

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG TỪ TRƯỜNG TĨNH ĐẾN THỜI GIAN CẤP ĐÔNG ĐỐI VỚI FILLET CÁ TRA (PANGASIUS) VIỆT NAM

NGUYỄN THỊ TÂM THANH¹, PHẠM QUANG PHÚ¹, ĐOÀN THỊ HỒNG HẢI¹
VÕ CHÍ CHÍNH², NGUYỄN THÀNH VĂN²

¹ Khoa Công nghệ Nhiệt lạnh, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh

² Khoa Công nghệ Nhiệt Điện Lạnh, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Đà Nẵng
nguyenthitamthanh@juh.edu.vn

Tóm tắt. Mục tiêu chính của bài báo là nghiên cứu ảnh hưởng từ trường tĩnh đến thời gian cấp đông đối với fillet cá tra Việt Nam. Các mẫu fillet cá tra được khảo sát trong nghiên cứu này có kích thước trung bình 210x80x15mm (dài x rộng x dày). Chúng được cấp đông từ nhiệt độ tại tâm từ 12°C đến -18°C trong môi trường có nhiệt độ -40°C, -35°C, -30°C và vận tốc gió 5m/s bằng hai phương pháp đông lạnh khác nhau: cấp đông gió thông thường và cấp đông gió hiện đại có hỗ trợ từ trường tĩnh với mật độ từ thông trung bình lần lượt là 431, 453, 499 và 528 Gauss nhằm nghiên cứu ảnh hưởng của từ trường tĩnh đến thời gian cấp đông đối với các fillet cá tra Việt Nam. So sánh hai phương pháp cấp đông ở cùng nhiệt độ không khí, thời gian cấp đông có hỗ trợ từ trường tĩnh sẽ giảm khoảng từ 34% đến 56% so với cấp đông thông thường khi mật độ từ thông tăng từ 431 Gauss đến 528 Gauss. Điều này cho thấy phương pháp cấp đông mới có hỗ trợ từ trường tĩnh có thể ảnh hưởng tích cực đến việc giảm thời gian cấp đông tiết kiệm năng lượng cũng như có thể nâng cao chất lượng của sản phẩm fillet cá tra Việt Nam.

Từ khóa. Fillet cá tra, cấp đông gió, cấp đông hỗ trợ từ trường, thời gian cấp đông, từ trường tĩnh.

STUDYING THE EFFECT OF STATIC MAGNETIC FIELDS TO FREEZING TIME FOR VIETNAMESE CATFISH (PANGASIUS) FILLETS

Abstract. The main objective of paper is to study the effect of static magnetic fields to the freezing time for the Vietnamese catfish (Pangasius) fillets. In this study, the catfish fillets were considered with an average size of 210x80x15mm (length x width x thickness). They were frozen from 12°C to -18°C (center temperature) in a medium temperature of -40°C, -35°C and -30°C with air velocity of 5m/s in two different methods: the conventional air blast freezing (ABF) and the innovation air blast freezing assisted static magnetic fields (SMF) with 431, 453, 499 and 528 Gauss to study the influence of static magnetic fields to freezing time. At the same air freezing temperature, the freezing time with SMF decrease from 34% to 56% compared to the ABF when the magnetic density increases from 431 Gauss to 528 Gauss. This shows the innovation freezing assisted static magnetic fields may influence positively the decreasing of freezing time to save energy as well as the improving of quality for the Vietnamese catfish fillets.

Keywords. Catfish fillets, air blast freezing, freezing time, magnetic freezing, static magnetic fields.

1 GIỚI THIỆU

Một trong những phương pháp bảo quản thực phẩm được sử dụng hiệu quả và rộng rãi trên thế giới ngày nay là phương pháp cấp đông. Trong những năm gần đây, sự xuất hiện của các công nghệ cấp đông nhanh đã và đang giúp cải thiện hơn nữa chất lượng sản phẩm. Các phương pháp cấp đông hiện đại bao gồm cấp đông ở áp suất cao (HPF-High Pressure Freezing), cấp đông có hỗ trợ siêu âm (UAF-Ultrasonic Assisted Freezing), cấp đông có hỗ trợ điện trường (EF-Electrically disturbed Freezing), cấp đông có hỗ trợ từ trường (MF-Magnetically disturbed Freezing) và cấp đông có hỗ trợ vi sóng (MWF-Microwave Assisted Freezing) đã được nghiên cứu [1]. Tại Việt Nam, các công nghệ cấp đông này còn khá mới và chưa được nghiên cứu rộng rãi.

Nhìn chung, tất cả các dạng cấp đông trên đều có chung nhược điểm là quá trình truyền nhiệt diễn ra từ lớp bên ngoài vào bên trong (mặc dù tốc độ làm lạnh khác nhau), kết quả là trường nhiệt độ bên trong thực phẩm không đều (nhiệt độ bên ngoài thấp hơn bên trong) dẫn đến phân áp suất hơi nước bên ngoài nhỏ hơn và nước bên trong thực phẩm có xu hướng chuyển động ra bên ngoài. Do quá trình chuyển động của nước, làm cho nước trong thực phẩm được phân bố lại, quá trình kết đông nước tạo ra những mảng băng lớn, làm rách màng tế bào. Khi rã đông, nước tập trung lớp ngoài thực phẩm sẽ chảy thoát ra ngoài làm cho thực phẩm bị mất nước, các mô cơ không còn căng cứng như ban đầu mà mềm nhão. Như vậy, để đảm bảo chất lượng thực phẩm, quá trình kết đông phải được diễn ra nhanh trong toàn bộ thể tích thực phẩm, khi đó sẽ hạn chế quá trình dịch chuyển nước ra ngoài giúp các tinh thể băng tạo nên trong thực phẩm mịn hơn, không làm rách màng tế bào. Trong ngành công nghiệp thực phẩm, các phương pháp cấp đông truyền thống như cấp đông gió, cấp đông tiếp xúc và cấp đông dạng nhúng trong môi trường tác nhân lỏng đang được sử dụng rộng rãi [1].

Hiện nay, các loại tủ đông có hỗ trợ từ trường đã được sản xuất và bán trên toàn thế giới (tủ đông CAS của hãng ABI, Nhật Bản). Ảnh hưởng của từ trường đối với quá trình cấp đông đã được nghiên cứu trên nước tinh khiết và dung dịch NaCl 0,9% [2], các sản phẩm sinh học [3], càng cua [4], đặc biệt đối với các sản phẩm có đặc tính từ tính [5]. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, với sự hỗ trợ của từ trường tĩnh có mật độ từ thông từ 0,36÷1,08 mT thì thời gian cấp đông ngắn hơn so với cấp đông thông thường [3].

Từ trường có thể được chia thành hai loại, đó là từ trường tĩnh (SMF) và từ trường dao động (OMF) [1]. Nghiên cứu này tập trung vào thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của từ trường tĩnh đến thời gian cấp đông đối với fillet cá tra Việt Nam.

2 CÁC PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH THỜI GIAN CẤP ĐÔNG

Quá trình cấp đông thực phẩm là một quá trình rất phức tạp, bao gồm rất nhiều yếu tố như truyền nhiệt, sự tạo mầm băng, sự phát triển của băng, sự phân bố của băng và các tính chất nhiệt vật lý, hóa học của thực phẩm. Chính vì vậy, để xác định thời gian cấp đông nhiều tác giả đã đề xuất các phương pháp khác nhau, cụ thể là bao gồm 03 phương pháp: phương pháp giải tích, phương pháp mô phỏng số và phương pháp thực nghiệm.

2.1 Mô hình toán xác định thời gian cấp đông

Theo Cleland và Valentas (1997) [6], thời gian cấp đông lý thuyết có thể được xác định bằng các công thức dạng đơn giản theo các tác giả: Plank, Nagaoka, Levy, Cleland và Earle và Phạm QT. Để so sánh giữa thời gian cấp đông cá tra fillet của từng phương pháp, trong bài báo này sẽ không trình bày cụ thể cách tính mà chỉ tổng hợp và biểu thị các công thức tính thời gian cấp đông của các phương pháp thường được sử dụng qua bảng 1.

Bảng 1: Tổng hợp các mô hình toán xác định thời gian cấp đông

Phương pháp	Mô hình toán xác định thời gian cấp đông
1. Plank (1941)	$\tau_F = \frac{L_v \rho}{t_f - t_\infty} \left[\frac{P\delta}{\alpha} + \frac{R\delta^2}{\lambda_i} \right] \quad (1)$
2. Nagaoka (1956)	$\tau_F = \frac{\Delta H' \rho}{t_f - t_\infty} \left[\frac{P\delta}{\alpha} + \frac{R\delta^2}{\lambda_i} \right]$ $\Delta H' = (1 + 0,008t_i) \times [C_{pu}(t_i - t_f) + C_{pi}(t_f - t)]$
3. Levy (1958)	$\tau_F = \frac{\Delta H' \rho}{t_f - t_\infty} \left[\frac{P\delta}{\alpha} + \frac{R\delta^2}{\lambda_i} \right]$ Với: $\Delta H' = (1 + 0,008(t_i - t_f)) \times [C_{pu}(t_i - t_f) + L_v + C_{pi}(t_f - t)]$

4. Cleland và Earle (1984)	$\tau_F = -\frac{\rho\Delta H_r}{E(t_f - t_\infty)} \left[\frac{P\delta}{\alpha} + \frac{R\delta^2}{\lambda_i} \right] \times \left(1 - \frac{1,65.Ste}{\lambda_i} \ln \left[\frac{t - t_\infty}{t_r - t_\infty} \right] \right) \quad (4)$
5. Pham QT (1986)	$\tau_{elip} = \frac{\tau_{slab}}{E}, \quad E = 1 + \frac{1+2/Bi}{\beta_1^2 + 2\beta_1/Bi} + \frac{1+2/Bi}{\beta_2^2 + 2\beta_1/Bi}$ <p>Với: $\tau_{slab} = \frac{\rho\delta}{2\alpha} \left[\frac{\Delta H_1}{\Delta T_1} + \frac{\Delta H_2}{\Delta T_2} \right] \left[1 + \frac{Bi}{4} \right] \quad (5)$</p>

2.2 Mô phỏng số quá trình cấp đông

Trên thực tế miếng fillet cá thường có hình dạng hình học phức tạp, phi tiêu chuẩn là biến thể chuyển tiếp giữa hình hộp chữ nhật và hình trụ. Khi mô phỏng quá trình cấp đông về mặt lý thuyết đây sẽ là bài toán dẫn nhiệt không ổn định phi tuyến trong không gian ba chiều với dạng phương trình:

$$C(T)\rho(T) \frac{\partial T(\vec{r}, \tau)}{\partial \tau} = \text{div}[\lambda(T).gradT(\vec{r}, \tau)] + q_v(\vec{r}, \tau) \quad (6)$$

Trong đó:

- $C(T)$ - nhiệt dung riêng phụ thuộc vào nhiệt độ của thực phẩm, kJ/(kg.K)
- $\rho(T)$ - khối lượng riêng phụ thuộc vào nhiệt độ của thực phẩm, kg/m³
- $\lambda(T)$ - hệ số dẫn nhiệt phụ thuộc vào nhiệt độ của thực phẩm, W/(m.K)
- $q_v(\vec{r}, \tau)$ - nguồn nhiệt trong, sinh ra do sự chuyển pha của nước phụ thuộc vào tọa độ của phân tử và thời gian τ , W/m³
- $T(\vec{r}, \tau)$ - nhiệt độ của phân tử phụ thuộc vào tọa độ và thời gian, K
- τ - thời gian cấp đông, s

Việc giải các bài toán này hiện nay không quá khó khăn vì các công cụ phần mềm hỗ trợ, tuy nhiên do bản chất đối tượng cấp đông là vật xốp không đồng chất, không đẳng hướng với miền phân pha không liên tục, nên hệ số dẫn nhiệt thay đổi rất lớn phụ thuộc vào tọa độ cũng như thời gian [7].

2.3 Thực nghiệm ảnh hưởng của từ trường đến thời gian cấp đông thực phẩm

Trong hầu hết nguyên liệu thực phẩm tươi sống nước là thành phần chủ yếu nhưng có tính hai mặt. Tính hai mặt của nước có nghĩa là mặc dù nước là một thành phần thiết yếu giữ độ tươi của thực phẩm, nhưng cũng tích cực tham gia vào tất cả các cơ chế gây hư hại ảnh hưởng đến kết cấu, bề ngoài, chất lượng, cũng như trong việc gia tăng sự suy thoái vi khuẩn, hóa học và sinh hóa của thực phẩm [1].

Trong quá trình đông lạnh, nước được chuyển thành các tinh thể băng và hoạt độ nước trong thực phẩm giảm do sự suy giảm lượng nước lỏng tự do. Hoạt độ nước bị giảm giúp bảo quản thực phẩm trong thời gian lâu hơn, và nhiệt độ cấp đông làm giảm tốc độ của các phản ứng hóa học cũng như hoạt tính của vi sinh vật và enzyme, do đó kéo dài thời gian bảo quản thực phẩm đông lạnh.

Từ trường rõ ràng có khả năng ảnh hưởng đến tính chất của nước. Bằng chứng lớn nhất là hiện tượng thủy triều ở trên tất cả các vùng biển có liên quan đến từ trường Trái đất. Tuy nhiên, các cơ chế giải thích ảnh hưởng của từ trường đến đặc tính của nước là không rõ ràng [2]. Theo Zou và các cộng sự (2000) [8], từ trường bên ngoài có thể làm suy yếu hoặc thậm chí phá vỡ liên kết hydro và làm tăng số lượng phân tử nước đơn phân. Trong một nghiên cứu gần đây, Pang và các cộng sự (2012) [9] đã xác nhận ảnh hưởng của từ trường đến sức căng bề mặt của nước. Suzuki và các cộng sự (2011) [10] đã nghiên cứu ảnh hưởng của từ trường yếu (khoảng 0,0005 T) đối với quá trình cấp đông một số loại thực phẩm bằng tủ đông có trang bị máy phát từ trường. Nghiên cứu bao gồm so sánh các đường cong cấp đông, sự hao hụt hàm lượng nước, đánh giá hóa lý về màu sắc và kết cấu, quan sát cấu trúc vi mô và đánh giá cảm quan. Các tác giả thấy rằng so với các thí nghiệm đối chứng, từ trường yếu khoảng 0,0005 T không có sự khác biệt đáng kể đối với nhiệt độ trong quá trình kết đông hoặc với chất lượng của thực phẩm đông lạnh trong điều kiện thí nghiệm.

Ảnh hưởng của từ trường lên quá trình kết tinh nước có thể có ý nghĩa tích cực đối với chất lượng của vật liệu đông lạnh. Tuy nhiên, các nghiên cứu về ảnh hưởng của từ trường tĩnh đến quá trình cấp đông

vẫn chưa được công bố nhiều và các thử nghiệm mới chỉ công bố đối với nước và dung dịch nước muối [3]. Dựa vào những kết quả ban đầu của các nhà khoa học đã công bố trong lĩnh vực này cho thấy các tính khả quan khi ứng dụng từ trường trong cấp đông thực phẩm.

3 VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG TIỆN

3.1 Vật liệu

Cá tra nguyên liệu được mua từ chợ Gò Vấp, thành phố Hồ Chí Minh, sau khi xử lý nguyên liệu được lưu trữ ở nhiệt độ 12°C trong tủ lạnh trước khi cấp đông không quá 1 giờ. Kích thước trung bình của mẫu fillet cá tra được chọn trong nghiên cứu này là 210mm x 80mm x 15mm (chiều dài x chiều rộng x chiều dày) và trọng lượng trung bình là 250±10 g (hình 1).



Hình 1: Mẫu fillet cá tra trong nghiên cứu

Nhiệt độ ban đầu của fillet cá tra là 12°C và nhiệt độ cuối cùng để kết thúc quá trình cấp đông là -18°C (nhiệt độ tại tâm). Các hàm lượng nước, protein, chất béo và tro trong fillet cá tra được tham khảo theo [7] và được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2: Thành phần của fillet cá tra [7]

Stt	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp phân tích
1	Chất béo	g/100g	15,4	TCVN 3703:2009
2	Nước	g/100g	67,3	ISO 1442-97
3	Protein (Nx6.25)	g/100g	16,3	GAFTA 130 4:0-03
4	Carbohydrate	g/100g	0	Food and drug Administration
5	Tro	g/100g	1,02	FAO p228, 1986
6	Sugar	g/100g	0	TCVN 4594:1988

3.2 Phương tiện và dụng cụ đo

Các thực nghiệm được tiến hành trên mô hình cấp đông gió, đặt tại phòng X6.7, Khoa Công Nghệ Nhiệt Lạnh, trường Đại học Công nghiệp Tp. HCM. Các thông số kỹ thuật được cung cấp ở bảng 3.

Bộ phát từ trường tĩnh được chế tạo bằng 04 thanh nam châm vĩnh cửu có kích thước 150mm x 100mm x 25mm (hình 2). Các thiết bị đo phục vụ thí nghiệm được trình bày trong bảng 3 và hình 3.

Bảng 3: Tổng hợp các dụng cụ đo phục vụ thí nghiệm

STT	Tên thiết bị đo	Mã hiệu/xuất xứ	Thông số đo	Khoảng đo/độ chính xác
1	Bộ ghi dữ liệu nhiệt độ 8 kênh với cặp nhiệt điện loại J	VersaLog TC/Canada	Nhiệt độ	-200°C ÷ 760°C Sai số ±0,2%
2	Máy đo vận tốc gió	Extech SDL350/Đài Loan	Vận tốc	0,2m/s ÷ 25m/s Sai số ±0,01m/s
3	Máy đo từ trường	Tenmars TM-197/Đài Loan	Mật độ từ thông	0 ÷ 30000 Gauss Sai số ±0,1Gauss

Bảng 4: Thông số kỹ thuật của mô hình cấp đông gió có hỗ trợ từ trường

Thể tích buồng	125 lít
Kích thước thực (dài x rộng x cao)	500 x 500 x 500 (mm)
Kích thước phủ bì (dài x rộng x cao)	700 x 700 x 700 (mm)
Điện áp hoạt động	220V – 1P – 50Hz
Công suất tiêu thụ điện	1500 W
Thông số hoạt động:	
Nhiệt độ buồng cấp đông	-25 ÷ -40°C
Vận tốc không khí buồng cấp đông	5 m/s
Mật độ từ thông tĩnh	400 ÷ 800 Gauss



Hình 2: Mô hình cấp đông gió và bộ tạo từ trường tĩnh



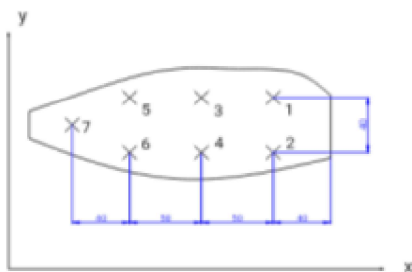
Hình 3: Các thiết bị đo phục vụ thí nghiệm

3.3 Phương pháp đo và thu thập dữ liệu

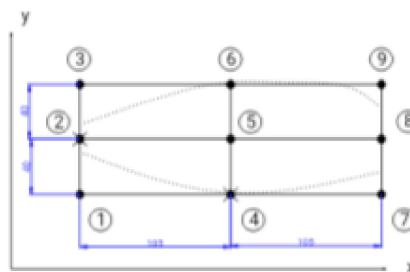
Fillet cá tra được cấp đông từ 12°C đến -18°C (nhiệt độ tại tâm) theo hai phương pháp khác nhau: cấp đông gió thông thường (ABF-Air Blast Freezing) và cấp đông gió có hỗ trợ bởi từ trường tĩnh (SMF-Static Magnetic field Freezing). Các thí nghiệm đã được thiết lập để đánh giá tác động của SMF đối với đường cong cấp đông và tổng thời gian cấp đông (bảng 4). Bảy cặp nhiệt điện được gắn ở tâm miếng cá để theo dõi và ghi lại dữ liệu nhiệt độ trong quá trình cấp đông (hình 4). Vị trí đo từ trường trong thí nghiệm được thể hiện trên Hình 5. Tốc độ lấy mẫu là 0,1 giây và dữ liệu được ghi lại tự động bằng phần mềm ghi dữ liệu SiteView. Phần mềm Matlab (R2016a) và SPSS được sử dụng để xử lý dữ liệu và vẽ đồ thị.

Bảng 5: Các thông số thực nghiệm với từ trường

STT	Thông số	Miền thực nghiệm
1	Nhiệt độ không khí (°C)	-30; -35; -40
2	Vận tốc không khí (m.s ⁻¹)	5
3	Mật độ từ thông tĩnh trung bình (Gauss)	431; 453; 499; 528



Hình 4: Vị trí lắp đặt cảm biến



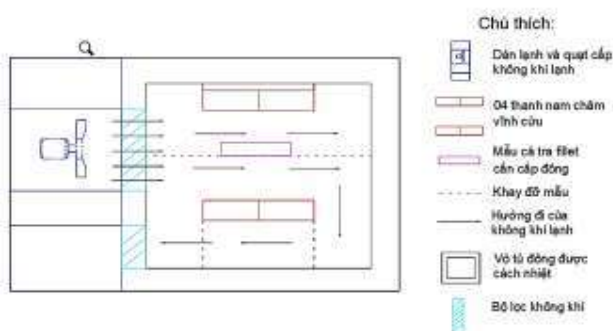
Hình 5: Vị trí đo từ trường trong thí nghiệm

Theo [11], nhiệt độ cấp đông càng thấp thì thời gian cấp đông càng nhanh và ngược lại. Thường nhiệt độ không khí trong buồng cấp đông đạt là -35°C. Do vậy trong nghiên cứu này, nhiệt độ buồng cấp đông được chọn ở phạm vi -30°C ÷ -40°C, mức biến thiên nhiệt độ là 5°C. Để điều chỉnh nhiệt độ không khí trong buồng cấp đông, phương án điều chỉnh van tiết lưu nhiệt (nhằm thay đổi áp suất bay hơi của môi chất) được sử dụng kết hợp với bộ điều khiển nhiệt độ không khí trong buồng được lắp trên tủ điện điều khiển (hình 2).

Theo kết quả nghiên cứu đã công bố về giá trị vận tốc không khí trung bình trong buồng cấp đông thực tế là từ 5m/s ÷ 10m/s[7]. Trong phạm vi nghiên cứu này, giá trị vận tốc gió được lựa chọn ở mức thấp là 5m/s. Các nghiên cứu tiếp theo sẽ được thực hiện ở các giá trị vận tốc lớn hơn.

Theo [3], với sự hỗ trợ của từ trường tĩnh có mật độ từ thông từ 0,36÷1,08 mT thì thời gian cấp đông ngắn hơn so với cấp đông thông thường nên trong nghiên cứu này sẽ lựa chọn mức giá trị từ thông thấp nhất là 0,4mT (400 Gauss). Tuy nhiên, thực tế là mật độ từ thông phải được đo tại 9 vị trí trên mặt cắt ngang của miếng cá và lấy dữ liệu trung bình (hình 5) nên giá trị không đạt được 400 Gauss như mong muốn.

Khoảng cách giữa 02 thanh nam châm thu và phát càng ngắn thì mật độ từ thông càng lớn, nên trong nghiên cứu này, khoảng cách giữa 2 thanh nam châm được thay đổi ở các mức: 50mm, 60mm, 70mm, và 80mm, tương ứng với mật độ từ thông: 528 Gauss, 499 Gauss, 453 Gauss và 431 Gauss.



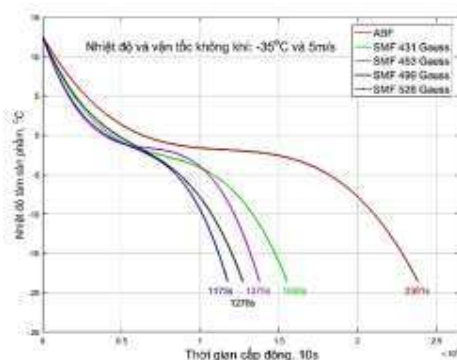
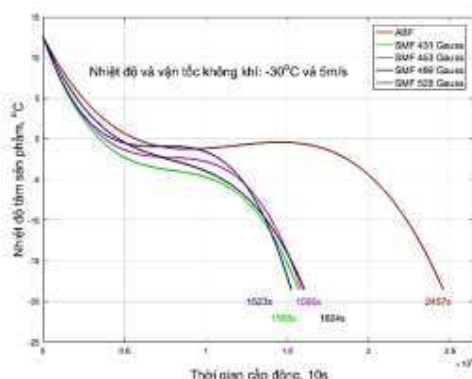
Hình 6: Sơ đồ bố trí mẫu cá tra khi cấp đông có hỗ trợ từ trường tĩnh

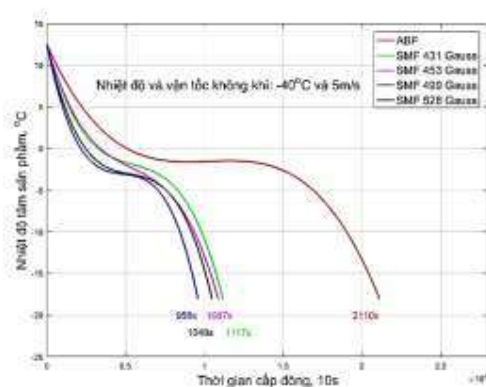
4 KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Để đánh giá ảnh hưởng của từ trường tĩnh đến thời gian cấp đông, các thí nghiệm đã được thực hiện ở các mức nhiệt độ môi trường cấp đông khác nhau: -40°C , -35°C và -30°C cùng với vận tốc không khí 5m/s. Tại mỗi thí nghiệm, thời gian cấp đông được xác định bằng thời gian trung bình của 7 vị trí đo tại tâm miếng fillet cá tra (bố trí trên hình 4 và hình 5). Kết quả thực nghiệm cho thấy từ trường tĩnh ảnh hưởng rất lớn đến thời gian cấp đông, cụ thể kết quả thực nghiệm được trình bày trong bảng 6:

Bảng 6: Kết quả thực nghiệm đánh giá thời gian cấp đông dưới ảnh hưởng của từ trường.

STT	Điều kiện thí nghiệm		Có hỗ trợ từ trường tĩnh (SMF) (s)	Không hỗ trợ từ trường (ABF) (s)	Chênh lệch (%)
1	-30°C , 5m/s	431 Gauss	1568	2457	36,2
2		453 Gauss	1586		35,4
3		499 Gauss	1604		34,7
4		528 Gauss	1523		38,0
5	-35°C , 5m/s	431 Gauss	1550	2381	34,9
6		453 Gauss	1375		42,3
7		499 Gauss	1270		46,7
8		528 Gauss	1173	50,7	
9	-40°C , 5m/s	431 Gauss	1117	2210	49,5
10		453 Gauss	1087		50,8
11		499 Gauss	1048		52,6
12		528 Gauss	958		56,7





Hình 7: Đường cong cấp đông fillet cá tra ở nhiệt độ -30°C , -35°C và -40°C khi hỗ trợ từ trường tĩnh

Kết quả thực nghiệm (được biểu diễn như trên hình 7) cho thấy việc ứng dụng từ trường tĩnh với mật độ từ thông lớn hơn 400 Gauss (0,04T) giúp giảm thời gian cấp đông fillet cá tra, cụ thể thời gian cấp đông đã giảm được từ 34,7% đến 38% ở nhiệt độ cấp đông -30°C , từ 34,9% đến 50,7% ở nhiệt độ cấp đông -35°C và từ 49,5% đến 56,7% ở nhiệt độ cấp đông -40°C .

Đối với quá trình cấp đông không có hỗ trợ từ trường, nhiệt độ tại tâm giảm chậm khi sản phẩm bắt đầu kết đông, thể hiện qua tốc độ kết đông trung bình $0,835^{\circ}\text{C}/\text{phút}$ (nhiệt độ tâm sản phẩm giảm từ 12°C đến -18°C trong 35,2 phút, ở nhiệt độ không khí -40°C). Trong khi có hỗ trợ bởi từ trường tĩnh thì tốc độ kết đông trung bình được tăng gấp hai lần: 1,879, 1,718, 1,656 và $1,611^{\circ}\text{C}/\text{phút}$ tương ứng với mật độ từ thông hỗ trợ là 528, 499, 453, 431 Gauss (ở nhiệt độ không khí -40°C).

Nhờ vào việc hỗ trợ từ trường tĩnh, thời gian khi cấp đông ở nhiệt độ -30°C thậm chí còn thấp hơn nhiều so với thời gian khi cấp đông ở nhiệt độ -40°C mà không áp dụng từ trường. Điều này cho phép thiết bị cấp đông có thể hoạt động ở nhiệt độ cao hơn mà vẫn đảm bảo chất lượng và chi phí điện năng.

Nhờ có tác động của từ trường tĩnh mà các phân tử nước được sắp xếp ổn định hơn bên trong thực phẩm. Quá trình này giúp các tinh thể băng được tạo ra khi đông có kích thước nhỏ hơn, vừa giúp đảm bảo nhiệt độ đồng đều bên trong miếng cá nên quá trình cấp đông diễn ra nhanh hơn, làm tăng chất lượng cá sau khi cấp đông và giảm chi phí năng lượng.

5 KẾT LUẬN

Khi tiến hành nghiên cứu thực nghiệm xác định thời gian cấp đông fillet cá tra bằng phương pháp cấp đông gió và phương pháp cấp đông gió có hỗ trợ từ trường tĩnh cho thấy từ trường tĩnh với mật độ từ thông trung bình trên 400 Gauss có ảnh hưởng lớn đến thời gian cấp đông.

Thời gian cấp đông giảm từ 34% đến 56% so với cấp đông thông thường. Với cùng nhiệt độ không khí -40°C và vận tốc 5 m/s thì mật độ từ thông tác dụng càng lớn càng giúp giảm thời gian cấp đông. Theo kết quả thực nghiệm, mật độ từ thông đạt 528 Gauss có thể giúp giảm thời gian cấp đông đến 56,7%, do đó chi phí năng lượng tương ứng cũng giảm đáng kể.

Từ trường tĩnh ảnh hưởng nhiều hơn đến thời gian cấp đông do sự tác động mãnh mẽ của chúng đến cấu trúc phân tử nước. Nước trong thực phẩm khi chịu sự tác động của từ trường tĩnh sẽ bị hạn chế chuyển động của các photon, nhờ đó cấu trúc tinh thể băng khi kết đông sẽ nhỏ hơn. Kết quả nghiên cứu bước đầu cho thấy khả năng ứng dụng từ trường trong các thiết bị cấp đông fillet cá tra trong thực tế, giúp giảm thời gian cấp đông, nghĩa là giảm được thời gian fillet cá tra tiếp xúc trực tiếp với không khí, như vậy có thể nâng cao chất lượng sản phẩm đồng thời giảm chi phí năng lượng cho quá trình cấp đông.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả chân thành cảm ơn trường Đại học Công Nghiệp Tp.HCM đã hỗ trợ tài chính để thực hiện nghiên cứu này theo hợp đồng số 93/HĐ-ĐHCN của đề tài nghiên cứu khoa học và công nghệ năm 2018

“Nghiên cứu ứng dụng trường điện từ trong cấp đông thực phẩm nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm”, mã số 171.1081.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L. Cheng, D. W. Sun, Z. Zhu, and Z. Zhang, Emerging techniques for assisting and accelerating food freezing processes: A review of recent research progresses, *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, vol. 57, no. 4, pp. 769–781, 2017.
- [2] L. Otero, A. C. Rodríguez, and P. D. Sanz, Effects of static magnetic fields on supercooling and freezing kinetics of pure water and 0.9% NaCl solutions, *J. Food Eng.*, vol. 217, pp. 34–42, 2018.
- [3] L. Otero, A. C. Rodríguez, M. Pérez-Mateos, and P. D. Sanz, Effects of Magnetic Fields on Freezing: Application to Biological Products, *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, vol. 15, no. 3, pp. 646–667, 2016.
- [4] L. Otero, M. Pérez-Mateos, A. C. Rodríguez, and P. D. Sanz, Electromagnetic freezing: Effects of weak oscillating magnetic fields on crab sticks, *J. Food Eng.*, vol. 200, pp. 87–94, 2017.
- [5] V. D. Aleksandrov, A. A. Barannikov, and N. V. Dobritsa, Effect of magnetic field on the supercooling of water drops, *Inorg. Mater.*, vol. 36, no. 9, pp. 895–898, 2000.
- [6] K. J. Valentas, E. Rotstein, and R. P. Singh, *Handbook of food engineering practice*. CRC Press, 1997.
- [7] Đỗ Hữu Hoàng, Nghiên cứu mô phỏng và xác định chế độ cấp đông hợp lý cho cá tra Việt Nam, Luận án tiến sĩ, Đại học Bách khoa Hà Nội, 2014.
- [8] K. X. Zhou, G. W. Lu, Q. C. Zhou, J. H. Song, S. T. Jiang, and H. R. Xia, Monte Carlo simulation of liquid water in a magnetic field, *J. Appl. Phys.*, vol. 88, no. 4, pp. 1802–1805, 2000.
- [9] X. F. Pang, B. Deng, and B. Tang, Influences of Magnetic Field on Macroscopic Properties of Water, *Mod. Phys. Lett. B*, vol. 26, no. 11, p. 1250069, 2012.
- [10] J. Suzuki, T., Takeuchi, Y., Masuda, K., Watanabe, M., Shirakashi, R., Fukuda, Y., Tsuruta, T., Yamamoto, K., Koga, N., Hiruma, N., Ichioka, J., and Takai, K., “Experimental investigation of effectiveness of magnetic field on food freezing process,” *Trans. Japan Soc. Refrig. Air Cond. Eng.*, vol. 26, pp. 371–386, 2009.
- [11] Đinh Văn Thuận, Võ Chí Chính, *Hệ thống máy và thiết bị lạnh*. NXB Khoa học và kỹ thuật, 2007.

Ngày nhận bài: 30/09/2019

Ngày chấp nhận đăng: 28/11/2019