

MÔ PHỎNG QUÁ TRÌNH CẤP ĐÔNG THỊT BÒ VÀ ĐÁNH GIÁ CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN QUÁ TRÌNH CẤP ĐÔNG

Đỗ Hữu Hoàng

Trường Đại học Công nghiệp Thực phẩm TP.HCM

Email: hoangdhuu@hufi.edu.vn

Ngày nhận bài: 23/5/2022; Ngày chấp nhận đăng: 03/8/2022

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả mô phỏng quá trình cấp đông thịt bò bằng phần mềm Ansys, trên cơ sở kết quả mô phỏng, các yếu tố ảnh hưởng đến thời gian cấp đông bao gồm vận tốc và nhiệt độ không khí môi trường cấp đông được nghiên cứu. Đối với vận tốc, trong khoảng vận tốc không khí môi trường cấp đông $\omega = (5-15) \text{ m.s}^{-1}$, khi thay tăng vận tốc $\nabla\omega = 1 \text{ m.s}^{-1}$ thời gian cấp đông giảm $\nabla\tau = (6,5-2,0)\%$, đối với nhiệt độ, trong khoảng nhiệt độ không khí môi trường cấp đông $t_e = (-35 - -45) \text{ }^\circ\text{C}$ khi giảm nhiệt độ môi trường cấp đông $\nabla t_e = 1 \text{ K}$, thời gian cấp đông giảm $\nabla\tau = (3,2-2,5) \%$.

Từ khóa: Thịt bò, truyền nhiệt, biến đổi pha, phần tử hữu hạn, mô phỏng, nhiệt độ, vận tốc.

1. MỞ ĐẦU

Chăn nuôi gia súc, gia cầm là một trong những thế mạnh của nền kinh tế Việt Nam. Trong những năm gần đây, bên cạnh sự nghiệp công nghiệp hóa, hiện đại hóa đất nước, thì ngành chăn nuôi bò ở Việt Nam cũng được đẩy mạnh. Tuy nhiên, vẫn còn nhiều thách thức mà chúng ta cần phải đối mặt như: Tăng trưởng chưa bền vững, nhất là vấn đề kiểm soát dịch bệnh, an toàn thực phẩm, môi trường và thị trường sản phẩm. Trừ chăn nuôi bò sữa, còn lại hầu hết các lĩnh vực, việc tổ chức chăn nuôi theo chuỗi liên kết còn chiếm tỷ lệ thấp cả về quy mô và mức độ liên kết, hiệu quả chưa cao. Bên cạnh đó, hoạt động chăn nuôi phải đối mặt với nhiều thách thức khi hội nhập sâu rộng với quốc tế, nhất là khi nhiều hiệp định thương mại tự do đã được ký kết, sản phẩm chăn nuôi trong nước sẽ phải cạnh tranh gay gắt hơn với sản phẩm cùng loại của các nước có trình độ, kinh nghiệm trong phát triển chăn nuôi tốt hơn Việt Nam [1].

Trước thực trạng trên, Nhà nước cũng như các địa phương đã ban hành nhiều chính sách khuyến khích và thúc đẩy phát triển chăn nuôi nhằm gia tăng sản lượng thịt bò trong nước. Đặc biệt, Chiến lược phát triển chăn nuôi giai đoạn năm 2021-2030, tầm nhìn năm 2045 phát triển chăn nuôi nói chung và chăn nuôi bò thịt nói riêng đã được phê duyệt, định hướng, duy trì tốc độ tăng đàn trung bình 1%/năm giai đoạn 2021-2030 và sản lượng thịt bò tăng trung bình 6%/năm; nâng tỷ lệ đàn bò lai các giống chuyên thịt lên trên 70% tổng đàn [2].

Cùng với đó, tích hợp quy hoạch phát triển chăn nuôi ở cụm tỉnh, vùng, miền với quy hoạch chung của quốc gia; đồng thời chuyên diện tích kém hiệu quả sang trồng cỏ có năng suất và giá trị cao cho chăn nuôi. Tổ chức liên kết giữa các khâu trong sản xuất chăn nuôi theo chuỗi giá trị từ: sản xuất - thu mua - chế biến - bảo quản - tiêu thụ sản phẩm. Xây dựng thương hiệu và chỉ dẫn địa lý cho sản phẩm; hướng đến sản xuất thịt bò, thịt trâu theo tiêu chuẩn thịt mát nhằm bảo đảm về an toàn thực phẩm trong suốt quá trình sản xuất, chuỗi bảo quản và phân phối [2].

Bên cạnh đó, chất lượng thịt bò không chỉ được quyết định bởi giai đoạn chăn nuôi mà ngay cả quá trình giết mổ và cấp đông cũng ảnh hưởng rất lớn đến độ ngon cũng như việc giữ nguyên hàm lượng dinh dưỡng của thịt và tiêu hao năng lượng trong quá trình cấp đông. Đó là lý do mà quy trình giết mổ và cấp đông thịt rất được chú trọng, đặc biệt là quá trình cấp đông. Tuy nhiên, ở Việt Nam, chưa có nghiên cứu chuyên sâu về quá trình cấp đông thịt bò sau khi giết mổ, các hệ thống cấp đông thực phẩm được thiết kế theo một quy trình chung, không tính toán cho một sản phẩm riêng biệt. Vì vậy hiệu quả sử dụng năng lượng chưa cao và đặc biệt là chất lượng sản phẩm không ổn định, độ tổn hao sản phẩm lớn tới gần 20%. Như trên đã nêu thì đây là một bài toán thực tế cấp bách chưa có lời giải. Do đó, việc dựa vào kết quả mô phỏng để đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến thời gian cấp đông thịt bò và từ đó xây dựng quy trình cấp đông hợp lý về mặt tiêu hao năng lượng cũng như nâng cao chất lượng của sản phẩm là việc làm cấp thiết.

2. NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Đối tượng khảo sát là các mẫu sản phẩm thịt bò dạng hình hộp (Hình 1) có các kích thước cao × rộng × dài (m): 0,15×0,03×0,23 (m).



Hình 1. Mẫu thịt bò sử dụng trong khảo sát

Thành phần của mẫu thịt bò khảo sát thể hiện trong Bảng 1

Bảng 1. Thành phần hóa lý của thịt bò [3]

Thành phần	Protein (%)	Lipid (%)	Carbohydrate (%)	Nước (%)	Tro (%)	Fiber (%)
	21	3,8	0	74,1	1,1	0

2.2. Phương pháp

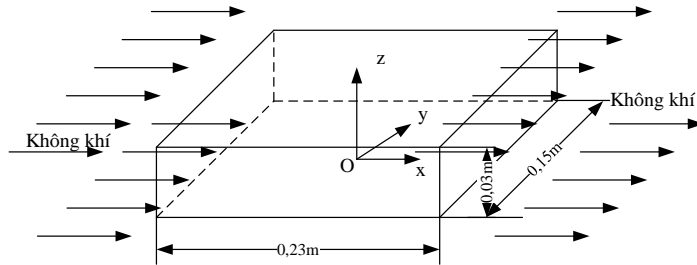
Quá trình cấp đông thực phẩm nói chung hay thịt bò nói riêng là quá trình hết sức phức tạp, một số hiện tượng xảy ra đồng thời như quá trình truyền nhiệt, truyền chất, quá trình biến đổi pha, sự thay đổi cơ tính... Đặc biệt tại điểm kết đông, các tính chất nhiệt vật lý của thực phẩm nói chung và thịt bò nói riêng (nhiệt dung riêng c , hệ số dẫn nhiệt λ , khối lượng riêng ρ) biến đổi đột ngột, khi đó phương trình vi phân dẫn nhiệt mô tả quá trình là phi tuyến trở nên vô cùng khó giải. Cho đến nay nhiều tác giả đã sử dụng các phương pháp gần đúng như Sai phân hữu hạn, Phần tử hữu hạn với cách tính lặp để giải bài toán biến đổi pha trên theo sơ đồ biên giới phân pha cố định hay di động [4-9], hoặc xác định thời gian cấp đông theo phương pháp giải tích [10-12]. Trong bài báo này, tác giả sử dụng phần mềm Ansys để mô phỏng quá trình cấp đông thịt bò dạng khối theo phương pháp giải bài toán dẫn nhiệt không ổn định có biến đổi pha với điều kiện biên loại 3 trong quá trình đông lạnh thịt bò.

2.2.1. Xây dựng mô hình toán cho quá trình cấp đông thịt bò

Bài toán cấp đông thịt bò dạng khối được xem như bài toán dẫn nhiệt không ổn định với điều kiện biên loại 3, quá trình cấp đông thịt bò được mô tả như Hình 2. Quá trình cấp đông thịt bò được thực hiện trên băng chuyền IQF dạng thẳng, với thông số làm việc như sau:

Nhiệt độ không khí môi trường cấp đông $t_e = (-45 - -35) \text{ }^\circ\text{C}$;

Vận tốc không khí môi trường cấp đông $\omega = (5 - 15) \text{ m.s}^{-1}$.



Hình 2. Mô hình vật lý mô tả quá trình cấp đông thịt bò dạng khối

Trên cơ sở mô hình vật lý mô tả quá trình cấp đông thịt bò dạng khối (Hình 1), phương trình vi phân dẫn nhiệt không ổn định trong quá trình cấp đông được viết như sau:

$$\rho(T)c(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda(T)\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + q_v \quad (1)$$

Điều kiện ban đầu:

$$T(x,y,z,0) = \text{const tại } \tau = 0 \quad (2)$$

Điều kiện biên: toả nhiệt tại mặt ngoài biểu thị bởi:

$$-\lambda(T)\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) = \alpha(T_m - T_e) \quad (3)$$

Mô hình toán cho bài toán cấp đông thịt bò được viết như sau:

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho(T)c(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda(T)\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + q_v \\ \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=0} = \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_{y=0} = \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)_{z=0} = 0 \\ \pm \left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)_{x=\pm\delta_x} = \pm \frac{\alpha}{\lambda(T)}(T - T_e)_{x=\pm\delta_x} \\ \pm \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)_{y=\pm\delta_y} = \pm \frac{\alpha}{\lambda(T)}(T - T_e)_{y=\pm\delta_y} \\ \pm \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)_{z=\pm\delta_z} = \pm \frac{\alpha}{\lambda(T)}(T - T_e)_{z=\pm\delta_z} \\ \tau = 0 \Rightarrow T = T(x, y, z, 0) = \text{const} \end{array} \right. \quad (4)$$

Trong đó:

λ : hệ số dẫn nhiệt, ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$);

ρ : khối lượng riêng, (kg.m^{-3});

c : nhiệt dung riêng, ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$);

- α : hệ số trao đổi nhiệt đối lưu, ($\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$);
- T: nhiệt độ, (K)
- τ : thời gian, (s);
- q_v : nguồn nhiệt trong, (W.m^{-3}).

2.2.2. Tính chất nhiệt vật lý của thịt bò

Để thực hiện mô phỏng quá trình cấp đông thịt bò, tính chất nhiệt vật lý của thịt bò cần được xác định. Tính chất nhiệt vật lý của thịt bò phụ thuộc vào nhiệt độ và thành phần và được xác định như sau:

Hệ số dẫn nhiệt và khối lượng riêng được xác định theo Choi and Okos (1986) [13]:

$$\text{Hệ số dẫn nhiệt } \lambda(t, x_i): \quad \lambda = \sum_{i=1}^n x_i^y \lambda_i \quad (5)$$

$$\text{Khối lượng riêng } \rho(t, x_i): \quad \rho = \frac{(1 - \varepsilon)}{\sum_{i=1}^n x_i / \rho_i} \quad (6)$$

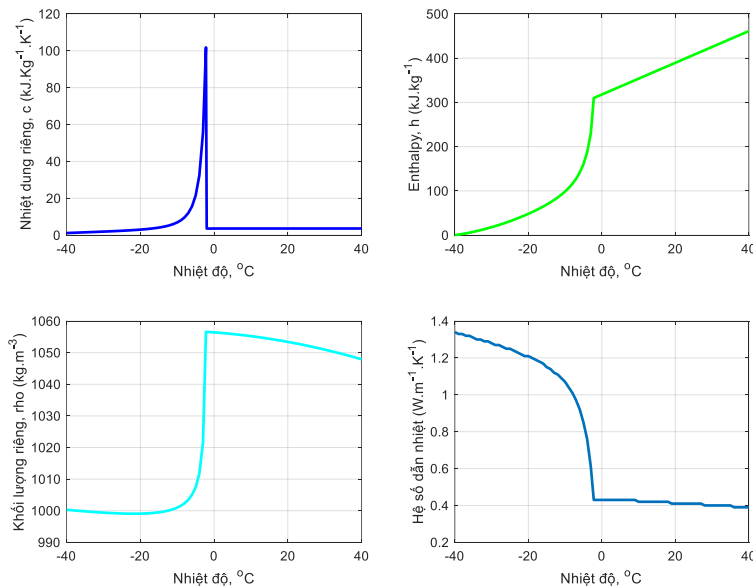
Nhiệt dung riêng được xác định theo phương trình (7) (Schwartzberg (1976) [14] $c(t, x_i)$:

$$c_a = c_u + (x_b - x_{wo})\Delta c + \text{Ex}_s \left[\frac{RT_0^2}{M_w t^2} - 0.8\Delta c \right] \quad (7)$$

Enthalpy được xác định theo phương trình (8) (Schwartzberg (1976) [14] $H(t, x_i)$:

$$H = (T - T_r)(c_u + (x_b - x_{wo})\Delta c) + (T - T_r)\text{Ex}_s \left[\frac{RT_0^2}{18(T_0 - T_r)(T_0 - T)} - 0.8\Delta c \right] \quad (8)$$

Kết quả tính toán thông số nhiệt vật lý thịt bò được thể hiện trên Hình 3.



Hình 3. Tính chất nhiệt vật lý của thịt bò phụ thuộc vào nhiệt độ và thành phần

2.2.3. Mô phỏng quá trình cấp đông thịt bò dạng khối

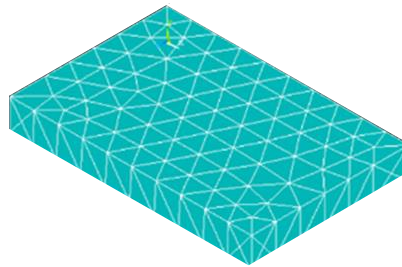
Quá trình cấp đông thịt bò dạng khối được thực hiện trên hệ thống cấp đông nhanh (IQF), nhiệt độ của sản phẩm trước khi đưa vào cấp đông được xem là đồng nhất trên toàn bộ khối, $t_{sp} = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Không khí môi trường cấp đông được xét trong khoảng nhiệt độ

$$t_e = (-45 - -35)\text{ }^{\circ}\text{C}, \text{ vận tốc } \omega = (5 - 15)\text{ m.s}^{-1}.$$

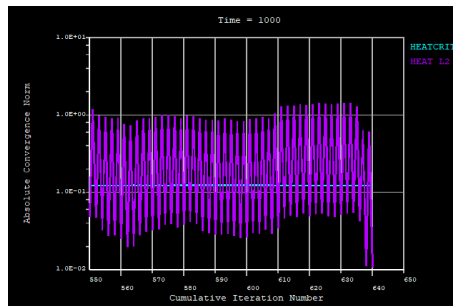
Bản chất của quá trình mô phỏng quá trình cấp đông thịt bò dạng khối là giải bài toán dẫn nhiệt không ổn định với điều kiện biên loại 3, theo Willix, J., và cộng sự [15] hệ số tỏa nhiệt đối lưu được xác định như sau:

$$\alpha = 25 \times \omega^{0,6} (\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}) \quad (9)$$

Mẫu sản phẩm thịt bò được chọn để thực hiện mô phỏng có kích thước (m): $0,15 \times 0,03 \times 0,23$ (m) (Hình 1), Khi áp dụng phương pháp PTHH, phần tử sẽ được chọn là phần tử hình hộp 8 nút, lưới được chia theo cấu trúc đều nhau (Hình 4). Bằng phần mềm Ansys, quá trình tính lặp đã thể hiện nghiệm hội tụ tuyệt đối (Hình 5).

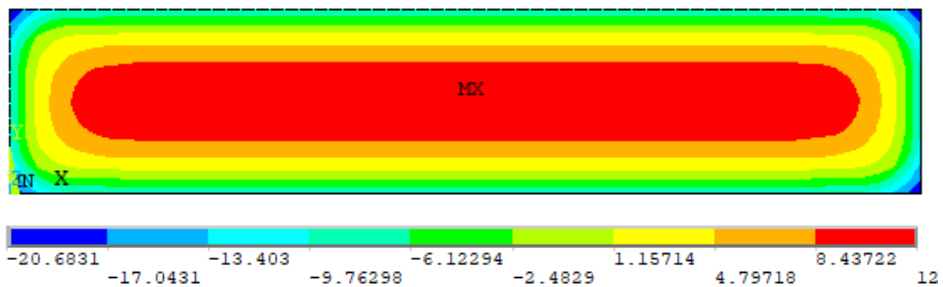


Hình 4. Cấu trúc phần tử sau khi chia lưới khối thịt bò

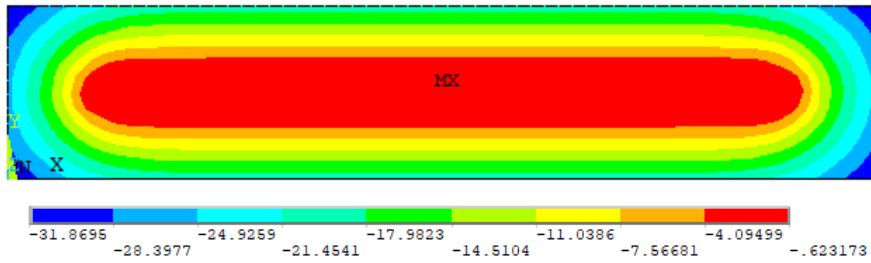


Hình 5. Kết quả mô phỏng

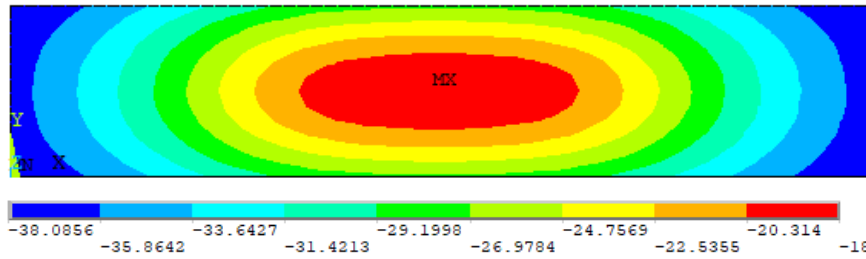
Quá trình biến đổi pha và biến thiên nhiệt độ trên tiết diện ngang của khối thịt bò được thể hiện trên Hình 6.



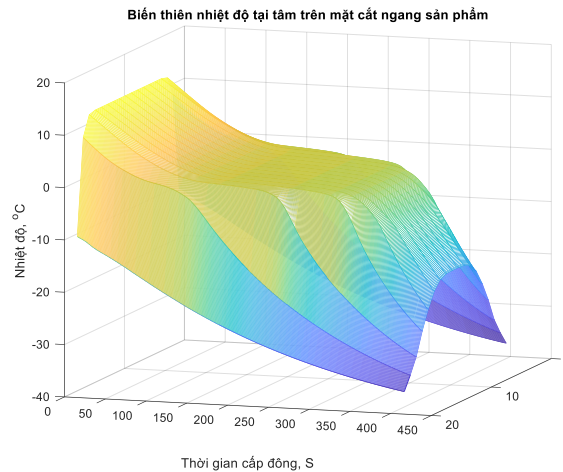
a. Thay đổi nhiệt độ trên tiết diện ngang sau 500s



b. Thay đổi nhiệt độ trên tiết diện ngang sau 1000s



c. Thay đổi nhiệt độ trên tiết diện ngang sau 2000s



d. Biến thiên nhiệt độ tại tâm trên tiết diện ngang của mẫu
Hình 6. Biến thiên nhiệt độ tại tâm sản phẩm trên mặt cắt ngang

Căn cứ kết quả mô phỏng thể hiện trên Hình 6 (a,b,c) cho thấy, sau khoảng thời gian $\tau = 500$ s, bề mặt sản phẩm bắt đầu đông đặc, sau khoảng thời gian $\tau = 1000$ s, toàn bộ sản phẩm đã đông đặc hoàn toàn và thời gian còn lại là quá trình quá lạnh sản phẩm. Đồng thời trên hình 6d cho thấy, quá trình cấp đông thực phẩm nói chung, thịt bò nói riêng được chia thành 03 giai đoạn, giai đoạn (1) làm lạnh sản phẩm, giai đoạn (2) kết đông thực phẩm và giai đoạn (3) quá lạnh thực phẩm đến nhiệt độ bảo quản.

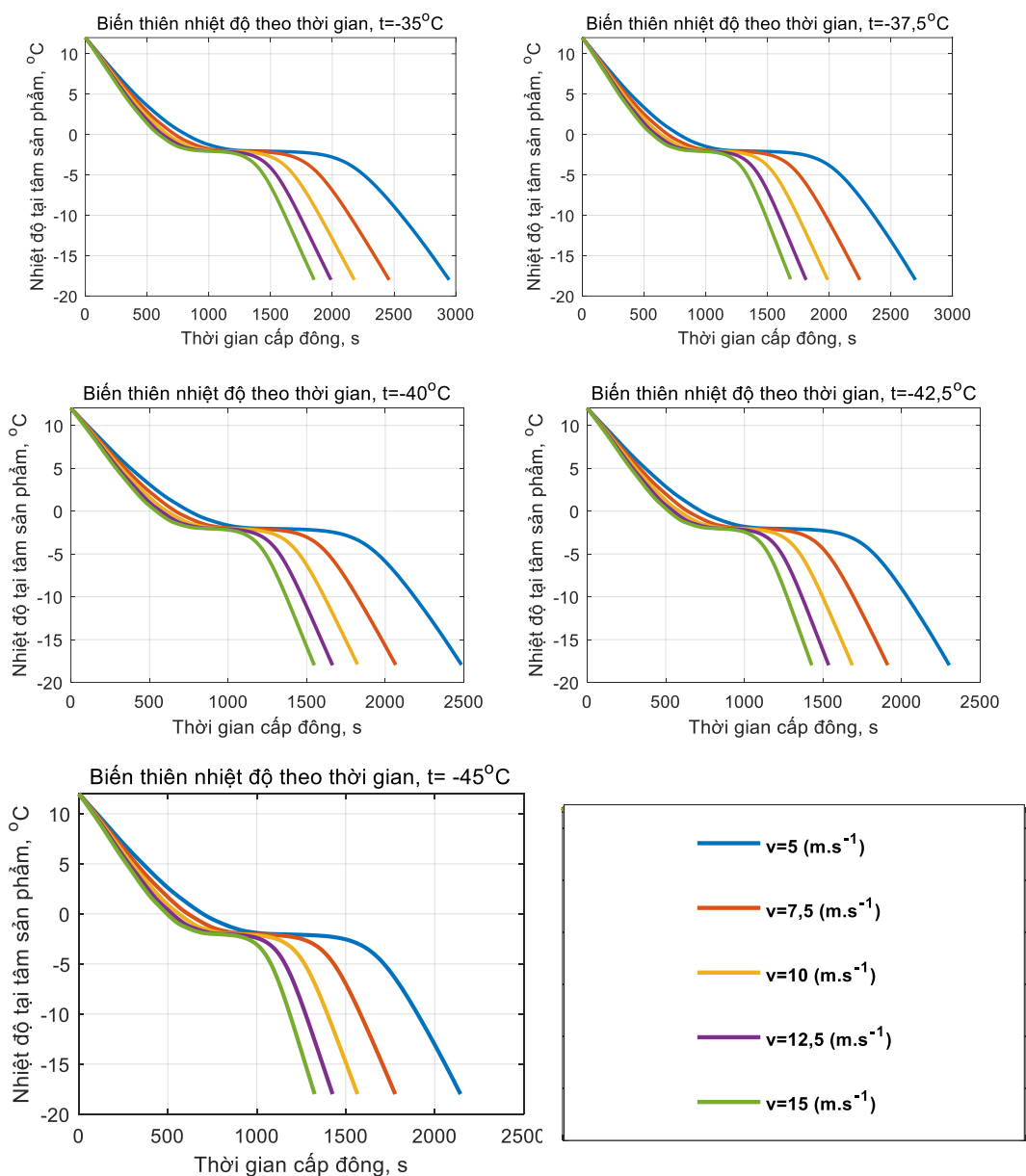
2.2.4. Đánh giá độ tin cậy của kết quả mô phỏng

Chi tiết về phân tích đánh giá độ tin cậy kết quả mô phỏng được trình bày trong [5, 8, 9], theo đó sai lệch tương đối giữa thực nghiệm và kết quả mô phỏng không vượt quá 5%. Tuy nhiên xét đến độ phức tạp của quá trình cấp đông, đặc biệt là sự biến đổi đột ngột của thông số nhiệt vật lý tại điểm kết đông thì sai số tương đối này hoàn toàn chấp nhận được và mô hình lý thuyết mô phỏng quá trình cấp đông thịt bò dạng khối có thể áp dụng.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả mô phỏng quá trình cấp đông

Quá trình mô phỏng được thực hiện ở 25 chế độ khác nhau trên cùng một mẫu sản phẩm có kích thước $(0,15 \times 0,03 \times 0,23)$ m, thời gian để giảm nhiệt độ sản phẩm từ nhiệt độ ban đầu $t_{sp} = 12^\circ\text{C}$ đến nhiệt độ tại tâm $t_{sp} = -18^\circ\text{C}$ được trình bày trong Bảng 2 và Hình 7.



Hình 7. Biến thiên nhiệt độ tại tâm sản phẩm theo thời gian trong quá trình cấp đông ở các chế độ khác nhau

Bảng 2. Kết quả mô phỏng xác định thời gian quá trình cấp đông

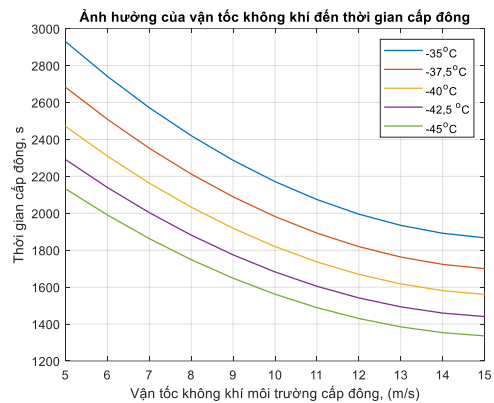
t (°C) \ ω (m/s)	-35	-37,5	-40	-42,5	-45
5	2946	2698	2485	2304	2145
7,5	2459	2248	2067	1913	1778
10	2178	1988	1824	1687	1566
12,5	1989	1814	1665	1537	1426
15	1853	1687	1548	1429	1325

3.2. Đánh giá ảnh hưởng của vận tốc không khí đến thời gian cấp đông

Để đánh giá một cách chi tiết ảnh hưởng của vận tốc và nhiệt độ không khí đến thời gian cấp đông, mối quan hệ của nhiệt độ và vận tốc của không khí môi trường cấp đông được thực hiện hồi quy khoảng vận tốc $\omega = (5-15)$ m/s ở những chế độ nhiệt độ khác nhau trong khoảng $t_e = (-45 - -35)$ °C, kết quả hồi quy được trình bày trong Bảng 3a,b.

Bảng 3a. Mối quan hệ giữa vận tốc và thời gian cấp đông ở các chế độ nhiệt độ khác nhau

Nhiệt độ t_e (°C)	Phương trình hồi quy
-35	$\tau = 4141,4 - 287,726 \times \omega + 9,07429 \times \omega^2$
-37,5	$\tau = 3801,4 - 265,554 \times \omega + 8,36571 \times \omega^2$
-40	$\tau = 3514,2 - 247,84 \times \omega + 7,84 \times \omega^2$
-42,5	$\tau = 3266,4 - 231,783 \times \omega + 7,33714 \times \omega^2$
-45	$\tau = 3048,8 - 217,737 \times \omega + 6,90286 \times \omega^2$



Bảng 3b. Mức độ giảm thời gian cấp đông khi vận tốc không khí thay đổi $\nabla\omega = 1$ (m.s⁻¹)

Nhiệt độ t_e (°C)	Mức độ thay đổi thời gian cấp đông khi vận tốc thay đổi $\nabla\omega = 1$ (m.s ⁻¹)	5	7,5	10	12,5	15
-35	$\nabla\tau = (-287,726 + 18,14858 \times \omega) \nabla\omega$	-197	-152	-106	-61	-15
-37,5	$\nabla\tau = (-265,554 + 16,73142 \times \omega) \nabla\omega$	-182	-140	-98	-56	-15
-40	$\nabla\tau = (-247,84 + 15,68 \times \omega) \nabla\omega$	-169	-130	-91	-52	-13
-42,5	$\nabla\tau = (-231,783 + 14,67428 \times \omega) \nabla\omega$	-158	-122	-85	-48	-12
-45	$\nabla\tau = (-217,737 + 13,80572 \times \omega) \nabla\omega$	-149	-114	-80	-45	-11

Nhận xét: Với mọi tốc độ trong khoảng $\omega = (5 - 15)$ m.s⁻¹, khi tăng vận tốc không khí lạnh sẽ làm thời gian cấp đông giảm đi đáng kể. Tuy nhiên độ giảm thời gian cấp đông không đồng đều trong cùng chế độ nhiệt độ với các chế độ vận tốc khác nhau, cụ thể như sau:

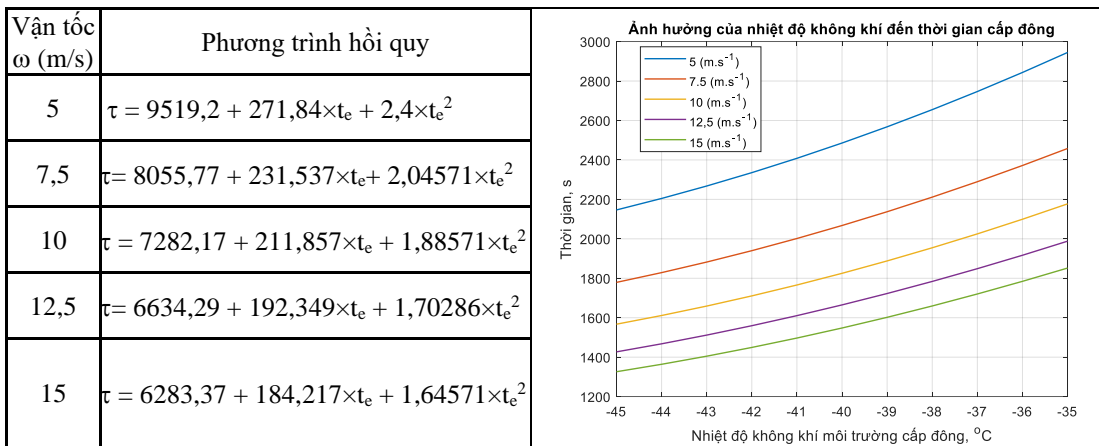
- Trong khoảng vận tốc $\omega = (5 - 7,5) \text{ m.s}^{-1}$, khi tăng vận tốc, độ giảm thời gian trung bình 6,5% khi vận tốc không khí tăng $\nabla\omega=1 \text{ m.s}^{-1}$.
- Trong khoảng vận tốc $\omega=(7,5 - 10) \text{ m.s}^{-1}$, khi tăng vận tốc, độ giảm thời gian trung bình 5,5% khi vận tốc không khí tăng $\nabla\omega=1 \text{ m.s}^{-1}$.
- Trong khoảng vận tốc $\omega=(10 - 12,5) \text{ m.s}^{-1}$, khi tăng vận tốc, độ giảm thời gian trung bình 4,0 % khi vận tốc không khí tăng $\nabla\omega=1 \text{ m.s}^{-1}$.
- Trong khoảng vận tốc $\omega=(12,5 - 15) \text{ m.s}^{-1}$, khi tăng vận tốc, độ giảm thời gian trung bình 2% khi vận tốc không khí tăng $\nabla\omega=1 \text{ m.s}^{-1}$.

Như vậy, chế độ cấp đông ở vận tốc thấp, khi tăng vận tốc độ giảm thời gian cấp đông lớn hơn ở chế độ vận tốc cao.

3.3. Đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ không khí đến thời gian cấp đông

Tương tự phần đánh giá ảnh hưởng của vận tốc không khí đến thời gian cấp đông thịt bò, tác giả sử dụng kết quả xác định thời gian cấp đông ở Bảng 2 để xây dựng phương trình hồi qui thiết lập mối quan hệ giữa thời gian cấp đông với nhiệt độ, kết quả thể hiện trong Bảng 4a,b.

Bảng 4a. Mối quan hệ giữa nhiệt độ và thời gian cấp đông ở các chế độ vận tốc khác nhau



Bảng 4b. Mức độ giảm thời gian cấp đông khi vận tốc không khí thay đổi $\nabla\omega = 1 \text{ (m.s}^{-1}\text{)}$

Vận tốc ω (m/s)	Mức độ thay đổi thời gian cấp đông khi nhiệt độ thay đổi $\nabla T = 1 \text{ K}$	-35	-37,5	-40	-42,5	-45
5	$\nabla\tau = (271,84 + 4,8 \times t_e) \nabla T$	104	92	80	68	56
7,5	$\nabla\tau = (231,537 + 4,09 \times t_e) \nabla T$	88	78	68	58	47
10	$\nabla\tau = (211,857 + 3,77142 \times t_e) \nabla T$	80	70	61	52	42
12,5	$\nabla\tau = (192,349 + 3,40572 \times t_e) \nabla T$	73	65	56	48	39
15	$\nabla\tau = (184,217 + 3,29142 \times t_e) \nabla T$	69	61	53	44	36

Qua kết quả tính toán, tác giả có một số nhận xét sau:

- Với mọi nhiệt độ không khí môi trường cấp đông trong khoảng $t_e = (-45 - -35) ^\circ\text{C}$, khi giảm nhiệt độ không khí lạnh sẽ làm thời gian cấp đông giảm, tuy nhiên mức độ giảm không đồng đều ở các nhiệt độ khác nhau, cụ thể:
 - ✓ Trong khoảng nhiệt độ $t_e = (-37,5 - -35) ^\circ\text{C}$, khi nhiệt độ môi trường cấp đông giảm $\nabla t_e = 1 ^\circ\text{C}$, độ giảm thời gian trung bình 3,2%;
 - ✓ Trong khoảng nhiệt độ $t_e = (-40 - -37,5) ^\circ\text{C}$, khi nhiệt độ môi trường cấp đông giảm $\nabla t_e = 1 ^\circ\text{C}$, độ giảm thời gian trung bình 3%;
 - ✓ Trong khoảng nhiệt độ $t_e = (-42,5 - -40) ^\circ\text{C}$, khi nhiệt độ môi trường cấp đông giảm $\nabla t_e = 1 ^\circ\text{C}$, độ giảm thời gian trung bình 2,85%;
 - ✓ Trong khoảng nhiệt độ $t_e = (-42,5 - -45) ^\circ\text{C}$, khi nhiệt độ môi trường cấp đông giảm $\nabla t_e = 1 ^\circ\text{C}$, độ giảm thời gian trung bình 2,5%.

4. KẾT LUẬN

Bằng Phương pháp phần tử hữu hạn kết hợp với phần mềm Ansys đã giải quyết hữu hiệu bài toán xác định thời gian cấp đông của thịt bò, bài toán biến đổi pha phức tạp mà các phương pháp khác gặp khó khăn.

Kết quả giải bài toán cho phép đánh giá ảnh hưởng của thay đổi nhiệt độ môi trường làm lạnh và ảnh hưởng của thay đổi vận tốc không khí lạnh đến thời gian cấp đông. Trong khoảng vận tốc không khí môi trường cấp đông $\omega = (5 - 15) \text{ m.s}^{-1}$, khi thay tăng vận tốc $\nabla \omega = 1 \text{ m.s}^{-1}$ thời gian cấp đông giảm $\nabla \tau = (6,5 - 2,0)\%$, trong khoảng nhiệt độ không khí môi trường cấp đông $t_e = (-35 - -45) ^\circ\text{C}$ khi giảm nhiệt độ môi trường cấp đông $\nabla t_e = 1\text{K}$, thời gian cấp đông giảm $\nabla \tau = (3,2 - 2,5)\%$.

Các kết quả xác định thời gian cấp đông của thịt bò và các ảnh hưởng trên đến thời gian cấp đông, có thể được sử dụng làm cơ sở dữ liệu cho các nghiên cứu liên quan đến đông lạnh này như tối ưu hóa quá trình chế biến và bảo quản sản phẩm quan trọng này của đất nước.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. <http://consosukien.vn/nga-nh-chan-nuoi-thu-c-tra-ng-va-gia-i-pha-p-pha-t-trie-n-be-n-vu-ng.htm>
2. <https://www.sggp.org.vn/huong-toi-tang-san-luong-thit-bo-trong-nuoc-709445.html>
3. <https://helloworld.com/an-uong-lanh-manh/thong-tin-dinh-duong/thanh-phan-dinh-duong-cua-thit-bo/>
4. Duy K. Hoang, Simon J. Lovatt, Jamal R. Olatunji, James K. Carson - Validated numerical model of heat transfer in the forced air freezing of bulk packed whole chickens, International Journal of Refrigeration **118** (2020) 93-103.
5. Đỗ Hữu Hoàng - Nghiên cứu mô phỏng và xác định chế độ cấp đông cá tra fillet trên băng chuyên IQF, Tạp chí Khoa học Công nghệ và Thực phẩm **12** (1) (2017) 89-99.
6. AE Delgado, D-W Sun - Heat and mass transfer models for predicting freezing processes – A review, Journal of Food Engineering **47** (3) (2001) 157-174.
7. Hoang, D.K., Lovatt, S.J., Olatunji, J.R., Carson, J.K. - Experimental measurement and numerical modelling of cooling rates of bulk-packed chicken drumsticks during forced-air freezing, Int. J. Refrig. **114** (2020) 165-174.
8. Võ Văn Sim, Đỗ Hữu Hoàng - Mô phỏng cấp đông thịt heo nửa con bằng Ansys, Tạp chí Năng lượng nhiệt **156** (2021) 10-16.

9. Huu Hoang Do., T. N Huong Hoang. - Evaluation of factors influencing the freezing time of the Pangasius fillets, RCTEMME 2021, LNME (2022) 12-28.
10. Q.T Pham - Extension to Plank's equation for predicting freezing times of foodstuffs of simple shapes, International Journal of Refrigeration **7** (1984) 377-383.
11. QT Pham - An approximate analytical method for predicting freezing times for rectangular blocks of food stuffs, International Journal of Refrigeration **8** (1985) 43-47.
12. QT Pham - The use of lumped capacitances in the finite-element solution of heat conduction with phase change, International Journal of Heat and Mass Transfer **29** (1986) 285-292.
13. Choi, Y. and Okos, M.R. - Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods, in Food Processing and Process Applications Vol. I Transport Phenomenon, LaMaguer, M. and Jelen, P. (Eds.), Elsevier, New York (1986) 93-101.
14. Schwartzberg, H.G. - Effective heat capacities for the freezing and thawing of food. Journal of Food Science **41** (1) (1976) 152-156.
15. Willix, J., Harris, M.B., and Carson, J.K. - Local surface heat transfer coefficients on a model beef side, Journal of Food Engineering **74** (2006) 561-567.

ABSTRACT

SIMULATION BEEF FREEZING AND EVALUATE THE FACTORS AFFECTING THE FREEZING PROCESS

Do Huu Hoang

Ho Chi Minh City University of Food Industry

Email: *hoangdhuu@hufi.edu.vn*

This paper presents simulation results of beef freezing process by Ansys software. Based on the simulation results to determine freezing time, evaluate influencing factors such as velocity, air temperature on freezing time. With the velocity of air ranging from $\omega = (5 - 15) \text{ m.s}^{-1}$, when the freezing velocity increased by $\nabla\omega = 1 \text{ m.s}^{-1}$ the time reduction was on average $\nabla\tau = (6,5 - 2,0)\%$, With all freezing temperatures ranging from $t_e = (-45 - -35) \text{ }^\circ\text{C}$, when the freezing temperature was reduced by $\nabla t_e = 1 \text{ K}$, the time reduction was on average $\nabla\tau = (3,2 - 2,5)\%$.

Keywords: Beef, heat transfer, phase change, finite element, simulation, temperature, velocity.