

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH TỶ LỆ NƯỚC ĐÓNG BĂNG BÊN TRONG THỰC PHẨM THEO NHIỆT ĐỘ LẠNH ĐÔNG

Nguyễn Tấn Dũng (1), Trịnh Văn Dũng (2), Trần Đức Ba (3)

(1) Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM, (2) Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG-HCM
(3) Trường Đại học Công nghiệp Tp.HCM

(Bài nhận ngày 27 tháng 12 năm 2007, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 03 tháng 07 năm 2008)

TÓM TẮT: Thực tế cho thấy rằng quá trình lạnh đông thực phẩm để bảo quản, kéo dài thời gian sử dụng sẽ đạt hiệu quả nhất khi nhiệt độ nguyên liệu đạt tới nhiệt độ lạnh đông tối ưu, tại đó nước tự do đông băng hoàn toàn, vi sinh vật mất môi trường sống và bị giết chết hoặc bị mất khả năng sinh trưởng và phát triển. Chính vì lý do đó, chúng tôi đã nghiên cứu phương pháp xác định tỷ lệ nước đông băng theo nhiệt độ lạnh đông, thông qua phương pháp này sẽ xác định được nhiệt độ lạnh đông tối ưu, kết quả thu được làm cơ sở cho việc tính toán thiết kế, chế tạo hệ thống lạnh (HTL), hệ thống sấy thăng hoa (HT-STH) chính xác hơn, đồng thời vận hành HTL, HT-STH đạt hiệu quả hơn, năng suất làm việc tốt hơn, tiết kiệm năng lượng rất nhiều và nâng cao tuổi thọ máy nén lạnh trong quá trình sản xuất.

Mặt khác, trong kỹ thuật sấy thăng hoa việc xác định tỉ lệ nước đông băng theo nhiệt độ lạnh đông của vật liệu sấy rất quan trọng, bởi vì thông qua thông số nhiệt - vật lý này sẽ xác định được nhiệt độ lạnh đông tối ưu và nước tự do trong vật liệu ẩm đông băng hoàn toàn, lượng ẩm đông băng này cũng chính là lượng ẩm cần thăng hoa ở giai đoạn sấy thăng hoa, rút ngắn thời gian quá trình sấy.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khi nghiên cứu chế biến lạnh đông thực phẩm để bảo quản, kéo dài thời gian sử dụng hoặc để thực hiện quá trình sấy thăng hoa thì vấn đề đặt ra ở đây: làm thế nào biết được lạnh đông ở nhiệt độ âm nào là tối ưu. Nếu lạnh đông ở nhiệt độ âm quá thấp thì HTL tiêu tốn rất nhiều năng lượng, mặt khác thực phẩm bị giảm chất lượng rất nhiều, còn nếu lạnh đông ở nhiệt độ âm cao thì vi sinh vật vẫn tồn tại và phát triển làm thực phẩm hư hỏng. Thực tế ở các nhà máy đông lạnh thực phẩm người ta lạnh đông đến một nhiệt độ âm nào đó, sau đó lấy mẫu kiểm tra vi sinh nếu vi sinh vật bị giết chết hoặc mất khả năng sinh trưởng và phát triển là đạt, làm như thế không biết được lạnh đông ở nhiệt độ nào là tối ưu. Vì vậy, việc nghiên cứu đưa ra phương pháp xác định tỷ lệ nước đông băng của thực phẩm theo nhiệt độ lạnh đông là rất cần thiết, qua đó sẽ xác định được nhiệt độ lạnh đông tối ưu (*Nhiệt độ lạnh đông tối ưu là ứng với nhiệt độ đó thì nước tự do trong thực phẩm đông băng hoàn toàn, vi sinh vật sẽ bị giết chết hoặc ngừng hoạt động*). Trong sấy thăng hoa nếu vật liệu sấy được làm lạnh đông tại nhiệt độ lạnh đông tối ưu thì kết thúc giai đoạn sấy thăng hoa ẩm tự do hóa hơi hết hoàn toàn, do đó giai đoạn sấy chân không cuối cùng chỉ việc tách ẩm liên kết còn lại. Mặt khác khi biết nhiệt độ lạnh đông tối ưu và tỷ lệ nước đông băng thì việc tính toán thiết kế, chế tạo HTL, TH-STH sẽ chính xác hơn.

2. NỘI DUNG

2.1. Cơ sở khoa học xác định tỷ lệ nước đông băng theo nhiệt độ lạnh đông

2.1.1. Các giả thiết ban đầu khi thiết lập bài toán

- Hàm mục tiêu cần xây dựng có dạng: $\bar{\omega} = f(T_e, T_0, \tau, R)$ (1)

Trong đó: xem các thông số nhiệt– vật lý vật liệu ẩm gần như không đổi.

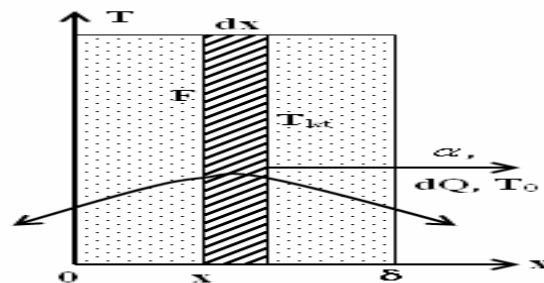
- T_e [$^{\circ}\text{C}$]: nhiệt độ trung bình vật liệu ẩm cần lạnh đông, $T_e \leq T_{kt}$ (nhiệt độ kết tinh của nước trong vật liệu ẩm nghiên cứu: $T_{kt} = -1,15 \div -1,5^{\circ}\text{C}$)

- T_0 [$^{\circ}\text{C}$]: nhiệt độ môi trường lạnh đông.
- $\delta = 2R$ [m]: bề dày của vật liệu ẩm dạng phẳng cần nghiên cứu.
- ρ [kg/m³]: khối lượng riêng của vật liệu ẩm.
- C_{pn} [kJ/(kgK)]: nhiệt dung riêng của ẩm (nước) có trong vật liệu ẩm.
- C_{pb} [kJ/(kgK)]: nhiệt dung riêng của ẩm (nước) đóng băng bên trong vật liệu ẩm.
- C_{pk} [kJ/(kgK)]: nhiệt dung riêng của chất khô tuyệt đối của vật liệu ẩm.
- $\bar{\omega} \in [0,1]$: tỷ lệ nước đóng băng trung bình theo nhiệt độ lạnh đông của vật liệu ẩm.
- $\omega = G_{nb}/G_n \in [0,1]$: tỷ lệ ẩm (nước) đóng băng bn trong vật liệu ẩm.
- G_{nb}, G_n, G [kg]: khối lượng ẩm (nước) đã đóng băng và tổng khối lượng ẩm (nước) có trong vật liệu và khối lượng vật liệu ẩm.
- $W_a = G_n/G \in (0,1)$: tỷ lệ ẩm (hay độ ẩm tương đối) có trong vật liệu và được phân bố đều.

- L [kJ/kg]: ẩn nhiệt đông đặc của nước.
- τ [h]: là thời gian làm lạnh đông vật liệu.

- **Làm lạnh đông tôm sú, tôm bạc, tôm thẻ** với mô hình dạng tấm phẳng, xem hình 1.

- dx : bề dày của lớp nước đóng băng trong vật liệu ẩm khi T_e bắt đầu bé hơn T_{kt} .
- F [m²]: tiết diện trao đổi nhiệt của vật liệu ẩm dạng tấm phẳng.
- α [W/(m².độ)]: hệ số tỏa nhiệt của môi trường làm lạnh đông.
- Điều kiện ban đầu: khi $T_e = T_{kt}$ thì $\tau = 0$, $\omega = 0$; $\bar{\omega} = 0$.
- Điều kiện biên: khi $\tau = 0$ thì $x = 0$; khi $\tau = \tau$ thì $x = \delta$.



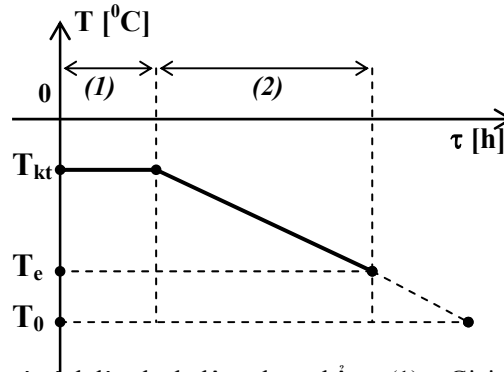
Hình 1. Mô hình xác định tỷ lệ nước đóng băng

2.1.2. Thiết lập bài toán xác định tỷ lệ nước đóng băng

- **Phương trình cân bằng nhiệt:** $dQ = dQ_1 + dQ_2$ (2)

Có nghĩa nhiệt lượng của vật liệu ẩm trao đổi nhiệt với môi trường bằng tổng nhiệt lượng lấy ra để làm kết tinh ẩm bên trong vật liệu ẩm và nhiệt lượng lấy ra để làm giảm nhiệt độ vật liệu ẩm từ nhiệt độ kết tinh T_{kt} xuống nhiệt độ T_e .

Trong đó: xem hình 2.



Hình 2. Đồ thị T- τ của quá trình làm lạnh đông thực phẩm; (1) - Giai đoạn kết tinh $T_{kt} = \text{const}$; (2) - Giai đoạn hạ nhiệt độ từ T_{kt} xuống T_e

- dQ [kJ]: dòng nhiệt trao đổi giữa phân tử lớp băng dx có nhiệt độ T_{kt} với môi trường làm lạnh đông có nhiệt độ T_0 .

- dQ_1 [kJ]: dòng nhiệt lấy ra để làm kết tinh nước trong vật liệu ẩm làm lạnh đông tại điểm T_{kt} .

- dQ_2 [kJ]: dòng nhiệt lấy ra để giảm nhiệt độ vật liệu ẩm làm lạnh đông từ nhiệt độ T_{kt} xuống nhiệt độ T_e .

- $$dQ = \frac{(T_{kt} - T_0) \cdot F \cdot d\tau}{\frac{1}{\alpha} + \frac{x}{\lambda}} \quad (3)$$

- $$dQ_1 = L \cdot dG_{nb} = L \cdot \omega \cdot W_a \cdot dG = L \cdot \omega \cdot W_a \cdot \rho \cdot F \cdot dx \quad (4)$$

- $$dQ_2 = [C_{pn}(1 - \omega) \cdot W_a + C_{pb} \cdot \omega \cdot W_a + C_{pk} \cdot (1 - W_a)] \cdot (T_{kt} - T_e) \cdot \rho \cdot F \cdot dx \quad (5)$$

- Thay (3), (4), (5) vào (2) sẽ thu được:

$$\frac{(T_{kt} - T_0) \cdot F \cdot d\tau}{\frac{1}{\alpha} + \frac{x}{\lambda}} = [L \cdot \omega \cdot W_a + [C_{pn}(1 - \omega) \cdot W_a + C_{pb} \cdot \omega \cdot W_a + C_{pk} \cdot (1 - W_a)] \cdot (T_{kt} - T_e)] \cdot \rho \cdot F \cdot dx \quad (6)$$

- Biến đổi (6) rồi lấy tích phân hai vế sẽ thu được:

$$\begin{aligned} & [L \cdot \omega \cdot W_a + [C_{pn}(1 - \omega) \cdot W_a + C_{pb} \cdot \omega \cdot W_a + C_{pk} \cdot (1 - W_a)] \cdot (T_{kt} - T_e)] \cdot \rho \cdot \delta \cdot \left(\frac{1}{\alpha} + \frac{\delta}{2 \cdot \lambda} \right) \\ & = (T_{kt} - T_0) \cdot \tau \end{aligned} \quad (7)$$

- Biến đổi (7) và thay $\delta = 2R$ sẽ thu được :

$$\omega = \frac{\frac{\alpha \cdot \tau}{2 \cdot \rho \cdot R} \cdot \frac{(T_{kt} - T_0)}{1 + Bi} - [C_{pn} \cdot W_a + C_{pk} \cdot (1 - W_a)] \cdot (T_{kt} - T_e)}{L \cdot W_a + (C_{pb} - C_{pn}) \cdot W_a \cdot (T_{kt} - T_e)} \quad (8)$$

Đặt: $A = 3,6\alpha/(2.p)$; hệ số 3,6 chuyển đổi từ $\tau[h] \rightarrow \tau[s] \vee Q[J] \rightarrow Q[kJ]$

$B = C_{pn}.W_a + C_{pk}.(1 - W_a)$; $C = L.W_a$; $D = (C_{pb} - C_{pn}).W_a$; $Bi = \alpha.R/\lambda$

$$\text{Nhu vậy (8) sẽ viết gọn lại : } \omega = \frac{\frac{A.\tau.(T_{kt} - T_0)}{R.(1 + Bi)} - B.(T_{kt} - T_e)}{C + D.(T_{kt} - T_e)} \quad (9)$$

Khi ta giữ $T_0 = \text{const}$; $T_{kt} = \text{const}$; $R = \text{const}$; xem $\tau = f(T)$, lúc đó hàm ω được xác định như sau:

$$\omega(T) = \frac{\frac{A.(T_{kt} - T_0)}{R.(1 + Bi)}.f(T) - B.(T_{kt} - T)}{C + D.(T_{kt} - T)} \quad (10)$$

Trong đó: $T [^{\circ}C]$: nhiệt độ vật liệu ẩm lạnh đông, T chạy từ T_{kt} đến T_e . Như vậy, tỷ lệ nước đóng băng trung bình theo nhiệt độ của vật liệu ẩm lạnh đông được xác định:

$$\bar{\omega} = \frac{1}{T_{kt} - T_e} \cdot \int_{T_e}^{T_{kt}} \omega(T) dT = \frac{1}{T_{kt} - T_e} \cdot \int_{T_e}^{T_{kt}} \frac{\frac{A.(T_{kt} - T_0)}{R.(1 + Bi)}.f(T) - B.(T_{kt} - T)}{C + D.(T_{kt} - T)} \cdot dT \quad (11)$$

$$\bar{\omega} = \frac{A.(T_{kt} - T_0)}{R.(1 + Bi).(T_{kt} - T_e)} \cdot \int_{T_e}^{T_{kt}} \frac{f(T).dT}{C + D.(T_{kt} - T)} - \frac{B}{D} + \frac{B.C}{D^2.(T_{kt} - T_e)} \cdot \ln \left| 1 + \frac{D}{C} (T_{kt} - T_e) \right| \quad (12)$$

Công thức (12) là cơ sở xác định tỷ lệ nước đóng băng trung bình theo nhiệt độ vật liệu lạnh đông.

Nếu hàm $\tau = f(T)$ theo quy luật $\tau = f(T) = a_1 T^2 + b_1 T + c_1$, thay vào (12) sẽ xác định được:

$$\begin{aligned} \bar{\omega} = & -\frac{B}{D} + \frac{B.C}{D^2.(T_{kt} - T_e)} \cdot \ln \left| 1 + \frac{D}{C} (T_{kt} - T_e) \right| \\ & + \frac{A.(T_{kt} - T_0)}{R.(1 + Bi).(T_{kt} - T_e)} \cdot \left[-\frac{a_1}{2D} (T_{kt}^2 - T_e^2) - \left[\frac{b_1}{D} + \frac{a_1}{D^2} (C + DT_{kt}) \right] (T_{kt} - T_e) \right. \\ & \left. + [c_1 + (C + DT_{kt}) \cdot \left[\frac{b_1}{D} + (C + DT_{kt}) \frac{a_1}{D^2} \right]] \cdot \frac{1}{D} \cdot \ln \left| 1 + \frac{D}{C} (T_{kt} - T_e) \right| \right] \quad (13) \end{aligned}$$

Nếu hàm $\tau = f(T)$ theo quy luật hàm mũ $\tau = f(T) = \exp(a_1 T + b_1)$, khai triển thành

chuỗi Mac Laurin $\tau = f(T) = B_1 \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(a_1.T)^n}{n!}$ thay vào (12) rồi tính tương tự.

$$\bar{\omega} = \frac{A.(T_{kt} - T_0)}{R.(1 + Bi).(T_{kt} - T_e)} \cdot \int_{T_e}^{T_{kt}} \frac{B_1 \cdot \left[\sum_{n=0}^{\infty} \frac{(a_1.T)^n}{n!} \right] \cdot dT}{C + D.(T_{kt} - T)} - \frac{B}{D} + \frac{B.C}{D^2.(T_{kt} - T_e)} \cdot \ln \left| 1 + \frac{D}{C} (T_{kt} - T_e) \right| \quad (14)$$

Vấn đề quan trọng ở đây là qua thực nghiệm phải xác định hàm quan hệ giữa thời gian – nhiệt độ của vật liệu lạnh đông $\tau = f(T)$ và các hệ số $a_1, b_1, c_1, \dots$ vì ứng với mỗi loại vật liệu làm lạnh đông khác nhau sẽ có hàm $\tau = f(T)$ biến đổi theo quy luật khác nhau, điều đó phụ thuộc rất nhiều vào tính chất nhiệt – vật lý, sau đó thay vào (13) hoặc (14) sẽ tính được $\bar{\omega}$.

Trước khi xác định $\bar{\omega}$ cần phải xác định các đại lượng nhiệt – vật lý: A, B, C, D, R, chuẩn số không thứ nguyên $Bi = \alpha.R/\lambda$ và T_e, T_0 bằng thực nghiệm, đồng thời xây dựng hàm số $\tau = f(T)$ quan hệ giữa nhiệt độ vật liệu [$^{\circ}\text{C}$] – thời gian [h] lạnh đông từ số liệu thực nghiệm đo đạc được.

2.2. Thiết bị dụng cụ, nguyên vật liệu và phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Thiết bị dụng cụ nghiên cứu

Thiết bị, dụng cụ thí nghiệm sử dụng để thực nghiệm xác định các thông số như $\tau[h]$: thời gian làm lạnh đông, T_c, T_f, T_0 [$^{\circ}\text{C}$]: nhiệt độ tâm, bề mặt của vật liệu lạnh đông và nhiệt độ môi trường lạnh đông bao gồm các dụng cụ, thiết bị sau:

Ba bộ hiển thị nhiệt độ Dual Digital Thermometer, made in Japan, đo nhiệt độ.

Đồng hồ đo thời gian Casio, made in Japan. Hệ thống lạnh (HTL) hai cấp nén (chúng tôi tự tính toán thiết kế, chế tạo DL-3), xem hình 3.



Hình 3. Hệ thống lạnh 2 cấp nén DL-3 chạy cho tủ đông gió (-50 ÷ -45) $^{\circ}\text{C}$

2.2.2. Nguyên vật liệu nghiên cứu

Bảng 1. Thành phần hoá học cơ bản của nguyên liệu

Loại tôm	Nước (%)	Protein thô (%)	Lipit (%)	Tro (%)	Vitamine nhóm A, B, C (mg%)
Tôm sú	$75,22 \pm 0,55$	$21,04 \pm 0,48$	$1,83 \pm 0,06$	$1,91 \pm 0,05$	$170 \pm 0,045$
	(72,31 ÷ 77,29)	(19,25 ÷ 23,45)	(1,62 ÷ 2,12)	(1,91 ÷ 2,21)	(165,7 ÷ 173,4)
Tôm bạc	$76,49 \pm 0,55$	$19,89 \pm 0,5$	$1,76 \pm 0,06$	$1,92 \pm 0,05$	$134 \pm 0,045$
	(74,31 ÷ 77,30)	(19,25 ÷ 22,63)	(1,52 ÷ 2,09)	(1,89 ÷ 2,11)	(130,6 ÷ 165,9)
Tôm thẻ	$75,34 \pm 0,63$	$20,04 \pm 0,56$	$1,84 \pm 0,06$	$2,09 \pm 0,05$	$167 \pm 0,045$
	(72,31 ÷ 78,75)	(18,98 ÷ 23,72)	(1,71 ÷ 2,08)	(1,95 ÷ 2,35)	(156,3 ÷ 179,5)

Đối tượng nghiên cứu là thủy hải sản nhóm giáp xác như: tôm sú, tôm bạc và tôm thẻ ... Hiện nay công nghệ nuôi tôm đã phát triển mạnh mẽ trên toàn quốc. Có được sự phát triển đó là nhờ quá trình nghiên cứu của các nhà khoa học trong nước, đồng thời tiếp thu những thành tựu khoa học tiên tiến của thế giới. Đó chính là nền tảng cho sự phát triển toàn diện và bền vững của ngành nuôi tôm tại Việt Nam, tạo ra lợi ích xã hội, kinh tế rất lớn cho Quốc Gia. Tôm làm nghiên cứu có kích thước: nửa bể dày $R = 6.10^{-3}m$; chiều dài $l = (70 \div 75).10^{-3}m$. Thành phần hoá học cơ bản của nguyên liệu tôm sú, tôm bạc, tôm thẻ được phân tích tại Trung Tâm Phân Tích Hóa Học và Thực Phẩm 79 – Trương Định, Q.1, Tp.HCM trình bày ở *bảng 1*.

2.3. Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp nghiên cứu bằng thực nghiệm và bằng phương pháp xây dựng mô hình toán.

- Để xác định tỷ lệ nước đóng băng theo nhiệt độ lạnh đông của vật liệu chúng tôi đã thiết kế, chế tạo HTL hai cấp nén DL-3, nhiệt độ âm $(-50 \div -45)^{\circ}C$ và thực nghiệm trên HTL DL-3 này. Dùng đồng hồ xác định thời gian làm lạnh đông, dùng ba bộ cảm biến và hiển thị nhiệt độ để xác định: nhiệt độ môi trường làm lạnh đông (T_0), nhiệt độ bề mặt (T_f) và nhiệt độ tâm (T_c) của vật liệu làm lạnh đông, lúc đó nhiệt độ trung bình của vật liệu ẩm ở dạng tấm phẳng được xác định theo công thức:

$$T = T_e = \frac{1}{\delta} \int_0^{\delta} T(x) dx = 0,5.(T_f + T_c) [^{\circ}C] \quad (15)$$

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Kết quả nghiên cứu

Xác định các đại lượng vật lý: Từ kết quả đo đạc bằng thực nghiệm và *tham khảo tài liệu (TKTL)* [1], [2] sẽ tính được các thông số nhiệt - vật lý của vật liệu làm lạnh đông, *xem kết quả ở bảng 2*.

Bảng 2. Các đại lượng nhiệt – vật lý của nguyên vật liệu nhóm giáp xác

Thông số Nguyên liệu	T_{kt} [$^{\circ}C$]	R [m]	α [W/(m ² .K)]	λ [W/(m.K)]	ρ [kg/m ³]	Bi	A [Wm/(kgK)]	B [kJ/(kgK)]	C [kJ/kg]	D [kJ/(kgK)]
Tôm sú	-1,21	6.10^{-3}	8,1	0,543	787,5	0,09	$18,515.10^{-3}$	3,4645	250,2	-1,572
Tôm bạc	-1,18	6.10^{-3}	8,1	0,527	789,2	0,092	$18,475.10^{-3}$	3,4501	248,53	-1,561
Tôm thẻ	-1,17	6.10^{-3}	8,1	0,561	788,4	0,086	$18,493.10^{-3}$	3,4589	249,07	-1,563

Bảng 3. Các thông số T_e và τ xác định bằng thực nghiệm của tôm sú.

$T_e, [h]$	$\tau, [h]$	ϖ	$\varpi . 100$
- 1,2 1	0	0	0
- 3	0,2	0,046	4,599976
- 6	0,77	0,15585	15,585
- 8	1,2	0,230843	23,08429
- 12	1,75	0,385242	38,52419
- 16	2,65	0,545827	54,58268
- 20	3,17	0,712988	71,29882
- 24	3,75	0,887153	88,71529
- 25	4,0323	0,931842	93,18422
- 26	4,2046	0,977006	97,70058
- 26,5	4,29075	0,999768	99,9768

Bảng 4. Các thông số T_e và τ xác định bằng thực nghiệm của tôm bạc

$T_e, [^{\circ}C]$	$\tau, [h]$	ϖ	$\varpi . 100$
- 1,18	0	0	0
- 3	0,197	0,031256	3,125577
- 6	0,698	0,142289	14,22891
- 8	1,199	0,218089	21,80889
- 12	1,6899	0,374147	37,41466
- 16	2,649	0,536453	53,64534
- 20	3,18	0,705404	70,5404
- 24	3,756	0,881429	88,14293
- 25	4,0317	0,926595	92,65954
- 26	4,205	0,972241	97,22408
- 26,4	4,27432	0,990635	99,0635

Bảng 5. Các thông số T_e và τ xác định bằng thực nghiệm của tôm thẻ

$T_e, [^{\circ}C]$	$\tau, [h]$	ϖ	$\varpi . 100$
- 1,17	0	0	0
- 3	0,21	0,042049	4,204927
- 6	0,705	0,152706	15,27056
- 8	1,23	0,228248	22,82479
- 12	1,708	0,383776	38,37756
- 16	2,67	0,545531	54,55313
- 20	3,189	0,713908	71,39082
- 24	3,76	0,889336	88,9336
- 25	4,047	0,934349	93,43489
- 26	4,2204	0,979839	97,98394
- 26,3	4,27242	0,993581	99,35809

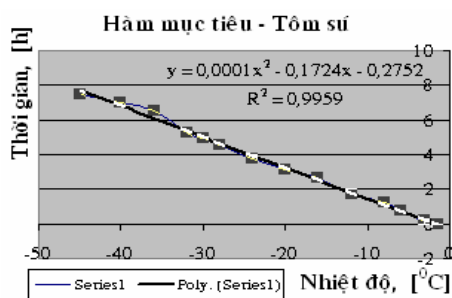
Xây dựng hàm $\tau = f(T)$: Khi xây dựng hàm $\tau = f(T)$ quan hệ giữa thời gian (τ) với nhiệt độ vật liệu (T_e) trong quá trình lạnh đông ở điều kiện $T_0 = -45^\circ\text{C} = \text{const}$, phải tiến hành thực nghiệm trên HTL hai cấp nén DL-3 để xác định được T và τ , xem kết quả đo đạc tại cột 1 [T_e], cột 2 [τ] ở bảng 3, 4, 5.

Điểm đóng băng (T_{kt}) của tôm sú, tôm bạc và tôm thẻ xác định bằng thực nghiệm, xem bảng 2 (phương pháp xác định điểm đóng băng của nước trong vật liệu ẩm với các thông số nhiệt - vật lý sẽ được công bố ở lần tiếp theo). Từ số liệu thực nghiệm ở bảng 3, 4, 5 chúng tôi xây dựng hàm thực nghiệm $\tau = f(T)$ trên phần mềm Excel, xem hình 4, 5, 6. Rõ ràng quan hệ thời gian τ và nhiệt độ vật liệu T_e trong quá trình làm lạnh đông thay đổi theo quy luật hàm đa thức parabol, các hệ số: a_1 , b_1 , c_1 được xác định, xem bảng 6. Sau đó thay vào công thức (13) để tính toán xác định tỷ lệ nước đóng băng $\bar{\omega}$ [%] theo nhiệt độ lạnh đông của vật liệu T_e [$^\circ\text{C}$].

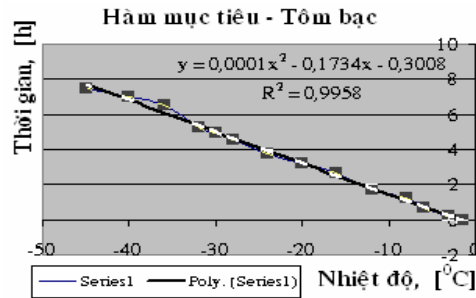
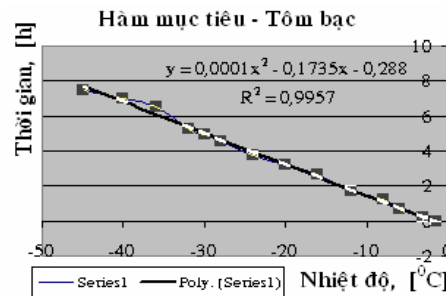
Bảng 6. Hàm thực nghiệm $\tau = f(T)$ và các hệ số a_1 , b_1 , c_1 của tôm sú, tôm bạc và tôm thẻ

Vật liệu lạnh đông	Hàm thực nghiệm $\tau = f(T)$	Các hệ số	R2
Tôm sú	$\tau = f(T) = 0,0001.T^2 - 0,1724.T - 0,2752$	$a_1 = 0,0001$; $b_1 = -0,1724$; $c_1 = -0,2752$	0,9959
Tôm bạc	$\tau = f(T) = 0,0001.T^2 - 0,1734.T - 0,3008$	$a_1 = 0,0001$; $b_1 = -0,1734$; $c_1 = -0,3008$	0,9958
Tôm thẻ	$\tau = f(T) = 0,0001.T^2 - 0,1735.T - 0,2880$	$a_1 = 0,0001$; $b_1 = -0,1735$; $c_1 = -0,2880$	0,9957

Xác định tỷ lệ nước đóng băng: viết chương trình trên EXCEL hoặc MATLAB cho công thức (13) chạy trên máy tính sẽ cho kết quả tính toán xem tại cột 3 [$\bar{\omega}$] và cột 4 [$\bar{\omega}.100$] ở bảng 3, 4, 5.



Hình 4. Hàm $\tau = f(T)$ tôm sú

Hình 5. Hàm $\tau = f(T)$ tôm bạcHình 6. Hàm $\tau = f(T)$ tôm thẻ

3.2. Bàn luận

Qua thực nghiệm rất nhiều lần với đối tượng nhóm giáp xác (*tôm sú, tôm bạc và tôm thẻ*) trên HTL DL-3 chạy cho tủ cấp đông gió, chúng tôi đã nhận thấy rằng: qui luật thay đổi giữa thời gian τ [h] và nhiệt độ vật liệu T_c [°C] trong quá trình làm lạnh đông là qui luật hàm đa thức parabol: $\tau = f(T) = a_1T^2 + b_1T + c_1$ với độ chính xác $R^2 > 99,5\%$ chứ không phải theo qui luật hàm mũ. Vì vậy, để xác định tỷ lệ nước đóng băng theo nhiệt độ lạnh đông của vật liệu nhóm này là bằng *công thức (13)* đã được thiết lập.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, tỷ lệ nước đóng băng không chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ, thời gian lạnh đông, hệ số tỏa nhiệt của môi trường (tùy thuộc vào tủ cấp đông gió, cấp đông tiếp xúc, cấp đông nhanh) mà còn phụ thuộc vào bề dày, tính chất nhiệt – vật lý của vật liệu, xem *công thức (13)*.

Một số công trình nghiên cứu của Heiss đã công bố: đối với vật liệu (75÷79,5)% ẩm ở dạng keo xốp trong đó có 6,1% ẩm tự do qua lại màng tế bào thì kết tinh ở $t = -1 \div -1,5^\circ\text{C}$; 65,5% ẩm tự do nằm trong tế bào thì kết tinh ở $t = -1,5 \div -20^\circ\text{C}$; 7,5% ẩm liên kết thì kết tinh ở $t = -20 \div -65^\circ\text{C}$ TLTK [3], [4] điều đó chứng tỏ phương pháp xác định tỉ lệ nước đóng băng theo nhiệt độ lạnh đông ở trên có độ tin cậy rất cao.

Một vấn đề cần nói ở đây, nếu khi ta thực hiện quá trình lạnh đông bằng HTL cấp đông nhanh IQF lúc đó nhiệt độ môi trường làm lạnh đông âm rất sâu $T_0 = (-70 \div -60)^\circ\text{C}$, hệ số tỏa nhiệt thay đổi, độ biến thiên nhiệt độ theo thời gian xảy ra rất nhanh, có nghĩa: T_f, T_c giảm nhanh, $T_e = 0,5.(T_f + T_c)$ giảm nhanh theo thời gian lạnh đông. Vì vậy làm cho đường parabol $\tau = f(T) = a_1T^2 + b_1T + c_1$ có độ dốc hơn, hệ số a_1 tăng, trong khi đó T_0 giảm, do đó tỷ lệ nước đóng băng gần như không thay đổi, TLTK [2].

▪ Từ kết quả nghiên cứu này chúng tôi cung cấp cho các nhà kỹ thuật – công nghệ phương pháp tính toán thiết kế, chế tạo thiết bị đo tỷ lệ nước đóng băng theo nhiệt độ lạnh đông của vật liệu ẩm mà hiện nay trên thị trường chưa có và đóng góp một phần phát triển cho ngành phân tích, đồng thời giúp cho việc tính toán thiết kế, chế tạo các HTL làm lạnh đông sản phẩm và các HT-STH một cách tính xác hơn, giúp cho việc xác định chế độ công nghệ sấy thăng hoa dễ dàng hơn.

4.KẾT LUẬN

Hiện nay, các nhà máy, xí nghiệp chế biến lạnh đông thực phẩm thông thường lạnh đông ở nhiệt độ $(-45 \div -30)^{\circ}\text{C}$ tùy theo loại sản phẩm, sau đó *lấy mẫu và kiểm tra vi sinh, thấy vi sinh bị giết chết hoặc mất khả năng sinh trưởng và phát triển là đạt*, TLTk [1], [2], [4], [5] và không biết được lạnh đông đến nhiệt độ nào là tối ưu. Vì thế việc nghiên cứu đưa ra phương pháp xác định tỷ lệ nước đóng băng theo nhiệt độ lạnh đông là một giải pháp về mặt công nghệ rất thiết thực, qua đó sẽ xác định nhiệt độ lạnh đông tối ưu, tại đó nước tự do đóng băng hoàn toàn vi sinh vật mất môi trường sống sẽ bị giết chết.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, đối với nhóm giáp xác (*tôm sú, tôm bạc và tôm thẻ*) thì lạnh đông ở nhiệt độ môi trường $T_0 = -45^{\circ}\text{C}$, khi đó nhiệt độ lạnh đông tối ưu của vật liệu ẩm $T_e[^{\circ}\text{C}]$ nhóm giáp xác dao động trong khoảng như sau:

- **Đối với tôm sú:** $T_e = (-25 \div -22,5)^{\circ}\text{C}$ lúc đó: $T_c = (-18 \div -15)^{\circ}\text{C}$, $T_f = (-32 \div -30)^{\circ}\text{C}$ là đạt, khi đó tỷ lệ nước đóng băng $\bar{\omega} = (79,98 \div 93,18)\%$ xem bảng 3, và nước tự do đóng băng hoàn toàn.

- **Đối với tôm bạc:** $T_e = (-25,5 \div -23)^{\circ}\text{C}$ lúc đó: $T_c = (-18,5 \div -16)^{\circ}\text{C}$, $T_f = (-32,5 \div -30)^{\circ}\text{C}$ là đạt, khi đó tỷ lệ nước đóng băng $\bar{\omega} = (79,87 \div 92,98)\%$ xem bảng 4, và nước tự do đóng băng hoàn toàn.

- **Đối với tôm thẻ:** $T_e = (-25 \div -22,8)^{\circ}\text{C}$ lúc đó: $T_c = (-18 \div -15,8)^{\circ}\text{C}$, $T_f = (-32 \div -29,8)^{\circ}\text{C}$ là đạt, khi đó tỷ lệ nước đóng băng $\bar{\omega} = (79,86 \div 93,43)\%$ xem bảng 5, và nước tự do đóng băng hoàn toàn.

RESEARCHING THE METHOD TO DETERMINE THE RELATION BETWEEN ICE RATIO AND TEMPERATURE OF FREEZING

Nguyen Tan Dung⁽¹⁾, Trinh Văn Dung⁽²⁾, Tran Duc Ba⁽³⁾

(1)Ho Chi Minh City of University Technical Education

(2) University of Technology, VNU-HCM, (3) University of Industry Ho Chi Minh City

ABSTRACT: *In the fact that freezing processing will be the most effective, when the temperatures of materials reach to the optimal temperatures of freezing. At that time free water of materials will be completely frozen and microorganism will be killed. How to determine free water of materials freezing completely in the purpose of our research, we researched the method to determine the relation between ice ratio and temperature of freeze.*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [2]. Nguyễn Trọng Căn, Đỗ Minh Phụng, *Công nghệ chế biến thực phẩm thủy hải sản Tập 1, 2*, NXB Nông Nghiệp, (1997).
- [3]. Nguyễn Tấn Dũng, Trần Đức Ba, *Công nghệ lạnh Tập 1*, NXB ĐHQG Tp.HCM, (2007).
- [4]. Phạm Văn Bôn, *Truyền nhiệt và Thiết bị truyền nhiệt Tập 5, Quyển 1, 2*, NXB ĐHQG, (2004).
- [5]. Gebhart B., *Heat Conduction and Mass Diffusion*, McGraw – Hill, New York, (1992).
- [6]. Holman J., *Heat Transfer*, McGraw – Hill, New York, (1992).