bằng phương pháp RSM với các thông số đầu vào, các ràng buộc và các mục tiêu được trình bày trong Bảng 4 như sau.

*Bảng 4. Mục tiêu tối ưu và miền ràng buộc*

STT	Thông số sấy và hàm mục tiêu	Mục tiêu	Giới hạn dưới	Giá trị mục tiêu	Giới hạn trên	Trọng số
1	t [°C]	Trong khoảng	45		55	
2	V [m/s]	Trong khoảng	1		3	
3	H [cm]	Trong khoảng	30		40	
4	T <sub>DD</sub> [h]	Lớn nhất	2	2,10	4	1
5	R <sub>DD</sub> [%]	Lớn nhất	62,80	71,00	71,20	1
6	SEC <sub>DD</sub> [kWh/kg H <sub>2</sub> O]	Nhỏ nhất	8,00	8,10	16,00	1

Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu trên Hình 3 cho thấy giá trị kỳ vọng của các hàm mục tiêu (Composite Desirability) là 0,98718, giá trị này rất gần với 1. Do đó, kết quả tối ưu cho các hàm mục tiêu như T<sub>DD</sub>, R<sub>DD</sub> và SEC<sub>DD</sub> là phù hợp [8-10]. Như vậy, thông số sấy tối ưu cho cá cơm khi sấy bằng IR-HP như sau: nhiệt độ sấy t = 47,35°C; vận tốc tác nhân sấy V = 1,73 m/s; khoảng cách hồng ngoại H = 30 cm. Ứng với hàm mục tiêu (Target) cho thời gian sấy ngắn nhất là 2,10h, tỷ lệ HNPH cao nhất đạt 71% và suất tiêu hao năng lượng thấp nhất đạt 8,40 kWh/kgH<sub>2</sub>O.

nghiệm ở chế độ sấy tối ưu là rất nhỏ, khoảng từ 5,33 ÷ 8,69 %. Kết quả trên cho thấy sai số giữa giá trị dự đoán và thực nghiệm là nhỏ hơn 9%, có thể nói giá trị dự đoán và thực nghiệm có sự phù hợp với nhau đến 91%. Như vậy, kết quả dự đoán từ phương trình là phù hợp với thực nghiệm. Theo đó, có thể áp dụng các phương trình trên để dự đoán các mục tiêu như T<sub>DD</sub>, R<sub>DD</sub>, SEC<sub>DD</sub> vào nghiên cứu lý thuyết về truyền nhiệt, truyền chất hoặc tính toán nhiệt, thiết kế máy sấy cá cơm bằng IR-HP.



*Hình 3. Đồ thị tối ưu hóa đa mục tiêu*

**3.2.2. Đánh giá độ tin cậy của mô hình dự đoán so với thực nghiệm ở chế độ sấy tối ưu**

Kết quả nghiên cứu trên Bảng 5 cho thấy sai số của các giá trị (T<sub>DD</sub>, R<sub>DD</sub>, SEC<sub>DD</sub>) được dự đoán từ các phương trình từ (3.1 ÷ 3.3) so với các giá trị của (T<sub>TN</sub>, R<sub>TN</sub>, SEC<sub>TN</sub>) được xác định từ thực

**3.3. Đánh giá chất lượng của cá cơm ở chế độ tối ưu khi sấy bằng IR-HP**

**3.3.1. Đánh giá chất lượng cá cơm khô theo điểm chất lượng cảm quan và khả năng hút nước phục hồi**

Kết quả nghiên cứu trên Bảng 6 và Hình 4b cho thấy mẫu cá cơm sấy bằng IR-HP có màu sắc tự nhiên như của cá cơm trước khi sấy, điểm chất lượng cảm quan (CLCQ) cao nhất là 18,55 điểm, đạt loại tốt. Hơn nữa, kết quả trên Bảng 6 cũng cho thấy cá cơm khô sấy bằng IR-HP có khả năng HNPH trở lại cao đạt 75%. Điều này có thể giải thích là cá cơm khô sấy bằng IR-HP ở chế độ sấy tối ưu có quá trình truyền nhiệt, truyền chất phù hợp nên bề mặt ngoài của cá không bị tạo màng và cấu trúc bên trong thân cá cơm khô xốp, quá trình thoát ẩm tốt, thời gian sấy ngắn nhất khoảng 2,3 giờ (Bảng 5), nên



điểm CLCQ cao và khả năng HNPB của cá cơm khô đạt gần như trạng thái của cá cơm trước khi

sấy. Như vậy, có thể nói cá cơm khô sau khi sấy ở chế độ tối ưu có chất lượng là tốt.

**Bảng 5. Đánh giá độ tin cậy của mô hình dự đoán so với thực nghiệm**

STT	Hàm mục tiêu	Dự đoán từ các phương trình hồi quy (3.1 ÷ 3.3)	Kết quả thực nghiệm ở chế độ sấy tối ưu	Sai số (%)
1	Thời gian sấy $\tau$ (h)	2,10	2,30	8,69
2	Tỷ lệ HNPB của cá cơm khô R (%)	71,00	75	5,33
3	Suất tiêu hao năng lượng SEC (kWh/kgH <sub>2</sub> O)	8,40	9,12	7,89

**Bảng 6. Đánh giá chất lượng của cá cơm bằng phương pháp sấy IR-HP**

Stt	Phương pháp sấy	Điểm chất lượng cảm quan (điểm)	Tỷ lệ HNPB của cá cơm khô R <sub>TN</sub> (%)
1	Sấy cá cơm bằng IR-HP	18,55	75,00

**Bảng 7. Kết quả kiểm nghiệm vi sinh của mẫu cá cơm khô sấy ở chế độ tối ưu**

Tên sản phẩm khô	Các chỉ tiêu vi sinh			
	Coliform, PMN/g	Tổng vi sinh vật hiếu khí, CFU/g	E. coli, CFU/g	Salmonella, CFU/g
Cá cơm sấy bằng IR-HP ở chế độ sấy tối ưu	<10	1,4.10 <sup>5</sup>	<10	Không phát hiện



(a)



(b)

**Hình 4. Hình ảnh cá cơm tươi (a) và cá cơm khô sau khi sấy ở chế độ sấy tối ưu (b)**

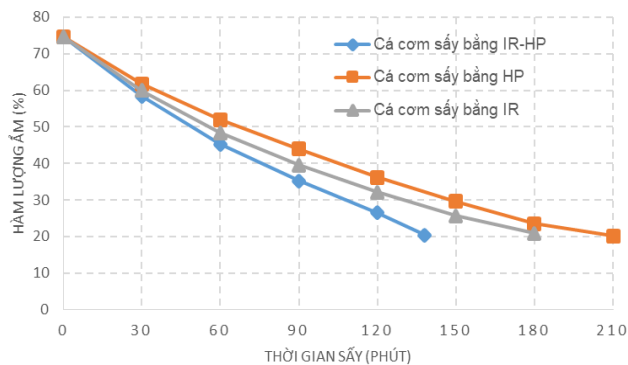
### 3.3.2. Đánh giá chất lượng cá cơm khô theo chỉ tiêu vi sinh vật

Kết quả phân tích trong Bảng 7 cho thấy các chỉ tiêu về vi sinh nguy hại trên cá cơm khô như E.coli nhỏ hơn quy định, Salmonella đều không phát hiện, các chỉ tiêu còn lại là nhỏ hơn rất nhiều so với tiêu chuẩn về quy định giới hạn cho phép vi sinh vật trong nhóm thức ăn khô [14]. Điều này cho thấy phương pháp sấy bằng IR-HP là có thể kiểm soát được sự nhiễm vi sinh. Như vậy, cá cơm khô khi sấy ở chế độ tối ưu đã đạt yêu cầu về tiêu chuẩn vi sinh theo Quyết định số 46/BYT-2007 của Bộ Y tế.

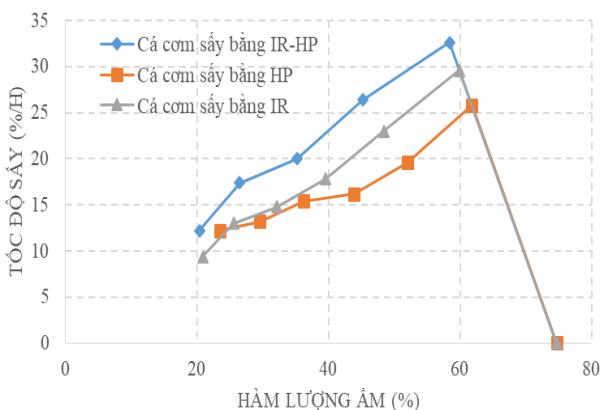
### 3.4. Xây dựng đường cong sấy và đường cong tốc độ sấy của cá cơm theo các phương pháp sấy

Kết quả nghiên cứu trên cho thấy cá cơm sấy bằng IR-HP ở chế độ tối ưu có thời gian sấy ngắn nhất là 138 phút, tốc độ sấy trung bình đạt cao nhất là 21,72 %/h, kế tiếp là phương pháp sấy bằng IR có thời gian sấy là 180 phút và tốc độ sấy trung bình đạt 17,93 %/h, còn lại là phương pháp sấy bằng HP có thời gian sấy 210 phút, tốc độ sấy đạt thấp hơn đạt 15,57 %/h (Hình 5a, 5b). Theo đó, cá bằng IR-HP có thời gian sấy ngắn nhất và tốc độ sấy cao nhất. Điều này có thể giải thích là nhờ khả năng xuyên của tia IR làm làm nóng sản phẩm sấy từ bên trong tâm kết hợp với không khí sấy được tách ẩm từ dàn bay hơi, không khí lạnh thổi qua bề mặt làm cho bề mặt của cá không bị khô cháy hay tạo màng ngoài, chính điều này đã tạo nên sự cân bằng giữa quá trình khuếch tán nội và quá trình khuếch tán ngoại trong con cá cơm, làm tăng tốc độ sấy và rút ngắn thời gian

sấy. Đây cũng là tính ưu việt của phương pháp sấy bằng IR-HP cho vật liệu sấy là cá cơm.



(a)



(b)

Hình 5. Biến đổi của đường cong sấy và đường cong tốc độ sấy của cá cơm ở chế độ sấy tối ưu

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Trần Đại Tiến, Lê Như Chính, Nguyễn Văn Hoàng (2022) “Kỹ thuật sấy thủy sản”, NXB Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.
- [2]. Lê Như Chính, Khổng Trung Thắng, Nguyễn Công Tạo (2022), “Nghiên cứu tối ưu hóa quá trình sấy bột súp bằng bơm nhiệt kết hợp với bức xạ hồng ngoại”, Tạp chí Công nghiệp nông thôn- số 46, pp 45-54.
- [3]. Lê Như Chính, Nguyễn Văn Phúc, Huỳnh Văn Thọ, Nguyễn nguyên An (2021), “Nghiên cứu chế tạo máy sấy bằng bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại để sấy nông sản và thủy sản”, Tạp chí KHCN thủy sản, số 1/2021, pp 19-25.
- [4]. Lê Như Chính, Phạm Văn Tùy, Trần Bảo Tiên (2014). “Nghiên cứu chế tạo máy sấy bằng bơm nhiệt lớp sôi kết hợp bức xạ hồng ngoại để sấy rau xuất khẩu”, Tạp chí năng lượng nhiệt, số 116-3/2014, pp 18-22.
- [5]. Đỗ Anh Tuấn, Nguyễn Hữu Thật, (2017), “Tối ưu hóa độ nhám bề mặt và bóc tách vật liệu trong phay thép SKD61 đã tôi bằng phương pháp Taguchi và mặt đáp ứng”, Tạp chí Khoa học & Công nghệ - Số 14/Tháng 6, pp 22-26.
- [6]. Phạm Anh Tuấn, Vũ Thị Nga, Tạ Phương Thảo, Vũ Ngọc Dũng (2021), “Tối ưu hóa quá trình sấy ớt bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại”. Tạp chí Công nghiệp nông thôn, số 40/2021.
- [7]. Mai Tuyết Nga, Nguyễn Thuần Anh, Trần Thị Mỹ Hạnh (2021). “Đánh giá và dự đoán chất lượng thủy sản bằng phương pháp cảm quan”, NXB Nông Nghiệp Hà Nội.
- [8]. Minitab, Inc. (2000), “MINITAB User's Guide 2: Data Analysis and Quality TooTo”, Printed in the USA, ISBN 0-925636-44-4.

## IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 4.1. Kết luận

Kết quả nghiên cứu tối ưu hóa quá trình sấy cá cơm thường bằng phương pháp IR-HP đã xác định được chế độ sấy tối ưu: nhiệt độ sấy  $t = 47,35^{\circ}\text{C}$ , vận tốc gió  $V = 1,73 \text{ m/s}$ , khoảng cách bức xạ hồng ngoại  $H = 30 \text{ cm}$ , công suất hồng ngoại  $IP = 1000 \text{ W}$ , độ ẩm tương đối của không khí sấy  $\phi = 15 \div 17\%$ , độ ẩm ban đầu của cá cơm  $W_1 = 74\%$ , độ ẩm cuối của cá cơm khô đạt  $W_2 = 20 \pm 1\%$  tương ứng với thời gian sấy ngắn đạt 126 phút, khả năng HNPH của cá cơm khô cao đạt 71% và suất tiêu hao năng lượng cho quá trình sấy cá nhỏ nhất đạt 8,40 kWh/kgH<sub>2</sub>O.

Chế độ sấy tối ưu trên và các phương trình hồi quy từ 3.1 ÷ 3.3 đã xây dựng được là cơ sở để dự đoán thời gian sấy, suất tiêu hao năng lượng SEC, tỷ lệ HNPH của cá cơm khô, ứng dụng trong tính toán thiết kế hệ thống sấy cá cơm bằng phương pháp sấy IR-HP với quy mô thí nghiệm và công nghiệp.

### 4.2. Kiến nghị

Nghiên cứu xác định biến đổi thông số nhiệt vật lý của cá cơm theo nhiệt độ và thành phần hóa học từ đó mô phỏng quá trình truyền nhiệt, truyền chất trong cá cơm khi sấy bằng IR-HP.



- [9]. N.R. Nwakuba, O.C. Chukwuezie, G.U. Asonye and S.N. Asoegwu (2018), “Energy analysis and optimization of thin layer drying conditions of okra”, *Innovation & Technologies for Sustainable Agricultural Production & Food Sufficiency*, Vol. 14, pp 129-148.
- [10]. Luo Lei, Kang Xinyan, Zhu Wenxue, Ren Guangyue, Duan Xu, Ji Qinghua, Zhang Kuan, Ma Yongzhe (2016), “Optimization of Far-Infrared Assisted Heat Pump Drying Parameters for Quality Control of Dried Honeysuckle”, Vol.37, pp 07-12.
- [11]. R. Chakraborty, P. Mukhopadhyay, M. Bera a & S. Suman., (2011), “Infrared-Assisted Freeze Drying of Tiger Prawn”: Parameter Optimization and Quality Assessment. *Drying Technology*, Vol 29, pp 508–519.
- [12]. Song Xiaoyong (2013). “Banana Chip Drying Using Far Infrared-Assisted Heat Pump”. *The Philippine Agricultural Scientist* Vol. 96 No. 3, pp 275-281.
- [13]. Ebrahim Sadeghi, Ali Haghighi Asl, Kamyar Movagharnejad, (2019) “Optimization and quality evaluation of infrared-dried kiwifruit slices” *Food Science & Nutrition* 2020;8:720–734.
- [14]. Quyết định Số: 46/2007/QĐ-BYT (2007) “Quy định giới hạn tối đa ô nhiễm sinh học và hóa học trong thực phẩm” của Bộ Y Tế Việt Nam.
- [15]. <https://kinhtedothi.vn/xuat-khau-thuy-san-nam-2022-but-pha-voi-muc-tieu-10-ty-usd.html>(Xuất khẩu thủy sản năm 2022: Bứt phá với mục tiêu 10 tỷ USD), Truy cập ngày 28/10/2022.

## MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION DETERMINATE THE OPTIMIZED DRYING PARAMETERS FOR COMMERSON ANCHOVY BY INFRARED ASSISTED HEAT PUMP DRYER

Le Nhu Chinh<sup>1\*</sup>, Nguyen Van Phuc<sup>1</sup>, Tran Đình Khoa<sup>2</sup>, Đo Trong Quy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Thermal Engineering Department, Faculty Of Mechanical Engineering, Nha Trang University

<sup>2</sup>Ly Tu Trong College, Ho Chi Minh City

\* E-mail: [chinhln@ntu.edu.vn](mailto:chinhln@ntu.edu.vn)

### ABSTRACT

*This paper presents the results of experimental research to determine the optimal drying parameters of *Stolephorus commersonnii* by heat pump drying method combined with infrared radiation. The experiment was designed according to Taguchi's method with drying parameters including drying temperature ( $t$ ), drying agent velocity ( $V$ ), infrared radiation distance ( $H$ ). As a result of multi-objective optimization by RSM response surface method, optimal drying parameters were obtained for good quality dried *Stolephorus commersonnii*, short drying time and energy saving. Specifically, the optimal drying parameters for dried *Stolephorus commersonnii* are determined as follows  $t = 47,35$  oC,  $V = 1,73$  m/s,  $H = 30$  cm,  $IP = 1000$  W, relative humidity of the air drying  $\phi = 15 \div 17\%$ , drying time  $\tau_{drying} = 126$  minutes.*

*Keywords: Drying *Stolephorus commersonnii*, drying *Stolephorus commersonnii* by heat pump combined with infrared.*