

# Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy, vận tốc gió và nồng độ sorbitol lên khả năng tái hydrat hoá của tôm *Metapenaeus ensis* sấy bằng bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại

Lê Thị Hồng Ánh<sup>1</sup>, Hoàng Thái Hà<sup>1\*</sup>, Nguyễn Thị Thảo Minh<sup>1</sup>, Võ Văn Phăng<sup>2</sup>, Đặng Xuân Cường<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Phòng Kinh tế huyện Cần Giờ, TP Hồ Chí Minh

Ngày nhận bài 10/9/2021; ngày chuyển phản biện 14/9/2021; ngày nhận phản biện 4/10/2021; ngày chấp nhận đăng 8/10/2021

## Tóm tắt:

Nghiên cứu tập trung về tối ưu hóa điều kiện sấy tôm đất theo mô hình thực nghiệm đa nhân tố bậc 1 của Box-Wilson dựa trên hàm mục tiêu tỷ lệ tái hydrat hóa. Tôm mua tại TP Cà Mau và sấy bằng công nghệ bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại. Các chỉ tiêu cảm quan, vật lý (khả năng tái hydrat, tạp chất, hoạt độ nước), hóa học (nitơ tổng số và protein tổng số) và vi sinh vật (tổng số vi sinh vật hiếu khí, *E. coli*, *Coliforms*, *Salmonella*, *V. cholerae*, *S. aureus*) được đánh giá trên tôm sấy bằng 3 phương pháp (bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại, bơm nhiệt và năng lượng mặt trời). Thực nghiệm chỉ ra phương trình  $Y = 57,08 + 1,92 \cdot X_1 + 1,15 \cdot X_2 - 1,05 \cdot X_3 + 0,35 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,95 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,625 \cdot X_2 \cdot X_3$  thể hiện mối tương quan giữa tỷ lệ tái hydrat hóa (Y, %) và các nhân tố tác động (nhiệt độ sấy -  $X_1$ , vận tốc gió -  $X_2$  và nồng độ sorbitol -  $X_3$ ), trong đó nhiệt độ sấy ảnh hưởng lên thời gian sấy mạnh hơn so với các yếu tố khác. Điều kiện sấy tối ưu là sorbitol 6,3%, nhiệt độ sấy 57,5°C, tốc độ gió 2,1 m/s và thời gian sấy là 5,38 giờ. Tôm đất sấy ở điều kiện tối ưu có tỷ lệ tái hydrat hóa cao nhất (57,88%), thời gian sấy ngắn nhất, chất lượng cảm quan và vệ sinh an toàn thực phẩm cao hơn so với sấy bằng không khí và sấy dưới mặt trời.

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

**Chỉ số phân loại:** 2.11

## Đặt vấn đề

Tôm đất là loài tôm tự nhiên có giá trị kinh tế cao ở Việt Nam và nhiều quốc gia trên thế giới, nhu cầu thị trường lớn nhờ chất lượng thịt của chúng. Theo số liệu điều tra của Viện Nghiên cứu Hải sản (2018) [1], tôm đất có nhiều ở các tỉnh Tây Nam Bộ nước ta. Cấu trúc sợi cơ của tôm đất mềm, điều này dễ dẫn đến sản phẩm bị hư hỏng và mất an toàn vệ sinh thực phẩm. Vì vậy, người dân đã áp dụng công nghệ chế biến tôm đất đông lạnh, tôm đất một nắng và chủ yếu tôm đất sấy khô. Tôm đất được ưa thích ở Việt Nam và một số nước châu Á nhờ hương vị thơm ngon và giàu chất dinh dưỡng, và là một trong những mặt hàng xuất khẩu quan trọng sang Trung Quốc, Hàn Quốc, Nhật Bản, ASEAN của ngành thủy sản Việt Nam. Hiện nay, khô tôm đất chủ yếu vẫn được sấy bằng năng lượng mặt trời, số ít được sấy bằng công nghệ bơm nhiệt. Sấy khô tôm đất dưới năng lượng mặt trời đã tận dụng được nguồn năng lượng mặt trời cho việc làm khô tôm, tuy nhiên lại phụ thuộc nhiều vào thời tiết và môi trường phơi nắng, điều này dẫn đến sự biến đổi chất lượng tôm nhanh theo thời gian sấy, thời gian bảo quản tôm sau sấy ngắn, giá trị dinh dưỡng bị suy giảm. Tôm sấy bằng công nghệ sấy bơm nhiệt đã cải thiện được chất lượng của tôm khô nhưng tác động nhiệt là từ bề mặt của tôm, nên sự biến đổi chất lượng tôm vẫn diễn ra bên trong tôm trong quá trình làm khô, bề mặt tôm dễ bị nóng và khô hơn so với bên trong sợi cơ tôm.

Một số các công bố gần đây trong nước và quốc tế cho thấy, công nghệ sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại đã giúp giảm thiểu sự biến đổi chất lượng của thủy sản nói chung [2-5] tôm tươi sau sấy nói riêng [6-8], khắc phục được nhược điểm của các công nghệ sấy bơm nhiệt hay sấy dưới mặt trời, thời gian sấy ngắn hơn, nhiệt độ sấy thấp hơn so với sấy bơm nhiệt bởi nhiệt được sinh ra từ đèn hồng ngoại. Tia hồng ngoại xuyên qua tôm, đồng thời sinh ra năng lượng bức xạ hồng ngoại tác động lên nước trong tôm, lúc này nước sẽ dao động và sinh động năng, dẫn đến sự va chạm và sinh nhiệt. Khi nhiệt sinh ra dẫn đến sự phân tách và khuếch tán nước từ tâm sản phẩm ra bề mặt sản phẩm đồng đều. Quá trình sấy sẽ nhanh hơn, sự biến đổi xấu chất lượng sản phẩm ít hơn, khả năng tái hydrat hóa sau sấy cao hơn [9]. Khả năng tái hydrate hóa sẽ đánh giá khả năng phá vỡ cấu trúc thịt tôm và biến tính protein, khả năng tái hydrate của thực phẩm sấy càng cao, đồng nghĩa cấu trúc cơ thịt ít bị phá hủy và protein cơ thịt ít bị biến tính. Thực phẩm sấy có khả năng tái hydrate cao sẽ góp phần gia tăng chất lượng cảm quan và cảm vị của người tiêu dùng [10].

Vì các lý do nêu trên, nghiên cứu này tập trung vào tối ưu hóa sấy tôm đất bằng công nghệ sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại và so sánh chất lượng với sấy bơm nhiệt cũng như sấy bằng năng lượng mặt trời với mục tiêu chính là khả năng tái hydrate của tôm sấy.

\*Tác giả liên hệ: Email: hoangha.huji@gmail.com

## Effect of the temperature, the wind speed, and the sorbitol concentration on the rehydration ability of shrimp *Metapenaeus ensis* drying by using infrared radiation-assisted heating pump

Thi Hong Anh Le<sup>1</sup>, Thai Ha Hoang<sup>1\*</sup>, Thi Thao Minh Nguyen<sup>1</sup>, Van Phang Vo<sup>2</sup>, Xuan Cuong Dang<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Economics Department of Can Gio district, Ho Chi Minh City

Received 10 September 2021; accepted 8 October 2021

### Abstract:

The paper focused on optimising the drying conditions of shrimps *Metapenaeus ensis* according to Box-Wilson's multi-factor first-order model based on the objective function of rehydration rate. Shrimp bought in Ca Mau city and dried by infrared radiation-assisted heat pump technology. Sensory, physical (rehydration capacity, impurities, and water activity), chemical (total nitrogen and total protein), and microbiological (total aerobic microorganisms, *E. coli*) parameters, *Coliforms*, *Salmonella*, *V. cholerae*, and *S. aureus* were evaluated on dried shrimp by 3 methods (infrared radiation-assisted heat pump, heat pump, and solar energy). Experiments showed that the equation  $Y = 57.08 + 1.92 \cdot X_1 + 1.15 \cdot X_2 - 1.05 \cdot X_3 + 0.35 \cdot X_1 X_2 + 0.95 \cdot X_1 X_3 - 0.625 \cdot X_2 X_3$  exhibited the correlation relationship between rehydration rate (Y, %) and influencing factors (drying temperature ( $X_1$ ), wind speed ( $X_2$ ), and sorbitol concentration ( $X_3$ ), in which drying temperature ( $X_1$ ) affects the drying time stronger than other factors. Optimal drying conditions were sorbitol 6.3%, drying temperature (57.5°C), wind speed (2.1 m/s), and drying time (5.38 hours). Shrimp dried under optimal conditions has the highest rehydration rate of 57.88%, the shortest drying time, and higher sensory quality and food safety and hygiene than air drying and drying under the sun.

**Keywords:** Box-Wilson, drying, greasyback shrimp, infrared radiation, heat pump.

**Classification number:** 2.11

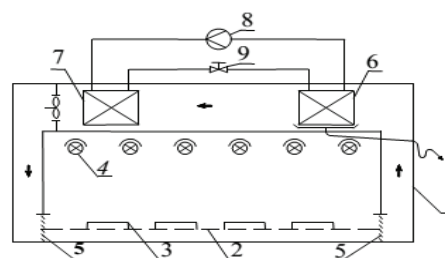
### Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

#### Vật liệu nghiên cứu

Tôm đất tươi có độ ẩm ban đầu 70% và khối lượng 250-300 con/kg, được mua tại thành phố TP Cà Mau, tỉnh Cà Mau. Tôm được vận chuyển trong thùng xốp cách nhiệt có đá ở nhiệt độ dưới 10°C về phòng thí nghiệm Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP Hồ Chí Minh trong thời gian không quá 20 giờ và được rửa sạch bằng nước muối 1% trong 5 phút nhằm loại bỏ tạp chất. Sau đó, tôm được ngâm trong sorbitol 2-12% tùy theo từng thí nghiệm trong thời gian 30 phút, mục đích để tôm đất khô có khả năng tái hydrat hóa (khả năng tái hydrat trở lại trạng thái gần giống ban đầu) và giữ màu tự nhiên. Tiếp theo, tôm được chần ở 90°C trong thời gian 15 giây, để ráo và sấy bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại đến độ ẩm 24±0,3%. Dung dịch sorbitol tinh khiết do hãng Merck (Đức) cung cấp.

#### Thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại

Thiết bị sử dụng trong nghiên cứu là của Đức (cân phân tích, dụng cụ đo độ ẩm) và của Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP Hồ Chí Minh chế tạo (thiết bị chần, thiết bị sấy bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại) đã được kiểm định. Thiết bị sấy bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại hoạt động theo nguyên lý: Không khí ẩm được quạt hút ra từ buồng sấy được làm lạnh và tách ẩm bằng giàn lạnh, sau đó được gia nhiệt bằng giàn nóng đến nhiệt độ nhất định rồi thổi qua bề mặt nguyên liệu kết hợp với gia nhiệt nguyên liệu năng lượng phát ra từ các đèn bức xạ hồng ngoại. Không khí được tuần hoàn. Thiết bị hoạt động với thông số năng suất 8 kg tôm/m<sup>2</sup>, công suất của các bóng đèn hồng ngoại 4,2 kW, 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 cấu tạo thiết bị sấy được thể hiện ở hình 1.



**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; 4: đèn hồng ngoại; 5: bộ phận phân phối gió; 6: dàn lạnh; 7: dàn ngưng (dàn nóng); 8: máy nén lạnh; 9: van tiết lưu.

#### Phương pháp nghiên cứu

Bố trí thí nghiệm nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của 3 yếu tố vào: nhiệt độ sấy  $Z_1$  (°C), Vận tốc gió  $Z_2$  (m/s) và nồng độ sorbitol  $Z_3$  (%) và đến tỷ lệ tái hydrat hoá tôm đất

sau khi sấy Y (%) theo phương án quy hoạch thực nghiệm bậc 1 của Box-Wilson và ma trận thí nghiệm (bảng 2) với miền biến thiên (bảng 1). Số lượng thí nghiệm theo phương án này tính theo công thức sau [11]:

$$N = 2^m + N_0 \quad (1)$$

trong đó:  $2^m$  là số thí nghiệm ở mức trên và dưới ( $m$  là số yếu tố ảnh hưởng);  $N_0$  là số thí nghiệm ở mức trung tâm. Số yếu tố đầu vào  $m$  bằng 3 và số thí nghiệm trung tâm  $N_0=3$ , số thí nghiệm tương ứng  $N=2^3+3=11$  (2). Biến thực  $Z_1, Z_2, Z_3$  chuyển sang biến mã 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:  $X_i$ : 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 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 hoá -1, 0 và 1. Miền biến thiên của các nhân tố tác động tìm điểm tối ưu được dựa vào kinh nghiệm nghiên cứu của nhóm tác giả và kết quả của các công bố trước đây [12-14], cụ thể mức biến thiên, khoảng biến thiên và giá trị mã hoá của của các yếu tố được lựa chọn theo bảng 1.

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

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

Phương trình của hàm mục tiêu tỷ lệ tái hydrat hóa Y biểu diễn dạng bậc 1 [15]:

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

### Phương pháp xác định một số thông số của quá trình sấy

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÷200°C, sai số 0,5°C. Vận tốc gió được xác định bằng thiết bị đo tốc độ gió 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 sau [2]:

$$W_2 (\%) = 100 - [G_1 \times (100 - W_1)] / G_2$$

trong đó:  $G_1, G_2$  là khối lượng của nguyên liệu trước và sau khi sấy (g);  $W_1, W_2$  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  $H_w$  (%): cân 20 g ( $m_1$ ) tôm đất đã được sấy khô cho vào 250 ml nước cất. Sau 15 phút vớt tôm đất ra, để ráo nước trong 5 phút và cân khối lượng mẫu tôm đất đã ngâm nước ( $m_2$ ). Tỷ lệ tái hydrat hóa của tôm đất tính theo công thức sau [2]:

$$H_w (\%) = (m_2 - m_1) / m_1$$

Chất lượng cảm quan của tôm đất khô được đánh giá theo phương pháp cho điểm với thang điểm 20 mô phỏng theo TCVN 3215-79. Hội đồng đánh giá gồm 7 thành viên, bảng điểm cảm quan được xây dựng 6 bậc theo thang điểm 0÷5 điểm.

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

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

### Phân tích dữ liệu

Mỗi thí nghiệm thực được lặp lại 3 lần. Phân tích thống kê, ANOVA và tối ưu hóa bằng phần mềm Statgraphics centurion XVI và Excel 2010.

### Kết quả và bàn luận

#### Tối ưu hóa sấy tôm đất

Các 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÷60°C cho thấy, khi tăng nồng độ sorbitol, kéo dài thời gian sấy, chất lượng cảm quan và tỷ lệ tái hydrat hóa của tôm sấy càng cao. Nhưng khi đưa nồng độ sorbitol hơn 14% thì chất lượng cảm quan và tỷ lệ tái hydrat hóa của tôm sấy thấp hơn so với nồng độ sorbitol 2-12%. Tốc độ gió lớn hơn 3 m/s, tôm sấy có tỷ lệ tái hydrat hóa và chất lượng cảm quan thấp hơn khi sấy tôm với tốc độ gió 1-3 m/s. Nhiệt độ sấy 55°C cho tôm khô có chất lượng cảm quan và tỷ lệ tái hydrat 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 và kết quả cho thấy, ma trận và kết quả thí nghiệm được ghi ở bảng 2. Giá trị thí nghiệm hàm tỷ lệ tái hydrat hóa sấy Y là trung bình cộng của 3 lần thí nghiệm lặp lại. Tỷ lệ tái hydrat hóa tôm đất sấy tìm điểm tối ưu dao động từ 53 đến 61,20%.

**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	1	2	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	58,00
2	50	1	12	-1	-1	1	+1	-1	-1	+1	53,30
3	50	3	2	-1	1	-1	-1	+1	-1	+1	58,60
4	50	3	12	-1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	57,00
5	60	1	2	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	53,00
6	60	1	12	1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	61,20
7	60	3	2	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	55,70
8	60	3	12	1	1	1	+1	+1	+1	+1	59,80
9	55	2	7	0	0	0	0	0	0	0	58,30
10	55	2	7	0	0	0	0	0	0	0	58,28
11	55	2	7	0	0	0	0	0	0	0	58,30

Sai số chuẩn của tất cả các mẫu đều nhỏ hơn 5% với mức thống kê có ý nghĩa (p<0,05), đồng nghĩa với tỷ lệ tái hydrat hóa sản phẩm sấy bị ảnh hưởng bởi cả 3 yếu tố đầu vào là nồng độ sorbitol, nhiệt độ sấy và vận tốc gió. Trong đó, nhiệt độ sấy (b<sub>1</sub>=1,92) có tác động mạnh nhất đến tỷ lệ tái hydrat hóa sản phẩm sấy, tiếp đến vận tốc gió (b<sub>2</sub>=1,15) và sau cùng là nồng độ sorbitol (b<sub>3</sub>=-1,05) (p<0,05). Nhiệt độ sấy càng cao, vận tốc gió càng cao và nồng độ sorbitol ngâm nguyên liệu sấy càng thấp dẫn đến tỷ lệ tái hydrat hóa cao. Mô hình thực nghiệm và mô hình tiên đoán đều đưa ra kết quả hàm bậc 1 có ý nghĩa về mặt thống kê (p<0,05), do đó giữa lý thuyết và thực nghiệm là phù hợp và đảm bảo độ tin cậy trong nghiên cứu thực nghiệm. Mô hình sấy tuân theo phương trình tuyến tính bậc 1, thời gian sấy càng dài, chất lượng cảm quan của tôm đất càng giảm, khả năng tái hydrat hóa cũng giảm. ANOVA mô hình đáp ứng cũng chỉ ra mối tương quan chặt chẽ giữa các yếu tố tác động đã nghiên cứu lên hàm mục tiêu Y (R<sup>2</sup>>0,9).

**Bảng 3. ANOVA mô hình đáp ứng.**

Hệ số	Giá trị b	Giá trị thực	Giá trị p
Hằng số	b <sub>0</sub>	57,08	<0,0001*
A: nhiệt độ sấy (X <sub>1</sub> )	b <sub>1</sub>	1,92	0,0083
B: vận tốc gió (X <sub>2</sub> )	b <sub>2</sub>	1,15	0,0138
C: nồng độ sorbitol (X <sub>3</sub> )	b <sub>3</sub>	-1,05	0,0152
X <sub>1</sub> X <sub>2</sub>	b <sub>12</sub>	0,35	0,0454
X <sub>1</sub> X <sub>3</sub>	b <sub>13</sub>	0,95	0,0167
X <sub>2</sub> X <sub>3</sub>	b <sub>23</sub>	-0,625	0,0255

Sau khi tính toán và kiểm tra, đảm bảo sự tương thích của mô hình toán với thực nghiệm, mô hình toán là phương trình hồi quy dạng tuyến tính:

$$Y = 57,08 + 1,92 \cdot X_1 + 1,15 \cdot X_2 - 1,05 \cdot X_3 + 0,35 \cdot X_1 X_2 + 0,95 \cdot X_1 X_3 - 0,625 \cdot X_2 X_3 \quad (5)$$

Đạo hàm riêng đối với mỗi yếu tố X<sub>i</sub> và cho bằng 0 được hệ 3 phương trình tuyến tính với giá trị tối ưu dạng mã của các yếu tố vào X<sub>1</sub>; X<sub>2</sub>, và X<sub>3</sub> như sau:

$$\begin{cases} X_1 = 0,5 \\ X_2 = 0,05 \\ X_3 = -0,15 \end{cases} \quad (6)$$

Thay các giá trị X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> và X<sub>3</sub> từ công thức (6) vào (5) xác định được giá trị tối ưu của tỷ lệ tái hydrat hóa là Y=57,88%. Chuyển sang giá trị thực của các yếu tố X<sub>i</sub> theo công thức:

$$Z_i = X_i \cdot \Delta Z_i + Z_i^0 \quad (7)$$

Thay giá trị X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> và X<sub>3</sub> từ công thức (6) vào (7), có giá trị tối ưu dạng thực của các yếu tố vào như sau:

$$Z_1 = 0,5 \cdot 5 + 50 = 57,5^\circ\text{C} \quad (8)$$

$$Z_2 = -0,35 \cdot 1 + 2 = 2,1 \text{ m/s} \quad (9)$$

$$Z_3 = -0,15 \cdot 5 + 7 = 6,3\% \quad (10)$$

Như vậy, chế độ tối ưu sấy tôm đất bằng phương pháp sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại như sau: nồng độ sorbitol 6,3%, nhiệt độ không khí trong buồng sấy 57,5°C và tốc độ dòng khí sấy 2,1 m/s. Ứng với chế độ sấy tối ưu, tỷ lệ tái hydrat hóa đạt giá trị cao nhất Y<sub>max</sub>=57,88%. Trên cơ sở các thông số tối ưu, nồng độ sorbitol 6,3%, nhiệt độ không khí trong buồng sấy 57,5°C và tốc độ dòng khí sấy 2,1 m/s, thí nghiệm lặp lại cho thấy, sai số giữa tính toán và thực nghiệm đối với các hàm: tỷ lệ tái hydrat hóa H<sub>w</sub> là 1,001% (nhỏ hơn 5%), kết quả xác định thông số tối ưu quá trình sấy tôm đất đảm bảo độ tin cậy (bảng 4).

**Bảng 4. Kết quả thí nghiệm sấy lặp lại tại các thông số tối ưu.**

Thí nghiệm	Nhiệt độ dòng khí sấy (Z <sub>1</sub> , °C)	Vận tốc gió (Z <sub>2</sub> , m/s)	Nồng độ sorbitol (Z <sub>3</sub> , %)	Thời gian sấy (τ, h)	Tỷ lệ tái hydrat hóa (H <sub>w</sub> , %)	Chất lượng cảm quan (Q, điểm)
1	57,5	2,1	6,3	5,37	57,31	18,38
2	57,5	2,1	6,3	5,38	57,15	18,36
3	57,5	2,1	6,3	5,38	57,21	18,28
Giá trị trung bình				5,38	57,22	18,32

Thời gian sấy (τ, h) và chất lượng cảm quan (Q, điểm) của tôm đất khô có giá trị tương ứng 5,38 giờ và 18,32 điểm, phù hợp về mặt công nghệ và thực tiễn khi phân tích so sánh trong điều kiện của Việt Nam, cũng như các công bố trên thế giới về sấy tôm đất bằng công nghệ sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại [6, 8]. Sự khác biệt về vận tốc gió

so với công bố trên thế giới có thể do hàm ẩm trong dòng khí, đặc tính nguyên liệu tôm đất (chất lượng tôm, vùng sinh trưởng, giai đoạn tôm được khai thác, kỹ thuật khai thác và bảo quản tôm đất).

### Chất lượng sản phẩm tôm đất khô

Sau khi tìm được điều kiện tối ưu sấy tôm đất bằng công nghệ sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại, tiến hành đánh giá chất lượng tôm đất khô song hành với tôm đất được sấy bằng không khí nóng và sấy dưới mặt trời. Chất lượng sản phẩm tôm đất khô giảm dần theo thứ tự: sấy bằng bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại, sấy bằng không khí nóng và sấy dưới mặt trời (bảng 5). Tôm sấy bằng bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại có chất lượng tốt nhất cả

**Bảng 5. Điều kiện sấy và chất lượng của sản phẩm tôm đất khô.**

Thông số sấy	Đơn vị tính	Điều kiện sấy		
		Sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại	Sấy bằng không khí nóng	Sấy dưới mặt trời
Nồng độ sorbitol	%	6,3	6,3	6,3
Nhiệt độ sấy	°C	57,5	55=70°C	33-36°C
Vận tốc gió	m/s	2,1	1,2 m/s	
Độ ẩm tôm ban đầu	%	70,00	70,00	70,00
Độ ẩm tôm sau khi sấy	%	24±0,3%	24±0,3%	26±0,3%
<b>Chỉ tiêu cảm quan</b>		<b>Chất lượng cảm quan</b>		
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 khá giống 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 tôm khô, không có mùi lạ	Mùi thơm đặc trưng của tôm khô, không có mùi lạ, hơi có mùi hôi khét	Mùi thơm đặc trưng của tôm khô truyền thống, không có mùi lạ, hơi có mùi hôi khét
Vị		Ngọt đậm	Ngọt dịu	Ít ngọt
Trạng thái		Toàn thân tôm khô đều, dẻo và mềm, bề mặt phẳng, không mốc, không lẫn tạp chất.	Toàn thân tôm ít khô đều, dẻo hơi cứng, bề mặt phẳng, không mốc, không lẫn tạp chất.	Toàn thân tôm khô ít đều, dai, cứng, hơi bị xơ, bề mặt phẳng, không mốc, không lẫn tạp chất.
<b>Chỉ tiêu vật lý</b>		<b>Kết quả vật lý</b>		
Tỷ lệ tái hydrat hóa	%	57,88±1,02	50,02±1,04	45,78±1,07
Lượng tạp chất	%	0	0	0
Hoạt độ nước		0,81±0,03	0,83±0,03	0,83±0,04
Thời gian	h	5,38	6,5	16
<b>Chỉ tiêu hóa học</b>		<b>Kết quả hóa học</b>		
Nitơ tổng số	%	8,53±0,04	8,53±0,04	8,53±0,04
Protein thô	%	51±0,09	51±0,09	51±0,09
<b>Chỉ tiêu vi sinh vật</b>		<b>Kết quả vi sinh vật</b>		
Tổng số vi sinh vật hiếu khí	CFU/g	2,0x10 <sup>2</sup>	2,5x10 <sup>2</sup>	3,3x10 <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	-	-	-

Ghi chú: "-": không phát hiện.



a) Tôm đất tươi b) Tôm đất trong thiết bị sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại c) Tôm đất khô

**Hình 2. Quá trình sấy tôm đất bằng bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại.**

về cảm quan, vật lý, hóa học cũng như vi sinh vật, điều này cũng được khẳng định trong các công bố trước đây [6, 8]. D. Yun và cs (2011) [6] chỉ ra rằng, cấu trúc vi mô của sợi cơ tôm được làm khô bằng tia hồng ngoại tương tự như mẫu tươi. Tôm 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 chỉ bơm nhiệt. Tôm khô có giá trị độ và vàng cao hơn, nhưng độ đậm nhạt (L) thấp hơn tôm thô. Sự khác biệt đáng kể nào về giá trị protein giữa tất cả các mẫu đã sấy khô đã không tìm thấy [6, 8].

Vi khuẩn hiếu khí của tôm khô trong không khí được làm nóng tăng sau khi sấy, nhưng tỷ lệ tăng thấp hơn ở tôm sấy bằng công nghệ bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại. Độ bền cắt và độ xuyên thấu của tôm khô hồng ngoại xa tương đối thấp hơn. Ngoài ra, sấy tôm bằng tia hồng ngoại xa tiêu thụ ít năng lượng hơn so với sấy bằng không khí nóng [7].

Trong nghiên cứu này, tôm đất được sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại có chất lượng rất tốt 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 (hình 3). Ngoài sản phẩm tôm, công nghệ sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại được ứng dụng nhiều trong lĩnh vực công nghệ sau thu hoạch góp phần đảm bảo chất lượng sản phẩm có nguồn gốc tự nhiên.

### Kết luận

Thực nghiệm đã thiết lập được phương trình tuyến tính  $Y = 57,08 + 1,92 \cdot X_1 + 1,15 \cdot X_2 - 1,05 \cdot X_3 + 0,35 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,95 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0,625 \cdot X_2 \cdot X_3$  để biểu diễn mối quan hệ giữa tỷ lệ tái hydrat hóa Y với nhiệt độ sấy  $X_1$ , tốc độ gió  $X_2$  và nồng độ sorbitol  $X_3$ , trong đó nhiệt độ sấy  $X_1$  là yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất đến tỷ lệ tái hydrat hóa. Tỷ lệ tái hydrat

hóa 57,88% khi giá trị các yếu tố đầu vào tương ứng nồng độ sorbitol 6,3%, nhiệt độ sấy 57,5°C và tốc độ gió 2,1 m/s. Tôm đất sấy ở điều kiện tối ưu này tỷ lệ tái hydrat hóa cao, thời gian sấy ngắn, đạt chất lượng cảm quan, vệ sinh an toàn thực phẩm và có chất lượng dinh dưỡng vượt trội so với các phương pháp sấy bằng không khí nóng và phơi nắng.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Viện Nghiên cứu Hải sản (2018), *Báo cáo kết quả điều tra nguồn lợi hải sản Việt Nam giai đoạn 2011-2015*, 26tr.
- [2] Nguyễn Thị Mỹ Trang và cs (2015), “Nghiên cứu tối ưu hóa công đoạn sấy rong nho (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) bằng phương pháp sấy lạnh kết hợp bức xạ hồng ngoại”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy sản*, 2, tr.133-139.
- [3] 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 bơm nhiệt”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy sản*, 2, tr.8-11.
- [4] Đào Trọng Hiếu, Ngô Đăng Nghĩa (2007), “Một số kết quả nghiên cứu ứng dụng thiết bị sấy hồng ngoại kết hợp sấy lạnh để sấy tôm đất lột da xuất khẩu”, *Tạp chí Thông tin Khoa học Công nghệ và Kinh tế Thủy sản*, 5, tr.24-26.
- [5] 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 săng (*Spratelloides gracilis*) sấy hồng ngoại xuất khẩu*, Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Nha Trang.
- [6] D. Yun, et al. (2011), “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, pp.761-768.
- [7] K. Tae-Hwann, et al. (2012), “Drying characteristics of squids according to far infrared and heated air drying conditions”, *Journal of Biosystems Engineering*, 36(2), pp.109-115.
- [8] W. Yingqiang, et al. (2014), “Drying and quality characteristics of shredded squid in an infrared-assisted convective dryer”, *Drying Technology*, 32(15), pp.1828-1839.
- [9] A. Tamás, K. Benedek (2016), “Investigation of hot air and infrared assisted freeze drying of apple”, *J. Food Process Preserv.*, 40(2), pp.257-269.
- [10] M.K. Krokida, C. Philippopoulos (2005), “Rehydration of dehydrated foods”, *Drying Technol.*, 23(4), pp.799-830.
- [11] Y. Mahmoud, M.J. Seid (2017), “Applications of response surface methodology in the food industry processes”, *Food Bioproc. Tech.*, 10, pp.413-433.
- [12] F. Wen-Rong, L. Wei-Renn (1998), “Optimization of far infrared heat dehydration of shrimp using RSM”, *J. Food Sci.*, 63(1), pp.80-83.
- [13] T. Supawan, et al. (2008), “Drying strategy of shrimp using hot air convection and hybrid infrared radiation/hot air convection”, *J. Sci. & Tech.*, 5(1), pp.77-100.
- [14] Lê Thị Hồng Ánh và cs (2021), “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”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, 63(5), tr.55-59.
- [15] P. Dov, L.G. Maria (2009), *Post-Harvest Pathology*, Springer Science & Business Media, 212pp.