NGHIÊN CỨU TỐI ƯU HÓA QUÁ TRÌNH LÀM KHÔ MỰC ỐNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP SẤY BƠM NHIỆT KẾT HỢP BỨC XẠ HỒNG NGOẠI

Lê Thị Hồng Ánh[1], Hoàng Thái Hà[1], Đặng Xuân Cường[2]
Nguyễn Thị Thảo Minh[1], Nguyễn Thị Phượng[1], Lâm Thế Hải[1]
Tiền Tiền Nam[1], Dương Hồng Quân[1], Đặng Văn Hải[1]

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về tối ưu hóa điều kiện sấy mực ống thu mua ở cảng cá Nha Trang bằng công nghệ bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại theo mô hình thực nghiệm đa nhân tố bậc 1 của Box-Wilson dựa trên hàm mục tiêu thời gian sấy. Các chỉ tiêu cảm quan, vật lý (khả năng tái hydrat, tạp chất, hoạt độ nước), hóa học (nitơ và protein tổng số) và vi sinh vật (tổng số vi sinh vật hiếu khí, *E. coli, Coliforms, Samonella, V. cholerae, S. aureus*) được đánh giá trên mực sấy bằng 3 phương pháp khác nhau (công nghệ bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại, công nghệ bơm nhiệt và sấy dưới mặt trời). Thực nghiệm chỉ ra phương trình $Y= 4,1+0,34*X_1+0,4*X_2- 0,29*X_3- 0,1* X_1*X_2 – 0,73* X_1* X_3+ 0,53* X_2* X_3$ thể hiện mối tương quan giữa thời gian sấy (Y, giờ) và các nhân tố tác động (nồng độ sorbitol (X_1), nhiệt độ sấy (X_2), và tốc độ gió (X_3), trong đó nhiệt độ sấy (X_2) ảnh hưởng lên thời gian sấy mạnh hơn so với các yếu tố khác. Điều kiện sấy tối ưu là sorbitol 5,1%, nhiệt độ sấy 56°C, tốc độ gió 1,5 m/s, và thời gian sấy là 4,15 giờ. Mực ống khô đã sấy ở điều kiện tối ưu đạt chất lượng cảm quan và vệ sinh an toàn thực phẩm cao hơn so với các phương pháp sấy không khí và sấy dưới mặt trời.

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

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Mực ống là loài nhuyễn thể chân đầu có giá trị kinh tế, dinh dưỡng cao và sản lượng khai thác hàng năm lớn. Theo số liệu điều tra của Viện Nghiên cứu Hải sản (2014), Việt Nam có khoảng 25 loại mực ống khác nhau, với sản lượng đánh bắt hàng năm khoảng 24.000 tấn. Hiện nay, phổ biến ở Việt Nam là mực ống, mực nang và mực lá, tuy nhiên, cấu trúc sợi cơ của mực ống mềm, dễ bị phá hủy hơn so với mực lá và mực nang, điều này dễ dẫn đến sản phẩm dễ bị hư hỏng và mất an toàn vệ sinh thực phẩm. Vì vậy, người dân đã áp dụng công nghệ chế biến mực đông lạnh, mực một nắng và mực khô. Hiện nay, mực khô là loại hải sản được ưa thích ở Việt Nam và một số nước châu Á nhờ hương vị thơm ngon, giàu chất dinh dưỡng và là một trong những mặt hàng xuất khẩu quan trọng sang Hàn Quốc, Nhật Bản, ASEAN của ngành thủy sản Việt Nam.

Ở Việt Nam, công nghệ làm khô mực hiện nay chủ yếu vẫn sấy dưới mặt trời, một số ít dùng công nghệ sấy bơm nhiệt. Công nghệ làm khô bằng cách sấy dưới mặt trời đã tận dụng được nguồn năng lượng mặt trời cho việc làm khô mực, nhưng phụ thuộc nhiều vào thời tiết và môi trường phơi, điều này dẫn đến sự biến đổi chất lượng mực nhanh theo thời gian sấy, thời gian bảo quản mực sau sấy ngắn, giá trị dinh dưỡng bị suy giảm. Mực sấy bằng công nghệ sấy bơm nhiệt đã cải thiện được chất lượng của mực khô nhưng tác động nhiệt là từ bề mặt của mực, nên sự biến đổi chất lượng mực vẫn diễn ra bên trong mực trong quá trình làm khô, bề mặt mực dễ bị nóng và khô hơn so với bên trong sợi cơ mực.

Nhiều công bố 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 (Nguyễn Thị Mỹ Trang và CS, 2015; Đào Trọng Hiếu và CS, 2005; 2007; 2013), mực tươi sau sấy nói riêng (Yun và cộng sự, 2011; Tae-Hwann và cộng sự, 2012; Yingqiang và cộng sự, 2014), 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 mực, đồng thời sinh ra năng lượng bức xạ hồng ngoại tác

[1] Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm thành phố Hồ Chí Minh
[2] Viện Nghiên cứu và Ứng dụng công nghệ Nha Trang

động lên nước trong mực, 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 (Tamás và Benedek, 2016).

Vì những lý do nêu trên, nghiên cứu này tập trung vào tối ưu hóa sấy mực ống 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.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

Mực ống tươi có độ ẩm ban đầu 83,32% và khối lượng 100 - 150 g/con, được mua ở cảng cá thuộc thành phố Nha Trang, tỉnh Khánh Hòa. Mực 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 18 giờ và được rửa sạch bằng nước muối 1% trong 5 phút để loại bỏ tạp chất. Sau đó, mực được ngâm trong sorbitol 2 - 12% tùy theo từng thí nghiệm trong thời gian 30 phút để mực ống khô có khả năng tái hydrat hóa (khả năng hoàn nguyên trở lại trạng thái gần giống ban đầu) và giữ màu tự nhiên. Tiếp theo, mực 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.

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

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 sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại do Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm thành phố Hồ Chí Minh chế tạo. Thiết bị có năng suất 5 kg/mẻ, công suất tiêu thụ điện 4,54 kW/h, tự động điều chỉnh nhiệt độ với sai số ± 0,1 °C và vận tốc gió với sai số ±0,1 m/s.

Với thiết bị hiện có, 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 qui hoạch thực nghiệm bậc 1 của Box-Wilson. Số lượng thí nghiệm theo phương án này được tính theo công thức (Mahmoud và Seid, 2017.): $N = 2^m$. 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:

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

X_i – biến mã hoá của yếu tố thứ i (i = 1 - 3)

Z_{it}, Z_{io}, Z_{id}- biến 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_{io}, 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.

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 (%) 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

Phương trình của hàm mục tiêu thời gian sấy Y biểu diễn dạng bậc 1 (Dov và cộng sự, 2009):

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

2.3. Phương pháp phân tích

Nhiệt độ dòng khí sấy được xác định bằng thiết bị đo nhiệt độ điện tử hiện số mã hiệu SGK-MF-904 (Hồng Kông), khoảng đo -40°C - 200°C, sai số 0,5 °C. Vận tốc gió được xác định bằng thiết bị đo tốc độ gió Testo 405 - V_1 (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 (Nguyễn Thị Mỹ Trang và

CS, 2015): W_2 (%) = 100 – [G_1(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 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) mực ống đã được sấy khô cho vào o 250 ml nước cất. Sau 15 phút vớt mực ống ra, để ráo nước trong 5 phút và cân khối lượng mẫu mực ống đã ngâm nước (m_2). Tỷ lệ tái hydrat hóa của mực ống tính theo công thức: H_w (%) = (m_2 – m_1)/m_1 (Nguyễn Thị Mỹ Trang và cộng sự, 2015).

Chất lượng cảm quan của mực ống khô được đánh giá theo phương pháp cho điểm với thang điểm 20 mô phỏng theo TCVN 3215-79.

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; *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 mực ống

Thiết kế thí nghiệm sấy mực ống theo phương án quy hoạch thực nghiệm bậc 1 của Box-Willson và tiến hành thực nghiệm đã có kết quả ở bảng 2 với hàm mục tiêu thời gian sấy Y là dữ liệu trung bình 3 lần thí nghiệm lặp lại. Thời gian sấy tìm điểm tối ưu dao động từ 3,5 đến 6,4 giờ và điểm thí nghiệm trung tâm đưa ra thời gian sấy là 4,4 giờ.

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

Thí nghiệm	Z_1	Z_2	Z_3	X_1	X2	X_3	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	Y (h)
1	2	50	1	- 1	- 1	- 1	+ 1	+1	+1	-1	4,6
2	12	50	1	+ 1	- 1	- 1	- 1	-1	+1	+1	6,4
3	2	60	1	- 1	+ 1	- 1	- 1	+1	-1	+1	3,5
4	12	60	1	+ 1	+ 1	- 1	+1	-1	-1	-1	5,0
5	2	50	3	- 1	- 1	+ 1	+1	-1	-1	+1	4,2
6	12	50	3	+ 1	- 1	+ 1	-1	+1	-1	-1	4,5
7	2	60	3	- 1	+ 1	+ 1	-1	-1	+1	-1	3,6
8	12	60	3	+ 1	+ 1	+ 1	+1	+1	+1	+1	3,5
9	7	55	2	0	0	0	0	0	0	0	4,4
10	7	55	2	0	0	0	0	0	0	0	4,4
11	7	55	2	0	0	0	0	0	0	0	4,3

Phân tích thống kê cho thấy 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 thời gian 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 có tác động mạnh nhất đến thời gian sấy (b_2 = 0,40), tiếp đến nồng độ sorbitol (b_1 = 0,34) và sau cùng là tốc độ gió (b_3 =-0,29) (p < 0,05). Như vậy, khi nhiệt độ sấy càng cao, nồng độ sorbitol ngâm nguyên liệu sấy càng thấp, dẫn đến thời gian sấy càng ngắn. 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), chứng tỏ có sự phù hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm, đồng thời đảm bảo độ tin cậy trong nghiên cứu thực nghiệm. Mô hình sấy tuân theo phương trình tuyến tính bậc 1 bởi thời gian sấy càng dài, chất lượng cảm quan của mực ống càng giảm, khả năng tái hydrate hóa cũng giảm do protein bị biến tính. 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 học với thực nghiệm, mô hình toán học được xác định là phương trình tuyến tính:

$$Y = 4,1 + 0,34*X_1 + 0,4*X_2 - 0,29*X_3 - 0,1*X_1*X_2 - 0,73*X_1*X_3 + 0,53*X_2*X_3$$

Đạo hàm riêng từng yếu tố Xi theo thời gian sấy và giải hệ ma trận các phương trình đạo hàm, kết quả cho thấy, điểm tối ưu cho biến mã X_1, X_2, và X_3 tương ứng là -0,38, 0,15 và -0,5 với thời gian sấy tối ưu là 4,15 giờ. Trên cơ sở phương trình mã hóa, tính toán ra được các biến thực đầu vào của mô hình tối ưu là:

Z_1= - 0,38*5+7= 5,1% (7)

Z_2= 0,15*5+55= 56^{o}C (8)

Z_3= -0,5*1+2= 1,5 m/s (9)

Như vậy, chế độ tối ưu sấy mực ống bằng phương pháp sấy phối hợp bơm nhiệt và bức xạ hồng ngoại như sau: nồng độ sorbitol 5,1%, nhiệt độ không khí trong buồng sấy 56^{o}C và tốc độ gió đi ngang qua nguyên liệu 1,5 m/s. Trên cơ sở các thông số tối ưu, tiến hành kiểm định thời gian sấy, xác định điểm cảm quan chất lượng sản phẩm sấy (Q, điểm) và tỷ lệ tái hydrat hóa (H_w, %), kết quả thu được ở bảng 3.

Bảng 3. Thời gian sấy, tỷ lệ tái hydrate hóa và chất lượng cảm quan mực sấy ở điều kiện tối ưu

Thí nghiệm	Nồng độ sorbitol (Z_1, %)	Nhiệt độ dòng khí sấy (Z_2, ^{0}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)
1	5,1	56	1,5	4,20	66,03	18,48
2	5,1	56	1,5	4,13	66,11	18,48
3	5,1	56	1,5	4,12	66,00	18,58
Giá trị trung bình				4,15	66,05	18,51

Bảng 3 cho thấy, thời gian sấy, tỷ lệ tái hydrate và chất lượng cảm quan của mực ống khô được sấy ở điều kiện tối ưu tiên đoán có giá trị tương ứng 4,15 giờ, 66,05 % và 18,5 điểm. Điều kiện này 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 mực ống khô bằng công nghệ sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại (Yun và cs, 2011; Yingqiang và cs, 2014). Sự khác biệt về tốc độ gió so với công bố trên thế giới có thể do hàm ẩm trong dòng khí, đặc tính nguyên liệu mực (loại mực, chất lượng mực, vùng sinh trưởng, giai đoạn mực được đánh bắt, kỹ thuật đánh bắt và bảo quản mực).

3.2. Chất lượng sản phẩm mực ống khô

Sau khi tìm được điều kiện tối ưu sấy mực ống bằng công nghệ bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại, tiến hành đánh giá chất lượng mực ống khô song hành với mực ống được sấy bằng không khí nóng và sấy dưới mặt trời. Mực sấy được chuẩn bị và phân lô giống nhau để sấy bằng 3 công nghệ sấy khác nhau. Chất lượng sản phẩm mực ống 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 4). Mực sấy bằng bơm 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 (Yun và cs, 2011; Yingqiang và cs, 2014). Yun và cs (2011) chỉ ra, cấu trúc vi mô của sợi cơ mực được làm khô bằng tia hồng ngoại tương tự như mẫu tươi. Mực 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. Mực khô có giá trị đỏ và vàng cao hơn, nhưng độ đậm nhạt (L) thấp hơn mực thô. Không tìm thấy sự khác biệt đáng kể nào về giá trị protein, DMA hoặc L giữa tất cả các mẫu đã sấy khô (Yun và cs, 2011; Yingqiang và cs, 2014).

Bảng 4. Điều kiện sấy và chất lượng của sản phẩm mực ống khô

Thông số sấy	Đơn vị tính	Điều kiện sấy		
		Sấy bơm nhiệt kết hợp BXHN	Sấy bằng không khí nóng	Sấy dưới mặt trời
Nồng độ sorbitol	%	5,1%	5,1%	5,1%
Nhiệt độ sấy	^{o}C	56	55 - 70^{o}C	33 - 36^{o}C
Vận tốc gió	m/s	1,5	1,2 m/s	
Độ ẩm mực ban đầu	%	83,32	83,32	83,32
Đô ẩm mực sau khi sấy	%	24 ± 0,3%	24 ± 0,3%	26 ± 0,3%

Chỉ tiêu cảm quan		**Chất lượng cảm quan**		
Màu sắc		Màu đặc trưng của mực	Màu hơi ngả vàng	Màu ngả vàng
Mùi		Mùi thơm đặc trưng của sản phẩm mực khô, không có mùi lạ	Mùi thơm đặc trưng của mực khô, không có mùi lạ, hơi có mùi hôi khét	Mùi thơm đặc trưng của mực khô truyền thống, không có mùi lạ, hơi có mùi hôi khét
Vị		Ngọt đậm	Ngọt dịu	Ít ngọt
Trạng thái		Toàn thân mực khô đều, dẻo và mềm, bề mặt phẳng, không mốc, không rụng đầu, không lẫn tạp chất.	Toàn thân mực ít khô đều, dẻo hơi cứng, bề mặt phẳng, không mốc, không rụng đầu, không lẫn tạp chất.	Toàn thân mực khô ít đều, dai, cứng, hơi bị xơ, bề mặt phẳng, không mốc, không rụng đầu, không lẫn tạp chất.
Chỉ tiêu vật lý		**Kết quả vật lý**		
Tỷ lệ tái hydrat hóa	%	66,05 ± 2,01	61,22 ± 2,04	55,66 ± 2,09
Lượng tạp chất	%	0	0	0
Hoạt độ nước		0,84 ± 0,03	0,85 ± 0,03	0,85 ± 0,04
Thời gian	h	4,15	5,5	16
Chỉ tiêu hóa học		**Kết quả hóa học**		
Nitơ tổng số	%	11 ± 0,04	11 ± 0,04	11 ± 0,04
Protein thô	%	81 ± 0,09	81 ± 0,09	81 ± 0,09
Chỉ tiêu vi sinh vật		**Kết quả vi sinh vật**		
Tổng số vi sinh vật hiếu khí	Kl/g	$1,0 \times 10^2$	$2,0 \times 10^2$	$3,1 \times 10^2$
E. coli	Kl/g	-	-	-
Coliforms	Kl/g	-	-	-
Samonella	Kl/g	-	-	-
V. cholerae	Kl/g	-	-	-
S. aureus	Kl/g	-	-	-

"-": *Không phát hiện*

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

Hình 1. Hình ảnh sấy mực ống bằng bơm nhiệt phối hợp bức xạ hồng ngoại

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

năng lượng hơn so với sấy bằng không khí nóng (Tae-Hwann và cs, 2012). Trong nghiên cứu này, mực ống 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. Ngoài sản phẩm mực, công nghệ sấy bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại 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 từ tự nhiên.

4. KẾT LUẬN

Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã thiết lập được phương trình tuyến tính $Y = 4,1 + 0,34*X_1 + 0,4*X_2 - 0,29*X_3 - 0,1*X_1*X_2 - 0,73*X_1*X_3 + 0,53*X_2*X_3$ để 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. Thời gian sấy tối ưu ở 4,15 giờ khi giá trị các yếu tố đầu vào tương ứng nồng độ sorbitol 5,1%, nhiệt độ sấy 56°C và tốc độ gió 1,5 m/s. Mực ống sấy ở điều kiện tối ưu này 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. Kết quả nghiên cứu 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. Ching L. H., Sachin V. J., Sze P. O., 2012. Solar Drying: Fundamentals, Applications and Innovations.

2. Dov P., Maria L. G., 2009. Post-harvest Pathology, Springer Science & Business Media, pp. 212.

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 Thuỷ sản, 02, 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 mực ống lột da xuất khẩu, Tạp chí Thông tin Khoa học Công nghệ và Kinh tế thủy sản, 5, 24-6.

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 kỹ thuật chuyên ngành Công nghệ chế biến thủy sản, Trường Đại học Nha Trang.

6. Mahmoud Y., Seid M. J., 2017. Applications of response surface methodology in the food industry processes. Food Bioproc Tech., 10, 413–433.

7. Nguyễn Thị Mỹ Trang, Vũ Ngọc Bội, Nguyễn Thị Hương, Hoàng Thái Hà, Đặng Xuân Cường, 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 Thuỷ sản, 02, 133-139.

8. 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.

9. 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.

10. Tae-Hwann K., Hyun-Gi H., Hongyoung J., Chung-Su H., 2012. Drying characteristics of squids according to far infrared and heated air drying conditions. Journal of Biosystems Engineering, 36(2), 109 - 115.

11. Tamás A., Benedek K., 2016. Investigation of hot air- and infrared-assisted freeze-drying of apple. J Food Process Preserv, 40(2), 257-269.

12. Viện Nghiên cứu Hải sản, 2018. Báo cáo kết quả điều tra nguồn lợi hải sản Việt Nam giai đoạn 2011 - 2015, 26 trang.

13. Yun D., Yumin L., Bingjun Q., Shuqiang S., Juan W., Xiaoyong S., Hongshun Y., 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, 761–768.

14. Yingqiang W., Min Z., Arun S. M., Huizhi C., 2014. Drying and quality characteristics of shredded squid in an infrared-assisted convective dryer. Drying Technology, 32(15), 1828-1839.

STUDY ON THE DRYING CONDITION OPTIMIZATION OF SQUID BY USING INFRARED RADIATION - ASSISTED HEATING PUMP DRYING METHOD

Le Thi Hong Anh, Hoang Thai Ha, Dang Xuan Cuong
Nguyen Thi Thao Minh, Nguyen Thi Phuong, Lam The Hai
Tien Tien Nam, Duong Hong Quan, Dang Van Hai

Summary

The article focused on optimizing the drying conditions of squid purchased at Nha Trang fishing port by infrared radiation-assisted heating pump technology according to Box-Wilson's first multifactor experimental model based on the target function drying time. Sensory, physical (re-hydration capacity, impurities, water activity), chemistry (nitrogen and total protein), and microorganism (Total aerobic microorganisms, *E. coli, Coliforms, Samonella, V. cholerae, S. aureus*) were evaluated on drying squid by using 03 different methods (infrared radiation – assisted heating pump technology, heat pump technology, and sun drying). The experiments showed that the equation $Y = 4.1 + 0.34 * X_1 + 0.4 * X_2 - 0.29 * X_3 - 0.1 * X_1 * X_2 - 0.73 * X_1 * X_3 + 0.53 * X_2 * X_3$ exhibited the correlation between the drying time (Y, hours) and the impact factors (sorbitol concentration (X_1), drying temperature (X_2), and wind speed (X_3), in which the drying temperature (X_2) had a stronger effect on drying time than other factors. Optimal drying conditions were sorbitol (5.1%), drying temperature (56°C), wind speed (1.5 m/s), and drying time (4.15 hours). Dried squid under optimum conditions for sensory quality, food hygiene and safety, and higher safety than the air drying and sun drying methods.

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

Người phản biện: PGS.TS. Nguyễn Duy Lâm
Ngày nhận bài: 18/02/2021
Ngày thông qua phản biện: 18/3/2021
Ngày duyệt đăng: 25/3/2021