

# THIẾT KẾ, CHẾ TẠO TỦ CẤP ĐÔNG PHỤC VỤ SẤY THĂNG HOA ĐÔNG TRÙNG HẠ THẢO VÀ THỦY SẢN

## DESIGN AND MANUFACTURE THE FREEZER FOR FREEZE DRYING CORDYCEPS MILITARIS AND SEAFOODS

Nguyễn Văn Phúc<sup>1\*</sup>, Nguyễn Nguyễn An<sup>2</sup>, Trần Thanh Bình<sup>3</sup>

<sup>1</sup> NCS Đại học Bách khoa Hà Nội,

Đơn vị công tác Trường Đại học Nha Trang

<sup>2</sup> Đại học Bách khoa Hà Nội

<sup>3</sup> Hội Khoa học Kỹ thuật lạnh và Điều hòa không khí Việt Nam

Tác giả liên hệ: Nguyễn Văn Phúc; Email: phucnv@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 23/09/2024; Ngày phản biện thông qua: 20/10/2024; Ngày duyệt đăng: 10/12/2024

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo tủ cấp đông công suất nhỏ để phục vụ quá trình sấy thăng hoa đông trùng hạ thảo và các sản phẩm thủy sản có giá trị cao. Kết quả nghiên cứu đã chế tạo được tủ cấp đông với các thông số cơ bản: năng suất đạt 1kg/mẻ, nhiệt độ môi trường làm đông đạt  $-50 \pm 1$  °C, vận tốc gió có thể điều chỉnh từ 1 đến 5 m/s. Nhiệt độ vật liệu cũng được đo lường và giám sát trong suốt thời gian làm đông. Ngoài ra, tủ cấp đông được trang bị hệ thống điều khiển để dễ dàng vận hành, thuận tiện điều khiển nhiệt độ và tốc độ gió theo các chế độ yêu cầu. Kết quả thực nghiệm cho thấy tủ cấp đông này phù hợp để làm đông phục vụ cho quá trình sấy thăng hoa cho nhiều loại thực phẩm.

### ABSTRACT

This article presents the results of a research on manufacturing small-capacity freezers for the freeze-drying process of cordyceps militaris and high-value seafood products. The research results have manufactured a freezer with basic parameters: productivity reaches 1 kg/batch, freezing environment temperature reaches  $-50 \pm 1$  °C, and air speed can be adjusted from 1 to 5m/s. The material temperature is also measured and monitored throughout the freezing period. In addition, the freezer is equipped with a control system for easy operation and convenient control of temperature and air speed according to the required modes. Experimental results show that this freezer is suitable for freezing many food types of freeze-drying processes.

**Từ khóa:** tủ cấp đông, sấy thăng hoa, đông trùng hạ thảo, thủy sản,

### I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sấy thăng hoa (STH) hay còn gọi là sấy đông khô đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới nghiên cứu ứng dụng để làm khô vật liệu. Hầu hết các nghiên cứu đã chỉ ra STH là quá trình tách nước ra khỏi sản phẩm từ thể rắn sang thể hơi trong điều kiện nhiệt độ và áp suất thấp dưới điểm ba thể (0,0098 °C; 4,58mmHg). Giai đoạn đầu tiên của STH là giai đoạn làm đông vật liệu để làm cho ẩm trong vật liệu đóng băng hoàn toàn trước khi chuyển sang giai đoạn sấy sơ cấp (thăng hoa), cuối cùng là giai đoạn sấy thứ cấp (chân không) [6]. Để ẩm trong vật liệu đóng băng hoàn toàn cần thực hiện cấp đông nhanh vật liệu ở chế độ nhiệt độ thấp...

Các loại dược phẩm và thực phẩm có giá trị cao như Đông trùng hạ thảo (ĐTHT), sữa ong chúa, thủy hải sản...có chứa nhiều loại vitamin, axitamin, chất dinh dưỡng và nhiều hoạt chất quý hiếm [1, 12, 21]. Do vậy người ta thường sử dụng phương pháp thăng hoa để làm khô chúng. Tuy nhiên, phương pháp STH là phương pháp sấy phức tạp, chịu ảnh hưởng nhiều bởi chế độ sấy như nhiệt độ, áp suất, phương pháp gia nhiệt đặc biệt là quá trình làm đông nguyên liệu trước khi thực hiện sấy thăng hoa...do đó cần phải tính toán thiết kế chế tạo thiết bị làm đông phù hợp phục vụ cho quá trình sấy thăng hoa nhằm nâng cao chất lượng và giảm chi phí quá trình sấy [10, 19].

Theo Heldman, D. R (1983) khi nhiệt độ môi trường lạnh đông từ  $-35^{\circ}\text{C}$  đến  $t_{kt}$  thì quá trình làm đông diễn ra chậm, khi nhiệt độ môi trường lạnh đông dưới  $-47^{\circ}\text{C}$  thì quá trình làm đông diễn ra nhanh [15, 20].

Ratti, C. (2012) đã xem xét các yếu tố ảnh hưởng khi nghiên cứu thiết kế máy STH. Tác giả nhấn mạnh rằng khi thiết kế máy STH cần chú ý đến nhiều yếu tố, trong đó quan trọng là tốc độ làm lạnh đông [19]. Theo nghiên cứu của Kong, J.Y và cộng sự [17] cho rằng nhiệt độ cấp đông càng thấp thì tốc độ làm đông càng tăng.

Kilicarslan, A. đã nghiên cứu khảo sát một số hệ thống lạnh ghép tầng phục vụ cho quá trình làm đông nhiệt độ thấp. Theo đó nghiên cứu đã chỉ ra nếu cần nhiệt độ lạnh đông thấp thì cần sử dụng hệ thống lạnh ghép tầng, tuy nhiên nếu không đòi hỏi nhiệt độ xuống quá thấp thì không nên vì phương pháp này có chi phí lớn [16].

Chung, H. S và cộng sự trong nghiên cứu ảnh hưởng áp suất làm việc của hệ thống lạnh ghép tầng đến nhiệt độ làm lạnh đông đã đưa ra kết luận áp suất đầu ra của máy nén tầng thấp càng cao và áp suất đầu hút càng thấp thì nhiệt độ bay hơi tầng thấp càng giảm có nghĩa có thể đạt nhiệt độ lạnh đông càng thấp [14].

Nguyễn Tấn Dũng [7] trong nghiên cứu của mình đã nhận định việc xác định nhiệt độ môi trường lạnh đông thích hợp là yếu tố quyết định đến tỉ lệ nước đóng băng, ảnh hưởng đến thời gian sấy và chất lượng sản phẩm khô thu được trong quá trình STH sửa ong chúa. Theo đó giai đoạn lạnh đông tối ưu đã được xác định tại chế độ: nhiệt độ môi trường lạnh đông  $-40,46^{\circ}\text{C}$ , thời gian lạnh đông 1,63 h, tỉ lệ nước đóng băng đạt 100%. Khi nghiên cứu sấy thăng hoa cho nhóm giáp xác điển hình như tôm sú, tôm thẻ, tôm bạc tác giả đã được tìm ra chế độ lạnh đông phù hợp ở: nhiệt độ môi trường lạnh đông  $-45^{\circ}\text{C}$ , thời gian lạnh đông 2,5 h, tỉ lệ nước đóng băng đạt 100 % [8].

Lê Như Chính và cộng sự (2017) đã nghiên cứu thực nghiệm quá trình cấp đông tôm thẻ ở nhiệt độ từ  $-30^{\circ}\text{C}$  đến  $-40^{\circ}\text{C}$ , vận tốc gió từ 1 đến 5 m/s. Kết quả cho thấy ở chế độ nhiệt độ -

$40^{\circ}\text{C}$  và vận tốc gió 5m/s có tốc độ nhanh nhất, hao hụt khối lượng là bé nhất và chất lượng sản phẩm tốt nhất [3].

Vũ Minh Khuê [13] khi nghiên cứu truyền nhiệt, truyền chất trong cấp đông cá thu đã kết luận các thông số ảnh hưởng đến thời gian cấp đông là nhiệt độ cấp đông, vận tốc gió, kích thước của sản phẩm. Trong đó nghiên cứu đã xác định nhiệt độ tối ưu từ  $-39^{\circ}\text{C}$  đến  $-35^{\circ}\text{C}$ .

Như vậy các nghiên cứu đã chỉ ra giai đoạn lạnh đông có ảnh hưởng lớn đến quá trình STH. Để đảm bảo vật liệu đóng băng hoàn toàn, cần thực hiện cấp đông ở nhiệt độ thấp. Trong đó khi yêu cầu chất lượng sản phẩm cao, tốc độ làm đông nhanh, tỉ lệ nước đóng băng cao thì cần hạ thấp nhiệt độ môi trường làm đông xuống dưới  $-47^{\circ}\text{C}$  [15, 20]. Một số nghiên cứu cũng đã chỉ ra nhiệt độ môi trường lạnh đông thường từ  $-30^{\circ}\text{C}$  đến  $-45^{\circ}\text{C}$ , vận tốc gió từ 1 đến 5 m/s phù hợp để làm đông cho thực phẩm phục vụ quá trình STH [3, 7, 8, 13]. Vì vậy, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thiết kế chế tạo tủ cấp đông phù hợp để làm đông sản phẩm ĐTHT và thủy sản phục vụ quá trình STH.

## II. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 1. Đối tượng nghiên cứu và phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu này tập trung vào thiết kế, chế tạo tủ cấp đông có năng suất nhỏ phù hợp nghiên cứu thử nghiệm quá trình sấy thăng hoa đông trùng hạ thảo hay các sản phẩm thủy sản có giá trị cao như tôm, cá.

### 2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết:

Sử dụng phương pháp phân tích, tổng hợp các thông tin, tài liệu từ các nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan đến công nghệ làm đông và sấy thăng hoa ĐTHT để làm cơ sở tính toán thiết kế tủ cấp đông.

Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm:

- Sử dụng tài liệu tính toán thiết kế, trình bày bản vẽ thiết kế trên phần mềm Auto CAD.

- Chế tạo và lắp đặt tủ cấp đông.

- Phương pháp thực nghiệm cấp đông và sấy thăng hoa: được tiến hành theo quy trình như sau [8, 10]:



### 3. Phương pháp tính toán thiết kế

#### 3.1. Tính kết cấu, kích thước tủ cấp đông

Thể tích của lớp nguyên liệu được tính theo

$$[6]: V_{bd} = \xi \cdot \frac{G_{sp}}{\rho \cdot \zeta}, m^3 \quad (1)$$

Tính chiều dày cách nhiệt [4,5]:

$$\delta_{cn} = \lambda_{cn} \left[ \frac{1}{k} - \left( \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \right], m \quad (2)$$

#### 3.2. Xác định tải nhiệt cho tủ cấp đông

Sử dụng tài liệu [2,4,5] để tính toán thiết kế tủ cấp đông:

Tổn thất nhiệt qua kết cấu bao che:

$$Q_1 = k_t \cdot F_t \cdot \Delta t, W \quad (3)$$

Lượng nhiệt cần lấy đi để hạ nhiệt độ vật liệu từ nhiệt độ ban đầu đến nhiệt độ kết tinh:

$$Q_{21} = \frac{G_{sp} \cdot c_1 \cdot (t_1 - t_{kt})}{\tau}, W \quad (4)$$

Lượng nhiệt cần phải lấy đi để toàn bộ nước trong vật liệu đóng băng:

$$Q_{22} = \frac{G_{sp} \cdot L_{ice} \cdot \omega \cdot W_a}{\tau}, W \quad (5)$$

Lượng nhiệt cần phải lấy đi để làm giảm nhiệt độ của băng đến nhiệt độ cuối của quá trình làm đông:

$$Q_{23} = \frac{G_{sp} \cdot c_{p-ice} \cdot \omega \cdot W_a \cdot (t_{kt} - t_2)}{\tau}, W \quad (6)$$

Lượng nhiệt cần phải lấy đi để làm giảm nhiệt độ thành phần chất khô trong vật liệu:

$$Q_{24} = \frac{G_{sp} \cdot c_{p-ck} \cdot (1 - W_a) \cdot (t_{kt} - t_2)}{\tau}, W \quad (7)$$

Lượng nhiệt cần phải lấy đi để làm lạnh khay chứa:

$$Q_3 = M_{khay} \cdot \frac{C_p \cdot (t_1 - t_2)}{\tau}, W \quad (8)$$

Tổn thất nhiệt do động cơ quạt:

$$Q_4 = 1000 \cdot \eta \cdot N, W \quad (9)$$

Vậy tổng nhiệt tải tính cho quá trình cấp đông là:

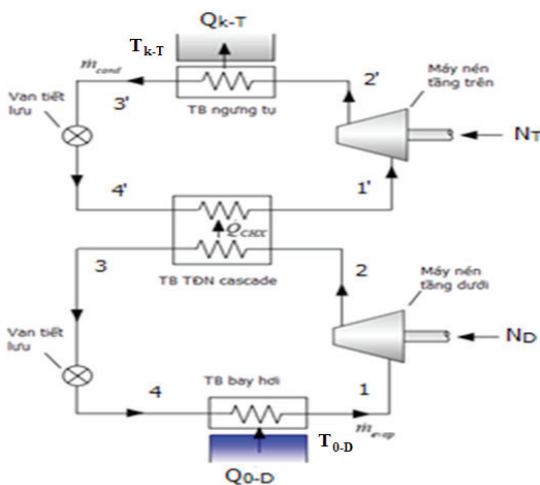
$$Q_{TT} = Q_{MN} = Q_1 + Q_{21} + Q_{22} + Q_{23} + Q_{24} + Q_3 + Q_4, W \quad (10)$$

Năng suất lạnh của máy nén cần thiết:

$$Q_0 = \frac{\beta \times Q_{MN}}{b}, W \quad (11)$$

#### 3.3. Tính chọn hệ thống lạnh

##### 3.3.1. Sơ đồ chu trình hệ thống lạnh ghép tầng

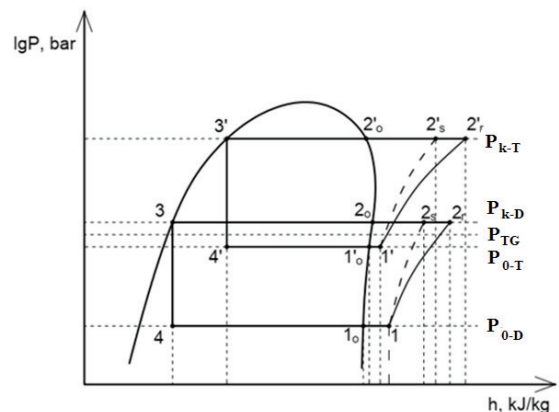


Hình 1. Sơ đồ chu trình hệ thống lạnh ghép tầng.

Nghiên cứu sử dụng hệ thống lạnh ghép tầng [5] để lắp đặt cho tủ đông.

##### 3.3.2. Tính toán chọn máy và thiết bị

Máy và thiết bị chính được tính chọn theo các tài liệu [2, 4, 10]:



Hình 2. Biểu diễn chu trình lạnh trên đồ thị lgP-h.

a. Tính công suất máy nén [4, 10]

Tính chọn nhiệt độ bay hơi của môi chất tầng dưới:

$$t_{0-D} = t_2 - \Delta t_0, ^\circ C \quad (12)$$

Tính chọn nhiệt độ ngưng tụ của của môi chất tầng trên:

$$t_{k-T} = t_{kk-r} - \Delta t_k, ^\circ C \quad (13)$$

Áp suất trung gian tương đương trong bình Cascade [2,5]:

$$P_{TG} = \sqrt{P_{0-D} \cdot P_{k-T}}, \text{ bar} \quad (14)$$

Nhiệt độ bay hơi ở tầng trên:

$$t_{0-T} = t_{ig} - \Delta t_{ig}, ^\circ C \quad (15)$$

Nhiệt độ ngưng tụ ở tầng dưới:

$$t_{k-D} = t_{ig} + \Delta t_{ig}, ^\circ C \quad (16)$$

Lưu lượng môi chất tuần hoàn:

$$m = \frac{Q_0}{h_{i_0} - h_4}, \text{ kg} / \text{ s} \quad (17)$$

Nhiệt lượng thải ra khỏi thiết bị ngưng tụ:

$$Q_k = m \cdot (h_2 - h_3), \text{ kW} \quad (18)$$

Lưu lượng dòng môi chất hút thực:

$$V_{tt} = m \cdot v_1, \text{ m}^3 / \text{ s} \quad (19)$$

Thể tích hút lý thuyết của máy nén được xác định:

$$V_{lt} = \frac{V_{tt}}{\lambda}, \text{ m}^3 / \text{ s} \quad (20)$$

Tính công nén đoạn nhiệt:

$$N_s = m \cdot (h_2 - h_1), \text{ kW} \quad (21)$$

Tính công nén thực:

$$N_r = \frac{N_s}{\eta_i}, \text{ kW} \quad (22)$$

Với  $\eta_i$  là hiệu suất nén không thuận nghịch được xác định theo:

$$\eta_i = \frac{T_o}{T_k} + b \cdot (t_o) \quad (23)$$

Tính tổn thất ma sát (tổn thất cơ):

$$N_{ms} = P_{ms} \cdot V_{tt}, \text{ kW} \quad (24)$$

Tính công suất cơ:

$$N_m = N_{ms} + N_r, \text{ kW} \quad (25)$$

Công suất điện (động cơ):

$$N_{el} = \frac{N_m}{\eta_e}, \text{ kW} \quad (26)$$

Công suất lắp đặt:

$$N_{ld} = \beta \cdot N_{el}, \text{ kW} \quad (27)$$

b, Tính thiết bị Ngưng tụ - Bay hơi (Cascade)

[4, 10]:

$$F_{\text{Cascade}} = \frac{Q_{k-D}}{k \cdot \Delta t_{TB}}, \text{ m}^2 \quad (28)$$

Với nhiệt độ trung bình logarit được tính theo:

$$\Delta t_{tb} = \frac{\Delta t_{max} - \Delta t_{min}}{\ln\left(\frac{\Delta t_{max}}{\Delta t_{min}}\right)}, ^\circ C \quad (29)$$

c, Tính dàn bay hơi [4, 10]:

$$F_{BH} = \frac{Q_{0-D}}{k \cdot \Delta t_{TB}}, \text{ m}^2 \quad (30)$$

d, Chọn ống mao tiết lưu cho hệ thống lạnh

Do hệ thống lạnh có năng suất nhỏ nên nhóm nghiên cứu sử dụng thiết bị tiết lưu là ống mao [5]. Ống mao tiết lưu được lựa chọn bằng phương pháp thực nghiệm cân chỉnh ống mao cho cả 2 tầng [11].

e, Tính chọn bình chứa cao áp và bình tách lỏng

Thể tích bình chứa cao áp được xác định theo [4]:

$$V_{CA} = \frac{0,6 \cdot Vd}{0,5}, \text{ l} \quad (31)$$

Đường kính trong của bình tách lỏng  $D_t$  được tính theo công thức [2]:

$$D_t = \sqrt{\frac{4V_h}{\pi\omega}}, \text{ m} \quad (32)$$

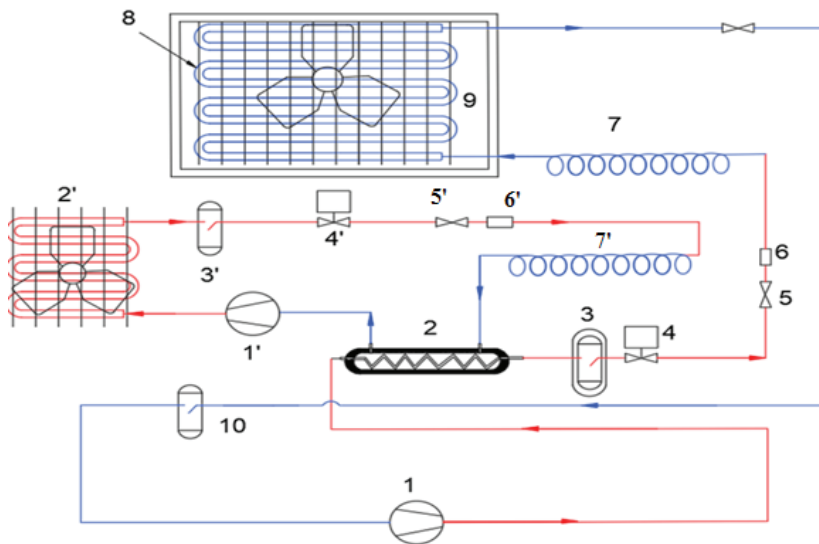
### III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Từ nghiên cứu tổng quan, nhóm nghiên cứu đã thiết kế, chế tạo, lắp đặt thiết bị tủ cấp đông để sấy đông trùng hạ thảo và thủy sản như sau:

#### 1. Sơ đồ nguyên lý của tủ cấp đông

Nguyên lý làm việc của thiết bị:

+ Máy nén (1) thực hiện quá trình ép nén đoạn nhiệt hơi môi chất rồi đẩy vào thiết bị Cascade (2). Tại đây, môi chất lạnh sẽ trao đổi nhiệt với môi chất lạnh tầng trên để ngưng tụ và quá lạnh rồi đưa đến bình chứa cao áp tầng dưới (3). Môi chất tiếp tục đi qua van điện từ (4), van chặn (5), phin lọc (6) đến ống mao (7) để thực hiện quá trình tiết lưu giảm áp suất, giảm nhiệt độ rồi đẩy vào dàn bay hơi (8). Tại dàn bay hơi, môi chất lạnh trao đổi nhiệt với không khí trong buồng cấp đông (9) để làm lạnh môi trường và sản phẩm đến nhiệt độ yêu cầu. Môi chất lạnh bay hơi tại dàn lạnh sẽ đi



1. Máy nén tầng dưới
2. Thiết bị Cascade
3. Bình chứa cao áp
4. Van điện từ tầng dưới
- 5,5'. Van chặn
- 6,6'. Phin lọc
7. Ống mao tầng dưới
8. Dàn bay hơi
9. Buồng cấp đông
10. Bình tách lỏng
- 1'. Máy nén tầng trên
- 2'. Thiết bị ngưng tụ
- 3'. Bình chứa cao áp
- 4'. Van điện từ tầng trên
- 7'. Ống mao tầng trên

Hình 3. Sơ đồ nguyên lý của tủ cấp đông.

đến bình tách lỏng (10) và được máy nén hút về để tiếp tục chu kỳ tiếp theo.

+ Ở tầng trên, máy nén (1') thực hiện quá trình nén môi chất đẩy vào thiết bị ngưng tụ tầng trên (2'). Tại đây, hơi môi chất trao đổi nhiệt đối lưu cưỡng bức với không khí bên ngoài và ngưng tụ thành lỏng sau đó được đưa về bình chứa cao áp (3'). Môi chất lỏng từ bình chứa cao áp được dẫn qua van điện từ (4'), van chặn (5'), phin lọc (6,6') sau đó được dẫn đi qua ống mao (7') để thực hiện quá trình tiết lưu giảm áp suất, nhiệt độ và được đưa vào thiết bị Cascade (2). Tại thiết bị Cascade, môi chất

lạnh trao đổi nhiệt với môi chất tầng dưới đi trong ống xoắn, môi chất nhận nhiệt và bay hơi sau đó được máy nén hút về để tiếp tục chu trình.

## 2. Kết quả tính toán thiết kế tủ cấp đông

### 2.1. Xác định thông số trạng thái các điểm nút trên chu trình hệ thống lạnh

Với mục tiêu thiết kế đã đề ra kết hợp với sơ đồ nguyên lý của tủ đông đã được lựa chọn ở trên, sử dụng phần mềm Sokane Rfrigeran Software Version 8.0.0.15 [23] để tra các thông số trạng thái các điểm nút. Kết quả cho trong Bảng 1 và 2.

Bảng 1. Thông số ban đầu tính toán hệ thống lạnh

Tầng	Môi chất	Nhiệt độ bay hơi $t_o$ , °C	Áp suất bay hơi $P_o$ , bar	Nhiệt độ ngưng $t_k$ , °C	Áp suất ngưng $P_k$ , bar
Tầng trên	R404A	-27	2,78	40	18,15
Tầng dưới		-55	0,65	-7	4,77

Bảng 2. Thông số điểm nút chu trình hệ thống lạnh

Tầng	Điểm nút	Nhiệt độ $t$ , °C	Áp suất $P$ , bar	Thể tích riêng $v$ , dm <sup>3</sup> /kg	Enthalpy $h$ , kJ/kg	Entropy $s$ , kJ/kgK
Dưới	1	-35	0,62	317,13		1,7243
	1 <sub>o</sub>	-55	0,62	287,67		1,6582
	2 <sub>r</sub>	38,83	4,77	51,8		1,7250
	3	-12	4,77	0,84		0,9372
	3 <sub>o</sub>	-7	4,77	41,26		1,6139
	4	-55	0,62	86,77		0,9583

Tầng	Điểm nút	Nhiệt độ t, °C	Áp suất P, bar	Thể tích riêng v, dm <sup>3</sup> /kg	Enthalpy h, kJ/kg	Entropy s, kJ/kgK
Trên	1'	-7	2,29	99,37	368,36	1,6911
	1' <sub>0</sub>	-27	2,29	84,39	351,33	1,6246
	2'	77,18	18,15	13,34	426,58	1,7248
	3'	40	18,15	9,86	259,18	1,5845
	4'	-27	2,29	43,55	259,18	1,2504

2.2. *Tính chọn máy và thiết bị của hệ thống lạnh*

Sử dụng phương pháp tính toán thiết kế (đã

trình bày trong phần II, mục 3), kết quả tính toán thiết kế tủ cấp đông được cho trong bảng 3:

**Bảng 3. Kết quả tính chọn máy và thiết bị chính của hệ thống lạnh**

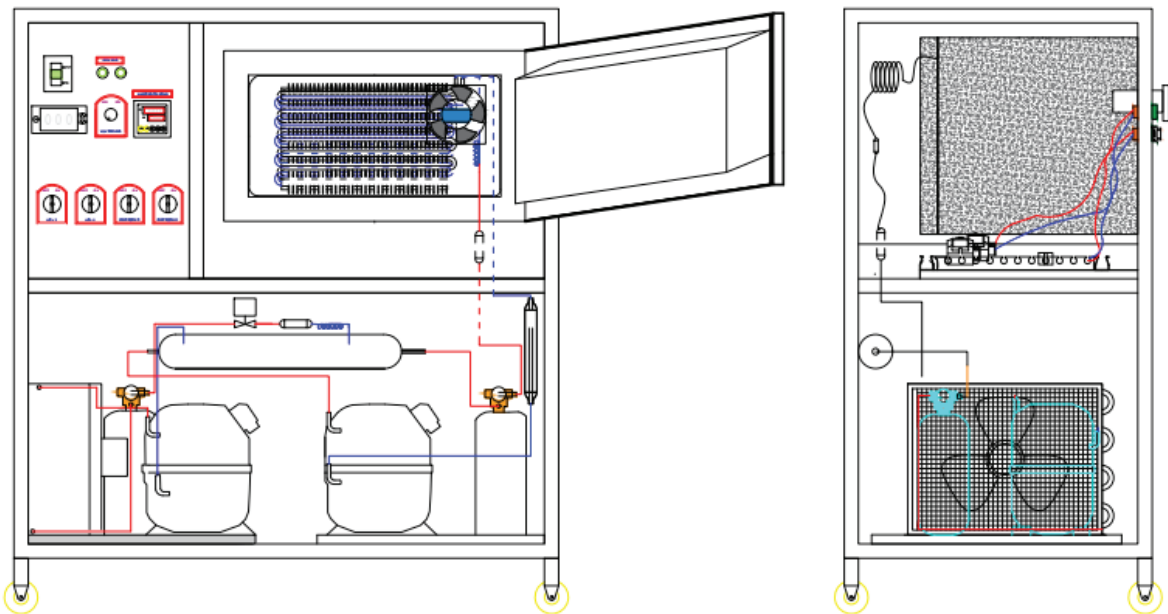
Thông số	Công thức	Kết quả tính	Kết quả chọn
Thể tích buồng đông, V <sub>bd</sub>	(1)	50 lít	Kích thước trong: 430x280x420 mm Kích thước ngoài: 730x580x720 mm
Chiều dày cách nhiệt	(2)	150 mm	Vật liệu cách nhiệt: Polyurethane, dày 150 mm
Tổng tải nhiệt tính toán	(10)	154.85 W	-
Tải nhiệt thiết bị	(11)	287.58 W	-
Nhiệt độ bay hơi tầng dưới	(12)	-55 °C	-
Nhiệt độ ngưng tụ tầng trên	(13)	40 °C	-
Áp suất trung gian tại bình Cascade	(14)	3.35 bar	-
Nhiệt độ bay hơi tầng trên	(15)	-27 °C	-
Nhiệt độ ngưng tụ tầng dưới	(16)	-7 °C	-
Lưu lượng môi chất tuần hoàn tầng dưới:	(17)	1.9 10 <sup>-3</sup> kg/s	-
Lưu lượng môi chất tuần hoàn tầng trên:	(17)		-
Công suất lắp đặt của máy nén tầng dưới	(27)	0.351 kW	Hãng sản xuất: Techcumseh Model: AE2430Z Môi chất: R404A Dung tích xy lạnh: 14.51 cm <sup>3</sup> Công suất: 559.5 W Nguồn điện: 220 V – 1 Pha – 50 Hz
Công suất cụm máy nén dàn ngưng tầng trên	(27)	0.62 kW	Hãng sản xuất: Techcumseh Model: AE2430Z-FZ3C Môi chất: R404A Dung tích xy lạnh: 14.51 cm <sup>3</sup> Công suất nhiệt: 791 W Nguồn điện: 220 V – 1 Pha – 50 Hz Dàn ngưng giải nhiệt gió cường bức.
Thiết bị Ngưng tụ - Bay hơi (Cascade)	(28)	0.028 m <sup>2</sup>	Kiểu dàn: Ống xoắn trong bình Vật liệu: ống đồng Ø6.35 mm, trơn Chiều dài ống: 1800 mm Số hàng ống xoắn: 10 Đường kính vòng xoắn: 60 mm

Thông số	Công thức	Kết quả tính	Kết quả chọn
Thiết bị bay hơi	(30)	0.174 m <sup>2</sup>	Kích thước: 215x350x60 mm Kiểu dàn: Ống đồng tròn – có cánh Đường kính ngoài ống: 8 mm Chiều dài ống: 350 mm Số hàng ống: 2 Số ống trong 1 hàng: 10 Bước ống ngang: 40 mm Bước ống dọc: 30 mm Loại cánh nhôm, phẳng, bước cánh: 6 mm

### 3. Chế tạo, lắp đặt tủ cấp đông

Từ thông số và định hướng thiết kế ban đầu, nhóm nghiên cứu đã đưa ra bản vẽ thiết kế cho tủ cấp đông như Hình 4:

Từ hồ sơ thiết kế, nhóm nghiên cứu đã tiến hành chế tạo tủ cấp đông với đặc điểm và thông số kỹ thuật chính thể hiện ở hình 5 và bảng 4.



Hình 4. Bản vẽ thiết kế tủ cấp đông.

Bảng 4. Thông số kỹ thuật của tủ cấp đông

Thông số	Giá trị
Điện áp	220V/1 pha
Công suất cả hệ thống	1,5 Hp
Dòng điện vận hành	4,8 A
Năng suất	1 kg/mẻ
Thể tích buồng đông	50 lít
Nhiệt độ thấp nhất đạt	-51°C
Tốc độ gió	1 ÷ 5 m/s



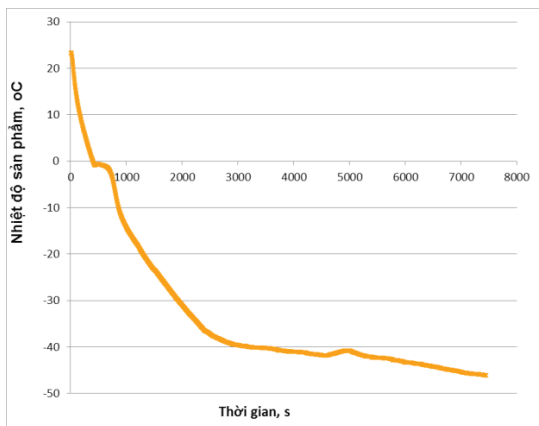
Hình 5. Hình ảnh tủ cấp đông phục vụ sấy thăng hoa hoàn thiện.

#### 4. Kết quả thực nghiệm cấp đông

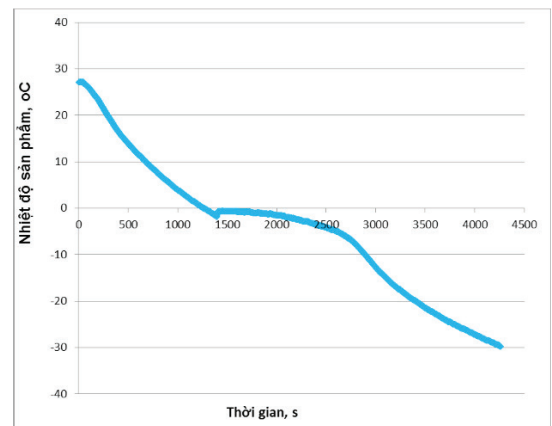
Nghiên cứu lựa chọn 2 đối tượng đại diện để tiến hành thực nghiệm Đông trùng hạ thảo và tôm thẻ để đánh giá hiệu quả làm đông của tủ cấp đông đã được chế tạo.

Nguyên liệu Đông trùng hạ thảo tươi sau khi được xử lý tách phần giá thể thu được các sợi (phần thể quả), phần này được xếp vào khay và đưa đi cấp đông ở nhiệt độ buồng đông  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  thì sau khoảng 2 h nhiệt độ sản phẩm đạt  $-46.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Đối với tôm thẻ tươi sống

sau khi được làm sạch, rút chỉ, chần ở  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  trong 10s, làm nguội, bóc vỏ, xếp khay và cấp đông ở nhiệt độ môi trường  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  trong thời gian 1.2 h nhiệt độ tôm đạt khoảng  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Đường cong đóng băng của ĐTHT và tôm thẻ thể hiện trên Hình 6. Qua đường cong đóng băng, theo định luật Raoult [18,22] cũng có thể thấy được nhiệt độ kết tinh của ĐTHT ở nhiệt độ  $-0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  và của tôm thẻ là  $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nguyễn Tấn Dũng (2008) cũng đã tìm ra nhiệt độ kết tinh của tôm thẻ là  $-1.17\text{ }^{\circ}\text{C}$  [9].



a)



b)

Hình 6. Đường cong đóng băng của ĐTHT (a) và Tôm thẻ (b).



Sau khi cấp đông ĐTHT và tôm thẻ được đưa vào tủ sấy thăng hoa ở áp suất 40Pa, nhiệt độ gia nhiệt 0°C, nhiệt độ ngưng kết hơi -35 °C. Sau khoảng thời gian sấy là 8 h, độ ẩm ĐTHT



đạt khoảng 5 đến 6 %, chất lượng cảm quan cao. Đối với tôm thẻ, sau thời gian 16 h, độ ẩm đạt khoảng 5 đến 6 % và chất lượng cảm quan tốt.



Hình 7. Sản phẩm ĐTHT và tôm thẻ khô sấy bằng phương pháp thăng hoa.

### Kết luận

Kết quả nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo được tủ cấp đông phục vụ cho sấy thăng hoa đông trùng hạ thảo và các sản phẩm có giá trị cao với các thông số kỹ thuật chính như: năng suất đạt 1kg/m<sup>2</sup>, nhiệt độ môi trường làm đông có thể điều chỉnh xuống đến  $-50 \pm 1$  °C, vận tốc gió từ 1 đến 5 m/s. Ngoài ra nhiệt độ và vận tốc gió có thể dễ dàng điều chỉnh để đảm bảo duy trì ổn định các thông số của chế độ làm đông phù hợp với quá trình nghiên cứu sấy thử nghiệm nhiều sản phẩm khác nhau. Do đó thiết bị phục vụ tốt nhu cầu nghiên cứu và đào tạo

liên quan đến giai đoạn làm đông để sấy thăng hoa thực phẩm.

Kết quả ban đầu của quá trình thực nghiệm làm đông đông trùng hạ thảo và tôm thẻ khá nhanh. Sản phẩm sau cấp đông được đưa đi sấy thăng hoa thu được sản phẩm khô đạt chất lượng cao, màu sắc, mùi vị, trạng thái đều rất tốt. Cần đánh giá thêm mức độ phù hợp của tủ cấp đông cho các loại sản phẩm sấy cụ thể và đồng thời đánh giá mức tiêu thụ năng lượng, ưu nhược điểm của thiết bị trong những nghiên cứu tiếp theo.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO:

#### Tiếng Việt

- Đái Duy Ban (2012). *Các hợp chất thiên nhiên trong Đông trùng hạ thảo và Bạch cương tằm hỗ trợ điều trị nhiều bệnh hiếm nghèo*. NXB KH & KT.
- Đình Văn Thuận, Võ Chí Chính (2007). *Hệ thống máy và thiết bị lạnh*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật.
- Lê Như Chính, Nguyễn Văn Phúc, Lương Đức Vũ (2017). *Nghiên cứu ảnh hưởng của chế độ cấp đông đến sự hao hụt khối lượng và chất lượng sản phẩm trong quá trình cấp đông tôm thẻ chân trắng xuất khẩu*. Tạp chí Khoa học công nghệ & môi trường Khánh Hòa. Số 5.2017.
- Nguyễn Đức Lợi (2011). *Hướng dẫn thiết kế hệ thống lạnh*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật Hà Nội.
- Nguyễn Đức Lợi (2008). *Giáo trình Kỹ thuật lạnh: Cơ sở và ứng dụng (Trọn bộ)*. Nhà xuất bản bách khoa - Hà Nội.
- Nguyễn Tấn Dũng (2021). *Quá trình và Thiết bị trong CNHH&TP, Kỹ thuật và Công nghệ sấy thăng hoa*,

NXB ĐHQG Tp.HCM.

7. Nguyễn Tấn Dũng (2015). *Nghiên cứu sấy thăng hoa sữa ong chúa” nhằm xác lập chế độ công nghệ sấy thăng hoa sữa ong chúa thích hợp*. Luận án Tiến sĩ, Viện công nghiệp Thực phẩm.
8. Nguyễn Tấn Dũng, Lê Xuân Hải, Trịnh Văn Dũng (2010). *Tối ưu hóa đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp r ứng dụng xác lập chế độ công nghệ sấy thăng hoa tôm bạc*. Tạp chí Phát Triển KH&CN, Tập 13, Số K2 – 2010.
9. Nguyễn Tấn Dũng, Trịnh Văn Dũng, Trần Đức Ba (2008). *Nghiên cứu phương pháp xác định tỷ lệ nước đóng băng bên trong thực phẩm theo nhiệt độ lạnh đông*. Science & Technology Development, Vol 11, No.09 – 2008.
10. Nguyễn, V. P., Nguyễn, N. A., & Lê, N. C. (2023). *Thiết kế, chế tạo thiết bị sấy thăng hoa để sấy đông trùng hạ thảo và thủy sản*. Tạp chí Khoa học-Công nghệ Thủy Sản, Trường Đại học Nha Trang, (01), 059-068.
11. Trần Đại Tiến, Nguyễn Đình Khương, Đặng Nhật Khánh (2013). *Cân chỉnh ống mao cho máy lạnh nén hơi công suất nhỏ*. Tạp chí khoa học - công nghệ thủy sản. Số 2/2013.
12. Trần Văn Năm và Lê Thị Diệu Trang (2014). *Đông trùng hạ thảo – công dụng, xu hướng sản xuất và thương mại*”, Trung tâm Thông tin Khoa học và Công nghệ TP. HCM.
13. Vũ Minh Khuê (2015). *Nghiên cứu quá trình truyền nhiệt truyền chất và giải pháp tiết kiệm năng lượng trong lạnh đông cá thu*. Luận án tiến sĩ Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

### Tiếng Anh

14. Chung, H. S., Jeong, H. M., Kim, Y. G., & Rahadiyan, L. (2005). *Temperature characteristics of cascade refrigeration system by pressure adjustment*. Journal of mechanical science and technology, 19, 2303-2311.
15. Heldman, D. R. (2006). *Food freezing*. In *Handbook of food engineering* (pp. 439-482). CRC Press.
16. Kilicarslan, A. (2004). *An experimental investigation of a different type vapor compression cascade refrigeration system*. Applied Thermal Engineering, 24(17-18), 2611-2626.
17. Kong, J. Y., Kim, M. Y., & Cheong, J. W. (1988). *Measurement of thermophysical properties of various starches in the freezing processes*. Korean Journal of Food Science and Technology, 20(6), 820-826.
18. Rahman, M. s., Guizani, N., Al-Khaseibi, M., Al-Hinai, s. A., Al-Maskri, s. s., & Al- Hamhami, K. (2002). *Analysis of cooling curve to determine the end point of freezing*. Food Hydrocolloids, 16 (6), 653-659.
19. Ratti, C. (2013). *Freeze drying for food powder production*. In *Handbook of food powders* (pp. 57-84). Woodhead Publishing.
20. Sachdeva, G., Jain, V., & Kachhwaha, S. S. (2014). *Performance study of cascade refrigeration system using alternative refrigerants*. International Scholarly and Scientific Research & Innovation, 8(3).
21. Xiao-fei Wu, Min Zhang, Bhesh Bhandari, Zhongqin Li (2019), “*Effects of microwave-assisted pulse-spouted bed freeze-drying (MPSFD) on volatile compounds and structural aspects of Cordyceps militaris*”, Journal of the Science of Food and Agriculture 98(12). <https://doi.org/10.1016/j.food.2019.01.001>
22. Van Minh, N., & Vu, L. D. *Thermophysical properties of Snakehead fish (Channa striata) muscle change during chilling process*. Editorial Committee, 62.

Trang web:

23. <https://solkane.software.informer.com/8.0/>

**Ký hiệu:**

<p> <math>V_{bd}</math> - Thể tích buồng đông, <math>m^3</math>  <math>G_{sp}</math> - Năng suất nhập liệu, kg  <math>M_{khay}</math> - Khối lượng của khay, kg  <math>\rho</math> - Khối lượng riêng trung bình thực phẩm, <math>kg/m^3</math>  <math>\zeta</math> - Độ xốp của lớp vật liệu,  <math>\xi</math> - Hệ số điện dẫn trong buồng đông  <math>\delta_{cn}</math> - Chiều dày lớp cách nhiệt, m  <math>k</math> - Hệ số truyền nhiệt của vách, <math>W/m^2.K</math>  <math>\alpha_1, \alpha_2</math> - Hệ số tỏa nhiệt đối lưu trong và ngoài vách, <math>W/m^2.K</math>  <math>\lambda_i, \delta_i</math> - Hệ số dẫn nhiệt và chiều dày của lớp vật liệu <math>i</math>  <math>k_t</math> - Hệ số truyền nhiệt thực của vách tủ đông, <math>W/m^2.K</math>  <math>\Delta t</math> - Chênh lệch nhiệt độ trong và ngoài vách, K  <math>C_1</math> - Nhiệt dung riêng của thực phẩm, <math>J/kg.K</math>  <math>C_{p-ice}</math> - Nhiệt dung riêng của nước đá, <math>J/kg.K</math>  <math>C_{p-ck}</math> - Nhiệt dung riêng của chất khô, <math>J/kg.K</math>  <math>C_{p-kh}</math> - Nhiệt dung riêng của khay, <math>J/kg.K</math>  <math>t_1</math> - Nhiệt độ ban đầu của thực phẩm, <math>^{\circ}C</math>  <math>t_{kt}</math> - Nhiệt độ kết tinh của nước trong thực phẩm, <math>^{\circ}C</math>  <math>t_2</math> - Nhiệt độ cuối cùng của thực phẩm, <math>^{\circ}C</math>  <math>t_{kk-r}</math> - Nhiệt độ không khí ra khỏi TBNT, <math>^{\circ}C</math>  <math>t_{tg}</math> - Nhiệt độ tương ứng với áp suất trung gian, <math>^{\circ}C</math> </p>	<p> <math>\Delta t_0</math> - Chênh lệch nhiệt độ ngưng và nhiệt độ không khí ra, <math>^{\circ}C</math>  <math>\Delta t_0</math> - Chênh lệch nhiệt độ bay hơi và nhiệt độ cuối của sản phẩm, <math>^{\circ}C</math>  <math>\Delta t_{tg}</math> - Chênh lệch nhiệt độ môi chất ngưng tầng dưới (bay hơi tầng trên) và nhiệt độ trung gian, <math>^{\circ}C</math>  <math>\tau</math> - Thời gian cấp đông, s  <math>L_{băng}</math> - Ẩn nhiệt đóng băng, <math>J/kg.K</math>  <math>\omega</math> - Tỷ lệ nước đóng băng  <math>w_a</math> - Độ ẩm của thực phẩm, <math>kg/kgVLA</math>  <math>\eta</math> - Hiệu suất thiết bị  <math>N</math> - Công suất thiết bị, kW  <math>\beta</math> - Hệ số an toàn  <math>b</math> - Hệ số làm việc theo mẻ  <math>m</math> - Lưu lượng môi chất, <math>kg/s</math>  <math>Q_k</math> - Nhiệt lượng thải ra khỏi thiết bị ngưng tụ, W  <math>\lambda</math> - Hiệu suất thể tích  <math>T_0, T_k</math> - Nhiệt độ bay hơi và ngưng tụ, K  <math>\eta_c</math> - Hiệu suất động cơ  <math>\Delta T_{tb}</math> - Chênh lệch nhiệt độ trung bình logarit  <math>V_d</math> - Thể tích môi chất đường đẩy, l  <math>V_h</math> - Lưu lượng môi chất đường hút, <math>m^3/s</math>  <math>\omega</math> - Vận tốc môi chất, <math>m/s</math> </p>
--	---