

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO THIẾT BỊ SẤY THĂNG HOA ĐỂ SẤY ĐÔNG TRÙNG HẠ THẢO VÀ THỦY SẢN

DESIGN AND MANUFACTURING FREEZE DRYING EQUIPMENT FOR DRYING CORDYSEPS MILITARIS AND SEAFOODS

Nguyễn Văn Phúc¹, Nguyễn Nguyễn An², Lê Như Chính³

¹ NCS Đại học Bách khoa Hà Nội, Trường Đại học Nha Trang,

² Đại học Bách khoa Hà Nội,

³ Trường Đại học Nha Trang

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

Ngày nhận bài: 01/02/2023; Ngày phân biên thông qua: 20/03/2023; Ngày duyệt đăng: 28/03/2023

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo thiết bị sấy thăng hoa công suất nhỏ để sấy đông trùng hạ thảo và các sản phẩm thủy sản có giá trị cao. Kết quả nghiên cứu đã chế tạo được thiết bị sấy thăng hoa với các thông số sấy năng suất đạt 1 kg/mẻ, nhiệt độ sấy đạt -35 °C, áp suất thăng hoa đạt 20 Pa. Ngoài ra, nhiệt độ sấy và áp suất thăng hoa được theo dõi liên tục và được điều khiển bởi phương pháp PID, đảm bảo duy trì ổn định các thông số của chế độ sấy, phù hợp với quá trình sấy thử nghiệm nhiều loại sản phẩm khác nhau. Do vậy thiết bị phục vụ tốt nhu cầu nghiên cứu và đào tạo liên quan đến sấy thăng hoa.

Từ khóa: sấy đông khô, sấy thăng hoa, đông trùng hạ thảo, thủy sản

ABSTRACT

This paper presents the results of research on manufacturing a small capacity freeze drying equipment for drying cordyceps militaris and high value product seafoods. Research results have produced a freeze drying equipment with the yield is about 1 kg/batch, the drying temperature can reach -35 °C, and sublimation the sublimation pressure can be as low as 20 Pa. In addition the drying temperature and pressure are monitored and controlled by PID method to ensure stable maintenance of the parameters of the drying mode in accordance with the research and testing process of many different products. Therefore, the equipment serves well the research and training needs related to freeze drying.

Keywords: freeze drying, sublimation, cordyceps militaris, seafoods

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). Do đó, STH có nhiều ưu điểm là giữ được các tính chất tươi sống của sản phẩm, dùng để sấy thực phẩm sẽ giữ được chất lượng và hương vị của sản phẩm, không bị mất các vitamin, hình dạng, cấu trúc của sản phẩm ít bị biến đổi, chất lượng cảm quan cao. Ngày nay, STH đã được ứng dụng rộng rãi trong chế biến bảo quản thực phẩm, đặc biệt là các loại thực phẩm có giá trị kinh tế cao, các sản phẩm dược phẩm, thực

phẩm chức năng như đông trùng hạ thảo, sữa ong chúa....

Đông trùng hạ thảo (ĐTHT), tên khoa học là Cordyceps militaris, được sử dụng như một loại thực phẩm chức năng có tác dụng trong phòng ngừa và điều trị một số bệnh hiểm nghèo do có chứa nhiều loại vitamin, axitamin như adenoisine, cordyielin và nhiều hoạt chất quý hiếm khác. Do đó, cần sử dụng phương pháp STH để lưu giữ tối đa các hoạt chất quý hiếm này và cho sản phẩm có chất lượng cảm quan cao. 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, phương pháp làm lạnh...do đó cần phải tính toán thiết kế chế tạo thiết bị STH phù hợp.

Nireesha GR và cộng sự (2013) đã nghiên cứu tổng hợp về quá trình STH [1]. Theo đó, quá trình này bao gồm ba bước: làm đông lạnh, làm khô sơ cấp và làm khô thứ cấp. Trong các điều kiện thích hợp, ẩm được thăng hoa trong quá trình sấy sơ cấp, để lại phần chất rắn có cấu trúc vật lý và hóa học hầu như không thay đổi so với ban đầu. Ở trạng thái rắn của vật liệu trong quá trình đông khô, các phản ứng phân hủy hóa học hoặc vật lý bị ức chế hoặc giảm, dẫn đến cải thiện độ ổn định lâu dài của vật liệu. Phần nước còn lại trong vật liệu sấy được loại bỏ trong giai đoạn sấy thứ cấp tiếp theo.

Nikhil P. Varma (2014) đã phân tích và tính toán động lực học chất lỏng của quá trình và thiết bị STH [2]. Nghiên cứu đã chỉ ra rằng việc kiểm soát áp suất buồng thăng hoa là rất quan trọng để kiểm soát nhiệt độ sản phẩm và tốc độ thăng hoa trong quá trình sấy sơ cấp. Áp suất thăng hoa có thể ảnh hưởng đáng kể đến khả năng truyền nhiệt, do đó ảnh hưởng tới tốc độ thăng hoa từ sản phẩm.

Hong-Ping Cheng và cộng sự (2014), đã tiến hành phân tích cơ chế truyền nhiệt trong máy STH [3]. Nghiên cứu đã chỉ ra việc điều khiển và duy trì ổn định nhiệt độ khay sấy là hết sức quan trọng. Điều này bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ và vận tốc dòng chất tải nhiệt. Nhóm tác giả đã sử dụng phương pháp mô phỏng CFD để chỉ ra ảnh hưởng của các yếu tố như tốc độ chất tải nhiệt, nhiệt độ vào/ ra của chất tải nhiệt đến quá trình truyền nhiệt, do đó ảnh hưởng lớn đến quá trình STH.

Thitiphan Chimsook (2018) đã nghiên cứu “Ảnh hưởng của phương pháp STH và sấy bằng không khí nóng đến chất lượng của ĐTHT” [4]. Nghiên cứu này đã xác định ảnh hưởng của các phương pháp sấy bao gồm sấy không khí nóng và STH đối với chất lượng sản xuất cordyelin từ ĐTHT. Kết quả cho thấy cả hai loại cordyelin, adenosine và các hoạt tính sinh học được chiết xuất từ mẫu STH có giá trị cao hơn so với mẫu được chiết từ mẫu sấy khô bằng không khí nóng.

Trong những năm gần đây các nhà nghiên cứu trong nước đã nghiên cứu nhiều phương pháp sấy mới để ứng dụng trong thực tế, trong

đó có phương pháp STH.

Nguyễn Tấn Dũng (2011) đã nghiên cứu ứng dụng STH trong bảo quản sản phẩm thủy hải sản nhóm giáp xác có giá trị kinh tế [5]. Nghiên cứu đã xây dựng và giải phương trình truyền nhiệt – truyền ẩm khi STH tôm làm cơ sở để thiết lập quy trình và vận hành điều khiển hệ thống sấy cho phù hợp. Bên cạnh đó nghiên cứu còn cho thấy sự ảnh hưởng của các thông số, yếu tố công nghệ đến quá trình STH như nhiệt độ sấy, áp suất của buồng sấy và thời gian sấy, đây được coi là những yếu tố chính ảnh hưởng đến quá trình [5].

Nguyễn Văn Công Chính và cộng sự (2020) đã nghiên cứu thực nghiệm sấy một số trái cây giàu dinh dưỡng bằng phương pháp STH và sấy chân không [6]. Kết quả nghiên cứu cũng đã cho thấy phương pháp STH cho chất lượng sản phẩm cao hơn so với phương pháp sấy chân không đối với 3 loại trái cây sầu riêng, bơ, dưa lưới. Ngoài ra, nhóm tác giả đã chế tạo được mô hình STH sử dụng hệ thống máy lạnh 1 cấp để làm lạnh trực tiếp, sử dụng bộ gia nhiệt bằng đèn bức xạ hồng ngoại trong quá trình sấy [6].

Như vậy, có thể thấy đã nhiều tác giả đã nghiên cứu về quá trình STH và đều chỉ ra đây là phương pháp sấy cho chất lượng sản phẩm tốt nhất trong các phương pháp sấy [1, 2, 3, 4]. Riêng đối với ĐTHT, phương pháp này cũng cho chất lượng sản phẩm cao nhất [4]. Một số nghiên cứu cũng đã chỉ ra phương pháp STH là phương pháp sấy phức tạp và bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố đặc biệt là các thông số chế độ sấy như: phương pháp gia nhiệt, nhiệt độ khay sấy, nhiệt độ sấy, áp suất buồng sấy...[2,3] do đó cần xem xét các yếu tố này trong quá trình thiết kế thiết bị STH. Các nghiên cứu trong nước chủ yếu công bố về ứng dụng STH để làm khô dược phẩm và thực phẩm [5,6]. Nguyễn Văn Công Chính và cộng sự [6] trong nghiên cứu của mình đã chế tạo mô hình thiết bị STH để sấy trái cây, tuy nhiên trong mô hình này việc làm lạnh và gia nhiệt được diễn ra trực tiếp giữa môi chất lạnh và buồng sấy nên rất khó để kiểm soát, duy trì nhiệt độ buồng sấy một cách chính xác. Ngoài ra cũng chưa có nghiên cứu nào được công bố liên quan đến thiết kế, chế

tạo thiết bị STH để sấy ĐTHT. Như vậy việc thiết kế và chế tạo thiết bị sấy thăng hoa phù hợp để sấy đông trùng hạ thảo cũng như các sản phẩm cao cấp là cần thiết.

II. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Đối tượng nghiên cứu

Thiết bị sấy thăng hoa

2. Phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu thiết kế, chế tạo thiết bị STH có năng suất nhỏ phù hợp để sấy thử nghiệm đông trùng hạ thảo hay các sản phẩm thủy sản có giá trị cao.



III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Với những thông số thiết kế ban đầu đề ra:

- Nguyên liệu: đông trùng hạ thảo
- Năng suất: 1kg/m²
- Nhiệt độ thăng hoa: -35°C
- Áp suất thăng hoa: 20 Pa
- Tầm ngưng hơi được làm lạnh bởi môi chất tải lạnh xuống tới: -40°C
- Nhiệt độ môi chất tải lạnh: -45°C

3. 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 STH, liên quan đến sấy khô ĐTHT để làm cơ sở tính toán thiết kế thiết bị STH.

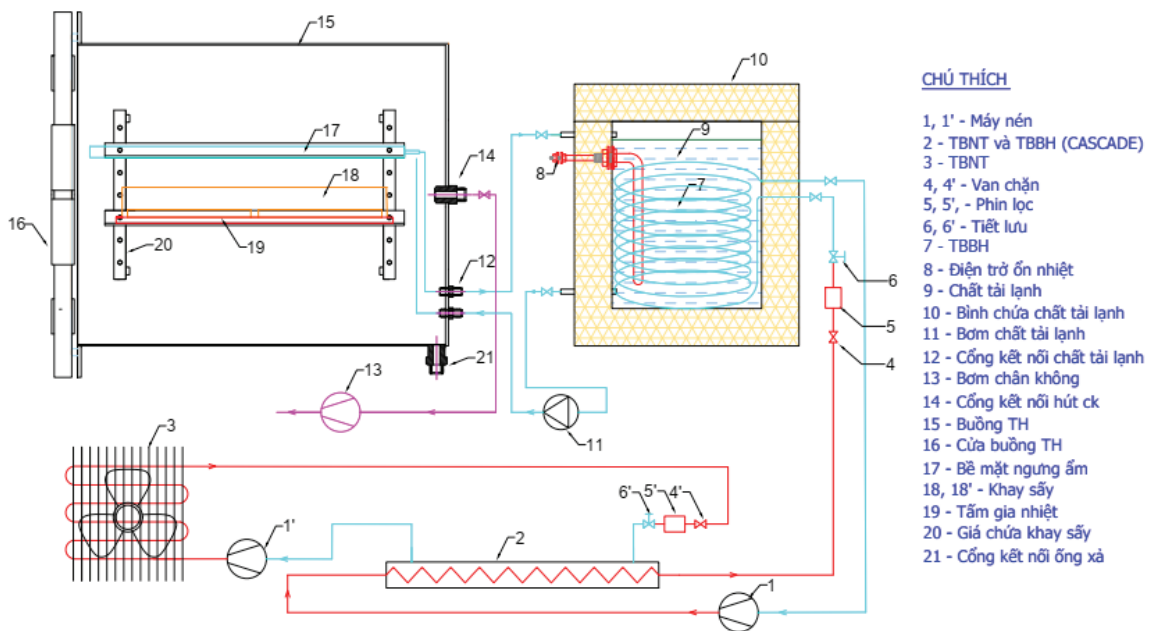
Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm:

- Sử dụng tài liệu tính toán thiết kế, trình bày bản vẽ thiết kế trên phần mềm Auto CAD.
- Chế tạo và lắp đặt thiết bị STH tại phòng thí nghiệm.
- Phương pháp sấy thực nghiệm: được tiến hành theo quy trình như sau [7]:

- Sử dụng hệ thống lạnh ghép tầng để làm lạnh môi chất tải lạnh
- Quá trình gia nhiệt bằng dẫn nhiệt từ đáy khay sấy

Từ nghiên cứu tổng quan, với những thông số thiết kế ban đầu nhóm nghiên cứu đã thiết kế, chế tạo, lắp đặt thiết bị STH để sấy đông trùng hạ thảo như sau:

1. Sơ đồ nguyên lý của thiết bị sấy thăng hoa



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý thiết bị sấy thăng hoa.

Nguyên lý làm việc của thiết bị:

Vật liệu sấy (VLS) được cấp đông bên ngoài thiết bị sấy đến -30°C để ẩm đóng băng hoàn toàn rồi mới được nhập vào khay sấy (18) được đặt trong buồng thăng hoa (15). Trong buồng thăng hoa bề mặt tấm ngưng ẩm (17) được làm lạnh đến -40°C nhờ vòng tuần hoàn môi chất tải lạnh (Monoethylene Glycol) do đó có thể làm ẩm thoát ra khỏi VLS đóng băng lại. Tấm gia nhiệt (19) được chế tạo nằm ở đáy khay sấy để cung cấp nhiệt cho VLS trong quá trình thăng hoa. Bơm hút chân không (13) hoạt động tạo ra môi trường chân không thấp (20Pa) trong buồng thăng hoa giúp quá trình thăng hoa trong VLS diễn ra ở nhiệt độ thấp. Hệ thống làm lạnh ghép tầng giúp hạ thấp nhiệt độ dung dịch chất tải lạnh trong bình chứa (10) xuống tới -45°C rồi được bơm (11) vận chuyển tuần hoàn đi vào tấm ngưng ẩm. Trong quá trình sấy ẩm trong vật liệu sấy thăng hoa, chuyển trạng thái từ rắn sang hơi thoát ra buồng sấy rồi đóng băng lại trên bề mặt tấm ngưng ẩm. Cứ như vậy ẩm trong vật liệu sấy được tách ra đến khi độ ẩm đạt yêu cầu thì kết thúc quá trình.

2. Kết quả tính toán thiết kế thiết bị STH

Sử dụng tài liệu [7] để tính toán thiết kế thiết bị STH, kết quả thu được:

2.1. Tính các thông số ban đầu của vật liệu sấy

Tính lượng ẩm cần tách ra khỏi 1kg vật liệu

$$Q = \sum_i Q_i = W_a \cdot (r + r_d) = 0,774 \cdot (2897,97 + 2594,38) = 4251,079 \text{ kJ}$$

Với thời gian sấy là $\tau = 18\text{h}$ nên năng suất lạnh của hệ thống lạnh yêu cầu là:

$$Q_0 = \beta \left(\frac{Q}{\tau} \right) = 1,3 \left(\frac{4251,079}{18.3600} \right) = 0,0853 \text{ kW}$$

2.3.1. Tính chọn chất tải lạnh

Do yêu cầu nhiệt độ buồng thăng hoa, nhiệt

$$M_{t10} = \frac{Q_0}{C_p(t_{t12} - t_{t11})} = \frac{0,0853}{3,22 \cdot (-44,8 + 45)} = 1,32 \cdot \frac{10^{-1} \text{ kg}}{\text{s}}$$

Lưu lượng thể tích chất tải lạnh cần:

$$V_{t10} = M_{t10} / \rho_{t1} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

Để đảm bảo ổn định nhiệt độ của chất tải lạnh, thể tích chất tải lạnh chứa trong bình chứa thực tế cần làm lạnh là $V_{t1} = 7,510^{-3} \text{ m}^3$.

2.3.2. Tính chọn hệ thống lạnh [8]

sấy:

$$W_a = G_d \cdot \frac{w_1 - w_c}{1 - w_c} = 1 \cdot \frac{0,79 - 0,07}{1 - 0,07} = 0,774, \text{ kg}$$

Thể tích chứa sản phẩm:

$$V_{sp} = \frac{G_d}{\rho \cdot \zeta} = \frac{1}{1010 \cdot 0,5} = 1,98 \cdot 10^{-3}, \text{ m}^3$$

Chọn kích thước khay nguyên liệu: 0,236x0,35x0,04 m

2.2. Phương pháp tính toán thiết kế buồng thăng hoa [7]

Thể tích buồng thăng hoa được tính theo:

$$V_{bth} = \xi \frac{V_{sp}}{\beta} = 8 \cdot \frac{1,98 \cdot 10^{-3}}{0,7} = 0,0226, \text{ m}^3$$

Buồng thăng hoa thường được chế tạo hình trụ để đảm bảo độ kín và khả năng chịu áp lực khi thiết bị sấy làm việc ở áp suất chân không thấp [7]. Để thiết bị có kích thước nhỏ gọn, chọn chiều dài buồng L=0,5m.

Đường kính buồng thăng hoa:

$$D = \sqrt{\frac{V_{bth} \cdot 4}{\Pi \cdot L}} = \sqrt{\frac{0,0226 \cdot 4}{3,14 \cdot 0,5}} = 0,24, \text{ m}$$

Chọn đường kính buồng D = 0,31m. Vậy kích thước buồng thăng hoa: D=0,31m, L=0,5m

2.3. Phương pháp tính toán thiết kế hệ thống lạnh [7]

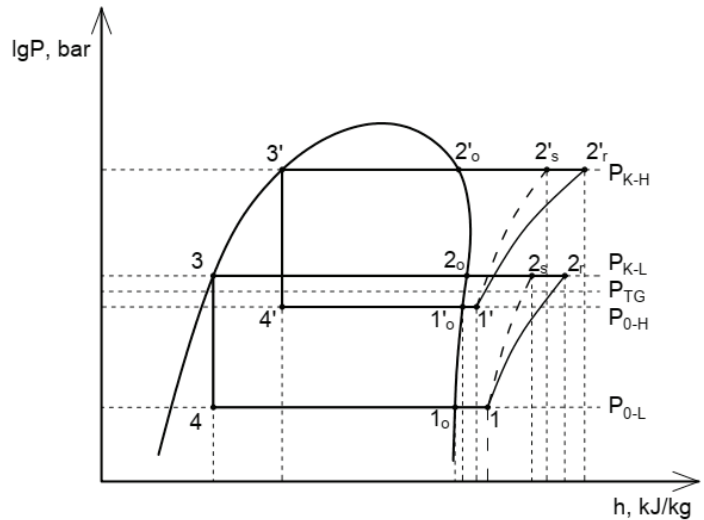
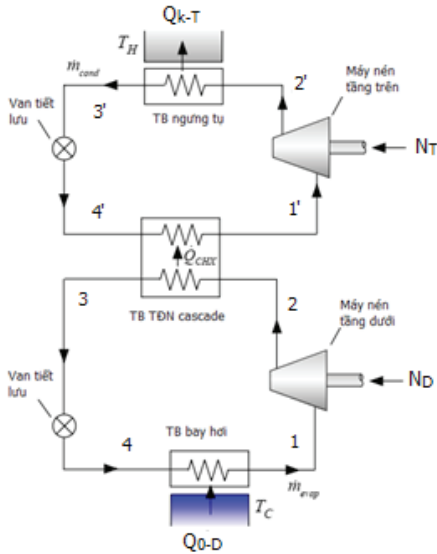
Tải nhiệt trong giai đoạn sấy thăng hoa bao gồm:

độ bề mặt tấm đóng băng ẩm phải được duy trì chính xác nên cần phải sử dụng chất tải lạnh trung gian. Trong nghiên cứu sử dụng dung dịch Monoethylene Glycol 60% làm chất tải lạnh. Lưu lượng chất tải lạnh cần để làm đóng băng ẩm:

Tính chọn nhiệt độ bay hơi của môi chất: $t_{0-L} = t_{t1} - \Delta t_0 = -45 - 5 = -50, ^\circ\text{C}$

Năng suất lạnh của tầng dưới để làm lạnh $7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ dung dịch chất tải lạnh từ nhiệt độ ban đầu xuống nhiệt độ yêu cầu -45°C trong thời gian 1h:

$$Q_{0-L} = \frac{V_{tl} \cdot \rho \cdot C_{ptl} \cdot (t_{tl1} - t_{tl2})}{\tau} = \frac{7,5 \cdot 10^{-3} \cdot 1057 \cdot 4,3 \cdot 22 \cdot (24,76 - -45)}{3600} = 0,49 \text{ kW}$$



Hình 1. Sơ đồ chu trình hệ thống lạnh ghép tầng. Hình 2. Biểu diễn chu trình lạnh trên đồ thị lgP-h.

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

Tầng	Môi chất	Nhiệt độ bay hơi $t_0, ^\circ\text{C}$	Áp suất bay hơi P_0, bar	Nhiệt độ ngưng $t_k, ^\circ\text{C}$	Áp suất ngưng P_k, bar
Tầng trên	R22	-14	3,07	40	15,34
Tầng dưới		-50	0,65	-8	3,81

Bảng 2. Thông số điểm nút chu trình cho tầng dưới

Điểm nút	t, $^\circ\text{C}$	P, bar	v, dm^3/kg	h, kJ/kg	s, kJ/kgK
1	-30	0,65	354,99	395,38	1,8993
1 ₀	-50	0,81	323,31	383,5	1,8483
2 _s	48,57	3,81	77,76	441,93	1,8993
2 _r	64,68	3,81	82,25	453,57	1,9346
3	-8	3,81	0,76	190,61	0,9656
4	-50	0,65	63,26	190,61	0,9839

Bảng 3. Thông số điểm nút chu trình cho tầng trên

Điểm nút	t, $^\circ\text{C}$	P, bar	v, dm^3/kg	h, kJ/kg	s, kJ/kgK
1'	6	3,07	82,23	413,21	1,8231
1' ₀	-14	3,07	74,75	399,48	1,7721
2' _s	86,77	15,34	19,70	458,00	1,8231
2' _r	100,08	15,34	20,82	469,20	1,8537
3'	40	15,34	0,89	249,63	1,1666
4'	-14	3,07	23,37	249,63	1,1938

a, Tính chọn máy nén tầng dưới

Lưu lượng môi chất tuần hoàn:

Lưu lượng dòng môi chất hút thực:

$$m_L = \frac{Q_{0-L}}{h_{1_0} - h_4} = \frac{0,49}{383,5 - 190,61} = 0,00254 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$V_{tt-L} = m_L \cdot v_1 = 0,00254 \cdot 0,35499 = 9,02 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

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

$$V_{tt-L} = \frac{V_{tt-L}}{\lambda} = \frac{9,02 \cdot 10^{-4}}{0,75} = 0,0012 \frac{m^3}{s}$$

Tính công nén đoạn nhiệt thuận nghịch:

$$N_{s-L} = m_L \cdot (h_{2s} - h_1) = 0,00254 \cdot (441,93 - 395,38) = 0,12 \text{ kW}$$

Tính công nén thực:

$$N_{r-L} = \frac{N_{s-L}}{\eta_i} = \frac{0,12}{0,79} = 0,152 \text{ kW}$$

Với η_i là hiệu suất nén không thuận nghịch (hiệu suất trong) được xác định theo:

$$\eta_i = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2r} - h_1} = 0,79$$

Tính tổn thất ma sát (tổn thất cơ):

$$N_{ms-L} = P_{ms} \cdot V_{tt-L} = \frac{55 \cdot 10^3 \cdot 9,02 \cdot 10^{-4}}{1000} = 0,05 \text{ kW}$$

Tính công suất cơ: $N_{m-L} = N_{ms-L} + N_{r-L} = 0,202 \text{ kW}$

Công suất điện (động cơ):

$$N_{e-L} = \frac{N_{m-L}}{\eta_e} = \frac{0,202}{0,8} = 0,2525 \text{ kW}$$

Chọn máy nén Techcumseh 1.5Hp, lưu lượng môi chất 0,0016m³/s.

b, Tính chọn cụm máy nén dàn ngưng tầng trên tương tự máy nén tầng dưới, kết quả cho ở bảng 4.

c, Diện tích thiết bị Ngưng tụ - Bay hơi (Cascade) tính theo:

$$F_{NT-BH} = \frac{Q_{K-L}}{k \cdot \Delta t_{TB}} = \frac{670}{1200 \cdot 11,485} = 0,0486 \text{ m}^2$$

Để chế tạo thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống xoắn, chọn loại ống trơn có đường kính ngoài 0,00635m, chiều dài 2,5m.

d, Diện tích bề mặt trao đổi nhiệt thiết bị bay hơi làm lạnh chất tải lạnh:

$$F_{tl} = \frac{Q_{0-L}}{k \cdot \Delta t_{TB}} = \frac{490}{50 \cdot 25,79} = 0,38 \text{ m}^2$$

Để chế tạo thiết bị trao đổi nhiệt dạng ống xoắn, chọn loại ống trơn có đường kính 0,012 m, chiều dài 10 m.

e, Tính diện tích bề mặt trao đổi nhiệt của tấm đóng băng âm:

$$F_{db} = \frac{Q_0}{k \cdot \Delta t_{TB}} = \frac{85,3}{40 \cdot 9,9} = 0,215 \text{ m}^2$$

Chọn kích thước tấm đóng băng âm: 420x256x10mm

f, Tính công suất bơm dung dịch chất tải lạnh:

$$N_m = \beta \cdot \frac{Q \cdot \rho \cdot g \cdot H_b}{\eta} = 1,5 \cdot \frac{0,000125 \cdot 1010 \cdot 9,81 \cdot 35,23}{0,7} = 28,4 \text{ W}$$

Chọn bơm của RHEKEN, Lưu lượng: V = 2,5 m³/h, Cột áp: 40 mH₂O, Công suất: 400 W

2.4. Phương pháp tính chọn bơm chân không [7]

Năng suất bơm chân không:

$$N_h = \beta_1 \beta_2 \cdot \frac{V_{bth}}{\tau_d} \ln \left[\frac{B - P_{gh}}{P_{th} - P_{gh}} \right] = 1,2 \cdot 1,12 \cdot \frac{37,7}{\frac{2,5}{60}} \ln \left[\frac{760 - 0,008}{0,1 - 0,008} \right] = 10851 \frac{l}{h}$$

Công suất động cơ của bơm chân không:

$$N_{dc} = \beta \cdot \frac{\Delta P_b \cdot N_h}{1000 \cdot \eta_H \cdot \eta_V \cdot \eta_{CK}} = 1,15 \cdot \frac{10^5 \cdot 10,852}{3600 \cdot 1000 \cdot 0,98 \cdot 0,97 \cdot 0,86} = 0,42 \text{ kW}$$

Chọn bơm hút chân không vòng dầu 2 cấp EDWARDS E2M18, Lưu lượng: V = 17 m³/h; Áp suất chân đạt: 0.001mbar; Công suất: 550 W

2.5. Phương pháp tính chọn thiết bị gia nhiệt [7]

Công suất nhiệt cần cho quá trình thăng hoa:

$$q_{th} = \frac{q_{th1} + q_{th2}}{\tau_{th}} + q_{bx} = \frac{2464,22 + 32,97}{18.3600} + 6,44 = 44,93W$$

Công suất nhiệt của tấm gia nhiệt được chọn theo [7]: $Q_{gn} = k \cdot q_{th} = 2.44,93 = 89,86 \text{ W}$

Với k là hệ số an toàn $k = 1,5 \div 2,5$

Công suất điện trở xác định theo công thức:

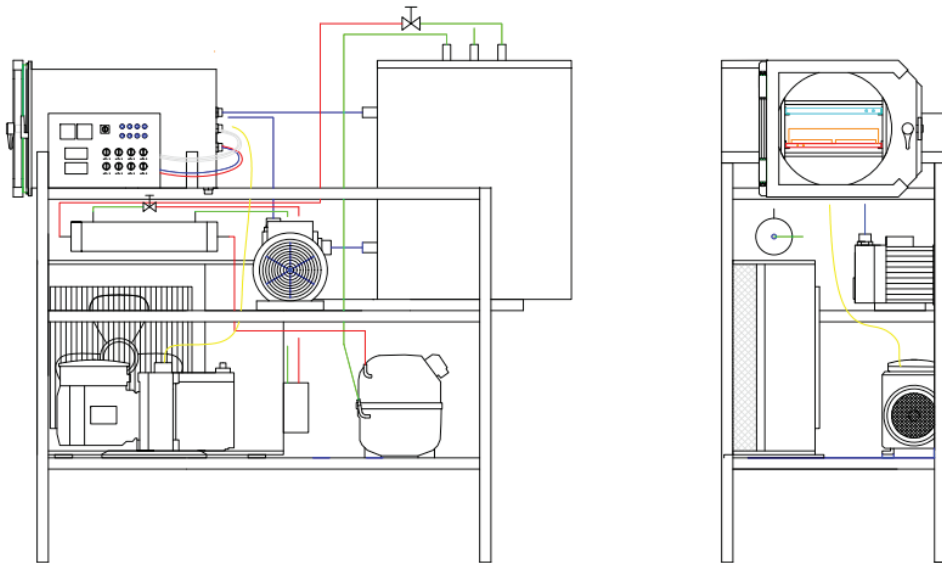
$$P = Q_{gn} \cdot \tau_{th} / \tau_{gn} = 89,86 \cdot 18 / (0,2 \cdot 18) = 449 \text{ W}$$

Chọn điện trở gia nhiệt có P = 500W. Điện trở này được gắn vào đáy khay sấy.

3. Chế tạo, lắp đặt thiết bị sấy

Từ thông số và định hướng thiết kế ban đầu, nghiên cứu đã đưa ra bản vẽ thiết kế cho thiết bị sấy như Hình 4:

Từ hồ sơ thiết kế, nhóm nghiên cứu đã tiến hành chế tạo thiết bị sấy thăng hoa có thông số kỹ thuật chính thể hiện ở Bảng 4 như sau:



Hình 4. Bản vẽ thiết kế thiết bị sấy thăng hoa.

Bảng 4. Kết quả tính chọn các thiết bị chính

STT	Tên thiết bị/bộ phận	Thông số kỹ thuật chính
1	Buồng sấy	Hình trụ, kích thước: Ø = 310 m, L = 500 mm Vật liệu: Inox 304, dày 5mm Cửa buồng: kính cường lực dày 20mm
2	Khay sấy	Kích thước: 240x350x40 mm, Đáy inox, gắn điện trở công suất P = 500 W
3	Máy nén tầng dưới	Teccumseh, công suất 1,5 Hp, Môi chất lạnh: R22
4	Cụm máy nén dàn ngưng tầng trên	Model: Carrier, công suất: 1Hp Môi chất lạnh: R22; Giải nhiệt gió cưỡng bức
5	Thiết bị trao đổi nhiệt Cascade	Dạng ống xoắn, công suất nhiệt Q = 0,67kW Diện tích trao đổi nhiệt F = 0,05 m²

STT	Tên thiết bị/bộ phận	Thông số kỹ thuật chính
6	TB TĐN làm lạnh Monoethylene Glycol	Dạng ống xoắn, công suất nhiệt $Q = 0,49$ kW Diện tích trao đổi nhiệt $F = 0,38$ m ²
7	Tấm đóng băng ẩm	Kích thước: 420x256x10mm Vật liệu: đồng
8	Bơm chất tải lạnh	RHEKEN, Lưu lượng: $V = 2,5$ m ³ /h Cột áp: 40 mH ₂ O, Công suất: 400 W
9	Bơm chân không	Bơm vòng dầu 2 cấp EDWARDS E2M18 Lưu lượng: $V = 17$ m ³ /h; Áp suất chân đạt: 0.001mbar; Công suất: 550 W

Thiết bị sấy đã chế tạo, lắp đặt được như thể hiện trong Hình 2.3.



Hình 5. Hình ảnh thiết bị sấy thăng hoa hoàn thiện.

4. Kết quả sấy thực nghiệm

4.1. Kết quả sấy khô đông trùng hạ thảo

Đông trùng hạ thảo tươi sau khi được xử lý tách phần đế giá thể thu được các sợi (phần thể quả), phần này được xếp vào khay và đưa đi cấp đông ở nhiệt độ -35 °C trong thời gian 1.5h, tiếp đến sẽ đưa vào buồng sấy thăng hoa ở áp suất 40Pa đến khi độ ẩm đạt yêu cầu rồi đưa đi

bao gói và bảo quản [10].

ĐTHT khô thu được đạt chất lượng cảm quan cao. Hình dạng, kích thước, màu sắc hầu như không thay đổi so với lúc trước khi sấy. Có mùi thơm nhẹ, vị đặc trưng của ĐTHT tươi, sợi không bị gãy nát, khi bẻ giòn, bên ngoài sợi màu vàng đều, bên trong trắng xốp.



Hình 6. Sản phẩm đông trùng hạ thảo khô.

4.2. Kết quả sấy khô tôm thẻ

Tôm thẻ tươi sống sau khi được làm sạch, bóc vỏ, xẻ bướm và định hình, chần ở 85 °C trong 10s, làm nguội, xếp khay và cấp đông

ở nhiệt độ -35°C trong thời gian 1.5h rồi được đưa vào sấy thăng hoa ở áp suất 40 Pa đến khi độ ẩm đạt yêu cầu rồi đưa đi bao gói và bảo quản [9].



Hình 7. Sản phẩm tôm thẻ khô.

Sản phẩm tôm khô thu được đạt chất lượng cảm quan cao. Hình dạng, kích thước, màu sắc hầu như không thay đổi so với lúc trước khi sấy. Có mùi thơm đặc trưng của hải sản, cấu trúc mềm và xốp, sợi cơ dai, có vị ngọt. Trong khi đó các sản phẩm tôm khô sấy bằng các phương pháp khác thường cứng, hình dạng bị co ngót lớn, màu sắc bị thay đổi nhiều.

IV. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo được thiết bị sấy thăng hoa dùng để sấy đông trùng hạ thảo và các sản phẩm có giá trị cao với các thông số kỹ thuật chính như: năng suất sấy đạt 1kg/m², nhiệt độ sấy có thể điều chỉnh từ -35 đến 70°C, áp suất chân không có thể đạt 20Pa, nhiệt độ bề mặt tấm ngưng hơi đạt -40°C. Thiết bị đã chế tạo bao gồm: buồng thăng hoa hình trụ 0,38m³, hệ thống lạnh ghép tầng làm lạnh môi chất tải lạnh xuống -50°C, tấm gia nhiệt bằng điện trở công suất 500W, bơm hút chân không công suất 550W, bơm chất tải lạnh

400W... Ngoài ra nhiệt độ và áp suất được giám sát, điều khiển bằng phương pháp PID để đảm bảo duy trì ổn định các thông số của chế độ sấy 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 sấy thăng hoa.

Kết quả ban đầu của quá trình sấy thực nghiệm đông trùng hạ thảo và tôm thẻ thu được có chất lượng rất tốt. Đánh giá chất lượng cảm quan dựa trên màu sắc, mùi vị, trạng thái đều đạt điểm rất tốt cho thấy có thể sử dụng thiết bị sấy này cho các nông sản và thủy sản có giá trị cao.

Thiết bị sấy thăng hoa đã được nhóm nghiên cứu tính toán thiết kế chế tạo có thể được nâng cao công suất nhằm đáp ứng yêu cầu sản xuất đông trùng hạ thảo khô và các sản phẩm thủy sản cao cấp khác phục vụ tiêu dùng trong nước và xuất khẩu của Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

1. GR.Nireesha et al (2013). *Lyophilization/Freeze Drying - An Review*. International Journal Of Novel Trends In Pharmaceutical Sciences, ISSN: 2277 – 2782.
2. Nikhil P. Varma (2014), *Computational Fluid Dynamics Analysis of FreezeDrying Process and Equipment*, Purdue University Purdue e-Pubs
3. Hong-Ping Cheng, Shian-Min Tsai, and Chin-Chi Cheng. *Analysis of Heat Transfer Mechanism for Shelf Vacuum Freeze-Drying Equipment*. Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and

Engineering, Volume 2014, Article ID 515180, 7 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/515180>

4. Thitiphan Chimsook (2018), “Effect of freeze drying and hot air drying methods on quality of cordycepin production” MATEC Web Conf. Volume 192, 2018
5. Nguyễn Tấn Dũng, Trịnh Văn Dũng, Trần Đức Ba. *Xây dựng mô hình toán truyền nhiệt lạnh đông xác định tỉ lệ nước đóng băng và nhiệt độ lạnh đông tối ưu của vật liệu ẩm dạng hình trụ hữu hạn ở giai đoạn 1 trong sấy thăng hoa*. Tạp chí phát triển KH&CN tập 13, số k5-2010.
6. Nguyễn Văn Công Chính và cộng sự (2020). *Nghiên cứu thực nghiệm sấy một số trái cây giàu dinh dưỡng bằng phương pháp sấy thăng hoa và sấy chân không*. Tạp chí cơ khí việt nam, số 12 năm 2020.
7. Nguyễn Tấn Dũng (2020) “Kỹ thuật và công nghệ sấy thăng hoa” NXB Đại học quốc gia Tp. Hồ Chí Minh”
8. Nguyễn Đức Lợi (2008). “Giáo trình kỹ thuật lạnh”. NXB Bách khoa Hà Nội.
9. Trần Đức Ba, Nguyễn Tấn Dũng, Trần Ngọc Hào. *Nghiên cứu công nghệ sấy thăng hoa*. Hội Nghị Khoa Học & Công Nghệ lần 9.
10. <https://kynghexanh.com/say-thang-hoa-dong-trung-ha-thao.html>

Ký hiệu:

<p>w_1, w_c - Độ ẩm ban đầu và cuối của vật liệu, %</p> <p>G_{sp} - Năng suất nhập liệu, kg</p> <p>V_{sp} - Thể tích nguyên liệu chứa tối đa trong tủ sấy, m^3</p> <p>ρ - Khối lượng riêng trung bình sản phẩm chứa trong tủ sấy, kg/m^3</p> <p>ζ - Độ xốp của lớp vật liệu,</p> <p>V_{bth} - Thể tích của buồng thăng hoa m^3</p> <p>ζ - Hệ số tính không gian không chứa sản phẩm,</p> <p>β - Hệ số lấp đầy của sản phẩm, $\beta = 0,65 - 0,95$,</p> <p>L - Kích chiều dài của buồng, m</p> <p>D - Kích thước đường kính trong của buồng, m</p> <p>Q_1 - Dòng nhiệt xâm nhập qua kết cấu bao che của buồng thăng hoa, kW</p> <p>Q_2 - Dòng nhiệt do sản phẩm tỏa ra, kW</p> <p>Q_3 - Dòng nhiệt từ không khí bên ngoài do thông gió, kW</p> <p>Q_4 - Dòng nhiệt từ các nguồn khác nhau khi vận hành, kW</p> <p>Q_5 - Dòng nhiệt từ sản phẩm tỏa ra khi sản phẩm hô hấp, kW</p> <p>Q_6 - Tải nhiệt cần lấy đi để làm đóng băng hơi ẩm thăng hoa ra khỏi vật liệu, kW</p> <p>W_a - Lượng ẩm NT - ĐB ở giai đoạn thăng hoa, kg</p> <p>r_{th} - Ẩn nhiệt thăng hoa bằng ẩn nhiệt đông đặc, kJ/kg;</p> <p>r - Ẩn nhiệt hóa hơi bằng ẩn nhiệt ngưng tụ, kJ/kg;</p> <p>τ - Thời gian sấy, h</p> <p>β - Hệ số dự phòng</p> <p>t_{r1} - Nhiệt độ chất tải nhiệt ra khỏi TBTDN, °C</p> <p>C_{p1} - Nhiệt dung riêng của chất tải lạnh, kJ/kg.K</p> <p>t_{tl} - Nhiệt độ chất tải lạnh, °C</p> <p>Δt_0 - Hệ số chênh lệch nhiệt độ giữa 2 môi chất, °C</p>	<p>t_{0L}, t_{0H} - Nhiệt độ bay hơi của tầng dưới và tầng trên, °C</p> <p>P_{0L}, P_{0H} - Áp suất bay hơi tầng dưới và tầng trên tương ứng, bar</p> <p>t_{kL}, t_{kH} - Nhiệt độ ngưng tụ tầng dưới và tầng trên tương ứng, °C</p> <p>P_{kL}, P_{kH} - Áp suất ngưng tụ tầng dưới và tầng trên tương ứng, bar</p> <p>$Q_{kL} = Q_{0H}$ - Nhiệt tải của thiết bị ngưng tụ tầng dưới bằng năng suất lạnh của thiết bị bay hơi tầng trên, W.</p> <p>k - Hệ số truyền nhiệt của thiết bị ngưng tụ, W/m^2K.</p> <p>Δt - Chênh lệch nhiệt độ trung bình lôgarit, °K.</p> <p>Q - Lưu lượng chất tải lạnh, m^3</p> <p>q_{th1} - Nhiệt lượng cần thiết để thăng hoa ẩm, kW</p> <p>q_{th2} - Nhiệt lượng làm cho phần khô tăng nhiệt độ, kW</p> <p>q_{bx} - Lượng nhiệt bức xạ giữa tấm gia nhiệt – buồng sấy, kW</p> <p>τ_d - Thời gian đuổi hết khí trong buồng thăng hoa, h</p> <p>B - Áp suất khí quyển, B = 760 mmHg</p> <p>P_{gh} - Áp suất giới hạn mà bơm chân không có thể tạo ra, mmHg</p> <p>P_{th} - Áp suất làm việc của buồng thăng hoa, mmHg</p> <p>β_1 - Hệ số rò rỉ của buồng thăng hoa, $\beta_1 = (1,2 \div 1,5)$</p> <p>β_2 - Hệ số an toàn của bơm chân không, $\beta_2 = (1,12 \div 1,15)$</p> <p>$N_h$ - Năng suất bơm hút chân không, m^3/h</p> <p>ΔP_b - áp suất chân không cần tạo ra, Pa</p> <p>η_H - Hiệu suất thủy lực của bơm hút chân không, $\eta_H = (0,97 \div 0,98)$</p> <p>$\eta_v$ - Hiệu suất thể tích của bơm hút chân không, $\eta_v = 0,97$, $(0,95 \div 0,99)$,</p> <p>η_{ck} - Hiệu suất cơ khí của bơm hút chân không, chọn $\eta_{ck} = 0,90$</p>
---	---