

**NGHIÊN CỨU TỐI ƯU HÓA CÔNG NGHỆ SẤY CÁ SẠC BẰNG PHƯƠNG
PHÁP SẤY PHỐI HỢP BƠM NHIỆT VÀ BỨC XẠ HỒNG NGOẠI**
**Lê Thị Hồng Ánh¹, Dương Hồng Quân¹, Nguyễn Thị Phương¹, Nguyễn Thị Thảo,
Minh¹, Đặng Xuân Cường², Hoàng Thái Hà¹**

¹ Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm Thành phố Hồ Chí Minh, Số 140 Lê
Trọng Tấn-Quận Tân Phú, TP.HCM

² Viện nghiên cứu Ứng dụng Công nghệ Nha Trang- Khánh Hòa

TÓM TẮT

Bài báo trình bày về điều kiện sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại trên đối tượng cá sặc dựa theo mô hình thực nghiệm đa nhân tố bậc 1 của Box-Wilson. Kết quả cho thấy mô hình toán học $Y = 7,11 - 0,05X_1 - 0,49X_2 + 0,75X_3 - 0,7 X_1X_2 - 0,8 X_1X_3 + 0,07X_2X_3$, thể hiện mối tương quan giữa thời gian sấy (Y) và các nhân tố tác động (nồng độ sorbitol (X1), nhiệt độ sấy (X2), và tốc độ gió (X3), trong đó vận tốc gió (X2) ảnh hưởng lên thời gian sấy mạnh hơn so với các yếu tố khác. Điều kiện sấy tối ưu là sorbitol 10,6%, nhiệt độ sấy 53°C, tốc độ gió 2,1m/s, và thời gian sấy là 7,57 giờ. Cá sặc 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 sấy dưới 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: cá sặc, bơm nhiệt, bức xạ hồng ngoại, sấy, Box-Wilson

**STUDY ON THE DRYING CONDITION OPTIMIZATION OF THE HEATING
PUMP AND THE INFRARED RADIATION FOR THE TRICHOGASTER
PESTORALIS**

*Le Thi Hong Anh¹, Duong Hong Quan¹, Nguyen Thi Phuong¹,
Nguyen Thi Thao, Minh¹, Dang Xuan Cuong², Hoang Thai Ha¹*

¹ Ho Chi Minh City University of Food Industry

²Nha trang Institute of Technology Research & Application

ABSTRACT

The paper focused on the drying condition of the infrared radiation combining the heat pump for the silver jewfish basing on the level 1 multi-factor experimental planning model of Box-Wilson. The results showed the mathematical model ($Y = 7.11 - 0.05X_1 - 0.49X_2 + 0.75X_3 - 0.7 X_1X_2 - 0.8 X_1X_3 + 0.07X_2X_3$) that expressed the relationship between the drying time (Y) and the impact factors (the sorbitol concentration (X1), the drying temperature (X2), and the wind speed (X3), in which the the wind speed (X3) affected the drying time stronger than other factors. The optimization condition of drying was the sorbitol concentration of 10,6%, the drying temperature at 53°C, the wind speed of 2.1m/s, and the drying time for 7.57 hours. Dried silver jewfish 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: Trichogaster pestoralis, heat pump, infrared radiation, drying, Box-Wilson

ĐẶT VẤN ĐỀ

Cá sặc rắn thuộc bộ cá Vược. Ở Nam bộ có ba loài cá sặc (sặc rắn, sặc bướm và sặc điệp), trong đó cá sặc rắn là loài cá có kích

thước lớn nhất và cũng có giá trị kinh tế cao.

Hệ thống phân loại cá sặc rắn:

Bộ Perciformes

Họ *Belontiidae*

Giống *Trichogaster*

Loài *Trichogaster pectoralis* Regan, 1909.

Trong khu vực Đông Nam châu Á, cá sặc rằn phân bố ở Thái Lan, Campuchia, miền Nam và có đã có một số nước di nhập loài này về nuôi và phát triển như Malaysia, Indonesia, Banglades. Cá sặc rằn là loài cá nước ngọt, phân bố ở nhiều loại hình mặt nước như sông, hồ, kênh, rạch, ruộng vườn, ruộng lúa. Ở nước ta, vùng miền Đông Nam Bộ và đồng bằng sông Cửu Long là nơi có cá sặc rằn sống chủ yếu trong vùng trũng, ngập nước quanh năm. Chúng thích sống ở những vùng nước cạn nhưng có nguồn thức ăn tự nhiên và phong phú.

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

Để làm khô cá sặc, 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-khối,... 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 giảm thời gian sấy, cho phép sấy

ở nhiệt độ sấy 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 sặc nói riêng [1], [2], [3], [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], [6], [7]. Vì vậy, việc nghiên cứu xác định chế độ sấy tối ưu cho sản phẩm cá sặc 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

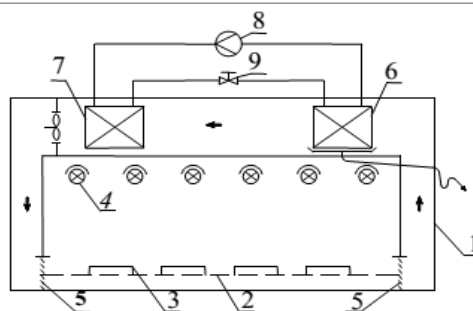
Vật liệu nghiên cứu

Vật liệu thí nghiệm

Vật liệu nghiên cứu là cá sặc tươi dùng trong nghiên cứu có khối lượng từ 100-150 gram/con, được thu mua từ huyện Cần Giờ - Tp.Hồ Chí Minh có độ ẩm ban đầu 78,68 %. Cá sau khi được thu mua được ướp đá và được bảo quản trong thùng xốp cách nhiệt và được vận chuyển đến phòng thí nghiệm Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm Tp.Hồ Chí Minh tiến hành rửa sạch bằng nước muối có nồng độ 1% khoảng 5 phút để loại bỏ tạp chất, sau đó được ngâm trong dung dịch sorbitol có nồng độ từ 2-12% tùy theo từng thí nghiệm, trong thời gian 30 phút với mục đích là để cá sặc khô có khả năng tái hydrat hóa (khả năng hoàn nguyên) trở lại trạng thái gần giống ban đầu và cá giữ được màu tự nhiên, tiếp theo chần qua nước sôi 90°C trong thời gian 15 giây, vớt ra, để ráo. Sau đó cá sặc được đem đi sấy trong thiết bị sấy thí nghiệm kiểu bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại đến độ ẩm từ $24 \pm 0,3$

Thiết bị thí nghiệm

Sử dụng thiết bị sấy thí nghiệm phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại do Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm Thành phố Hồ Chí Minh chế tạo. Sơ đồ nguyên lý cấu tạo thiết bị sấy trên hình 1. Nguyên lý làm việc của thiết bị sấy như sau: Không khí ẩm được quạt hút ra từ buồng sấy được làm lạnh và tách ẩm khi 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 lạnh kết hợp bức xạ hồng ngoại

Ký hiệu: 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

Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm Áp dụng phương pháp qui hoạch thực nghiệm để nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của 3 yếu tố vào: *Nồng độ sorbitol* Z_1 (%), *nhệt độ sấy*: Z_2 ($^{\circ}C$), *vận tốc gió* Z_3 (m/s) đến thời gian sấy $Y(h)$

Ma trận thí nghiệm được xây dựng theo phương án qui hoạch thực nghiệm bậc 1 của Box-Wilson. Số lượng thí nghiệm theo phương án này được tính theo công thức [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 vào $m = 3$ thì tổng số thí nghiệm $N = 2^3=8$

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 ($^{\circ}C$) 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 ΔZ_i	5	5	1

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:

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

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

X_i - giá trị mã hoá 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.

ΔZ_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 hoá của của các yếu tố được lựa chọn theo bảng 1.

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

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

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.

Phương pháp 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 $-40^{\circ}\text{C} \div 200^{\circ}\text{C}$, sai số $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$.

- Vận tốc gió được xác định bằng thiết bị đo tốc độ gió Testo 405 - V₁ (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°C . Độ ẩm của mẫu được tính theo công thức [6]:

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

Trong đó: X- Độ ẩm của vật liệu sấy (%)

G₁- Khối lượng cốc sấy và mẫu thử trước sấy (g)

G₂- 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 thực nghiệm [1]:

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

Trong đó: G₁, G₂: Khối lượng của nguyên liệu trước và sau khi sấy (g).

W₁, W₂: 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 gam (m₁) cá sặc đã được sấy khô cho vào vào 250ml nước cất. Sau 15 phút vớt cá ra, để ráo nước trong 5 phút và cân khối lượng mẫu cá sặc đã ngâm nước (m₂). Tỷ lệ tái hydrat hóa của cá sặc được tính theo công thức [1]:

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

- *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 3215-79.*

- 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) TCVN 4882:2007; Xác định Samonella (Cfu/g) TCVN 4829: 2005; Xác định V. cholerae (Cfu/g) TCVN 7905-1:2008; xác định S. aureus (Cfu/g) TCVN 4830-1: 2005.

Phương pháp xử lý số liệu thí nghiệm

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

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm sấy cá sặc

Tiến hành thí nghiệm sấy cá sặc theo phương án quy hoạch thực nghiệm bậc 1 Box-Willson. 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 lập 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 _{1X2}	X _{1X3}	X ₂₃	X ₁₂₃	Y
1	2	50	1	-	-	+	+	-	-	+	7,60
2	12	50	1	+	-	-	-	-	+	+	9,50
3	2	60	1	-	+	-	-	+	-	+	6,40
4	12	60	1	+	+	-	+	-	-	-	8,00
5	2	50	3	-	-	+	+	-	-	-	7,20
6	12	50	3	+	-	+	-	+	-	-	7,50
7	2	60	3	-	+	+	-	-	+	-	6,70
8	12	60	3	+	+	+	+	+	+	+	6,60

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 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. Bảng ANOVA cũng chỉ ra mối tương quan chặt chẽ giữa các yếu tố tác động đã nghiên cứu lên hàm mục tiêu Y ($R^2 > 0,9$). Sau khi tính toán và kiểm tra, đảm bảo sự tương thích của mô hình toán với thực nghiệm, ta được mô hình toán bậc 1 là phương trình hồi quy dạng tuyến tính:

$$Y = 7,11 - 0,05X_1 - 0,49X_2 + 0,75X_3 - 0,7 X_1X_2 - 0,8 X_1X_3 + 0,07X_2X_3 \quad (7)$$

Từ phương trình hồi quy (7) 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 X₁ (%), nhiệt độ sấy X₂ (°C) và vận tốc gió X₃ (m/s) đều có ảnh hưởng lớn đến thời gian sấy và chất lượng cá sặc khô. Trong đó vận tốc gió có tác động mạnh nhất đến thời gian sấy ($b_3=0,75$), tiếp đến nồng độ sorbitol ($b_1= -0,05$) và sau cùng là nhiệt độ sấy ($b_2 = -0,49$) ($p < 0,05$). Như vậy, trong giới hạn miền nghiên cứu: khi vận tốc gió càng lớn và nồng độ sorbitol ngâm nguyên liệu sấy càng thấp thì thời gian sấy càng ngắn.

Giải 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 X₁; X₂, X₃. như sa

$$\begin{cases} X_1 = 0,72 \\ X_2 = -0,49 \\ X_3 = 0,1 \end{cases} \quad (8)$$

Thay các giá trị X₁; X₂, X₃ từ công thức (8) vào công thức (7) xác định được giá trị tối ưu của hàm thời gian sấy Y=7,57 giờ Chuyển sang giá trị thực của các yếu tố X_i theo công thức:

$$Z_i = X_i \cdot \Delta Z_i + Z_i^0 \quad (9)$$

Thay giá trị X₁; X₂, X₃ từ công thức (8) vào công thức (9), có giá trị tối ưu dạng thực của các yếu tố vào như sau:

$$Z_1 = 0,72 * 5 + 7 = 10,6\% \quad (10)$$

$$Z_2 = -0,49 * 5 + 55 = 53^\circ\text{C} \quad (11)$$

$$Z_3 = 0,1 * 1 + 2 = 2,1 \text{ m/s} \quad (12)$$

Như vậy, chế độ tối ưu sấy cá sặc bằng phương pháp sấy *phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại* là: nồng độ sorbitol là 10,6%, nhiệt độ không khí trong buồng sấy là 53°C và tốc độ gió đi ngang qua nguyên liệu là 2,1m/s.

Trên cơ sở các thông số tối ưu đã tìm được, đã tiến hành 3 thí nghiệm lặp lại ở chế độ tối ưu của các yếu tố vào: Nồng độ sorbitol Z₁=10,6%, nhiệt độ dòng khí sấy Z₁ = 53°C, tốc độ gió đi ngang qua nguyên liệu là: Z₃= 2,1m/s. Ngoài việc kiểm định

thời gian sấy, đã xác định điểm cảm quan chất lượng sản phẩm sấy Q (điểm), tỷ lệ tái hydrat hóa H_w (%) và hoạt độ nước.

Kết quả thí nghiệm được ghi trong bảng 3.

Bảng 3. 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 ($^{\circ}C$)	Tốc độ dòng khí sấy Z_3 (m/s)	Thời gian sấy τ (h)	Tỷ lệ tái hydrat hóa H_w (%)	Chất lượng cảm quan Q (điểm)	Hoạt độ nước
TN1	10,6	53	2,1	7,57	68,12	18,24	0,77
TN2	10,6	53	2,1	7,60	67,92	18,22	0,77
TN3	10,6	53	2,1	7,67	68,10	18,18	0,77
Giá trị trung bình				7,61	68,05	18,21	0,77

Qua số liệu trong bảng 3 cho thấy, sai số giữa giá trị tính toán theo phương trình hồi quy và thực nghiệm đối với hàm thời gian sấy có thể chấp nhận được. Như vậy, các kết quả nghiên cứu xác định các thông số tối ưu về thời gian sấy cá sặc khô đảm bảo độ tin cậy. Ngoài ra, chất lượng cảm quan đạt loại tốt (18,24 điểm), tỷ lệ tái hydrat hóa 68,12% và hoạt độ nước 0,77 đạt yêu cầu công nghệ.

Phân tích một số chỉ tiêu chất lượng của sản phẩm cá sặc khô

Cá sặc 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. Cùng thời gian đó, đã tiến hành phân tích đánh giá chất lượng sản phẩm cá sặc được sấy bằng không khí nóng và phơi nắng với quy trình xử lý cá sặc trước khi sấy tương tự như khi sấy *phối hợp bơm nhiệt* và *bức xạ hồng ngoại*. Kết quả phân tích đánh giá một số chỉ tiêu chất lượng sản phẩm cá sặc khô sấy bằng *bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại*, sấy bằng không khí nóng và phơi nắng được ghi trong bảng 4.

Bảng 4. Kết quả xác định một số chỉ tiêu chất lượng của sản phẩm cá sặc khô

Chỉ tiêu		Kết quả		
Chế độ sấy	Đơn vị tính	Sấy bơm nhiệt kết hợp BXHN	Sấy bằng không khí nóng	Phơi nắng
Nồng độ sorbitol	%	10,6%	10,6%	10,6%
Nhiệt độ sấy	$^{\circ}C$	53	55÷70 $^{\circ}C$	33-36 $^{\circ}C$
Vận tốc gió	m/s	2,1	1,2 m/s	
Độ ẩm cá ban đầu	%	78,68	78,68	78,68
Độ ẩm cá sau khi sấy	%	24 ± 0,3%.	24 ± 0,3%.	26 ± 0,3%.
Chỉ tiêu cảm quan	Đơn vị tính	Sấy bơm nhiệt kết hợp BXHN	Sấy bằng không khí nóng	Phơi nắng
Màu sắc		Màu xám thẫm, sau khi ngâm nước có màu xám rất giống cá tươi.	Màu hơi xám thẫm, sau khi ngâm nước có màu xám hơi giống cá tươi.	Màu ít xám thẫm, sau khi ngâm nước có

Chỉ tiêu		Kết quả		
Chế độ sấy	Đơn vị tính	Sấy bơm nhiệt kết hợp BXHN	Sấy bằng không khí nóng	Phơi nắng
				Màu xám ít giống cá tươi.
Mùi		Có mùi tanh rất dịu đặc trưng của cá, không có bất kỳ mùi vị lạ nào, sau khi ngâm nước vẫn giữ được mùi rất đặc trưng của cá.	Có mùi tanh hơi dịu đặc trưng của cá, không có bất kỳ mùi vị lạ nào, sau khi ngâm nước ít giữ được mùi rất đặc trưng của cá.	Có mùi tanh ít dịu đặc trưng của cá, không có bất kỳ mùi vị lạ nào, sau khi ngâm nước ít giữ được mùi rất đặc trưng của cá.
Vị		Có vị rất đặc trưng của cá sặc sấy khô.	Có vị rất đặc trưng của cá sặc sấy khô.	Có vị rất đặc trưng của cá sặc sấy khô.
Trạng thái		Nguyên vẹn, độ khô của cá đồng đều.	Nguyên vẹn, độ khô của cá ít đồng đều.	Nguyên vẹn, độ khô của cá không đồng đều.
Chỉ tiêu vật lý	Đơn vị tính	Sấy bơm nhiệt kết hợp BXHN	Sấy bằng không khí nóng	Phơi nắng
Tỷ lệ tái hydrat hóa	%	68,05±2,02	62,22±2,10	59,06±2,35
Lượng tạp chất	%	0	0	0
Hoạt độ nước		0,77±0,03	0,80±0,03	0,80±0,04
Thời gian	h	7,57	8,00	16
Chỉ tiêu hóa học	Đơn vị tính	Sấy bơm nhiệt kết hợp BXHN	Sấy nóng	Phơi nắng
Độ ẩm	%	24±0,3	25±0,33	28±0,35
Nitơ tổng số	%	15±0,02	15±0,02	15±0,02
Protein thô	%	86±0,07	86±0,07	86±0,07
Tổng số vi sinh vật hiếu khí	Cfu/g	2,0x10 ²	2,6x10 ²	3,2x10 ²
<i>E. coli</i>	Cfu/g	<10	<10	<10
<i>Coliforms</i>	Cfu/g	Âm tính	Âm tính	Âm tính
<i>Samonella</i>	Cfu/g	<10	<10	<10
<i>V. cholerae</i>	Cfu/g	<10	<10	<10
<i>S. aureus</i>	Cfu/g	Âm tính	Âm tính	Âm tính

Qua kết quả phân tích ở bảng 4 cho thấy cá sặc sấy lạnh 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.



Cá sặc nguyên liệu



Sấy cá sặc bằng phương pháp sấy lạnh kết hợp bức xạ hồng ngoại



Sản phẩm sấy

a)

b)

c)

Hình 3. Hình ảnh sấy cá sặc bằng bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại

a) Cá sặc tươi; b) Cá sặc trong thiết bị sấy phối hợp bơm nhiệt và BXHN; c) Cá sặc khô

Kết quả phân tích một số chỉ tiêu cảm quan, lý, hóa và vi sinh đối với cá sặc sấy bằng phương pháp *phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại*, sấy bằng không khí nóng và phơi nắng cho thấy cá sặc 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 sặc sấy bằng các phương pháp sấy bằng không khí nóng và phơi nắng.

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. Những điều này cho thấy sấy *phối hợp đối lưu và bức xạ hồng ngoại* sẽ là công nghệ sẽ 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

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm đa yếu tố theo phương án quy hoạch thực nghiệm

bậc 1 Box-Wilson khi sấy cá sặc bằng phương pháp sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại đã thiết lập được mô hình toán: $Y = 7,11 - 0,05X_1 - 0,49X_2 + 0,75X_3 - 0,7 X_1X_2 - 0,8 X_1X_3 + 0,07X_2X_3$, 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 vận tốc gió X_3 là yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất đến thời gian sấy.

Kết quả tối ưu hóa đã xác định được giá trị tối ưu của các yếu tố vào: nồng độ sorbitol 10,6%, nhiệt độ sấy 53°C, tốc độ gió 2,1 m/s và giá trị tối ưu của thông số ra: thời gian sấy ngắn 7,57 giờ. Cá sặc 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 và phơi nắng. Kết quả nghiên cứu trên là cơ sở quan trọng để hoàn công nghệ và triển khai ứng dụng rộng rãi trong sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- HOÀNG THÁI HÀ (2018), Nghiên cứu sấy khô nho (*Caulerpa lentillifera* J. Agardh) bằng phương pháp sấy lạnh kết hợp bức xạ hồng ngoại”, Luận án tiến sĩ kỹ thuật chuyên ngành Công nghệ Chế biến thủy sản, Trường Đại học Nha Trang.
- 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*, Số 02, Trường Đại học Thủy sản Nha Trang, Trang 8-11.
- ĐÀO TRỌNG HIẾU, NGÔ ĐĂNG NGHĨA (2007), "Một số kết quả nghiên cứu ứng dụng thiết bị sấy hồng ngoại kết hợp lạnh để sấy mực ống lột da xuất khẩu", *Tạp chí Thông tin Khoa học công nghệ và kinh tế Thủy sản*, 5, 24-6.
- 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 kỹ thuật chuyên ngành Công nghệ Chế biến thủy sản, Trường Đại học Nha Trang.
- PHẠM VĂN LANG, BẠCH QUỐC KHANG (1998), Cơ sở lý thuyết quy hoạch thực nghiệm và ứng dụng trong kỹ thuật nông nghiệp, NXB Nông nghiệp

Tiếng Anh

- CHING LIK HUI, SACHIN VINAYAK JANGAM, SZE PHENG ONG (2012), *Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations*.
- DOV PRUSKY, MARIA LODOVICA GULLINO (2009), *Post-harvest Pathology*, Springer Science & Business Media, pp. 212.
- SAGAR V. R., SURESH KUMAR P.(2010), *Recent advances in drying and dehydration of fruits and vegetables: a review*, *J. Food Sci. Technol.*, 47(1), 15–26.