

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO MÁY SẤY BẰNG BƠM NHIỆT KẾT HỢP BỨC XẠ HỒNG NGOẠI ĐỂ SẤY NÔNG SẢN VÀ THỦY SẢN
RESEARCH ON FABRICATION OF HEAT PUMP DRYER COMBINED WITH INFRARED TO DRY AGRICULTURAL AND AQUATIC PRODUCTS

Lê Như Chính¹, Nguyễn Văn Phúc¹,
 Huỳnh Văn Thọ¹, Nguyễn Nguyễn An²

¹Trường ĐH Nha Trang

²Trường ĐH Bách Khoa Hà Nội

Tác giả liên hệ: Lê Như Chính (Email: chinhln@ntu.edu.vn)

Ngày nhận bài: 26/02/2021; Ngày phản biện thông qua: 22/03/2021; Ngày duyệt đăng: 29/03/2021

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo máy sấy bằng bơm nhiệt kết hợp với bức xạ hồng ngoại năng suất 5 kg/mẻ. Theo đó, các thông số kỹ thuật chính của máy sấy đã được thiết kế: phòng sấy (dài × rộng × cao) = 700 × 740 × 1200 mm; công suất của máy nén $N_s = 745W$; diện tích trao đổi nhiệt của dàn ngưng tụ trong $F = 5,815 m^2$; diện tích trao đổi nhiệt của dàn bay hơi đạt 3,406 m²; ống mao có đường kính 2 mm với chiều dài 1500 mm; độ ẩm tương đối của không khí sấy $\phi_{kk} = 15 \div 17\%$. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm sấy tôm thẻ và lát bơ với thời gian sấy khoảng 2,73 giờ cho chất lượng tốt nhất và năng suất sấy cao nhất.

Từ khóa: Sấy bằng bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại, sấy bơ, sấy tôm

ABSTRACT

The paper presented research results of manufacturing a heat pump dryer combined with infrared radiation with a capacity of 5 kg/batch. Accordingly, the main specifications of the dryer had been designed: drying room (length × width × height) = 700 × 740 × 1200 mm; capacity of the compressor $N_s = 745W$; heat exchange area of the condenser in $F = 5.815 m^2$; the heat exchange area of the evaporator reached 3.406 m²; the diameter of capillary was 2mm and length 1500 mm; the relative humidity of the drying air $\phi_{kk} = 15 \div 17\%$. The results of experimental research on drying white shrimp and dried avocado slices with the drying time of about 2.73 hours had the best quality and the highest productivity were reached.

Key words: Drying by heat pump combined with infrared radiation, drying avocado, drying shrimp

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Strommen [6] và Levent Taşeri., 2018 [7] cho rằng sấy bằng bơm nhiệt (HP) tiêu thụ năng lượng ít hơn 60% đến 80% so với phương pháp sấy bằng không khí nóng hoạt động ở cùng nhiệt độ. Điều này cho thấy sấy bằng HP là một lựa chọn đáng quan tâm về tiết kiệm năng lượng so với phương pháp sấy bằng không khí nóng (Schmidt EL [8]). Bên cạnh đó, Moses [13] và Minea [14] đã cho rằng sấy bằng HP có thể độc lập kiểm soát nhiệt độ sấy và độ ẩm không khí nhưng thời gian sấy khá dài. Do đó, để rút ngắn thời gian sấy cho phương pháp sấy bằng HP, cần phải bổ sung thêm nguồn năng lượng khác và sử dụng năng lượng hồng ngoại (IR) cho mục đích này là một phương

pháp khá hiệu quả (Park J H, Lee J M [15]). Nghiên cứu của Yun Deng [9, 10], khi sấy mực bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại (HP-IR) cho thấy rằng sự gia tăng cường độ IR đã góp phần tăng tốc độ sấy và giảm thời gian sấy. Nghiên cứu của Xiaoyong Song [11] và Song Xiaoyong [12] cho thấy với phương pháp sấy bằng HP-IR thì tổng năng lượng được sử dụng cho quy trình sấy giảm khi tăng cường độ IR. Song Xiaoyong còn nhận xét là máy sấy HP-IR làm tăng tốc độ sấy và làm giảm mức độ phản ứng Maillard và nâng cao chất lượng sản phẩm khô. Như vậy, có thể nói phương pháp sấy bằng HP-IR có nhiều ưu điểm như giảm thời gian sấy, tăng sự đồng đều về nhiệt độ trong vật liệu sấy (VLS) và qua đó góp phần tăng chất lượng

của sản phẩm khô. Đây là cơ sở cho sự xuất hiện của phương pháp sấy bằng HP-IR được lựa chọn trong nghiên cứu của đề tài. Trong bài báo này chúng tôi trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế chế tạo máy sấy sử dụng công nghệ kết hợp giữa HP và IR để sấy nông sản, thủy sản phục vụ nhu cầu tiêu dùng trong nước và xuất khẩu.

II. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu trong đề tài là tủ sấy bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại HP-IR để sấy nông sản và thủy sản với năng suất 5kg/m²

2. Phương pháp và thiết bị nghiên cứu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu là tính toán lý

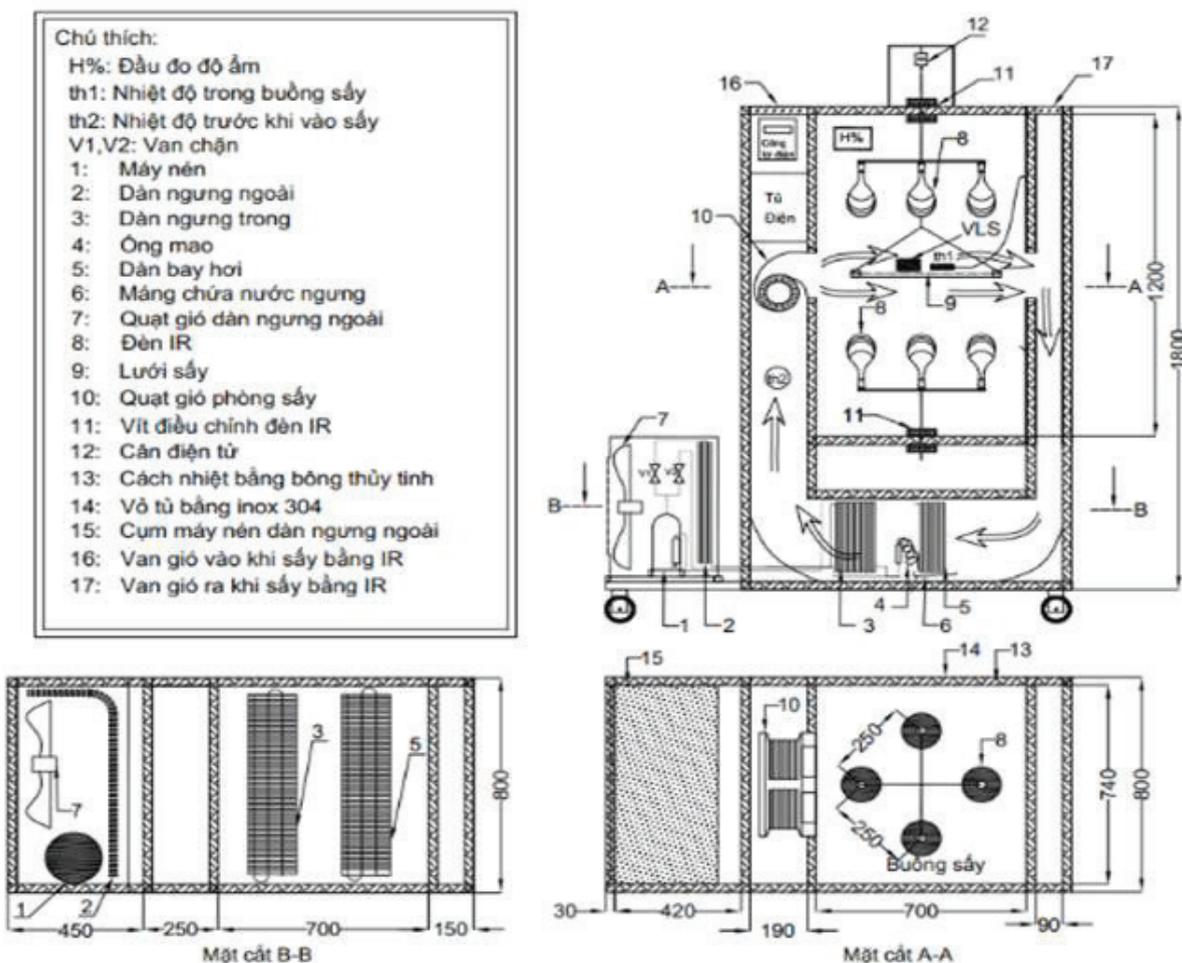
thuyết kết hợp với thực nghiệm kiểm chứng. Tính toán quá trình nhiệt, ẩm để xác định được các đại lượng đặc trưng cho chu trình nhiệt động làm cơ sở để thiết kế và chế tạo máy sấy.

Phân thực nghiệm: Gia công, lắp đặt máy sấy, thử nghiệm sấy tôm thẻ chân trắng và lát bơ.

2.2. Thiết bị nghiên cứu

Máy sấy bằng bơm nhiệt kết hợp bức xạ hồng ngoại được thiết kế chế tạo theo sơ đồ nguyên lý trình bày trên hình 2.1.

Thiết bị sấy được thiết kế và chế tạo để sấy nông sản, thủy sản với năng suất 5 kg/m². Các thông số sấy có thể vận hành được ở các khoảng như sau: Nhiệt độ sấy (t) từ (20 ÷ 70) °C, vận tốc gió (V) từ (0,5 ÷ 5) m/s, công suất hồng ngoại (IP) từ (200 ÷ 2000) W và khoảng cách từ đèn IR đến VLS (H) từ (20 ÷ 40) cm.

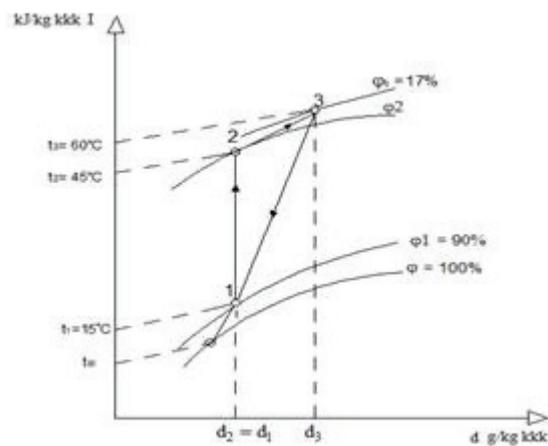


Hình 2.1. Sơ đồ nguyên lý của máy sấy bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại IR-HP.

Thiết bị sử dụng chu trình bơm nhiệt máy nén với môi chất lạnh là R22. Dàn bay hơi của thiết bị với nhiệm vụ làm lạnh tách ẩm từ tác nhân sấy (TNS) trong buồng sấy, được chọn là loại ống đồng có cánh nhôm. Nhiệt tỏa ra ở dàn ngưng tụ của thiết bị được tận dụng để gia nhiệt làm nóng TNS trước khi vào buồng sấy. Quạt trong buồng sấy được lựa chọn là quạt lồng sóc có cột áp thích hợp để thực hiện quá trình sấy đối lưu, bộ phận tiết lưu được lựa chọn là loại ống mao đơn giản.

III. KẾT QUẢ TÍNH NGHIỆM CỬU VÀ THẢO LUẬN

1. Kết quả tính toán nhiệt, chọn máy và thiết bị cho hệ thống sấy



Hình 3.1. Biểu diễn quá trình sấy trên đồ thị I-d.

1.1. Quá trình sấy thực trên đồ thị I - d

Bảng 3.1. Thông số trạng thái của không khí ẩm tại các điểm nút của chu trình trên đồ thị I - d.

Điểm	t °C	φ %	d kg/kgkkk	I kJ/kgkkk
1	15	90	0,008	38
2	40	15	0,008	64
3	60	17	0,021	115

Trong đó: Trạng thái của TNS sau dàn bay hơi có độ ẩm $\phi_1 = 90\%$ [2, 3], nhiệt độ bề mặt của dàn bay hơi: $t_{dl} = t_0 + \Delta t = 0 + 10 = 10^\circ\text{C}$ (chọn $\Delta t = 7 \div 10^\circ\text{C}$) [2]; nhiệt độ của TNS sau khi ra khỏi dàn ngưng tụ $t_2 = 40^\circ\text{C}$ [4]; nhiệt độ và độ ẩm của TNS trong buồng sấy $t_3 = 60^\circ\text{C}$, $\phi_3 = 17\%$ [1]. Theo đó, tra đồ thị I-d (Hình 3.1), kết quả đã thu được các thông số trạng thái như

dung ẩm d (kg/kgkkk) và entanpi I (kJ/kgkkk) tại các điểm nút của chu trình (Bảng 3.1).

1.2. Xác định lượng nhiệt mà dàn ngưng tụ cần cung cấp cho buồng sấy

Độ ẩm của nguyên liệu tôm thẻ sau khi luộc được xác định $W_1 = 70\%$, theo yêu cầu công nghệ, độ ẩm sản phẩm khô đạt $W_2 = 20\%$ [1], [5]. Xác định các đại lượng đặc trưng cho quá trình sấy như sau [3]:

Lượng ẩm bốc hơi trong một mẻ sấy:

$$W = G_r \cdot \frac{W_1 - W_2}{100 - W_2} = 7 \cdot \frac{70 - 20}{100 - 20} = 4,375 \text{ kg/mẻ}$$

Khối lượng sản phẩm sau khi sấy:

$$G_2 = G_1 - W = 7 - 4,375 = 2,625 \text{ kg/mẻ}$$

Thời gian sấy đã xác định là $\tau = 3 \text{ h}$ [1]

Lượng ẩm bay hơi trong 1 giờ [3]:

$$W_h = \frac{W}{\tau} = \frac{4,375}{3} = 1,458 \text{ kg/h}$$

Lượng không khí khô cần thiết để làm bay hơi 1 kg ẩm [3]:

$$l = \frac{1}{d_3 - d_1} = \frac{1}{0,021 - 0,008} = 76,923 \text{ kg}_{kk}/\text{kg}_a$$

Lượng không khí khô thực tế

$$L = l \cdot W_h = 76,923 \cdot 1,458 = 112,153 \text{ kg/h}$$

Nhiệt cần thiết để gia nhiệt cho không khí theo lý thuyết [3]:

$$Q_k = L(I_2 - I_1) = 112,153(64 - 38) = 19813,415 \text{ kJ/h} = 2,916 \text{ kW}$$

Tuy nhiên trên thực tế lượng nhiệt cần cung cấp cho buồng sấy cao hơn vì cần bổ sung vào các thành phần tổn thất nhiệt khác như nhiệt để nâng giá đỡ nguyên liệu sấy đến nhiệt độ phòng sấy Q_{s1} , nhiệt để làm nóng nguyên liệu sấy Q_{s2} , nhiệt tổn thất ra môi trường Q_{s3} . Nhiệt tổn thất của thiết bị sấy:

$$Q_s = Q_{s1} + Q_{s2} + Q_{s3} = 137,853 \text{ W}$$

Năng suất nhiệt của dàn ngưng tụ cần cung cấp cho buồng sấy:

$$Q_k = Q_{kt} = 2916 + 137,853 = 3053,853 \text{ W} \approx 3,053 \text{ kW}$$

Đây cũng là năng suất nhiệt mà dàn ngưng tụ trong của bơm nhiệt cần cung cấp cho buồng sấy.

Nhiệt tỏa ra do đèn bức xạ hồng ngoại:

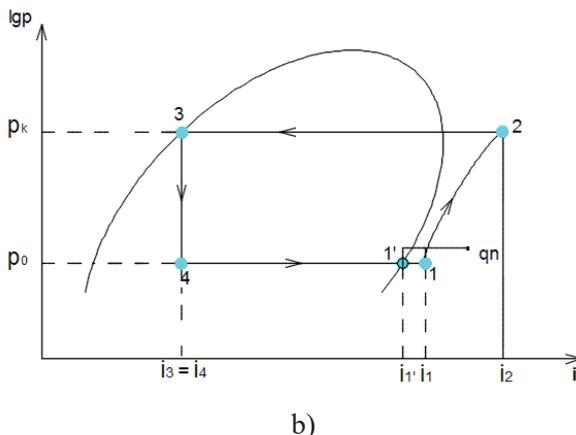
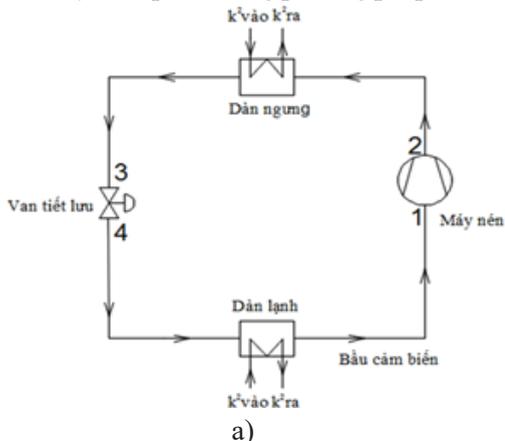
Nhiệt do vật liệu sấy hấp thụ trong quá trình sấy cũng chính là lượng nhiệt mà đèn hồng ngoại cần cung cấp bổ sung cho buồng sấy [3]:

$$Q_{IR} = W_h \cdot q_{IR} = 1,458.5719,803 = 8339,472 \frac{kJ}{h} = 2,316 \text{ kW}$$

Tổng năng suất nhiệt mà dàn ngưng tụ và đèn bức xạ hồng ngoại cần phải cung cấp cho buồng sấy khi sấy thực phẩm bằng phương pháp IR-HP:

$$Q_t = Q_k + Q_{HN} = 3,053 + 2,316 = 5,369 \text{ kW}$$

1.3. Tính toán chu trình bơm nhiệt và chọn máy nén



Hình 3.2a. Sơ đồ nguyên lý làm việc của chu trình Máy lạnh-Bơm nhiệt, Hình 3.2b. Biểu diễn quá trình làm việc của chu trình Máy lạnh –Bơm nhiệt trên đồ thị lgp-i.

Kết quả tra các thông số trạng thái tại các điểm nút của chu trình nhiệt động trên đồ thị

lgp-i (Hình 3.2a và 3.2b) được trình bày trong Bảng 3.2.

Bảng 3.2. Kết quả xác định thông số trạng thái của môi chất tại các điểm nút trên đồ thị lgp-i.

Điểm	t, °C	P, bar	i, kJ/kg
1	0	4,983	706
1	10	4,983	710
2	80	18,395	750
3	50	18,395	564
4	0	4,983	564

Kết quả tính toán nhiệt đã thu được các thông số làm việc của chu trình bơm nhiệt được

trình bày trong Bảng 3.3 như sau.

Bảng 3.3. Kết quả tính toán các thông số làm việc của bơm nhiệt trong tủ sấy.

STT	Tên thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
1	Năng suất nhiệt dàn ngưng	Q_k	3,053	kW
2	Lưu lượng môi chất	m	0,0164	kg/s
3	Năng suất dàn bay hơi	Q_o	2,189	kW
4	Công suất nén đoạn nhiệt	N_s	0,656	kW
5	Công suất tiêu thụ điện	N_{el}	0,863	kW
6	Hệ số bơm nhiệt	φ	4,65	-

1.4. Kết quả tính toán và chọn các thiết bị cho bơm nhiệt

Các thông số kỹ thuật của tủ sấy bao gồm kích thước của tủ; các thiết bị chính trong chu

trình bơm nhiệt: Máy nén, thiết bị trao đổi nhiệt và thiết bị tiết lưu đã được chúng tôi tính toán thiết kế và lựa chọn, chi tiết được trình bày trong Bảng 3.4 và lắp đặt trên Hình 3.3.

Bảng 3.4. Kết quả xác định các thông số kỹ thuật của một số thiết bị chính trong máy sấy.

Tên thiết bị	Số lượng	Thông số kỹ thuật
Máy nén	02	Công suất: 745W (1HP); Hãng: LG; Model: QK175PAG; môi chất lạnh: R22; Xuất xứ: Trung Quốc.
Dàn ngưng tụ	02	Dàn ngưng tụ ống đồng, cánh nhôm thông số như sau: - Diện tích bề mặt trao đổi nhiệt: $F = 5,815 \text{ m}^2$ - Kích thước dàn (cao x rộng x dày): 550 x 650 x 275 mm - Đường kính/chiều dày ống: 9,52/0,8 mm, bước cánh 2,12mm.
Dàn bay hơi	01	Dàn bay hơi ống đồng, cánh nhôm: - Diện tích bề mặt trao đổi nhiệt của dàn bay hơi: $F = 3,406 \text{ m}^2$ - Kích thước dàn (cao x rộng x dày): 300 x 600 x 20 mm - Đường kính/chiều dày ống: 6,35/0,6 mm, bước cánh: 2,54mm.
Ống mao	01	Ống đồng đường kính 2 mm, chiều dài: 1500 mm.
Quạt phòng sấy	01	Quạt lồng sóc hãng FASCO model 7455GVA-A12S, công suất 45W, lưu lượng không khí: 100,710 m ³ /h, điện nguồn: 220-240V 0,5A, xuất xứ: Thái Lan.
Đèn hồng ngoại	08	Dạng cầu -Parabon, 250W, đường kính/chiều dài: 125/195mm
Kính thước máy sấy	01	Dài x rộng x cao = 700 x 740x 1200 mm.



Hình 3.3. Hình ảnh máy sấy bằng HP-IR đã được chế tạo.

2. Kết quả sấy thử nghiệm nông sản và thủy sản

2.1. Biến đổi của điểm chất lượng cảm quan (CLCQ), tỷ lệ hút nước phục hồi (HNPH) của tôm khô theo các phương pháp sấy

Kết quả đánh giá điểm CLCQ của tôm theo các phương pháp sấy được thể hiện ở Bảng 3.5 và Hình 3.4 cho thấy điểm CLCQ của tôm sấy ở chế độ sấy tối ưu đạt loại tốt (18,70 điểm) cao hơn tôm sấy bằng 0,54 điểm và hơn tôm sấy bằng IR 1,52 điểm. Bên cạnh đó, tỷ lệ hút nước phục

hồi trở lại của tôm sấy bằng HP-IR cao nhất đạt 90,17% cao hơn phương pháp sấy HP 8,25% và hơn sấy phương pháp sấy IR 14,26%. Do là sản phẩm sấy ở chế độ sấy tối ưu có quá trình khuếch tán nội phù hợp khuếch tán ngoại nên bề mặt sản phẩm không bị quá nhiệt, không làm biến đổi cấu trúc của sản phẩm sấy, tốc độ sấy cao và thời gian sấy ngắn. Do đó, khả năng hút nước phục hồi trở lại của sản phẩm khô rất tốt, giữ được màu và mùi thơm đặc trưng của tôm khô.

Bảng 3.5. Điểm CLCQ, tỷ lệ HNPĐ của tôm thẻ theo các phương pháp sấy.

STT	Phương pháp sấy	Thời gian sấy, h	Điểm CLCQ	Tỷ lệ HNPĐ, %
1	Sấy bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại HP-IR	2,73	18,70	90,17
2	Sấy bằng bơm nhiệt HP	4,50	18,16	81,92
3	Sấy bằng hồng ngoại IR	3,33	17,18	75,91



Tôm sấy bằng IR Mẫu tôm sấy bằng IR-HP Tôm sấy bằng HP

Hình 3.4. Hình ảnh của tôm thẻ khô theo các phương pháp sấy.

2.2. Thử nghiệm sấy bằng phương pháp sấy IR-HP và HP



Mẫu bơ sấy bằng IR-HP

Mẫu bơ sấy bằng HP

Hình 3.5. Hình ảnh mẫu Bơ sấy bằng IR-HP và HP.

Kết quả nghiên cứu sấy thử nghiệm trên hình 3.5 cho thấy ở cùng chế độ sấy, lát bơ sấy bằng IR-HP có màu sắc đặc trưng tự nhiên hơn so với lát bơ sấy bằng bơm nhiệt HP. Đây là thử nghiệm ban đầu để hướng tới nghiên cứu quá trình truyền nhiệt, truyền chất trong lát bơ sấy bằng HP-IR từ đó sản xuất bột bơ xuất khẩu.

IV. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

1. Kết luận

- Thiết bị sấy bằng HP-IR đã được chế tạo với năng suất 5kg/m² có thể tự động điều chỉnh các thông số như nhiệt độ sấy theo yêu cầu công nghệ từ 20 ÷ 70°C; vận tốc gió trong buồng sấy từ 0,5 ÷ 5 m/s; khoảng cách từ đèn hồng ngoại tới vật liệu sấy từ 20 ÷ 40 cm; công suất hồng ngoại IP từ 200 ÷ 2000W.

- Tôm thẻ chân trắng sấy bằng HP-IR cho tốc độ sấy nhanh nhất và chất lượng của sản phẩm tốt nhất ứng với chế độ sấy thích hợp:

nhiệt độ sấy t = 59,5°C, vận tốc tác nhân sấy V = 1,98 m/s, khoảng cách chiếu xạ hồng ngoại H = 35,2 cm, công suất hồng ngoại IP = 1750 cm với thời gian sấy là 2,73 giờ và độ ẩm của sản phẩm khô đạt w₂ = 19 ÷ 21%.

- Kết quả nghiên cứu còn cho thấy lát bơ sấy bằng HP-IR ở chế độ sấy trên cho chất lượng cảm quan tốt màu sắc tự nhiên hơn so với bơ sấy bằng HP.

2. Khuyến nghị

Nghiên cứu quá trình truyền nhiệt, truyền chất cho nhiều đối tượng nông sản và thủy sản khi sấy bằng phương pháp bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại.

Nghiên cứu chế tạo thiết bị sấy bằng HP-IR dạng băng tải để tăng năng suất sấy.

Nghiên cứu ảnh hưởng của bước sóng hồng ngoại đến khả năng diệt vi khuẩn và chất lượng của vật liệu khô.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Lê Như Chính (2020), “Nghiên cứu quá trình truyền nhiệt, truyền chất và xác định chế độ sấy tôm thẻ chân trắng Việt Nam bằng bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại”. Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật nhiệt, Trường ĐH Bách Khoa Hà Nội.
2. Nguyễn Đức Lợi (2008) - Giáo trình Kỹ thuật lạnh, NXB Bách Khoa Hà Nội.
3. Trần Văn Phú (2009) - Kỹ thuật sấy, NXB Giáo dục
4. Trần Đại Tiến (2007), “Nghiên cứu phương pháp sấy và bảo quản mực ống lột da”, Luận án Tiến sĩ Kỹ thuật, Trường ĐH Nha Trang.
5. Nguyễn Trọng Căn, Đỗ Minh Phụng (2006), “Công nghệ chế biến thực phẩm thủy sản” tập 1, 2, NXB nông nghiệp, TP. Hồ Chí Minh.

Tiếng Anh

6. Strommen I, Eikevik TM, Alves-Filho O, Syverud K, Jonassen O (2002), “Low temperature drying with heat pumps new generations of high quality dried products”. In: 13th International drying symposium.
7. Levent Taşeri, Mustafa Aktaş, Seyfi Şevik, Mehmet Gülcü, Gamze Uysal Seçkin1, Burak Aktekeli (2018), “Determination of Drying Kinetics and Quality Parameters of Grape Pomace Dried with a Heat Pump Dryer”, Food Chemistry, Vol. , pp. 01 -28.
8. Schmidt EL, Klocker K, Flacke N, Steimle F (1998), “Applying the transcritical CO2 process to a drying heat pump”. Int J Refrig, Vol. 21(3), pp. 202–11.
9. Yun Deng, Bingjun Qian, Juan Wu, Shuqiang Su and Xiaoxia Feng (2011) “Characteristics of Squid (*Illex illecebrosus* LeSueur) Fillets Dried Using a Combination of Heat Pump Drying and Far Infrared Radiation”, Philippine Agricultural Scientist, Vol. 94, pp 270 – 277.
10. Yun Deng, Yuegang Wang, Jin Yue, Zhenmin Liu, Yuanrong Zheng, Bingjun Qian, Yu Zhong, Yanyun Zhao, (2014), “Thermal behavior, microstructure and protein quality of squid fillets dried by far-infrared assisted heat pump drying”, Food Control, Vol.36, pp. 102 – 110.
11. Xiaoyong Song và cộng sự (2013). “Banana Chip Drying Using Far Infrared-Assisted Heat Pump”. The Philippine Agricultural Scientist, Vol. 96, pp. 275 – 281.
12. Song Xiaoyong, Hu Hao, Zhang Baoling (2016), “Drying characteristics of Chinese Yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) by far-infrared radiation and heat pump”, Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences, accepted 29 May.
13. Moses, J.A., Norton, T., Alagusundaram, K., Tiwari, B.K (2014), “Novel drying techniques for the food industry”. Food Eng, Vol. 6, pp. 43-55.
14. Minea, V., (2013), “Drying heat pumps – Part II: Agro-food, biological and wood products”, International Journal of Refrigeration, Vol. 36, pp.659–673.
15. Park J H, Lee J M, Cho Y J, et al (2009), “Effect of far-infrared heater on the physicochemical characteristics of green tea during processing”, Journal of Food Biochemistry, Vol. 33, pp. 149-162.