

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN THỜI GIAN CẤP ĐÔNG TRONG QUÁ TRÌNH CẤP ĐÔNG CÁ TRA FILLET

Đỗ Hữu Hoàng¹, Huỳnh Bảo Long², Hoàng Thị Nam Hương³.

^{1,2}Trường Đại học Công nghiệp Thực Phẩm TP.HCM, ³Trường Đại học Bách khoa Tp. HCM

Ngày gửi bài: 12/5/2016

Ngày chấp nhận đăng: 06/6/2016

TÓM TẮT:

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến thời gian cấp đông bao gồm: vận tốc không khí, nhiệt độ không khí môi trường cấp đông và chiều dày sản phẩm, từ đó xây dựng phương trình hồi quy thiết lập mối quan hệ giữa thời gian cấp đông với các yếu tố ảnh hưởng làm nền tảng cho việc chọn chế độ cấp đông hợp lý của quá trình cấp đông cá tra fillet.

Từ khóa: thời gian cấp đông, vận tốc không khí, nhiệt độ không khí, chiều dày sản phẩm, phương trình hồi qui. Phương pháp phần tử hữu hạn.

ABSTRACT

This paper presents the results of studies assessing the factors affecting the freezing time includes: air velocity, air temperature and product thickness, thereby building the regression equation establish relationships between freezing time with the factors affecting the foundation for selecting appropriate freezing regime of the frozen pangasius fillet .

Keywords: freezing time, air velocity, air temperature, product thickness, the regression equation. The element method.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cá tra là một trong những mặt hàng xuất khẩu chủ lực của nước ta. Tuy nhiên, trong những năm gần đây sản lượng khai thác liên tục tăng nhưng tổng kim ngạch xuất khẩu không tăng tương ứng do một số sản phẩm phải bán hạ giá vì không đạt yêu cầu chất lượng. Một trong những yếu tố chủ yếu quyết định chất lượng sản phẩm thủy, hải sản sau đánh bắt là công nghệ kết đông và bảo quản lạnh. Về nguyên tắc tốc độ cấp đông càng nhanh, thời gian cấp đông càng ngắn thì chất lượng sản phẩm càng tốt và thời gian bảo quản càng được kéo dài. Tuy nhiên điều này dẫn tới nhiệt độ môi trường cấp đông phải rất thấp, công suất hệ thống lạnh tăng lên, hiệu suất năng lượng giảm đi, giá thành sản phẩm tăng cao [6,15,16]. Do đó, nghiên cứu đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến thời gian cấp đông cá tra fillet có ý nghĩa rất quan trọng trong việc đánh giá chất lượng sản phẩm, công nghệ cấp đông và tiêu hao năng lượng trong quá trình làm lạnh và cấp đông.

2. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Quá trình cấp đông 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 cá (nhiệt dung riêng C, hệ số dẫn nhiệt λ , khối lượng riêng) biến đổi đột ngột, khi đó phương trình vi phân 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, hoặc xác định thời gian cấp đông theo phương pháp giải tích, tuy nhiên, độ chính xác không cao và hầu hết chỉ dừng ở bài toán một chiều [1-3, 10-13].

Trong bài báo này, tác giả sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để giải bài toán dẫn nhiệt có biến đổi pha để xác định thời gian cấp đông ở các chế độ nhau. Trên cơ sở thời gian cấp đông đã được xác định, tác giả tiến hành đánh giá chi tiết các yếu tố ảnh hưởng đến thời gian cấp đông và xây dựng phương trình hồi quy thiết lập mối quan hệ giữa thời gian cấp đông với các yếu tố ảnh hưởng.

2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng khảo sát là các mẫu sản phẩm cá tra dạng hình hộp có các kích thước như bảng 1 [15].

Bảng 1: Thông số hình học cá tra fillet

STT	Khối lượng (g)	Dày δ (mm)	Rộng W(mm)	Dài L
1	85,5÷124,5	10-14	60-80	150-200
2	124,5÷199,5	14-16	80-90	200-250
3	199,5÷256,5	16-18	90-110	250-270
4	256,5-313,5	18-21	110-120	270-300
5	≥ 320	≥ 24	120-130	280-300

Cá tra trong thực tế được cấp đông trên băng chuyên IQF dạng thẳng với miền giới hạn thông số làm việc như sau:

Bảng 2: Miền giới hạn các thông số làm việc của quá trình cấp đông cá tra fillet trên các băng chuyên IQF [15]

STT	Thông số	Giới hạn
1	Nhiệt độ không khí t_e	(-45÷-20)
2	Vận tốc không khí ω	(5÷15)

Áp dụng kết quả tính chất nhiệt vật lý [7] được sử để mô phỏng bài toán dẫn nhiệt không ổn định trong nghiên cứu này.

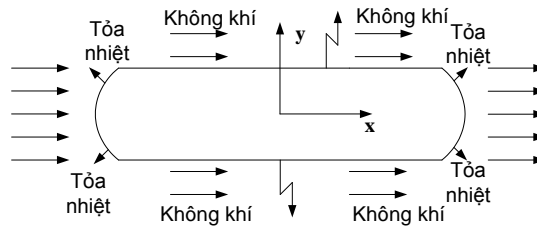
Hệ số tỏa nhiệt bề mặt được tính theo [10]

$$\alpha = 25 \times \omega^{0,6} \left(\frac{W}{m^2 K} \right) \quad (2)$$

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Xây dựng mô hình toán cho bài toán cấp đông

Do các mẫu sản phẩm cá trên có kích thước dài lớn hơn nhiều bề rộng và dày, truyền nhiệt dọc theo chiều dài sản phẩm rất nhỏ có thể bỏ qua, nên coi nhiệt độ chỉ thay đổi theo hai hướng bề rộng (hướng x) và bề dày (hướng y): $T = f(x, y, \tau)$ (hình 1).



Hình 1. Mô tả sơ đồ vị trí xếp đặt sản phẩm

Bài toán trong trường hợp này được mô tả bởi phương trình vi phân chủ đạo và các điều kiện như sau:

$$\left\{ \begin{aligned} &\lambda(T) \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + q_v = \rho(T) C_p(T) \frac{\partial T}{\partial \tau} \\ &\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=0} = \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=0} = 0 \\ &\pm \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)_{x=\pm \delta_x} = \pm \frac{\alpha}{\lambda(T)} (T - T_f)_{x=\pm \delta_x} \\ &\pm \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)_{y=\pm \delta_y} = \pm \frac{\alpha}{\lambda(T)} (T - T_f)_{y=\pm \delta_y} \\ &\tau = 0 \Rightarrow T = T(x, y, 0) = \text{const} \end{aligned} \right. \quad (1)$$

2.2.2. Phương pháp giải

Khi áp dụng phương pháp PTHH, phần tử sẽ được chọn là hai chiều chữ nhật bậc nhất 4 nút, lưới được chia theo cấu trúc đều nhau. Áp dụng phương pháp Galerkin [14] Phương trình ma trận đặc trưng PTHH cho phần tử không có nguồn trong và bức xạ có dạng tổng quát sau:

$$[C] \left\{ \frac{\partial T}{\partial \tau} \right\} + [K] \{T\} = \{f\} \quad (3)$$

Trong đó:

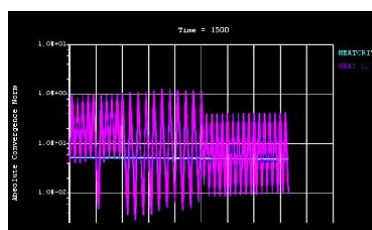
$$[C] = \int_V \rho \cdot c_p [N]^T [N] dV \text{ là ma trận nhiệt dung}$$

$$[K] = \int_V [B]^T [D] [B] dV + \int_S h [N]^T [N] dS \text{ là ma trận nhiệt dẫn.}$$

$$\{f\} = \int_S h T_K [N]^T dS \text{ là véc tơ phụ tải nhiệt.}$$

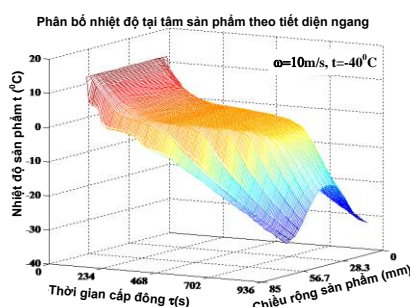
2.2.3. Kết quả

Bằng phần mềm Ansys: Quá trình tính lặp đã thể hiện nghiệm hội tụ tuyệt đối, hình 2.



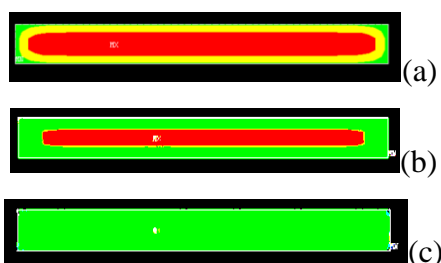
Hình 2. Quá trình lập khi giải bài toán truyền nhiệt bằng phần mềm Ansys

Biến thiên nhiệt độ của cá tra fillet theo thời gian (nhiệt độ tại tam sản phẩm) được thể hiện trong hình 4.



Hình 3. biến thiên nhiệt độ tại tâm sản phẩm

Quá trình biến đổi pha trong mẫu sản phẩm được thể hiện trong hình 4.



Hình 4. Quá trình hình thành và phát triển pha rắn trong mẫu sản phẩm cá

a) Bắt đầu hình thành pha rắn tại mặt ngoài (màu xanh lá), bên trong chưa đông đặc (màu đỏ), vùng đang biến đổi pha (vàng). (b) Pha rắn phát triển, biên giới phân pha di chuyển dần vào sâu trong vật

(c) Pha rắn chiếm toàn bộ vật. Cá đông lạnh hoàn toàn.

Theo [8], với các số liệu đã chọn ở trên, sai số thời gian cấp đông giữa lý thuyết và thực nghiệm chưa đến 3% và sai số trường nhiệt độ chưa đến 1,9(K). Do đó phương pháp này hoàn toàn có thể chấp nhận được để giải bài toán dẫn nhiệt không ổn định cho nhiều chế độ cấp đông khác nhau. Kết quả xác định thời gian cấp đông được trình bày trong bảng 10.

2.3. Đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến thời gian cấp đông

Đối với quá trình cấp đông cá tra fillet, các thông số ảnh hưởng trực tiếp đến thời gian cấp đông cũng như công suất điện hệ thống cấp đông, đó là: nhiệt độ không khí môi trường cấp đông, vận tốc không khí môi trường cấp đông, chiều dày sản phẩm và tính chất nhiệt vật lý của cá tra.

Chính vì vậy phải xây dựng phương trình hồi qui thiết lập mối quan hệ giữa các yếu tố ảnh hưởng đến thời gian cấp đông dựa trên kết quả trình bày ở bảng 10.

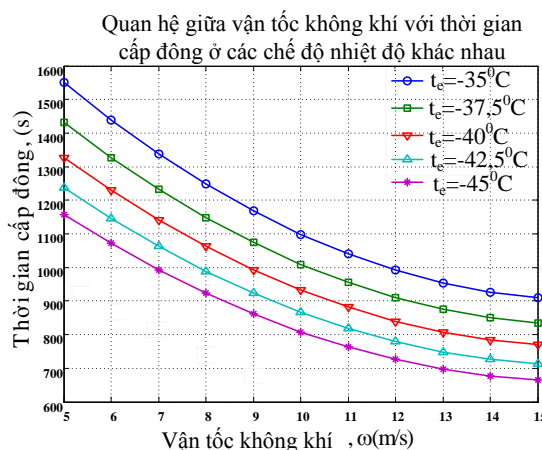
Thực tế khi khảo sát tại nhà máy kích thước cá fillet chủ yếu tập trung ở khối lượng $M=(5\div 7)oz$ tương ứng với kích thước (15x85)mm. Cho nên trong phần nghiên cứu ảnh hưởng của vận tốc và nhiệt độ không khí đến thời gian cấp đông và suất tiêu hao năng lượng tác giả chọn kích thước (15x85)mm để đánh giá.

2.3.1. Ảnh hưởng của vận tốc không khí đến thời gian cấp đông

Để đánh giá một cách chi tiết việc thay đổi tốc độ ảnh hưởng đến thời gian cấp đông, tác giả thực hiện hồi quy mối quan hệ giữa vận tốc không khí với thời gian cấp đông trong khoảng $\omega = (5 \div 15) \text{m/s}$ ở những chế độ nhiệt độ khác nhau trong khoảng $t_e = (-45 \div -35)^\circ\text{C}$, kết quả hồi quy được trình bày trong bảng 3 và hình 5.

Bảng 3: Phương trình hồi quy thể hiện mối quan hệ của vận tốc không khí đến thời gian cấp đông

Nhiệt độ	Phương trình hồi quy
$t_e = -35^\circ\text{C}$	$\tau = 2269 - 169,949 \cdot \omega +$
$t_e = -37,5^\circ\text{C}$	$\tau = 2100 - 158,423 \cdot \omega + 4,93714 \cdot \omega^2$
$t_e = -40^\circ\text{C}$	$\tau = 1951,6 - 148,023 \cdot \omega +$
$t_e = -42,5^\circ\text{C}$	$\tau = 1825,6 - 139,337 \cdot \omega +$
$t_e = -45^\circ\text{C}$	$\tau = 1713,2 - 131,646 \cdot \omega +$



Hình 5: Quan hệ giữa thời gian cấp đông với vận tốc không khí

Ta thấy khi tăng tốc độ không khí sẽ làm thời gian đông kết giảm đi đáng kể. Độ giảm thời gian ứng với độ tăng mỗi m/s ($\nabla\omega = 1 \text{m/s}$) được ghi trong bảng 4.

Bảng 4: Độ giảm thời gian cấp đông $\nabla\tau(s)$ ứng với $\nabla\omega = 1 \text{m/s}$ ở các chế độ khác nhau

Nhiệt độ	Vận tốc không khí, $\omega(\text{m/s})$				
	5	7,5	10	12	15
$t_e = -35^\circ\text{C}$	-117	-91	-64	-38	-11
$t_e = -$	-109	-84	-60	-35	-10
$t_e = -40^\circ\text{C}$	-102	-79	-56	-33	-10
$t_e = -$	-96	-74	-52	-31	-9
$t_e = -45^\circ\text{C}$	-91	-70	-49	-29	-8

Nhận xét:

- Với mọi tốc độ trong khoảng $(5 \div 15) \text{m/s}$, khi tăng tốc độ 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 $\omega = (5 \div 7,5) \text{m/s}$, khi tăng vận tốc, độ giảm thời gian trung bình 7,5% khi vận tốc không khí tăng $\nabla\omega = 1 \text{m/s}$.

✓ Trong khoảng vận tốc $\omega=(7,5\div 10)$ m/s, khi tăng vận tốc, độ giảm thời gian trung bình 5,5% khi vận tốc không khí tăng $\nabla\omega=1\text{m/s}$.

✓ Trong khoảng vận tốc $\omega=(10\div 12,5)$ m/s, khi tăng vận tốc, độ giảm thời gian trung bình 3,9% khi vận tốc không khí tăng $\nabla\omega=1\text{m/s}$.

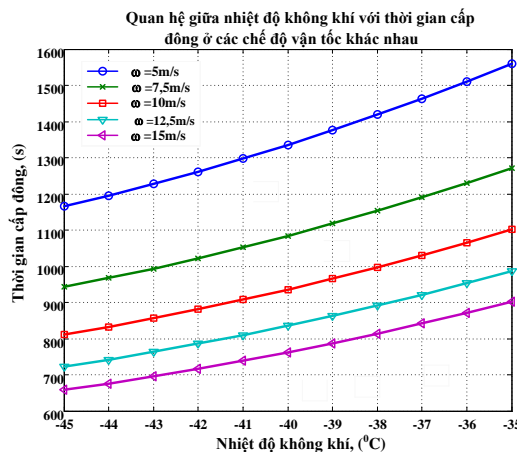
✓ Trong khoảng vận tốc $\omega=(12,5\div 15)$ m/s, khi tăng vận tốc, độ giảm thời gian trung bình 2% khi vận tốc không khí tăng $\nabla\omega=1\text{m/s}$.

2.3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ không khí đến thời gian cấp đông

Tương tự phân đánh giá ảnh hưởng của vận tốc không khí đến thời gian cấp đông cá tra fillet, tác giả sử dụng kết quả xác định thời gian cấp đông ở bảng 10 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 5 và hình 6

Bảng 6: Quan hệ giữa thời gian cấp đông với nhiệt độ môi trường cấp đông

Vận tốc	Phương trình hồi quy
$\omega=5\text{m/s}$	$\tau=4688,26 + 128,166.t_e +$
$\omega=7,5\text{m/s}$	$\tau= 3862,23 + 106,023.t_e +$
$\omega=10\text{m/s}$	$\tau=3414,09 + 94,8686.t_e +$
$\omega=12,5\text{m/s}$	$\tau= 3098,43 + 86,7429.t_e +$
$\omega=15\text{m/s}$	$\tau= 2852,31 + 80,1314.t_e +$



Hình 6: Quan hệ giữa thời gian cấp đông với nhiệt độ không khí

Dựa vào mối quan hệ trình bày trong bảng 5, ta thấy rằng khi giảm nhiệt độ không khí sẽ làm thời gian đông kết giảm. Độ giảm thời gian ứng với mỗi độ ($\nabla t_e = 1^{\circ}\text{C}$) được ghi trong bảng 6.

Bảng 6 Độ giảm thời gian cấp đông $\nabla\tau(s)$ ứng với $\nabla t_e = -1^{\circ}\text{C}$ ở các chế độ vận tốc khác nhau

Vận tốc	-45	-42,5	-40	-	-
$\omega=5\text{m/s}$	28	34	39	45	51
$\omega=7,5\text{m/s}$	24	28	33	37	42
$\omega=10\text{m/s}$	21	25	29	33	37
$\omega=12,5$	19	23	26	30	34
$\omega=15\text{m/s}$	17	21	24	28	31

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 $t_e = (-45 \div -35)^\circ\text{C}$, 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 $t_e = (-37,5 \div -35)^\circ\text{C}$, khi nhiệt độ môi trường cấp đông giảm $\nabla t_e = 10^\circ\text{C}$, độ giảm thời gian trung bình 3,2%

✓ Trong khoảng nhiệt độ $t_e = (-40 \div -37,5)^\circ\text{C}$, khi nhiệt độ môi trường cấp đông giảm $\nabla t_e = 10^\circ\text{C}$, độ giảm thời gian trung bình 3%

✓ Trong khoảng nhiệt độ $t_e = (-42,5 \div -40)^\circ\text{C}$, khi nhiệt độ môi trường cấp đông giảm $\nabla t_e = 10^\circ\text{C}$, độ giảm thời gian trung bình 2,85%

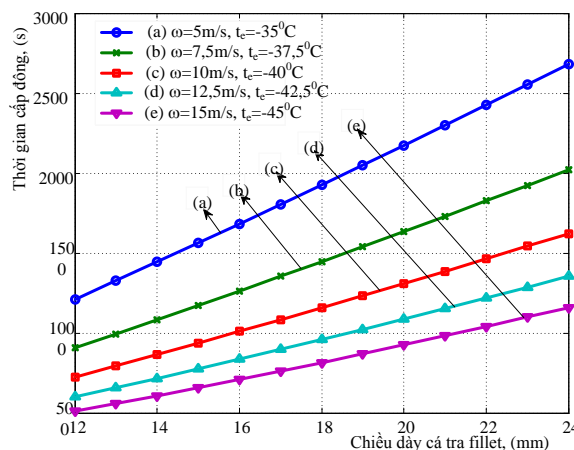
✓ Trong khoảng nhiệt độ $t_e = (-42,5 \div -45)^\circ\text{C}$, khi nhiệt độ môi trường cấp đông giảm $\nabla t_e = 10^\circ\text{C}$, độ giảm thời gian trung bình 2,5%

2.3.3. Ảnh hưởng của chiều dày sản phẩm đến thời gian cấp đông

Trên cơ sở thời gian cấp đông của cá tra fillet đã được xác định ở các chế độ khác nhau cho các kích thước khác nhau. Tương tự như trên, tác giả tiến hành xây dựng phương trình hồi quy giữa thời gian cấp đông với chiều dày sản phẩm ở các chế độ khác nhau, kết quả thể hiện trong bảng 7 hình 7

Bảng 7: Quan hệ giữa thời gian cấp đông với kích thước sản phẩm

CD	Phương trình hồi quy
(a)	$\tau = -90,0571 + 101,271.\delta +$
(b)	$\tau = -71,6857 + 75,7905.\delta +$
(c)	$\tau = -49,6571 + 59,3714.\delta +$
(d)	$\tau = -6,57143 + 44,5143.\delta +$
(e)	$\tau = 14,9429 + 34,7714.\delta +$



Hình 8. Quan hệ giữa thời gian cấp đông với kích thước sản phẩm ở các chế độ cấp đông khác nhau

Từ các phương trình hồi quy, ta tìm được sự phụ thuộc của độ giảm thời gian $\nabla \tau$ vào độ tăng tốc độ $\nabla \delta$ theo hàm trình bày trong bảng 8.

Bảng 8 Độ tăng Thời gian cấp đông $\nabla \tau$ (s) ứng với $\nabla \delta = 1\text{mm}$ ở các chế độ khác nhau

CD	Kích thước sản phẩm, (mm)
----	---------------------------

	12x70	15x85	18x100	21x115	24x125
(a)	116	119	123	126	130
(b)	87	90	93	96	99
(c)	70	72	75	77	80
(d)	57	60	63	66	69
(e)	48	51	54	57	61

Nhận xét

✓ Theo kết quả trình bày trên hình 8 và bảng 8 cho thấy rằng, đối với kích thước sản phẩm càng tăng ở chế độ nhiệt độ cao, vận tốc thấp thời gian cấp đông tăng đáng kể.

✓ Xét trên cùng chế độ nhiệt độ và vận tốc, khi kích thước sản phẩm tăng, thời gian cấp đông tăng với mức độ tăng gần như theo quy luật tuyến tính (hình 8).

✓ Ở nhiệt độ cao, vận tốc thấp, khi chiều dày sản phẩm tăng, thời gian cấp đông tăng nhanh hơn ở nhiệt độ thấp, vận tốc cao (hình 8 và bảng 8).

✓ Ở chế độ ($\omega=5\text{m/s}, t_e=-450\text{C}$) thời gian cấp đông cho sản phẩm có kích thước lớn là không phù hợp. Thời gian cấp đông rất lớn, cụ thể đối với mẫu 24x125mm có thời gian cấp đông $\tau=1975\text{ s}$.

2.3.4. Xây dựng phương trình hồi quy thiết lập mối quan hệ giữa thời gian cấp đông với các yếu tố ảnh hưởng

Như phần đánh giá ở trên chỉ đơn thuần đánh tác động riêng lẻ đến thời gian cấp đông. Để đánh giá một cách tổng quát, cần thiết phải xây dựng phương trình hồi quy đa yếu tố thiết lập mối quan hệ giữa thời gian cấp đông đến các yếu tố ảnh hưởng.

Phần mềm Statgraphics Centurion XV.II được sử dụng để phân tích phương sai và phân tích hồi quy các kết quả, theo quy hoạch trực giao, tác giả đã xây dựng bảng số liệu được mã hóa các yếu tố ảnh hưởng đến thời gian cấp đông với giá trị tương ứng ± 1 (bảng 9)

Bảng 9: Phạm vi biến đổi của các nhân tố độc lập trong quá trình cấp đông

Nhân tố	Nhân tố mã hoá	Đơn vị	Mức nghiên cứu		
			-1	0	1
Vận tốc	X_1	m/s	5	10	15
Nhiệt độ	X_2	$^{\circ}\text{C}$	-45	-40	-35
Chiều dày	X_3	mm	12	18	24

Mô hình toán biểu diễn sự phụ thuộc của thời gian cấp đông vào các nhân tố được mã hóa là một phương trình đa thức bậc hai như sau:

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 \quad (2)$$

Từ kết quả tính toán theo phương án đã thiết kế, bằng chương trình Statgraphics Centurion XV.II phương trình hồi quy mô tả quá trình nghiên cứu dưới dạng biến mã hóa như sau:

Phương trình hồi quy mô tả quá trình nghiên cứu dưới dạng biến mã hóa:

$$\begin{aligned} \tau = & 2586,33 - 185,385.X_1 + 98,7099.X_2 \\ & + 206,536.X_3 - 1,84448.X_1.X_2 \\ & - 3,94533.X_1.X_3 + 2,6368X_2X_3 \\ & + 5,72709X_1^2 + 1,11451X_2^2 \\ & + 0,509841X_3^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Phương trình hồi quy mô tả quá trình nghiên cứu dưới dạng biến thực:

$$\begin{aligned} \tau = & 2586,33 - 185,385.\omega + 98,7099.t_e \\ & + 206,536.\delta - 1,84448.\omega.t_e \\ & - 3,94533.\omega.\delta + 2,6368.t_e.\delta \\ & + 5,72709\omega^2 + 1,11451t_e^2 + 0,509841\delta^2 \end{aligned} \quad (4)$$

Độ tương quan giữa thời gian cấp đông thu được từ phương trình hồi quy và số liệu tính toán $R^2=99,7375\%$. Như vậy có thể kết luận rằng: các mô hình hồi qui đã mô tả đúng với kết quả tính toán.

Bảng 10: Kết quả xác định thời gian cấp đông cá tra fillet

Kích thước (dày×rộng)(mm)	Nhiệt độ t_e (°C)	Vận tốc không khí ω (m/s)				
		5	7,5	10	12,5	15
		Thời gian cấp đông τ (s)				
12x70	-35	1212	985	851	761	695
	-37,5	1119	907	783	699	638
	-40	1039	842	725	647	589
	-42,5	969	784	675	601	547
	-45	909	734	631	561	510
15x85	-35	1561	1272	1102	987	902
	-37,5	1440	1171	1013	905	827
	-40	1335	1084	936	836	763
	-42,5	1245	1009	869	775	706
	-45	1165	942	811	722	658
18x100	-35	1925	1573	1366	1226	1123
	-37,5	1773	1447	1253	1122	1028
	-40	1643	1336	1159	1035	946
	-42,5	1530	1242	1072	959	876
	-45	1430	1158	999	892	815
21x115	-35	2302	1886	1641	1477	1357
	-37,5	2118	1731	1504	1352	1241
	-40	1960	1598	1386	1245	1143
	-42,5	1823	1483	1285	1153	1058
	-45	1703	1382	1197	1073	984
21x115	-35	2682	2204	1924	1737	1601
	-37,5	2465	2021	1761	1589	1464
	-40	2279	1864	1622	1463	1347
	-42,5	2117	1728	1504	1354	1247
	-45	1975	1610	1399	1260	1160

3. Kết luận

✓ Ảnh hưởng của vận tốc không khí

Với mọi tốc độ trong khoảng (5 ÷ 15) m/s, khi tăng tốc độ 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, ở vận tốc thấp khi tăng vận tốc thời gian cấp đông giảm lớn hơn ở vận tốc cao, tại $\omega=5\text{m/s}$ khi tăng $\Delta\omega=1\text{m/s}$ độ giảm thời gian cấp đông 7,5% ($\bar{\Delta\tau} = 103\text{s}$), tại $\omega=15\text{m/s}$ khi tăng $\Delta\omega=1\text{m/s}$ độ giảm thời gian cấp đông 2% ($\bar{\Delta\tau} = 10\text{s}$).

✓ Ảnh hưởng của nhiệt độ không khí

Với mọi nhiệt độ không khí môi trường cấp đông trong khoảng $t_e = (-45 \div -35)^\circ\text{C}$, 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, ở nhiệt độ cao, khi giảm nhiệt độ thời gian cấp đông giảm lớn hơn ở nhiệt độ thấp, tại $t_e = -35^\circ\text{C}$ khi giảm $\Delta t_e = 1^\circ\text{C}$ thời gian cấp đông giảm trung bình 3,2% ($\bar{\Delta\tau} = 42\text{s}$), tại $t_e = -45^\circ\text{C}$ khi giảm $\Delta t_e = 1^\circ\text{C}$ thời gian cấp đông giảm trung bình 2,5% ($\bar{\Delta\tau} = 22\text{s}$).

✓ Ảnh hưởng của kích thước sản phẩm

Khi kích thước cá tra fillet tăng, thời gian cấp đông tăng theo quy luật tuyến tính với độ tăng trung bình khoảng $\bar{\Delta\tau} = 82\text{s}$ khi chiều dày cá tra fillet tăng $\Delta\delta = 1\text{mm}$. đối với loại cá tra fillet có chiều dày $\delta > 24\text{mm}$ thời gian cấp đông rất lớn, không phù hợp cho băng chuyên IQF.

Trên cơ sở thời gian cấp đông ở các chế độ khác nhau cho các kích thước khác nhau, tác giả đã xây dựng được phương trình hồi qui thiết lập mối quan hệ giữa thời gian cấp đông với các yếu tố ảnh hưởng bao gồm: vận tốc không khí, nhiệt độ không khí và chiều dày sản phẩm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. AC Cleland, RL Earle (1977), *A comparison of analytical and numerical methods of predicting the Freezing times of foods*. Journal of Food Science (42), p1390–1395.
- [2]. AC Cleland, R L Earle (1984), Freezing time prediction for different final product temperatures. Journal of Food Science (49), p1230–1232.
- [3]. AC Cleland (1990), *Food Refrigeration Processes – Analysis, Design and Simulation*. New York: Elsevier Applied Science, p 79–152.
- [4]. Bùi Minh Trí (2003), *Mô hình toán kinh tế*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, HN.
- [5]. Đặng Quốc Phú-Trần Thế Sơn-Trần Văn Phú (2004), *Truyền nhiệt*, Nhà xuất bản Giáo Dục.
- [6]. Đỗ Hữu Hoàng, Đặng Quốc Phú. (02/2011). Công nghệ chế biến cá da trơn tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long, tạp chí KH&CN Trường Đại học Công nghiệp Tp. Hồ Chí Minh, tr.54 ÷ tr.60
- [7]. Hoang Huu DO, Phu Quoc DANG, Duy Khanh HOANG (10/2013), Determining the thermal properties of the catfish in freezing and chilling using a dual needle heat-pulse sensor, the 3rd International Conference on Sustainable Energy – “RISE towards a green future”, Ho Chi Minh University of Technology, Vietnam, p.153 ÷ p.159
- [8]. Hoang Huu DO, Phu Quoc DANG, Dung Viet NGUYEN (10/2013), Determining the time to freeze catfish by applying the finite element analysis, the 3rd International

Conference on Sustainable Energy – “RISE towards a green future”, Ho Chi Minh University of Technology, Vietnam, p.160 ÷ p.165.

[9]. Hoàng Đình Tín (1996), Truyền nhiệt và thiết bị trao đổi nhiệt, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.

[10]. Industrial refrigeration handbook, (2004) the Mcgraw-hill Companies. p (567-599).

[11]. Nguyễn Bốn, Trần Quốc Minh (2004), Tính Toán Thời Gian Đông Lạnh Thực Phẩm, tạp chí KH&CN Nhiệt, tr.11÷tr.13.

[12]. N.Scheerlinck, P.Verboven, K.A. Fikiin, J.DeBaerdemaeker, B.M. Nicolai, (2001), Finite element computation of unsteady phase change heat transfer during freezing or thawing of food using a combined enthalpy and Kirchhoff transform Method, Transactions of the ASAE, American of Agricultural Engineers. 44(2), p429-438.

[13]. QT Pham, (1984). Extension to Plank’s equation for predicting freezing times of foodstuffs of simple shapes. International Journal of Refrigeration (7), p.377–383.

[14]. Roland W. Lewis. Fundamentals of the Finite Element Method for Heat and Fluid Flow, pp 154-170.

[15]. Số liệu thu thập từ các nhà máy chế biến thủy hải sản (2010-2012) (Cửu long, Nam việt, Vĩnh Hoàn, Afifex, Công ty Cataco, Công ty Cafatex, Afifex....).

[16]. Cá tra Việt Nam – Câu chuyện giành 99,9% thị phần (07 /8 /2009) [http:// tintuc.xalo.Vn /041800223749 /ca_tra _viet_nam_cau_chuyen_gianh.html](http://tintuc.xalo.Vn/041800223749/ca_tra_viet_nam_cau_chuyen_gianh.html).