

# TỐI ƯU HÓA ĐIỀU KIỆN SẤY BƠM NHIỆT KẾT HỢP BỨC XẠ HỒNG NGOẠI TRÊN NGUYÊN LIỆU CÁ KÈO (*Pseudapocryptes elongatus*)

Hoàng Thái Hà\*, Nguyễn Thanh Nam

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

\*Email: haht@hufi.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/6/2022; Ngày chấp nhận đăng: 10/2/2023

## TÓM TẮT

Cá kèo thu mua tại Tp. Cà Mau được sấy bằng công nghệ bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại, dựa trên thiết kế thí nghiệm tối ưu đa nhân tố của Box-Wilson với nhân tố tác động (nhiệt độ sấy ( $X_1$ ), nồng độ sorbitol ( $X_2$ ), vận tốc gió ( $X_3$ ) và hàm mục tiêu là tỷ lệ hydrate hóa ( $Y$ , %). Mẫu sấy tối ưu được đối chứng với mẫu sấy bằng công nghệ bơm nhiệt và công nghệ sấy dưới mặt trời dựa trên các chỉ tiêu cảm quan, tạp chất, hoạt độ nước, nitơ tổng số, protein tổng số, tổng số vi sinh vật hiếu khí, *E. coli*, *Coliforms*, *Salmonella*, *V. cholerae* và *S. aureus*. Kết quả cho thấy tỷ lệ tái hydrat hóa, nhiệt độ sấy, vận tốc gió và nồng độ sorbitol có mối liên hệ tương quan theo phương trình  $Y = 59,9143 + 0,751607 * X_1 + 1,71339 * X_2 + 1,24464 * X_3 - 0,62464 * X_1 X_2 - 0,668393 * X_1 X_3 + 1,09839 * X_2 X_3$ , nhiệt độ sấy ảnh hưởng lên thời gian sấy mạnh hơn so với các yếu tố khác. Điều kiện tối ưu sấy cá kèo là sorbitol 10%, nhiệt độ sấy 56 °C, 2,4 m/s, và thời gian sấy là 5,70 giờ với tỷ lệ tái hydrat hóa cao nhất 62,50%, thời gian sấy ngắn nhất và đạt chất lượng cảm quan, an toàn thực phẩm cao hơn so với các phương pháp sấy nóng và sấy dưới mặt trời.

*Từ khóa:* Box-Wilson, bơm nhiệt, bức xạ hồng ngoại, cá kèo, sấy nóng, sấy dưới mặt trời.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cá kèo *Pseudapocryptes elongatus*, thuộc họ cá Oxudercidae phân bố rộng ở nhiều nước như: Thái Lan, Malaysia, Ấn Độ, Nhật Bản, Trung Quốc và khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long (Việt Nam). Cá kèo ruột ngắn, ăn tạp như tôm nhỏ, giun, sinh vật phù du, hệ cơ thịt cá kèo mềm, liên kết lỏng lẻo, nên rất nhanh bị hư hỏng sau khi chết. Hiện nay, cá kèo được dùng ăn lẩu, cá kèo chiên và cá kèo khô. Cá kèo khô chủ yếu được làm khô dưới mặt trời, điều này đã tận dụng được nguồn năng lượng mặt trời, nhưng chất lượng cá giảm nhiều, thời gian bảo quản ngắn, phụ thuộc nhiều vào thời tiết và môi trường phơi nắng. Công nghệ sấy bơm nhiệt đã tác động nhiệt lên bề mặt cá hướng vào tâm, mặc dù chất lượng của cá khô đã được cải thiện, nhưng bề mặt cá bị nóng và khô hơn so với bên trong cá.

Công nghệ sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại trên nguyên liệu cá cơm [1-3], rong biển [4] và tôm [5-7] đã có hiệu quả cao hơn so với công nghệ sấy bơm nhiệt hay sấy dưới mặt trời về mặt giảm thiểu sự biến đổi chất lượng của nguyên liệu, thời gian sấy ngắn hơn, nhiệt độ sấy thấp hơn, những ưu điểm này không tìm thấy ở công nghệ sấy bơm nhiệt hay sấy dưới mặt trời. Tia hồng ngoại xuyên qua nguyên liệu và năng lượng bức xạ hồng ngoại tác động làm nước dao động và sinh động năng, sau đó va chạm và sinh nhiệt. Kết quả dẫn đến sự phân tách và khuếch tán nước từ tâm ra bề mặt sản phẩm một cách đồng đều, quá trình sấy nhanh hơn, biến đổi xấu về chất lượng ít hơn, khả năng tái hydrat hóa của sản phẩm sấy cao hơn [8].

Vì vậy, nghiên cứu này tập trung tối ưu hóa sấy cá kèo bằng công nghệ sấy bom nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại và so sánh với công nghệ sấy bom nhiệt và sấy dưới mặt trời.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu nghiên cứu

Cá kèo tươi (độ ẩm 71,37%, 30-40 con/kg) được mua tại thành phố Cà Mau và vận chuyển không quá 20 giờ ở nhiệt độ dưới 10 °C về phòng thí nghiệm Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm Thành phố Hồ Chí Minh để rửa sạch bằng nước muối 0,5% trong 5 phút, sau đó ngâm cá trong sorbitol 30 phút. Nồng độ sorbitol được bố trí theo Bảng 1, 2 và 3. Tiếp theo, cá được chần ở 90 °C trong 10 giây, để ráo và sấy bom nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại đến độ ẩm  $20 \pm 0,3\%$ . Dung dịch sorbitol tinh khiết do hãng Merck (Đức) cung cấp.

### 2.2. Bố trí thí nghiệm sấy bom nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại

Thiết kế thí nghiệm theo phương pháp qui hoạch thực nghiệm của Box-Wilson với 3 yếu tố tác động: Nhiệt độ sấy  $Z_1$  (°C), nồng độ sorbitol  $Z_2$  (%), vận tốc gió  $Z_3$  (m/s) và hàm mục tiêu là tỷ lệ tái hydrat hóa  $Y$  (%). Số lượng thí nghiệm được tính theo công thức [9]:  $N = 2^m$ . Trong đó:  $2^m$ - số thí nghiệm ở mức trên và dưới;  $m$ : số yếu tố ảnh hưởng; số yếu tố đầu vào:  $m = 3$ , và tổng số thí nghiệm:  $N = 2^3 = 8$ .

Biến thực  $Z_1, Z_2, Z_3$  chuyển sang biến mã mới không thứ nguyên  $X_1, X_2, X_3$  theo công thức sau:

$$X_i = \frac{Z_i - Z_{i0}}{\Delta Z_i} \quad (1) \quad \Delta Z_i = \frac{Z_{it} - Z_{id}}{2} \quad (2)$$

$X_i$  – biến mã hoá của yếu tố thứ  $i$  ( $i = 1 \div 3$ )

$Z_{it}, Z_{i0}, Z_{id}$ - biến thực của yếu tố thứ  $i$  ở mức trên, mức trung tâm 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 và giá trị mã hoá của các yếu tố tác động thể hiện ở Bảng 1.

Bảng 1. Mức biến thiên và biến mã hoá của các yếu tố  $Z_i$

Các mức	Các yếu tố ảnh hưởng		
	$Z_1$ (°C) Nhiệt độ	$Z_2$ (%) Nồng độ sorbitol	$Z_3$ (m/s) Vận tốc gió
Mức trên (+1)	60	12	3
Mức trung tâm (0)	55	7	2
Mức dưới (-1)	50	2	1
Mức biến thiên $\Delta Z_i$	5	5	1

Phương trình của hàm mục tiêu tỷ lệ tái hydrat hóa  $Y$  dạng bậc 1 [10]:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m b_{ij} x_i x_j \quad (3)$$

### 2.3. Phương pháp phân tích

Nhiệt độ dòng khí nóng được xác định bằng thiết bị đo nhiệt độ điện tử hiện số mã hiệu SGK-MF-904 (Hồng Kông), khoảng đo -40 °C đến 200 °C, sai số 0,5 °C. Vận tốc gió đo bằng thiết bị tốc độ dòng khí sấy Testo 405 - V<sub>1</sub> (Đức).

Độ ẩm vật liệu sấy được xác định bằng phương pháp sấy đến khối lượng không đổi ở 105 °C. Mức độ biến đổi độ ẩm trong quá trình sấy được tính theo công thức thực nghiệm [4]:  $W_2 (\%) = 100 - [G_1(100 - W_1)] / G_2$ , trong đó: G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub> là khối lượng của nguyên liệu trước và sau khi sấy (g), W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub> là độ ẩm của nguyên liệu trước và sau khi sấy (%). Thời gian sấy: 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 20% và được xác định bằng đồng hồ đo thời gian thông dụng.

Tỷ lệ tái hydrat hóa H<sub>w</sub> (%) cá kè sấy được thực hiện như sau: 20 gam (m<sub>1</sub>) cá khô ngâm trong 250 mL nước cất trong 15 phút rồi để ráo nước 5 phút, cuối cùng cân mẫu ngâm nước (m<sub>2</sub>) và tính toán tỷ lệ tái hydrat hóa của cá kè theo công thức:  $H_w (\%) = (m_2 - m_1) / m_1$  [4].

Đánh giá cảm quan cá kè khô theo phương pháp cho điểm với thang điểm 20 theo TCVN 3215-79.

Định lượng protein và nitơ tổng số theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3705:1990.

Định lượng tổng số vi sinh vật hiếu khí (Kl/g) theo TCVN 5367: 1991; *Escherichia coli* (Kl/g) theo TCVN 7924-2008; *Coliforms* (Kl/g) theo TCVN 4882:2007; *Samonella* sp. (Kl/g) theo TCVN 4829:2005; *Vibrio cholerae* (Kl/g) theo TCVN 7905-1:2008; *Staphylococcus aureus* (Kl/g) theo TCVN 4830-1:2005.

### 2.4. Phân tích dữ liệu

Mỗi nghiệm thức được lặp lại 3 lần. Phân tích thống kê, ANOVA và tối ưu hóa bằng phần mềm Statgraphics centurion XVI và Excel.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Tối ưu hóa sấy cá kè

Trong khoảng nhiệt độ sấy từ 50-60 °C, nồng độ sorbitol từ 2% đến 12%, và vận tốc gió 1-3 m/s, khi 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 từ 2-12%. Tốc độ dòng khí sấy lớn hơn 3 m/s, cá sấy có tỷ lệ hoàn nguyên và chất lượng cảm quan thấp hơn khi cá sấy với tốc độ dòng khí sấy 1-3 m/s. Nhiệt độ sấy 55 °C cho cá khô có chất lượng cảm quan và tỷ lệ hoàn nguyên đạt mức cao hơn so với các nhiệt độ khác. Ma trận và kết quả thí nghiệm được thể hiện trong bảng 2 với tỷ lệ tái hydrat hóa cá kè sấy có điểm tối ưu dao động từ 56,01 đến 63,14%.

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

Thí nghiệm	Z <sub>1</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	Y (%)
1	50	2	1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	56,01
2	50	12	1	-1	1	-1	+1	-1	-1	+1	58,20
3	50	2	3	-1	-1	1	-1	+1	-1	+1	57,35
4	50	12	3	1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	59,30
5	60	2	1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	59,81
6	60	12	1	1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	60,08
7	60	2	3	+1	-1	+1	+1	-1	-1	-1	58,81
8	60	12	3	1	1	1	+1	+1	+1	+1	63,14
9	55	7	2	0	0	0	0	0	0	0	60,30
10	55	7	2	0	0	0	0	0	0	0	60,30
11	55	7	2	0	0	0	0	0	0	0	60,30

Bằng phần mềm Statgraphics centurion XVI và Excel xác định được các hệ số hồi quy theo phương trình (4) và sai số chuẩn của tất cả các mẫu đều nhỏ hơn 5%, điều này chứng tỏ phù hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm, đảm bảo độ tin cậy trong thực nghiệm. Mỗi tương quan chặt chẽ giữa các yếu tố tác động lên hàm mục tiêu Y đã được tìm thấy ( $R^2 > 0,9$ ) (Bảng 4) với phương trình hồi quy dạng tuyến tính:  $Y = 59,9143 + 0,751607 * X_1 + 1,71339 * X_2 + 1,24464 * X_3 - 0,62464 * X_1 X_2 - 0,668393 * X_1 X_3 + 1,09839 * X_2 X_3$  (4), sau khi đã tính toán và kiểm tra, đảm bảo sự tương thích của mô hình toán với thực nghiệm.

Từ phương trình hồi quy (4), thấy rằng: Nhiệt độ sấy nguyên liệu  $X_1$  (°C), nồng độ sorbitol ngâm nguyên liệu  $X_2$  (%) và vận tốc gió  $X_3$  (m/s) ảnh hưởng lớn đến tỷ lệ tái hydrat hóa, thời gian sấy và chất lượng cá kèo khô trong đó nồng độ sorbitol có tác động mạnh nhất đến tỷ lệ tái hydrat hóa ( $b_2 = 1,71$ ), tiếp đến vận tốc gió ( $b_3 = 1,224$ ) và nhiệt độ sấy ( $b_1 = 0,75$ ) ( $p < 0,05$ ).

Tối ưu hoá theo phương pháp Box-Willson, tính được các giá trị  $|b_i \Delta_i|$ . Trong đó,  $b_i$  là giá trị hệ số hồi quy thứ  $i$  và  $\Delta_i$  là khoảng biến đổi của các biến số tương ứng và  $\Delta_1 = \frac{X_{1\max} - X_{1\min}}{2} = \frac{60 - 50}{2} = 5$ ;  $\Delta_2 = \frac{X_{2\max} - X_{2\min}}{2} = \frac{12 - 2}{2} = 5$ ;  $\Delta_3 = \frac{X_{3\max} - X_{3\min}}{2} = \frac{3 - 1}{2} = 1$

$$\text{Do đó: } |b_1 \Delta_1| = |0,75 * 5| = 3,75 ; |b_2 \Delta_2| = |1,71 * 5| = 8,55 ; |b_3 \Delta_3| = |1,24 * 1| = 1,24$$

Như vậy,  $\max |b_i \Delta_i| = |b_2 \Delta_2|$  và chọn  $X_2$  làm biến cơ sở. Chọn cho biến cơ sở một bước nhảy thích hợp với công nghệ:  $\lambda_{cs} = 1,5$ . Kết hợp biểu thức  $\lambda_i = \frac{b_i \lambda_i}{b_{cs} \Delta_{cs}} \cdot \lambda_{cs}$  có:  $\lambda_2 = 1,5$ ;

$$\lambda_1 = \frac{b_1 \Delta_1}{b_{cs} \Delta_{cs}} \cdot \lambda_{cs} = \frac{3,75}{8,55} \times 1,5 = 0,66 ; \lambda_3 = \frac{b_3 \Delta_3}{b_{cs} \Delta_{cs}} \cdot \lambda_{cs} = \frac{1,24}{8,55} \times 1,5 = 0,21 ; \text{ làm tròn kết quả được: } \lambda_1 = 0,50 ; \lambda_2 = 1,5 ; \lambda_3 = 0,2$$

Kết quả thí nghiệm và tính toán tối ưu được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Thông số và kết quả thí nghiệm tối ưu hoá

Tên thông số	$Z_1$ (°C)	$Z_2$ (%)	$Z_3$ (cm)	Khả năng tái hydrat hóa (%)
Mức cơ sở	55,0	2,00	7,00	
Hệ số bi	0,75	1,71	1,24	
Khoảng biến thiên $\Delta_i$	5,00	5,00	1,00	
$b_i \cdot \Delta_i$	3,75	8,55	1,24	
Bước $\lambda_i$	0,66	1,50	0,21	
Bước làm tròn	0,50	1,50	0,20	
Thí nghiệm 12	55,50	8,50	2,20	$60,72 \pm 1,03$
Thí nghiệm 13	56,00	10,00	2,40	$62,50 \pm 1,04$
Thí nghiệm 14	56,50	11,50	2,60	$57,71 \pm 1,01$

Sau mỗi bước nhảy, giá trị về mặt thời gian sấy giảm và điểm cảm quan trung bình của cá kẻo sấy giảm theo (Bảng 3). Ở thí nghiệm 13 với  $Z_1 = 56$  °C ;  $Z_3 = 2,4$  m/s, và  $Z_2 = 10,0\%$  sau 5,70 giờ, độ ẩm sản phẩm giảm từ  $71,37\% \pm 0,22\%$  xuống  $20 \pm 0,18\%$  (đạt yêu cầu về mặt công nghệ), chất lượng cảm quan đạt loại tốt (18,34 điểm), tỷ lệ tái hydrat hóa cao (62,50%). Ở thí nghiệm thứ 14, thời gian sấy kết thúc kéo dài 6,50 giờ, chất lượng cảm quan của cá kẻo sấy khô bị giảm và đạt loại trung bình trong hệ thống phân cấp chất lượng (15,34 điểm). Nguyên nhân nhiệt độ sấy và vận tốc gió cao lượng ẩm thoát ra không đều, kết cấu thân cá bị co rút, giảm khả năng hút nước trở lại. Mặt khác, nhiệt độ sấy càng cao, thời gian sấy kéo dài, chi phí năng lượng càng lớn và ảnh hưởng sản phẩm.

Bảng 4. ANOVA mô hình đáp ứng

Thông số	Tổng bình phương	Trung bình bình phương	Tỷ lệ F	Hệ số p
A: Nhiệt độ sấy	2.9428	2.9428	13.06	0.0225
B: Vận tốc gió	15.293	15.293	67.88	0.0012
C: Nồng độ sorbitol	6.94013	6.94013	30.81	0.0052
AB	1.748	1.748	7.76	0.0495
AC	2.32725	2.32725	10.33	0.0325
BC	6.28485	6.28485	27.90	0.0062
R <sup>2</sup> hiệu chỉnh	97.39%			

Như vậy, điều kiện tối ưu sấy cá kẻo được xác định, cụ thể: nồng độ sorbitol 10%, nhiệt độ không khí trong buồng sấy 56 °C và tốc độ dòng khí sấy đi ngang qua nguyên liệu 2,4 m/s. Trên cơ sở các thông số tối ưu, tiến hành kiểm định cho thấy thời gian sấy, tỷ lệ tái hydrate ( $H_w$ , %) và điểm cảm quan trung bình ( $Q$ , điểm) của cá kẻo khô có giá trị tương ứng 5,70 giờ, 62,50% và 18,34 điểm (Bảng 5).

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm sấy ở điều kiện tối ưu

Thí nghiệm	Nhiệt độ dòng khí sấy ( $Z_1$ , °C)	Tốc độ dòng khí sấy ( $Z_2$ , m/s)	Nồng độ sorbitol ( $Z_3$ , %)	Tỷ lệ tái hydrat hóa ( $H_w$ , %)	Điểm cảm quan trung bình ( $Q$ , điểm)	Thời gian sấy ( $\tau$ , h)
1	56	2,4	10%	62,50	18,34	5,70
2	56	2,4	10%	62,52	18,34	5,70
3	56	2,4	10%	62,48	18,34	5,70
Giá trị trung bình				$62,50 \pm 1,04$	$18,34 \pm 0,00$	$5,70 \pm 0,00$

### 3.2. Chất lượng sản phẩm cá kèo khô

Chất lượng sấy bằng 3 công nghệ sấy khác nhau giảm dần theo thứ tự: sấy bằng bom nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại, sấy bằng không khí nóng và sấy dưới mặt trời (Bảng 6). Cá sấy bằng bom nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại có chất lượng tốt nhất cả về cảm quan, vật lý, hóa học cũng như vi sinh vật, điều này cũng được khẳng định trong các công bố trước đây [5, 7]. Yun và cộng sự (2011) chỉ ra, cấu trúc vi mô của sợi cơ cá được làm khô bằng tia hồng ngoại tương tự như mẫu tươi. Cá sấy khô bằng tia hồng ngoại ít co ngót khi sấy khô, màu sắc tươi sáng hơn và khả năng bù nước tốt hơn các sản phẩm sấy bằng công nghệ sấy nóng. Cá khô có giá trị độ và vàng cao hơn, nhưng độ đậm nhạt (L) thấp hơn cá thô. Sự khác biệt đáng kể về giá trị protein, DMA hoặc L giữa tất cả các mẫu sấy khô giữa các mẫu là không tìm thấy [5, 7].

Bảng 6. Điều kiện sấy và chất lượng sản phẩm cá kèo khô

Thông số sấy	Đơn vị tính	Điều kiện sấy		
		Bom nhiệt kết hợp BXHN	Bảng không khí nóng	Dưới mặt trời
Nồng độ sorbitol	%	10	10	10
Nhiệt độ sấy	°C	56	55 - 70 °C	33 - 36 °C
Vận tốc gió	m/s	2,4	1,2 m/s	
Độ ẩm cá ban đầu	%	71,37	71,37	71,37
Độ ẩm cá sau khi sấy	%	20 ± 0,2%	23 ± 0,3%	24 ± 0,3%
Chỉ tiêu cảm quan		Chất lượng cảm quan		
Màu sắc		Màu đỏ cam, sau khi ngâm nước có màu đỏ rất giống tươi khi chần.	Màu đỏ cam, sau khi ngâm nước có màu hơi đỏ tươi khi chần.	Màu đỏ hơi nhạt hơn, sau khi ngâm nước có màu nhạt hơn tươi khi chần.
Mùi		Mùi thơm đặc trưng của sản phẩm cá khô, không có mùi lạ.	Mùi thơm đặc trưng của cá khô, không có mùi lạ, hơi có mùi hôi khét.	Mùi thơm đặc trưng của cá khô truyền thống, không có mùi lạ, hơi có mùi hôi khét.
Vị		Ngọt đậm	Ngọt dịu	Ít ngọt
Trạng thái		Toàn thân cá khô đều, dẻo và mềm, bề mặt phẳng, không mốc, không lẫn tạp chất.	Toàn thân cá ít khô đều, dẻo hơi cứng, bề mặt phẳng, không mốc, không lẫn tạp chất.	Toàn thân cá khô ít đều, dai, cứng, hơi bị xơ, bề mặt phẳng, không mốc, không lẫn tạp chất.
Chỉ tiêu vật lý		Kết quả vật lý		
Tỷ lệ tái hydrat hóa	%	62,50 ± 1,04	59,01 ± 1,04	53,02 ± 1,05
Lượng tạp chất	%	0	0	0
Hoạt độ nước		0,81 ± 0,01	0,82 ± 0,03	0,84 ± 0,04
Thời gian	giờ	5,70	6,50	16,0
Chỉ tiêu hóa học		Kết quả hóa học		
Nitơ tổng số	%	11,62 ± 0,04	11,62 ± 0,04	11,62 ± 0,04
Protein thô	%	61 ± 0,19	61 ± 0,19	61 ± 0,19
Chỉ tiêu vi sinh vật		Kết quả vi sinh vật		
Tổng số vi sinh vật hiếu khí	Kl/g	2,0 x 10 <sup>2</sup>	2,2 x 10 <sup>2</sup>	2,7 x 10 <sup>2</sup>
<i>E. coli</i>	Kl/g	-	-	-
Coliforms	Kl/g	-	-	-
<i>Samonella</i>	Kl/g	-	-	-
<i>V. cholerae</i>	Kl/g	-	-	-
<i>S. aureus</i>	Kl/g	-	-	-

“-”: Không phát hiện

Vì khuẩn hiếu khí của cá khô trong không khí được làm nóng tăng sau khi sấy, nhưng tỷ lệ tăng thấp hơn ở cá sấy bằng công nghệ bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại. Độ bền cất và độ xuyên thấu của cá khô hồng ngoại xa tương đối thấp hơn. Trong nghiên cứu này, cá kèo được sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại có chất lượng tốt hơn so với mẫu sấy đối chứng và đảm bảo tiêu chuẩn vệ sinh an toàn thực phẩm theo quy định hiện hành của Bộ Y tế, hoàn toàn có thể triển khai ở quy mô công nghiệp hoặc chuyển giao công nghệ cho người dân để đáp ứng nhu cầu về chất lượng sản phẩm ngày càng cao của người tiêu dùng trong nước và trên thế giới. Sấy cá bằng tia hồng ngoại xa tiêu thụ ít năng lượng hơn so với sấy bằng không khí nóng [6]. Ngoài nguyên liệu cá, công nghệ sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại ứng dụng nhiều trong lĩnh vực công nghệ sau thu hoạch góp phần đảm bảo chất lượng sản phẩm có nguồn gốc từ tự nhiên.



a) Cá kèo tươi



b) Cá kèo khô

Hình 1. Cá kèo trước và sau khi sấy

## 5. KẾT LUẬN

Phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại phù hợp trên đối tượng cá kèo nguyên liệu (*Pseudapocryptes elongatus*). Điều kiện tối ưu sấy cá kèo được tìm thấy là nồng độ sorbitol 10,0%, nhiệt độ sấy 56 °C và tốc độ dòng khí sấy 2,4 m/s với tỷ lệ tái hydrat hóa 62,50%. Mối quan hệ giữa tỷ lệ tái hydrat hóa Y với nhiệt độ sấy  $X_1$ , nồng độ sorbitol  $X_2$  và tốc độ dòng khí sấy  $X_3$  được xác định qua phương trình tuyến tính  $Y = 59,9143 + 0,751607 * X_1 + 1,71339 * X_2 + 1,24464 * X_3 - 0,62464 * X_1 X_2 - 0,668393 * X_1 X_3 + 1,09839 * X_2 X_3$  và nồng độ ngâm nguyên liệu  $X_2$  là yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất đến tỷ lệ tái hydrat hóa đã được thiết lập từ thực nghiệm, cá kèo sấy ở điều kiện tối ưu có thời gian sấy ngắn, chất lượng cảm quan và chất lượng dinh dưỡng vượt trội, đạt vệ sinh an toàn thực phẩm so với các phương pháp sấy nóng và sấy dưới mặt trời.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đào Trọng Hiếu, Ngô Đăng Nghĩa. - Nghiên cứu chế độ sấy tối ưu cho sản phẩm cá cơm khô bằng phương pháp sấy kết hợp hồng ngoại và bơm nhiệt. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy sản **2** (2005) 8-11.
2. Đào Trọng Hiếu, Ngô Đăng Nghĩa. - Một số kết quả nghiên cứu ứng dụng thiết bị sấy hồng ngoại kết hợp sấy lạnh để sấy cá kèo lột da xuất khẩu. Tạp chí Thông tin Khoa học công nghệ và kinh tế thủy sản **5** (2007) 24-26.
3. Đào Trọng Hiếu - Nghiên cứu sự biến đổi thành phần hóa học, tính chất vật lý và đề xuất biện pháp nâng cao chất lượng cá cơm săng (*Spratelloides gracilis*) sấy hồng ngoại xuất khẩu, Luận án tiến sĩ kỹ thuật chuyên ngành Công nghệ chế biến thủy sản, Trường Đại học Nha Trang (2013).
4. Nguyễn Thị Mỹ Trang, Vũ Ngọc Bội, Nguyễn Thị Hương, Hoàng Thái Hà, Đặng Xuân Cường - 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 và Công nghệ Thủy sản **4** (2016) 133-139.
5. Yun D., Yumin L., Bingjun Q., Shuqiang S., Juan W., Xiaoyong S., Hongshun Y. - Impact of far-infrared radiation-assisted heat pump drying on chemical compositions and physical properties of squid (*Illex illecebrosus*) fillets. European Food Research and Technology **232** (2011) 761-768.
  6. Tae-Hwann K., Hyun-Gi H., Hongyoung J., Chung-Su H. - Drying characteristics of squids according to far infrared and heated air drying conditions. Journal of Biosystems Engineering **36** (2) (2012) 109-115.
  7. Yingqiang W., Min Z., Arun S. M., Huizhi C. - Drying and quality characteristics of shredded squid in an infrared-assisted convective dryer. Drying Technology **32** (15) (2014) 1828-1839.
  8. Tamás A., Benedek K. - Investigation of hot air- and infrared-assisted freeze-drying of apple. Journal of Food Processing and Preservation **40** (2) (2016) 257-269.
  9. Mahmoud Y., Seid M.J. - Applications of response surface methodology in the food industry processes. Food Bioproc Tech **10** (2017) 413-433.
  10. Dov P., Maria L.G. - Post-harvest Pathology, Springer Science & Business Media (2009) p.212.

## ABSTRACT

### OPTIMIZATION OF DRYING CONDITIONS OF INFRARED RADIATION-ASSISTED THERMAL PUMP ON RAW FISH (*Pseudapocryptes elongatus*)

Hoang Thai Ha\*, Nguyen Thanh Nam

Ho Chi Minh City University of Food Industry

\*Email: haht@hufi.edu.vn

Goby fish bought in Ca Mau city was dried by infrared radiation-assisted heat pump technology, based on Box-Wilson's multi-factor optimal experimental design with impact factors (drying temperature ( $X_1$ ), the concentration of sorbitol ( $X_2$ ), wind speed ( $X_3$ ), and the objective function is the hydration ratio ( $Y$ , %). The optimal sample was controlled with the dried sample by heat pump technology and sun drying technology, based on the sensory characteristics, impurities, water activity, total nitrogen, total protein, total aerobic microorganisms, *E. coli*, *Coliforms*, *Samonella*, *V. cholerae*, and *S. aureus*. The results showed that rehydrate ratio, drying temperature, wind speed, and sorbitol concentration correlated with each other according to the equation  $Y = 59,9143 + 0,751607 * X_1 + 1,71339 * X_2 + 1,24464 * X_3 - 0,62464 * X_1 X_2 - 0,668393 * X_1 X_3 + 1,09839 * X_2 X_3$ . Drying temperature affects drying time more than other factors. Optimal conditions for drying goby are sorbitol 10.0%, drying temperature 56 °C, wind speed 2.4 m/s, and a drying time of 5.70 hours with the highest rehydration rate of 62.50%, shortest drying time and higher sensory quality and food safety than air drying and sun drying methods.

**Keywords:** Box-Wilson, heat pump, infrared radiation, goby fish, air drying, drying under the sun.