

NGHIÊN CỨU TỐI ƯU HÓA CÔNG NGHỆ SẤY CÁ ĐÙ BẰNG PHƯƠNG PHÁP SẤY PHỐI HỢP BƠM NHIỆT VÀ BỨC XẠ HỒNG NGOẠI

Lê Thị Hồng Ánh¹, Hoàng Thái Hà¹, Đặng Xuân Cường²,
Nguyễn Thị Thảo Minh¹, Nguyễn Thị Phượng¹, Đinh Hữu Đông¹,
Tiền Tiên Nam¹, Dương Hồng Quân¹

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả tối ưu hóa công nghệ sấy cá đuối bằng phương pháp sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại. Ứng dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đa yếu tố theo phương án quy hoạch thực nghiệm bậc 1 Box-Wilson đã thiết lập được mô hình toán: $Y = 5,50 + 0,29X_1 + 0,56X_2 + 0,07X_3 - 0,5X_1X_2 - 0,34X_1X_3 + 0,39X_2X_3$, biểu diễn mối quan hệ giữa thời gian sấy Y với nồng độ sorbitol ngâm nguyên liệu X_1 , nhiệt độ sấy X_2 và tốc độ gió X_3 , trong đó nhiệt độ sấy X_2 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 12%, nhiệt độ sấy 58,5°C, tốc độ gió 1,84 m/s và giá trị tối ưu của thông số ra: thời gian sấy 5,83 giờ. Cá đuối 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 thiện công nghệ và triển khai ứng dụng rộng rãi phương pháp sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại trong sản xuất.

Từ khóa: Cá đuối, sấy bơm nhiệt, sấy bức xạ hồng ngoại, cá đuối khô.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cá đuối hay còn được biết đến là cá lù, với tên khoa học là *Sciaenidae*. Đây là loại cá thuộc bộ cá vược (Perciformes), sống ngoài biển và được phân bố ở các vùng biển nhiệt đới và cận nhiệt đới với khoảng 270 loài. Ở vùng biển Việt Nam, ước tính có khoảng 20 loài, bao gồm: cá đuối bạc, cá đuối kềm, cá đuối sọc, cá đuối lỗ tai đen, cá đuối đỏ dĩa, cá đuối mang đen,... [1], [3].

Cá đuối nhiều thịt và ít xương, phần thân sau của cá có nhiều mỡ. Loại cá này có vị ngọt dịu, dẻo và đặc biệt thịt mềm, hậu bùi. Giá trị dinh dưỡng (g/100 g): protein 18 g; carbohydrate 6 g, chất xơ 0,4 g,... Với chất lượng thịt ngon, giá trị dinh dưỡng cao, cá đuối được chế biến thành nhiều món ăn truyền thống, hợp khẩu vị với khách hàng ở nhiều vùng miền trong cả nước.

Hiện nay sản phẩm cá đuối được bảo quản tươi ở dạng đông lạnh, ướp muối hoặc chế biến ở dạng khô, trong đó khối lượng cá đuối 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,... Đặc biệt cá đuối khô một nắng được chế biến từ cá đuối sọc (có kích thước lớn khoảng 2-3 lần loại cá đuối thông thường) thành các món ăn đặc sản như: cá đuối khô một nắng nướng chấm muối ớt, cá đuối khô một nắng chiên tỏi ớt và cá đuối khô một nắng chiên giòn,...

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

Một trong những kỹ thuật sấy mới có nhiều ưu điểm hiện nay là sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại. Công nghệ này giảm thời gian sấy, cho phép sấy ở nhiệt độ thấp để hạn chế đến mức thấp nhất sự giảm sút chất lượng sản phẩm do nhiệt, phù hợp với vật liệu sấy có liên kết keo - mao dẫn như thịt, cá nói chung và cá đuối nói riêng [2], [4], [5], [6]. Hơn nữa công nghệ sấy này còn 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 [7], [8], [9].

¹ Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm thành phố Hồ Chí Minh

² Viện Nghiên cứu Ứng dụng Công nghệ Nha Trang
Email: hoangha.hufi@gmail.com

Vì vậy, việc nghiên cứu xác định chế độ sấy tối ưu cho sản phẩm cá đù 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.

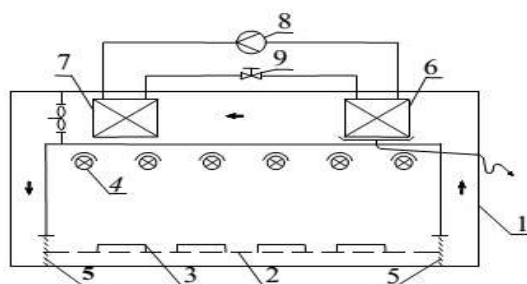
2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

2.1.1. Vật liệu thí nghiệm

Vật liệu nghiên cứu là cá đù bạc (*Argyrosomus argentatus*) 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 79,60%. 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. HCM. 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 đù 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 đù được đem đi sấy trong thiết bị sấy thí nghiệm kiểu bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại đến độ ẩm từ $24 \pm 0,3\%$.

2.1.2. Thiết bị thí nghiệm



Hình 1. Thiết bị sấy bơm nhiệt 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 ngưng (dàn nóng); 8. Máy nén lạnh; 9. Van tiết lưu.

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.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. 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 (%), nhiệt độ sấy: Z_2 (°C), vận tốc gió Z_3 (m/s) đến thời gian sấy $Y(h)$.

Ma trận thí nghiệm được xây dựng theo phương án quy hoạch thực nghiệm bậc 1 của Box-Wilson. Số lượng thí nghiệm theo phương án này được tính theo công thức [7]:

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

Trong đó: 2^m - số thí nghiệm ở mức trên và dưới (-1;+1):

m - số yếu tố ảnh hưởng;

Với số yếu tố vào $m = 3$ thì tổng số thí nghiệm $N = 2^3 = 8$.

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

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

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

X_i - giá trị mã hóa của yếu tố thứ i ($i = 1 - 3$);

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 hóa 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 [7]:

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

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

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

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

2.2.2. Phương pháp xác định các thông số công nghệ của quá trình sấy

a. 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 (Hong Kong), khoảng đo -40°C - 200°C, sai số $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

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

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

- Độ ẩm vật liệu sấy được xác định bằng phương pháp sấy đến khối lượng không đổi ở 105°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 (%); G_1 - Khối lượng cốc sấy và mẫu thử trước sấy (g); G_2 - Khối lượng cốc thử và mẫu thử sau sấy (g); G- Khối lượng cốc sấy (g).

- Mức độ biến đổi độ ẩm trong quá trình sấy được tính theo công thức thực nghiệm [2]:

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

Trong đó: G_1 , G_2 : Khối lượng của nguyên liệu trước và sau khi sấy (g). W_1 , W_2 : Độ ẩm của nguyên liệu trước và sau khi sấy (%).

b. 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 (m_1) cá đủ đã được sấy khô cho vào vào 250 ml nước cất. Sau 15 phút vớt cá ra, để ráo nước trong 5 phút và cân khối lượng mẫu cá đủ đã ngâm nước (m_2). Tỷ lệ tái hydrat hóa của cá đủ được tính theo công thức [2]:

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

- 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 TCVN5367: 1991; xác định *E. coli* (Cfu/g) theo TCVN 7924:2008; xác định *Coliforms* (Cfu/g) TCVN 4882:2007; xác định *Salmonella* (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.

2.2.3. Phương pháp xử lý số liệu thí nghiệm

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

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm sấy cá đủ

Tiến hành thí nghiệm sấy cá đủ 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 lặp lại.

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

Số thí nghiệm	Z_1	Z_2	Z_3	X_1	X_2	X_3	X_{1X2}	X_{1X3}	X_{23}	X_{123}	Y
1	2	50	1	-	-	+	+	-	-	+	5.6
2	12	50	1	+	-	-	-	-	+	+	7.5
3	2	60	1	-	+	-	-	+	-	+	4.5
4	12	60	1	+	+	-	+	-	-	-	6.0
5	2	50	3	-	-	+	+	-	-	-	5.2
6	12	50	3	+	-	+	-	+	-	-	5.5
7	2	60	3	-	+	+	-	-	+	-	4.6
8	12	60	3	+	+	+	+	+	+	+	4.5

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

$$Y = 5,50 + 0,29X_1 + 0,56X_2 + 0,07X_3 - 0,5 X_1X_2 - 0,34X_1X_3 + 0,39X_2X_3 \quad (7)$$

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 X_1 (%), nhiệt độ sấy X_2 ($^{\circ}\text{C}$) và vận tốc gió X_3 (m/s) đều có ảnh hưởng lớn đến thời gian sấy và chất lượng cá đủ khô. Trong đó nhiệt độ sấy có tác động mạnh nhất đến thời gian sấy ($b_2=0,56$), tiếp đến nồng độ sorbitol ($b_1= 0,29$) và sau cùng là tốc độ gió ($b_3 = 0,07$) ($p < 0,05$). Như vậy, trong giới hạn miền nghiên cứu: khi nhiệt độ sấy càng cao, nồng độ sorbitol ngâm nguyên liệu sấy càng thấp thì thời gian sấy càng ngắn.

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 được hệ 3 phương trình tuyến tính. Giải hệ phương trình này được giá trị tối ưu dạng mã của các yếu tố vào X_1, X_2, X_3 như sau:

$$\begin{cases} X_1 = 1,00 \\ X_2 = 0,69 \\ X_3 = -0,16 \end{cases} \quad (8)$$

Thay các giá trị X_1, X_2, X_3 từ công thức (8) vào công thức (7) xác định được giá trị tối ưu của hàm thời gian sấy $Y=5,83$ giờ.

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 được mô hình toán bậc là phương trình hồi quy dạng tuyến tính:

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 X_1, X_2, X_3 từ công thức (8) vào công thức (9), có giá trị tối ưu dạng thực của các yếu tố vào như sau:

$$Z_1 = 1.00 \times 5 + 7 = 12\% \quad (10)$$

$$Z_2 = 0,69 \times 5 + 55 = 58,5^{\circ}\text{C} \quad (11)$$

$$Z_3 = 0,16 \times 1 + 2 = 1,84 \text{ m/s} \quad (12)$$

Như vậy, chế độ tối ưu sấy cá đủ bằng phương pháp sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại là: nồng độ sorbitol là 12%, nhiệt độ không khí trong buồng sấy là $58,5^{\circ}\text{C}$ và tốc độ gió đi ngang qua nguyên liệu là 1,84 m/s.

Trên cơ sở các thông số tối ưu đã tìm được, tiến hành 3 thí nghiệm lặp lại ở chế độ tối ưu của các yếu tố vào: Nồng độ sorbitol $Z_1=12\%$, nhiệt độ dòng khí sấy $Z_1 = 58,5^{\circ}\text{C}$, tốc độ gió đi ngang qua nguyên liệu là: $Z_3=1,84$ m/s. Ngoài việc kiểm định thời gian sấy, đã xác định điểm cảm quan chất lượng sản phẩm sấy Q (điểm) và tỷ lệ tái hydrat hóa H_w (%).

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 ($^{\circ}\text{C}$)	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)
TN1	12	58,5	1,84	5,80	66,22	18,22
TN2	12	58,5	1,84	5,78	66,12	18,20
TN3	12	58,5	1,84	5,85	66,10	18,18
Giá trị trung bình				5,81	66,14	18,20

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 Y là 0,34% (nhỏ hơn 5%) có thể chấp nhận được. Như vậy, các kết quả nghiên cứu xác định các thông số tối ưu về thời gian sấy cá đủ đảm bảo độ tin cậy. Ngoài ra, sản phẩm cá đủ khô có chất lượng cảm quan đạt loại tốt (18,20

điểm) và tỷ lệ tái hydrat hóa 66,12% đạt yêu cầu công nghệ.

3.2. Phân tích một số chỉ tiêu chất lượng sản phẩm cá đủ khô

Cá đủ sau khi sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại (BXHN), 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 đù được sấy bằng không khí nóng và phơi nắng với quy trình xử lý cá đù trước khi sấy tương tự như khi sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại. Kết quả phân tích đánh

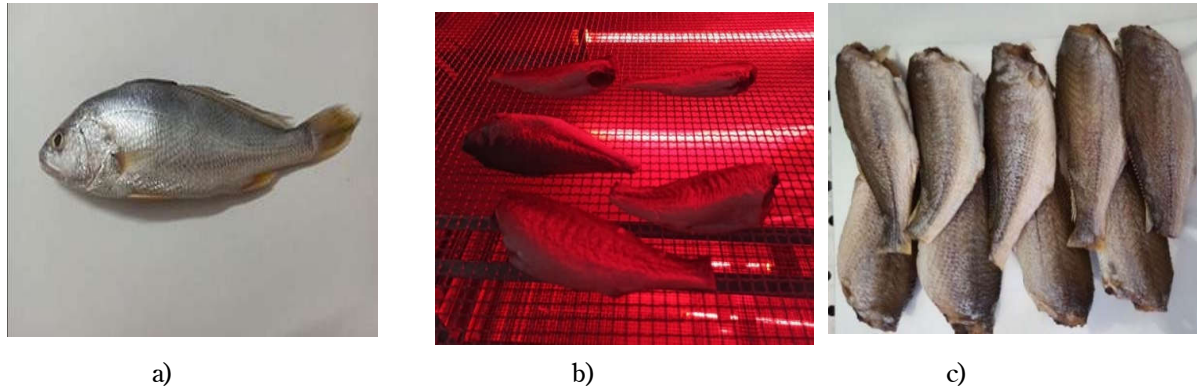
giá một số chỉ tiêu chất lượng sản phẩm cá đù khô sấy bằng bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại, sấy bằng không khí nóng và phơi nắng được ghi trong bảng 4.

Bảng 4. Kết quả xác định một số chỉ tiêu chất lượng của sản phẩm cá đù 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	%	12%	1,2%	12%
Nhiệt độ sấy	°C	58,5	55-70°C	33-36°C
Vận tốc gió	m/s	1,84	1,2 m/s	
Độ ẩm cá ban đầu	%	79,60	79,60	79,60
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		Thịt cá màu vàng, sáng bóng, bề mặt không có vết đen	Thịt cá màu vàng hơi sậm, ít sáng bóng, bề mặt không có vết đen	Thịt cá màu vàng sậm, ít sáng bóng, bề mặt không có vết đen
Mùi		Thịt có mùi thơm tự nhiên của cá khô đù, không tanh, không hôi khét	Thịt có mùi thơm tự nhiên của cá khô đù, không tanh, hơi có mùi hôi khét	Thịt có mùi thơm tự nhiên của cá khô đù, không tanh, có mùi hôi khét
Vị		Mặn dịu, ngọt thịt	Mặn dịu, ngọt thịt	Mặn dịu, ngọt thịt
Trạng thái		Khô đều, thịt dai, không lẫn tạp chất	Khô đều, thịt dai, không lẫn tạp chất	Ít khô đều, thịt dai, không lẫn tạp chất
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	%	66,12±2,13	63,22±2,14	54,66±2,70
Lượng tạp chất	%	0	0	0
Hoạt độ nước		0,77±0,03	0,81±0,03	0,83±0,04
Thời gian	h	5,83	6,50	14
Chỉ tiêu hóa học	Đơn vị tính	Sấy lạnh kết hợp BXHN	Sấy nóng	Phơi nắng
Độ ẩm	%	24±0,3%	26±0,3%	27±0,3%
Nitơ tổng số	%	13±0,02	13±0,02	13±0,02
Protein thô	%	106±0,07	106±0,07	106±0,07
Tổng số vi sinh vật hiếu khí	Cfu/g	2,6x10 ²	2,8x10 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 đù 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.



Hình 2. Hình ảnh sấy cá đù bằng bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại

Ghi chú: a) Cá đù tươi; b) Cá đù trong thiết bị sấy phối hợp bơm nhiệt và BXHN; c) Cá đù khô

So với sấy bằng không khí nóng và phơi nắng, cá đù sấy bằng phương pháp 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 đù sấy bằng các phương pháp sấy bằng không khí nóng và phơi nắng.

Kết quả nghiên cứu trên đã mở ra triển vọng mới trong việc ứng dụng phương pháp sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại để sấy cá đù nói riêng và các loại thủy hải sản nói chung.

4. 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 đù bằng phương pháp sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại đã thiết lập được mô hình toán: $Y = 5,50 + 0,29X_1 + 0,56X_2 + 0,07X_3 - 0,5 X_1X_2 - 0,34X_1X_3 + 0,39X_2X_3$, 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 nhiệt độ sấy 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 12%, nhiệt độ sấy 58,5°C, tốc độ gió 1,84 m/s và giá trị tối ưu của thông số ra: thời gian sấy ngắn 5,83 giờ. Cá đù 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 thiện công nghệ và triển khai ứng dụng rộng rãi trong sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Mai Công Nhuận, Nguyễn Việt Nghĩa, Trần Văn Thanh (2012). *Hiện trạng nguồn lợi hải sản tầng đáy ở vùng biển Việt Nam*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển. Tập 15, số 4; 2015: 371-381.
2. 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.
3. Nguyễn Đức Sĩ, Nguyễn Duy Toàn, Vũ Như Tân (2014). *Giáo trình địa lý kinh tế nghề cá*. Viện Khoa học và Công nghệ Khai thác Thủy sản, Trường Đại học Nha Trang.
4. 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.
5. 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.
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.

7. 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.
8. Ching Lik Hii, Sachin Vinayak Jangam, Sze Pheng Ong (2012). Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations.
9. Dov Prusky, Maria Lodovica Gullino (2009). *Post-harvest Pathology*. Springer Science & Business Media, pp. 212.
10. 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.

STUDY ON THE DRYING CONDITION OPTIMIZATION OF THE HEATING PUMP AND THE INFRARED RADIATION FOR THE SILVER JEWFISH

**Le Thi Hong Anh, Hoang Thai Ha, Dang Xuan Cuong,
Nguyen Thi Thao Minh, Nguyen Thi Phuong, Dinh Huu Dong,
Tien Tien Nam, Duong Hong Quan**

Summary

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 ($Y = 5.50 + 0.29X_1 + 0.56X_2 + 0.07X_3 - 0.5 X_1X_2 - 0.34X_1X_3 + 0.39X_2X_3$) that expressed the relationship between the drying time (Y) and the impact factors (the sorbitol concentration (X_1), the drying temperature (X_2), and the wind speed (X_3)), in which the drying temperature (X_2) affected the drying time stronger than other factors. The optimization condition of drying was the sorbitol concentration of 12%, the drying temperature at 58.5°C, the wind speed of 1.84 m/s, and the drying time for 5.83 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: *Silver jewfish, heat pump, infrared radiation, drying, Box-Wilson.*

Người phản biện: PGS.TS. Trần Như Khuyên

Ngày nhận bài: 28/8/2020

Ngày thông qua phản biện: 28/9/2020

Ngày duyệt đăng: 5/10/2020