

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA THỜI GIAN SẤY THỨ CẤP ĐẾN CHẤT LƯỢNG THỊT RỂ THANH CÁ NGỪ CẮT VIÊN SẤY ĐÔNG KHÔ

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SECONDARY DRYING TIME ON THE QUALITY OF FREEZE-DRIED TUNA TRIM CUBES

Lê Thiên Sa¹, Trần Tuấn Hải¹, Trần Minh Nhật¹, Nguyễn Thị Vân²

1. Trung tâm Thí nghiệm Thực hành, Trường Đại học Nha Trang

2. Khoa công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Nha Trang

Tác giả liên hệ: Lê Thiên Sa, Email: ; salt@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 09/04/2025; Ngày phản biện thông qua: 08/05/2025; Ngày duyệt đăng: 20/05/2025

TÓM TẮT

Phần vụn thịt cá ngừ đại dương (*Scombridae*) được sử dụng để sấy đông khô và đánh giá các đặc tính vật lý, tính chất cảm quan với mục đích tạo ra sản phẩm dùng trong món súp ăn liền, đồ ăn nhẹ. Để giảm thiểu thời gian sấy đông khô, động học của quá trình khử nước và năng suất sấy đã được nghiên cứu. Kết quả cho thấy các viên cá ngừ cắt theo kích thước $0,5 \times 0,5\text{cm}$ sấy bằng các chương trình khác nhau được nghiên cứu đều có độ ẩm $\leq 5\%$ và $aw \leq 0.155$. Có sự khác biệt về màu sắc với kết quả đo màu $\Delta E^*5.15$. Giá trị L^* thay đổi từ 37.43 ± 9.5 đến 59.90 ± 6.65 ; a^* từ 9.36 ± 1.22 đến 14.681 ; b^* từ 9.84 ± 1.46 đến 16.22 ± 1.1 . Độ cứng đạt từ 5.94N đến 12.86N . Năng suất chế biến dao động từ 26% đến 28.4% . Độ co rút $\leq 12\%$ và khả năng bù nước của sản phẩm đông khô 188.8% trong 10 giây.

Từ khóa: Sấy đông khô, cá ngừ đại dương

ABSTRACT

Freeze-drying of tuna meat fragments (*Scombridae*) was carried out to assess their physical and sensory characteristics, with the goal of developing products for use in instant soups and snacks. To optimize the drying time, the dehydration kinetics and drying yield were investigated. The results showed that tuna samples cut into $0.5 \times 0.5\text{ cm}$ blocks and subjected to different freeze-drying programs all achieved moisture content $\leq 5\%$ and water activity (aw) ≤ 0.155 . Color differences were observed, with an average ΔE^* of 5.15 . The L^* values ranged from 37.43 ± 9.5 to 59.90 ± 6.65 ; a^* values ranged from 9.36 ± 1.22 to 14.68 ± 1.35 ; and b^* values from 9.84 ± 1.46 to 16.22 ± 1.10 . The hardness of the dried products ranged from 5.94 N to 12.86 N . Processing yield varied between 26% and 28.4% . Shrinkage was $\leq 12\%$, while the rehydration capacity of the freeze-dried product reached 188.8% within 10 seconds.

Key words: freeze-dried, lyophilization, dried fish, yellowfin tuna

1. GIỚI THIỆU

Cá ngừ đại dương (*Thunnus albacares*) là một trong những loại hải sản có giá trị kinh tế và dinh dưỡng cao, được tiêu thụ rộng rãi trên toàn thế giới [1]. Tuy nhiên, do hàm lượng nước cao và thành phần protein dễ bị biến đổi, cá ngừ rất dễ hư hỏng nếu không được bảo quản và chế biến kịp thời [2] [3]. Trong số các phương pháp bảo quản, sấy đông khô là một kỹ thuật quan trọng giúp kéo dài thời gian bảo quản [4], giảm trọng lượng vận chuyển và duy trì giá trị dinh dưỡng của sản phẩm [5].

Sấy chân không thăng hoa/đông khô (freeze-drying) là một phương pháp sấy tiên tiến giúp loại bỏ nước khỏi nguyên liệu bằng cách làm đông và thăng hoa trực tiếp trong môi trường chân không [6, 7]. Phương pháp này có ưu điểm lớn so với các phương pháp sấy truyền thống như sấy nóng hoặc sấy đối lưu, bao gồm việc giữ nguyên cấu trúc, màu sắc, hương vị và giá trị dinh dưỡng của thực phẩm [8]. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng sấy thăng hoa giúp bảo toàn chất lượng protein và lipid trong các sản phẩm thủy sản tốt hơn so với

các phương pháp sấy khác [9, 10]. Ứng dụng sấy thăng hoa/đông khô trong chế biến cá ngừ đại dương có thể giúp nâng cao chất lượng sản phẩm, đáp ứng nhu cầu của thị trường thực phẩm cao cấp [11].

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tiến hành khảo sát quy trình sấy đông khô đối với phần thịt rêu thanh cá ngừ đại dương, nhằm xác định các thông số nhiệt độ, áp suất và thời gian sấy hiệu quả nhất. Ngoài ra, chúng tôi cũng đánh giá ảnh hưởng của quá trình sấy đến chất lượng sản phẩm cuối cùng thông qua các chỉ tiêu về màu sắc, cấu trúc, độ ẩm và hàm lượng dinh dưỡng [12, 13, 14]. Kết quả nghiên cứu không chỉ góp phần nâng cao hiệu quả bảo quản và chế biến cá ngừ đại dương mà còn mở ra hướng phát triển các sản phẩm sấy khô chất lượng cao từ hải sản.

II. NGUYÊN LIỆU, ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Nguyên liệu và quá trình sấy thăng hoa

1.1 Nguyên liệu

Sử dụng phần thịt rêu thanh cá ngừ đại dương, phần còn lại của khối cá ngừ Saku, sashimi thành phẩm sau định hình, không đạt

về kích thước thương mại nhưng vẫn đảm bảo giá trị dinh dưỡng và độ tươi.

Phần thịt rêu thanh cá ngừ đại dương được mua từ công ty chế biến cá ngừ Mỹ Linh, Phước Đồng, Nha Trang. Cá được bao gói bằng túi PA, hút chân không, cấp đông -30°C và vận chuyển trong thùng cách nhiệt về phòng thí nghiệm Công nghệ thực phẩm, Trung tâm Thí nghiệm - Thực hành, Đại học Nha Trang. Bảo quản trong tủ đông -24°C cho đến khi sử dụng.

1.2 Quá trình sấy đông khô

Các thử nghiệm sấy đông khô được xây dựng gồm ba giai đoạn như thể hiện ở Bảng 1. Mỗi thử nghiệm được tiến hành lặp lại trung bình ba lần, 3kg/mẻ thử nghiệm, lấy mẫu ngẫu nhiên từ 6 khay sấy/mẻ của thiết bị sấy thăng hoa Telstar LyoBeta 35.

Rêu thanh cá ngừ được xử lý cắt khối kích thước $0,5 \times 0,5 \times 0,5\text{cm}$ trong phòng lạnh sạch đảm bảo nhiệt độ khối cá khi xử lý trong khoảng -3,5°C, cá sau cắt được xếp khay bảo quản đông. Thông số thiết lập tham chiếu các tài liệu của Dorota Nowak và Ewa Jakubczyk 2020, Adams, G. D.J. Irons, C. Crapo... về một vài sản tương tự đã công bố [3, 6, 7, 8, 15]

Bảng 1: Chương trình sấy chân không thăng hoa thử nghiệm

Chế độ sấy	Làm đông	Sấy sơ cấp	Sấy thứ cấp	Tổng thời gian sấy đông khô
1	-30°C: 2h	0,07±0,01mbar: 12h -30°C: 2h -20°C: 1,5h -10°C: 1h -1,6°C: 0,5h	0,07±0,01mbar 25°C: 4h	23h
2	-30°C: 2h	0,07±0,01mbar: 12h -30°C: 2h -20°C: 1,5h -10°C: 1h -1,6°C: 0,5h	0,07±0,01mbar 25°C: 5h	24h
3	-30°C: 2h	0,07±0,01mbar: 12h -30°C: 2h -20°C: 1,5h -10°C: 1h -1,6°C: 0,5h	0,07±0,01mbar 25°C: 6h	25h

2. Phương pháp nghiên cứu

Các phương pháp xác định thành phần hóa học cơ bản của cá ngừ

- Xác định hàm lượng nước bằng cách sấy mẫu ở 105°C đến khối lượng không đổi, theo TCVN 3700-90

- Xác định hàm lượng tro theo TCVN 5105:2009

- Xác định hàm lượng protein thô bằng phương pháp Kjendahl, theo TCVN 3705-90

- Xác định lipid tổng bằng phương pháp Soxhlex theo TCVN 3703:2009

Các phân tích thực hiện tại Trung tâm Thí nghiệm Thực hành, Trường Đại học Nha Trang.

Gửi mẫu kiểm soát chứng tại Trung tâm dịch vụ phân tích thí nghiệm TP.HCM (CASE)

2.2 Các phương pháp đánh giá chất lượng cá ngừ

- Xác định hàm lượng TVB-N theo TCVN 9215:2012

- Đánh giá chất lượng cảm quan theo TCVN 3215-79 kết hợp sử dụng phương pháp mô tả định lượng để xây dựng bảng đánh giá chất lượng cảm quan;

- Lựa chọn hội đồng đánh giá theo TCVN 12389-2018;

- Lấy mẫu và chuẩn bị mẫu theo TCVN 5276-90.

2.3 Xác định sự biến đổi của các chỉ tiêu vật lý

- Thay đổi về màu sắc: Sử dụng thiết bị đo màu Konica Minotal CR400 quan sát sự thay đổi màu sắc của mẫu trước và sau khi sấy, so sánh màu giữa các chế độ sấy thông qua hệ tọa độ 3 đơn vị, được xây dựng bởi Ủy ban quốc tế về chiếu sáng (CIE1976 L*a*b*), nguồn sáng D65, nguyên lý đo d/0. Sự chênh lệch màu sắc được tính theo công thức [16]:

$$\Delta E^* = \sqrt{(L2^* - L1^*)^2 + (a2^* - a1^*)^2 + (b2^* - b1^*)^2} \quad (1)$$

Trong đó: ΔE thể hiện sự khác biệt về màu sắc, giá trị L^* biểu thị độ sáng/tối có giá trị từ 0-100, giá trị a^* biểu thị màu đỏ - xanh lá; giá trị b^* biểu thị màu vàng - xanh biển. Trước khi đo, thiết bị được hiệu chuẩn bằng đĩa trắng chuẩn.

- Thời gian bù nước: Được thực hiện bằng cách ngâm 3g mẫu trong 500ml nước cất ở 80°C, lấy mẫu sau mỗi 2 giây, để ráo nước 5 phút để xác định tỷ lệ hấp thụ nước. Tỷ lệ bù nước (RR) được tính theo phương trình sau:[17]

$$RR(\%) = \frac{war - wbr}{wbr} \times 100 \quad (2)$$

Trong đó: war, wbr lần lượt là khối lượng mẫu trước và sau khi bù nước.

- Hiệu suất của quá trình sấy xác định bằng tỷ số giữa khối lượng trước và sau khi sấy [18].

$$\eta = \frac{mck}{mnl} \times 100 \quad \% \quad (3)$$

Trong đó: m_{ck} , m_{nl} lần lượt là khối lượng mẫu trước và sau khi sấy.

- Hoạt độ nước xác định bằng thiết bị đo hoạt độ nước Hydrolab Rotronic, Thủy Sĩ.

- Xác định cấu trúc bằng thiết bị Rheometer 500 (Nhật Bản) với các thông số cài đặt đầu đo đường kính trụ nén 10mm, tác động nén ép lực tối đa 180N.

- Nghiên cứu động học của quá trình tách nước được thực hiện bằng cách lấy sản phẩm ra tại những thời điểm nhất định trong quá

trình sấy để xác định độ ẩm và hoạt độ nước. Đường cong thể hiện mối quan hệ giữa hàm lượng ẩm và thời gian được dùng để mô tả động học của quá trình tách nước.

- Mật độ biểu kiến (apparent density - AD) và độ co thể tích (volumetric shrinkage - VS): Mật độ biểu kiến được đo bằng phương pháp dịch chuyển thể tích cho mỗi khối cá ngừ tại các quy trình sấy. Cho mẫu vào dung

dịch toluene chứa trong ống đong 10ml $\pm$ 10⁻¹ml. Những thay đổi về thể tích được ghi lại và AD được tính bằng tỷ lệ trọng lượng mẫu trên thể tích của nó (kg/m³) Khalloufi và Ratti 2003 [10].

2.4 Phương pháp thu nhận và xử lý số liệu

Số liệu được phân tích bằng phần mềm SPSS18 kiểm định Turkey's HSD ($p < 0,05$)

Bảng 2: Thành phần hóa học cơ bản trong phần cơ thịt cá ngừ đại dương

	Protein (%)	Lipid (%)	Tro (%)	Độ ẩm (%)	Năng lượng (kcal/100g)
Nguyên liệu tươi	19,66 $\pm$ 1,12	0,35 $\pm$ 0,15	2,64 $\pm$ 0,97	73,12 $\pm$ 0,024	87,7*
Thành phẩm khô (100g khô)*	86,4	1,11	6,74	5	356

* Kết quả phân tích tại Trung tâm dịch vụ phân tích thí nghiệm thành phố Hồ Chí Minh (CASE)

Từ kết quả bảng 2 cho thấy hàm lượng protein đạt 19,66 $\pm$ 1,12%, phù hợp với các nghiên cứu trước đây, trong đó hàm lượng protein trong cá ngừ dao động từ 18,27% đến 25,42% tùy theo mùa vụ và vùng biển khai thác [19, 20, 21]

Hàm lượng lipid trong mẫu cá đạt 0,35 $\pm$ 0,15%, thấp hơn so với một số nghiên cứu khác (0,51% – 0,88%) [10]. Điều này có thể do mẫu phân tích chỉ lấy từ phần nạc lưng (*steak*), vốn có hàm lượng chất béo thấp hơn các phần khác. Hàm lượng lipid thấp là một lợi thế trong bảo quản và đông khô, vì nó giúp giảm nguy cơ oxy hóa lipid, hạn chế sự hình thành mùi ôi dầu trong sản phẩm cuối cùng.

Kết quả độ ẩm 73,12 $\pm$ 0,024% phù hợp với các nghiên cứu trước đây [22, 23], củng cố mối quan hệ nghịch đảo giữa hàm lượng nước và lipid trong thịt cá ngừ, với tổng hàm lượng dao động trong khoảng 70-80%.

Hàm lượng tro ghi nhận được là 2,64 $\pm$ 0,97%, có phần cao hơn so với một số công bố khác về hàm lượng tro trong thịt cá ngừ vây vàng ở các vùng đánh bắt khác nhau (1,48-1,62%) [22, 24].

Nhìn chung, kết quả nghiên cứu phản ánh đặc điểm dinh dưỡng của cá ngừ vây vàng, đồng thời cho thấy sự ảnh hưởng của

được thực hiện sau phép phân tích ANOVA để kiểm chứng lại sự khác nhau của các kết quả thu được với mức tin cậy 95%.

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

1. Thành phần hóa học cơ bản của nguyên liệu thịt cá ngừ

yếu tố môi trường, mùa vụ và từng phần cơ thể cá. Những dữ liệu này đóng vai trò quan trọng trong việc đánh giá chất lượng nguyên liệu tươi trước khi áp dụng các phương pháp bảo quản và chế biến, đặc biệt là sấy đông khô; đồng thời khẳng định phương pháp thử nghiệm này không làm giảm giá trị dinh dưỡng và thành phần hóa học cơ bản của sản phẩm.

2. Hàm lượng tổng nitơ bazơ bay hơi trong nguyên liệu và thành phẩm sấy đông khô

Đánh giá độ tươi của sản phẩm thủy sản, đặc biệt là cá ngừ, thông qua xác định hàm lượng tổng nitơ bazơ bay hơi (TVB-N) là một phương pháp hóa học tiêu chuẩn [25]. Trong nghiên cứu này, hàm lượng TVB-N của cá ngừ nguyên liệu là 11,54 $\pm$ 0,32 mgN/100g và sau quá trình sấy đông khô, giá trị này tăng nhẹ lên 15,00 $\pm$ 0,26 mgN/100g.

So sánh với các tiêu chuẩn hiện hành, mặc dù TCVN 8338:2010 quy định cho cá tra đông lạnh và chưa có tiêu chuẩn cụ thể cho cá ngừ, ngưỡng TVB-N < 14 mgN/100g được Pike và cộng sự (1997) công bố cho thấy chất lượng cá tốt nhất. Hơn nữa, theo quy định của Ủy ban Châu Âu (EC No 2074/2005) [26], giới hạn an toàn cho

TVB-N trong sản phẩm thủy sản là dưới 30 mgN/100g [24, 26] Kết quả của nghiên cứu này cho thấy cả nguyên liệu và thành phẩm cá ngừ sấy đông khô đều đáp ứng các tiêu chuẩn về độ tươi.

Hàm lượng TVB-N thấp trong nguyên liệu, là phần thối còn lại sau chế biến Sahimi/Saku, khẳng định chất lượng tươi tốt của nguồn nguyên liệu này cho các sản phẩm giá trị gia tăng. Sự gia tăng nhẹ TVB-N sau quá trình sấy có thể được giải thích bởi hoạt động enzyme diễn ra chậm trong quá trình lưu trữ đông lạnh và xử lý cắt khối trước khi sấy. Mặc dù quá trình đông lạnh ức chế đáng kể hoạt động của vi sinh vật, nhưng các phản ứng sinh hóa do enzyme xúc tác vẫn có thể tiếp tục, dẫn đến sự hình thành nitơ bazơ bay hơi [24].

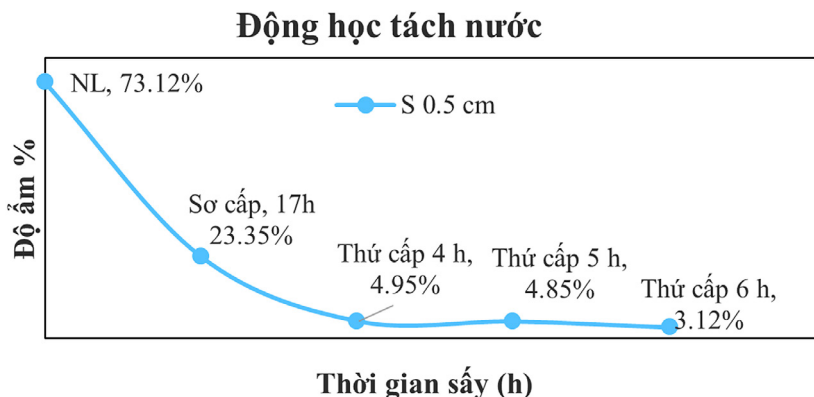
3. Động học tách nước

Động học sấy đông khô là yếu tố then chốt trong thiết kế quy trình và mặc dù dữ liệu tham khảo ban đầu có thể được thu thập, việc xây dựng dữ liệu thực nghiệm dưới các điều kiện vận hành khác nhau vẫn là yêu cầu cần thiết. Nghiên cứu này tập trung vào việc xác định chu trình sấy phù hợp nhất về thời gian sấy thứ cấp nhằm đạt được sản phẩm cá ngừ cắt khối sau sấy chân không thăng hoa với độ ẩm $\leq 5\%$ và hoạt độ nước (a_w) $\leq 0,3$.

Trong các thử nghiệm sơ bộ, tốc độ

thăng hoa được ước tính dựa trên sự thay đổi áp suất và nhiệt độ hiển thị trên thiết bị, đồng thời mẫu được định kỳ lấy để đánh giá độ ẩm và a_w . Chu trình sấy được chia thành hai giai đoạn chính: sấy sơ cấp (thăng hoa) và sấy thứ cấp (giải hấp). Giai đoạn sấy sơ cấp, theo lý thuyết loại bỏ khoảng 70-75% lượng ẩm ban đầu thông qua quá trình chuyển pha băng thành hơi nước với thời gian cụ thể phụ thuộc vào thành phần và kích thước mẫu. Giai đoạn sấy thứ cấp, mặc dù chiếm 20-30% tổng thời gian, chỉ loại bỏ 5-10% lượng ẩm còn lại [3, 6, 15, 28, 29]

Chương trình sấy được thiết lập như bảng 1 với tốc độ gia nhiệt $1^\circ\text{C}/\text{phút}$ và áp suất buồng sấy được duy trì ổn định ở $0,07 \pm 0,01\text{mbar}$; nhiệt độ buồng kết tinh hơi -80°C . Kết thúc giai đoạn sấy sơ cấp này, độ ẩm trung bình của mẫu đạt 23,35% trong 17h, cho thấy hiệu quả loại ẩm khoảng 68%. Kết quả này khá tương đồng với các khuyến nghị về điểm kết thúc của giai đoạn sấy sơ cấp [15] và kết quả của các nghiên cứu khác. Giai đoạn sấy thứ cấp tiếp theo được tiến hành với việc theo dõi liên tục độ ẩm và a_w của mẫu để xác định thời điểm kết thúc quy trình sấy phù hợp, đảm bảo đạt được các chỉ tiêu chất lượng mục tiêu. [7, 8, 15, 28]



Hình 1: Biểu đồ động học tách nước trong các giai đoạn sấy đông khô

4. Ảnh hưởng của thời gian sấy thứ cấp đến hoạt độ nước và độ ẩm còn lại và năng suất sấy

Bảng 3: Sự biến đổi của hoạt độ nước, độ ẩm và năng suất sấy giữa các chế độ sấy

Thời gian sấy thứ cấp (h)	Hoạt độ nước (aw)	Độ ẩm (%)	Hiệu suất sấy
0	0,91 ± 0,022	73,12 ± 0,024	
4	0,136 ± 0,023 ^a	5,152 ± 0,25 ^a	72,26 ± 0,39 ^a
5	0,121 ± 0,017 ^a	4,851 ± 0,43 ^a	74,19 ± 0,92 ^b
6	0,076 ± 0,004 ^b	3,119 ± 0,4 ^b	75,32 ± 0,86 ^c

Ghi chú: Ở bảng trên các chữ cái a, b, c khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$) về hoạt độ nước của sản phẩm ở các thời gian sấy thứ cấp khác nhau.

Kết quả phân tích ở bảng 3 cho thấy thời gian sấy thứ cấp có ảnh hưởng đáng kể ($p < 0,05$) đến hoạt độ nước (aw) của sản phẩm cá ngừ sấy đông khô. Cụ thể, aw ở chế độ sấy thứ cấp 6 giờ thấp hơn đáng kể so với 4h và 5h. Việc kéo dài thời gian sấy thứ cấp thêm 2h (từ 4 lên 6h) đã giảm aw xuống mức rất thấp, loại bỏ gần như hoàn toàn nước tự do trong nguyên liệu aw từ 0,91 xuống còn 0,076; tương ứng với hiệu suất loại ẩm gần như hoàn toàn (75,32%).

Theo nghiên cứu hầu hết enzyme và vi sinh vật bị ức chế ở $aw < 0,61$ [30] và không có sự phát triển của vi sinh vật ở $aw < 0,60$. Thậm chí, ở $aw < 0,34$, giá trị D của *Salmonellae* trong thịt cá sấy khô bảo quản 30°C là 21 ngày [7]. Sản phẩm cá ngừ sấy thăng hoa trong nghiên cứu này đạt aw 0,07-0,13 ($< 0,3$), không tạo điều kiện thuận lợi cho sự tồn tại của các vi sinh vật gây hại đã được công bố [30, 31, 32] phù hợp cho tiêu dùng trực tiếp và bảo quản

ở nhiệt độ thường. Mức aw này tương đương với các sản phẩm ăn liền khác như cá hồi sấy thăng hoa hay các sản phẩm sữa bột, sữa công thức, bánh, trái cây sấy khô thương mại khác [33] và đáp ứng tiêu chuẩn quy định cho sản phẩm thủy sản sấy khô TCVN 10734: 2015, QĐ 46/2007/QĐ-BYT tại điều 6.9 [34, 35].

Tuy nhiên, việc tăng hiệu quả, năng suất là yếu tố then chốt trong ứng dụng sấy đông khô. Chế độ sấy thứ cấp 6h mặc dù đạt được độ ẩm và aw rất thấp, lại cho thấy hiệu suất chế biến thấp nhất. Điều này làm tăng đáng kể chi phí năng lượng và giá thành sản phẩm, cho thấy cần cân nhắc giữa chất lượng và hiệu quả kinh tế của quy trình.

5. Ảnh hưởng của thời gian sấy thứ cấp đến mật độ biểu kiến (Apparent density - AD) và độ co ngót thể tích (Volumetric shrinkage - VS)

Bảng 4: Sự biến đổi AD, VS ở thời gian sấy thứ cấp khác nhau

Thời gian sấy thứ cấp (h)	Mật độ biểu kiến %(AD)	Độ co ngót thể tích %(VS)
0	1,08 ± 0,03	
4	1,02 ± 0,05 ^a	4,75 ^a ± 0,04
5	0,97 ± 0,05 ^a	10,79 ^b ± 0,12
6	0,93 ± 0,12 ^a	15,33 ^c ± 0,04

Ghi chú: Kết quả thể hiện giá trị trung bình độ lệch chuẩn, các chữ cái a, b, c khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$)

Phân tích thống kê (ANOVA) cho thấy mật độ biểu kiến (AD) của sản phẩm không có sự khác biệt đáng kể ($p > 0,05$) giữa các thời gian sấy thứ cấp (4, 5, 6 giờ). Tuy nhiên, độ co ngót thể tích (VS) có sự khác biệt ý nghĩa ($p < 0,05$) và tăng theo thời gian sấy thứ cấp, với các giá trị lần lượt là 4,75%, 10,79% và 15,33% (Bảng 3).

Sự khác biệt về VS giữa các chế độ sấy cho thấy mối tương quan thuận giữa thời gian sấy và độ co ngót, phù hợp với tổng hợp các báo cáo độ co ngót về thể tích của cá hồi sấy cất khô (9-12%), của đầu tây (6,59%), măm xôi

(6,13%) và việt quất (16,13%) sấy đông khô cũng như báo cáo [3, 34].

Kết quả này có thể được giải thích bởi việc duy trì áp suất ổn định trong suốt quá trình sấy, giúp ổn định cấu trúc và hạn chế co ngót do thay đổi áp suất đột ngột. Bên cạnh đó, việc tăng nhiệt độ sấy sơ cấp theo các bước nhảy đều 10°C có thể đã giảm thiểu hiện tượng sụp đổ cấu trúc liên quan đến nhiệt độ thủy tinh hóa. [37]

6. Ảnh hưởng của thời gian sấy thứ cấp đến màu sắc của sản phẩm

Bảng 5: Giá trị $L^*a^*b^*$ theo thời gian sấy thứ cấp

Thời gian sấy thứ cấp (h)	ΔE^*ab	L^*	a^*	b^*
0		$37,43 \pm 9,50^a$	$9,36 \pm 1,22^a$	$9,84 \pm 1,46^a$
4	5,15	$59,90 \pm 6,65^c$	$9,72 \pm 1,61^a$	$13,8 \pm 1,37^b$
5	12,59	$47,46 \pm 7,13^b$	$10,34 \pm 1,55^a$	$15,67 \pm 1,10^c$
6	12,12	$48,85 \pm 5,70^b$	$14,68 \pm 1,35^b$	$16,22 \pm 1,10^c$

Ghi chú: Kết quả thể hiện giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn, các chữ cái a,b,c khác nhau trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$).

Màu sắc sản phẩm sấy đông khô được biểu diễn bằng hệ màu $L^*a^*b^*$. Kết quả bảng 5 cho thấy sự gia tăng đáng kể về giá trị đỏ (a^* tăng từ 9,721 lên 14,687) và sự tăng nhẹ về giá trị vàng (b^* tăng từ 15,673 lên 16,229) khi thời gian sấy thứ cấp kéo dài. Đồng thời, độ sáng (L^*) giảm theo thời gian sấy. Điều này cho thấy màu đỏ tự nhiên đặc trưng của cá ngừ trở nên rõ rệt hơn khi thời gian sấy thứ cấp đạt 6 giờ, trong khi màu vàng tự nhiên ít thay đổi.

Sự thay đổi màu sắc này có thể được giải thích như sau: độ sáng L^* ban đầu của viên cá chịu ảnh hưởng lớn bởi hàm lượng nước. Ở

thời gian sấy thứ cấp ngắn, lượng nước còn lại cao gây ra độ khúc xạ lớn, có thể che lấp các sắc tố màu. Khi thời gian sấy tăng, quá trình thăng hoa hoàn tất, lượng nước giảm đáng kể dẫn đến độ sáng L^* giảm, đồng thời làm nổi bật các sắc tố đỏ và vàng vốn có (a^* và b^* luôn dương và có xu hướng tăng).

Giá trị $\Delta E > 1$ cho thấy sự khác biệt màu sắc này có thể nhận biết được bằng cảm quan [16, 33, 39] phù hợp với kết quả đánh giá cảm quan theo TCVN 3215-79.

7. Ảnh hưởng của thời gian sấy thứ cấp đến độ giòn của sản phẩm

Bảng 6: Lực phá vỡ sản phẩm ở các chế độ sấy khác nhau

Chế độ sấy thứ cấp (h)	4	5	6
Lực phá vỡ (N)	$12,86 \pm 2,5^a$	$6,28 \pm 1,52^b$	$5,94 \pm 2,71^b$

Ghi chú: Các chữ cái a,b khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$) về độ giòn của cá ngừ sấy thăng hoa ở các thời gian sấy thứ cấp khác nhau.

Phân tích độ giòn (lực tác động gây vỡ cấu trúc) của sản phẩm cá ngừ sấy đông khô (Bảng 6) cho thấy thời gian sấy thứ cấp có ảnh hưởng đáng kể. Việc tăng thời gian sấy thứ cấp từ 4 lên 5 giờ đã giảm đáng kể lực cần thiết để làm vỡ cấu trúc, cho thấy độ giòn tăng lên rõ rệt. Tuy nhiên, việc tiếp tục kéo dài thời gian sấy thứ cấp lên 6 giờ không mang lại sự khác biệt đáng kể về độ giòn.

Điều này có thể được giải thích là do giai đoạn sấy thứ cấp chủ yếu loại bỏ nước liên kết. Với nhiệt độ ổn định ở 25°C và áp suất

buồng sấy được duy trì $0,07 \pm 0,01$ mbar quá trình thăng hoa đạt đến trạng thái cân bằng sau khi phần lớn ẩm đã được loại bỏ [10]. Việc kéo dài thời gian sấy thêm nữa không làm tăng đáng kể lượng ẩm bị tách ra, do đó không cải thiện thêm độ giòn của sản phẩm mà còn làm tăng chi phí vận hành không cần thiết. Vì lý do này, việc tiếp tục khảo sát thời gian sấy thứ cấp dài hơn không được thực hiện trong nghiên cứu này.

8. Ảnh hưởng của thời gian sấy thứ cấp đến khả năng bù nước của sản phẩm

Bảng 7: Thời gian bù nước của sản phẩm ở các chế độ sấy khác nhau

Chế độ sấy (h)	Thời gian bù nước/ Khả năng bù nước (%)				
	2s	4s	6s	8s	10s
4	$173,0 \pm 6,33^a$	$178,1 \pm 7,79^a$	$182,0 \pm 3,83^a$	$182,6 \pm 2,39^{ab}$	$186,1 \pm 9,22^a$
5	$167,5 \pm 18,74^a$	$172,8 \pm 15,15^a$	$164,9 \pm 5,15^a$	$175,9 \pm 9,12^b$	$176,9 \pm 7,93^a$
6	$174,1 \pm 19,94^a$	$160,1 \pm 15,92^a$	$164,4 \pm 15,03^a$	$170,9 \pm 2,23^a$	$188,8 \pm 20,30^a$

Ghi chú: Các chữ cái a,b khác nhau thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ($p < 0,05$) về tỷ lệ bù nước ứng với thời gian bù nước của cá ngừ sấy thăng hoa ở các thời gian sấy thứ cấp khác nhau.

Kết quả về khả năng bù nước (Bảng 7) cho thấy sản phẩm cá ngừ sấy đông khô có khả năng bù nước rất nhanh, đạt mức hấp thụ tối đa chỉ trong thời gian ngắn. Tốc độ bù nước cao này là đặc trưng của sản phẩm sấy đông khô và được giải thích bởi cấu trúc xốp, nhiều lỗ rỗng được tạo ra trong quá trình thăng hoa băng. Mục tiêu của quá trình bù nước là khôi phục cấu trúc và hàm ẩm gần với trạng thái

tươi ban đầu của nguyên liệu. Trong khi một số sản phẩm sấy đông khô có thể bị mất chất hòa tan trong quá trình bù nước nhanh [4], quan sát (Hình 2a và 2b) cho thấy các khối cá ngừ sau khi bù nước phục hồi hình dạng, màu sắc và cấu trúc tương đối gần với mẫu cá tươi ban đầu. Điều này cho thấy quá trình sấy thăng hoa đã bảo tồn tốt cấu trúc tế bào của cá ngừ cho phép bù nước hiệu quả.



Khối thịt cá ngừ tươi (a)



Khối cá ngừ khô sau hút nước (b)

Hình 2. Hình ảnh khối cá ngừ trước sấy và sau sấy đã hút nước trở lại

9. Ảnh hưởng của thời gian sấy thứ cấp đến giá trị cảm quan của sản phẩm

Bảng 8: Điểm cảm quan của sản phẩm ở các thời gian sấy khác nhau

Tên chỉ tiêu	Hệ số quan trọng	Điểm trung bình có trọng lượng		
		Sấy 4h	Sấy 5h	Sấy 6h
Màu sắc	1,2	4,08	5,16	5,64
Mùi/hương	1,0	3,80	3,84	3,7
Trạng thái/cấu trúc	1,2	5,04	5,64	5,64
Vị	0,6	2,20	2,74	2,76
Điểm tổng	4	15,1	17,38	17,74

Kết quả đánh giá cảm quan (Bảng 8) cho thấy thời gian sấy thứ cấp 4h đạt điểm chất lượng trung bình (15,1 với mỗi chỉ tiêu $\geq 2,8$). Việc kéo dài thời gian sấy thứ cấp lên 5h và 6h đã cải thiện đáng kể điểm số ở các chỉ tiêu màu sắc và cấu trúc. Nguyên nhân có thể là do thời gian sấy tăng cường loại bỏ ẩm, tác động tích cực đến cấu trúc (tạo độ xốp, giòn) và cảm nhận màu sắc sản phẩm. Điều kiện sấy thăng hoa (áp suất và nhiệt độ thấp) giúp bảo toàn màu đỏ và vàng cam đặc trưng của cơ thịt cá ngừ, được hội đồng đánh giá cao. Kết quả cảm quan này có sự tương đồng với dữ liệu khách quan thu được từ máy đo màu Konica Minolta CR-400 về màu sắc và máy đo lưu biến Rheometer 500 về độ giòn.

IV. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Nghiên cứu này đã đánh giá ảnh hưởng của thời gian sấy thứ cấp trong quy trình sấy đông khô đến các đặc tính lý hóa và cảm quan của cá ngừ cắt viên. Kết quả cho thấy thời gian sấy thứ cấp có tác động đáng kể đến hoạt độ nước,

màu sắc, cấu trúc và độ co ngót của sản phẩm, trong khi mật độ biểu kiến không có sự khác biệt thống kê giữa các chế độ khảo sát.

Nghiên cứu đã xác định được rằng việc điều chỉnh thời gian sấy thứ cấp là yếu tố quan trọng để tăng hiệu suất sấy và chất lượng sản phẩm cá ngừ cắt viên sấy thăng hoa. Chế độ sấy thứ cấp 5 giờ có thể là lựa chọn phù hợp, cân bằng giữa việc đạt được độ ẩm và hoạt độ nước an toàn, cải thiện cấu trúc và màu sắc, đồng thời duy trì hiệu suất chế biến hợp lý. Kết quả của nghiên cứu này cung cấp dữ liệu khoa học quan trọng cho việc thiết kế quy trình sản xuất từ thịt rêu thanh cá ngừ sấy đông khô ở quy mô công nghiệp.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu thực hiện nội dung và sử dụng toàn bộ kinh phí đề tài “TR2023 - 13 - 36: Nghiên cứu quy trình chế biến sản phẩm cá ngừ ăn liền bằng công nghệ sấy chân không thăng hoa”. Đề tài nghiên cứu khoa học, trường Đại học Nha Trang.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. FAO, *The State of 2022*. 2022.
2. A. E. Ghaly, D. Dave, S. Budge, and M. S. Brooks, “Fish spoilage mechanisms and preservation techniques: Review,” *Am. J. Appl. Sci.*, vol. 7, no. 7, pp. 846–864, 2010, doi: 10.3844/ajassp.2010.859.877.
3. C. Crapo, A. C. M. Oliveira, D. Nguyen, P. J. Bechtel, and Q. Fong, “Development of a method to produce freeze-dried cubes from 3 pacific salmon species,” *J. Food Sci.*, vol. 75, no. 5, 2010, doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01642.x.
4. M. S. Rahman, *Hand book of Food preservation*, vol. 46, no. 4. 2015. doi: 10.6041/j.issn.1000-1298.2015.04.033.
5. D. Nowak and E. Jakubczyk, “The freeze-drying of foods ⇔ the characteristic of the process course and the effect of its parameters on the physical properties of food materials,” *Foods*, vol. 9, no. 10, 2020, doi: 10.3390/foods9101488.

6. D. Nowak and E. Jakubczyk, "The Freeze-Drying of Foods — The Characteristic of the Process Course and the Effect of Its Parameters on," *Foods*, vol. 9, no. 1488, pp. 1–27, 2020.
7. W. H. Sperber, "Influence of Water Activity on Foodborne Bacteria — A Review," *J. Food Prot.*, vol. 46, no. 2, pp. 142–150, 1983, doi: 10.4315/0362-028x-46.2.142.
8. G. D. J. Adams and L. I. Irons, "Some implications of structural collapse during freeze-drying using *Erwinia carotovora* L-asparaginase as a model," *J. Chem. Technol. Biotechnol.*, vol. 58, no. 1, pp. 71–76, 1993, doi: 10.1002/jctb.280580110.
9. R. Wang, "Freezing and freeze-drying highly concentrated carbohydrate systems," *Thesis Univ. Birmingham*, no. November, pp. 143–186, 2016.
10. C. Ratti, "Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review," *J. Food Eng.*, vol. 49, no. 4, pp. 311–319, 2001, doi: 10.1016/S0260-8774(00)00228-4.
11. R. H. Rahman, Md shafiur Driscoll, "Density of fresh and frozen seafood," *J. Food Process Eng.*, vol. 17, no. 2, pp. 121–140, 1994, doi: 10.1111/j.1745-4530.1994.tb00331.x.
12. M. G. Umuhozariho, C. Sirimu, T. Hagenimana, P. Nsabimana, N. Uwobasa, and A. P. Uwineza, "EFFECT OF OVEN AND FREEZE DRYING ON NUTRITIONAL COMPOSITION OF PUMPKIN (*Cucurbita maxima*) PROCESSED FLOUR," *Rwanda J. Agric. Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 33–39, 2020, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/345132521>
13. M. A. Silva-Espinoza, A. Salvador, M. del M. Camacho, and N. Martínez-Navarrete, "Impact of freeze-drying conditions on the sensory perception of a freeze-dried orange snack," *J. Sci. Food Agric.*, vol. 101, no. 11, pp. 4585–4590, 2021, doi: 10.1002/jsfa.11101.
14. N. Fitri *et al.*, "A Comprehensive Review on the Processing of Dried Fish and the Associated Chemical and Nutritional Changes," *Foods*, vol. 11, no. 19, 2022, doi: 10.3390/foods11192938.
15. T. D. and M. J. P. Sajal M. Patel, "Determination of end point of primary drying in freeze-drying process control," *AAPS PharmSciTech*, vol. 11, no. 1, pp. 73–84, 2010, doi: 10.1208/s12249-009-9362-7.
16. CIE and Commission Internationale de l'Eclairage, "Colorimetry - Part 4: CIE 1976 L*a*b* COLOUR SPACE," *Iso 11664-4:2008 (Cie S 014-4/E2007)*, pp. 1–16, 2007.
17. J. J. Caro-Corrales, J. A. Zazueta-Niebla, C. A. Ordorica-Falomir, J. J. Zazueta-Morales, G. F. Gutiérrez-López, and L. Alamilla-Beltrán, "Controlled low-temperature vacuum dehydration and tunnel drying: A comparative study," *Int. J. Food Prop.*, vol. 8, no. 3, pp. 529–542, 2005, doi: 10.1080/10942910500269618.
18. V. P. Oikonomopoulou, M. K. Krokida, and V. T. Karathanos, "The influence of freeze drying conditions on microstructural changes of food products," *Procedia Food Sci.*, vol. 1, no. Icef 11, pp. 647–654, 2011, doi: 10.1016/j.profoo.2011.09.097.
19. M. T. T. Nga, L. T. Sa, L. D. Vu, and L. Van Luan, "Proximate chemical components and some physical properties of ocean tuna caught in Vietnam," *J. Fish. Sci. Technol. (Nha Trang Univ. Vietnamese)*, vol. 2/2020, pp. 59–67, 2020.
20. P. Rani and and et al, "Seasonal variation of proximate composition of tuna fishes from Visakhapatnam fishing harbor, East coast of India," vol. 4, no. 6, pp. 308–313, 2016.
21. F. Y. I. Y. Elkhamisy, B. S. M, M. B. M. Ahmed and and G. A. A. Ghoneim, "Chemical Changes and Visual Appearanceo.pdf," 2021.
22. N. T. Can, D. M. Phung, and N. A. Tuan, "Công nghệ chế biến thực phẩm thủy sản: Tập 1: Nguyên liệu chế biến thủy sản," 2006, *Nhà xuất bản Nông nghiệp*.
23. H. Osman, A. R. Suriah, and E. C. Law, "Fatty acid composition and cholesterol content of selected marine fish in Malaysian waters," *Food Chem.*, vol. 73, no. 1, pp. 55–60, 2001, doi: 10.1016/S0308-8146(00)00277-6.
24. GS. TS. Lê Văn Việt Mẫn, "Công nghệ chế biến thực phẩm," 2011.
25. B.K.K.K. Jinadasa, "Determination of Quality of Marine Fishes Based on Total Volatile Base Nitrogen test (TVB-N)," *Nat. Sci. 12 106-111*, vol. 12, no. 5, pp. 106–111, 2014, [Online]. Available: http://www.sciencepub.net/nature/ns1205/014_24190ns120514_106_111.pdf
26. EC, "Commission Regulation, Chapter III. (EC) No 2074/2005. Determination of the concentration of TVB-N in fish and fishery products.," *Off. J. Eur. Union*, no. 2074, p. L338/37-39, 2005.
27. T. M. Phú and N. T. Tuấn, "Khảo sát phương pháp phân tích nitơ bazơ bay hơi (TVB-N) đánh giá độ

- tươi của sản phẩm thủy sản,” *Can Tho Univ. J. Sci.*, vol. 54(Thủy sản, p. 212, 2018, doi: 10.22144/ctu.jsi.2018.055.
28. G. D. J. Adams, I. Cook, and K. R. Ward, “Chapter 4 The Principles of Freeze-Drying,” no. January, 2023, doi: 10.1007/978-1-4939-2193-5.
29. P. S. Gaidhani, K. A., Harwalkar, M., Bhambere, D., & Nirgude, “LYOPHILIZATION / FREEZE DRYING – A REVIEW,” *SJIF J.*, vol. 4, no. 8, pp. 516–543, 2021, doi: 10.20959/wjpr202317-29690.
30. F. safety modernization A. FSMA, “How water activity and pH synergize to control microbial growth,” *Metergroup*, 2017, [Online]. Available: <https://www.metergroup.com/en/meter-food/expertise-library/how-water-activity-and-ph-work-together-control-microbial-growth>
31. S. Rousseau and B. Donèche, “Effects of water activity (aw) on the growth of some epiphytic micro-organisms isolated from grape berry,” *Vitis*, vol. 40, no. 2, pp. 75–78, 2001.
32. Pedak, “Explain what water activity is and how it relates to bacterial growth.,” *Pedak*, pp. 7–8, 2020, [Online]. Available: <https://www.pedak.nl/en/informatie/wat-is-aw-waarde/>
33. C. Crapo, A. C. M. Oliveira, D. Nguyen, P. J. Bechtel, and Q. Fong, “Development of a method to produce freeze-dried cubes from 3 pacific salmon species,” *J. Food Sci.*, vol. 75, no. 5, pp. 3–9, 2010, doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01642.x.
34. Bộ y tế, “QUYẾT ĐỊNH Về việc ban hành ‘Quy định giới hạn tối đa ô nhiễm sinh học và hóa học trong thực phẩm,’” 2007.
35. “TCVN10734-2015 Đánh giá thủy sản khô.”
36. F. Shishegarha, J. Makhlof, and C. Ratti, “Freeze-drying characteristics of strawberries,” *Dry. Technol.*, vol. 20, no. 1, pp. 131–145, 2002, doi: 10.1081/DRT-120001370.
37. M. J. Pikal and S. Shah, “The collapse temperature in freeze drying: Dependence on measurement methodology and rate of water removal from the glassy phase,” *Int. J. Pharm.*, vol. 62, no. 2–3, pp. 165–186, 1990, doi: 10.1016/0378-5173(90)90231-R.
38. B. C. K. Ly, E. B. Dyer, J. L. Feig, A. L. Chien, and S. Del Bino, “Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement,” *J. Invest. Dermatol.*, vol. 140, no. 1, pp. 3–12.e1, 2020, doi: 10.1016/j.jid.2019.11.003.
39. A. Fullerton, T. Fischer, A. Lahti, K. -P. Wilhelm, H. Takiwaki, and J. Serup, “Guidelines for measurement skin colour and erythema A report from the Standardization Group of the European Society of Contact Dermatitis*,” *Contact Dermatitis*, vol. 35, no. 1, pp. 1–10, 1996, doi: 10.1111/j.1600-0536.1996.tb02258.x.