

**NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ CHẾ TẠO
VÀ THỰC NGHIỆM SẤY NẤM MỘC NHĨ VÀ NẤM BÀO NGƯ BẰNG
MÁY SẤY BƠM NHIỆT
STUDY ON DESIGNING, MANUFACTURING AND EXPERIMENTAL
DRYING OF BLACK FUNGUS AND OYSTER MUSHROOM
BY HEAT PUMP DRYER**

Lê Anh Đức¹, Bùi Mạnh Tuấn²

¹Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

²Trường Cao đẳng Công Thương TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam

Ngày toà soạn nhận bài 28/10/2019, ngày phân biện đánh giá 03/11/2019, ngày chấp nhận đăng 18/11/2019.

TÓM TẮT

Nghiên cứu đã thực hiện thiết kế, chế tạo và khảo nghiệm máy sấy nấm mộc nhĩ và nấm bào ngư theo nguyên lý sấy bơm nhiệt. Một máy sấy đã được chế tạo với năng suất 50 kg/mê.

Các thông số hoạt động của máy sấy như nhiệt độ tác nhân sấy, ẩm độ tương đối tác nhân sấy, vận tốc tác nhân sấy và thời gian sấy và được cài đặt, hiển thị và giám sát tự động. Các thông số năng lượng của quá trình sấy được ghi nhận và lưu trữ trên bộ ghi năng lượng. Kết quả sấy thử nghiệm cho thấy máy sấy hoạt động ổn định, rút ngắn thời gian sấy khoảng 1 - 1,5 giờ và nâng cao chất lượng nấm sau khi sấy so với các phương pháp sấy nấm hiện nay.

Từ khóa: sấy; bơm nhiệt; nhiệt độ tác nhân sấy; độ ẩm; nấm.

ABSTRACT

The research carried out to design, manufacture and test of a heat pump dryer for drying of oyster mushroom and black fungus mushroom. The dryer has been manufactured with a capacity of 50 kg/batch.

The operating parameters of the dryer such as drying temperature, the relative humidity of drying air, drying air velocity and drying time are set, displayed and monitored automatically. Energy parameters of drying processes are recorded and stored on the energy recorder unit. The drying experimental results showed that the dryer operates stably, shorten the drying time about 1 - 1.5 hours and improve the quality of mushrooms after drying compared to the current methods for drying mushrooms.

Keywords: drying; heat pump; drying air temperature; moisture content; mushroom.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các loại nấm được trồng phổ biến hiện nay tại Việt Nam là nấm mộc nhĩ, nấm bào ngư, nấm đông cô, nấm linh chi.... Trong đó nấm mộc nhĩ và nấm bào ngư được trồng phổ biến với số lượng lớn so với các loại nấm khác. Các loại nấm này rất giàu chất đạm, các axit amin, vitamin, chất khoáng và các chất có

hoạt tính sinh học. Do hàm lượng nước trong nấm rất cao, trung bình 1 kg nấm tươi có 0,8 - 0,9 kg nước nên thời gian bảo quản của nấm ở nhiệt độ bình thường rất ngắn. Nấm sẽ nhanh chóng bị úng, mất màu và có mùi khó chịu. Nói chung phẩm chất của nấm sẽ giảm. Vì vậy, sau khi thu hoạch nếu muốn sử dụng nấm

ở dạng tươi thì cần sử dụng ngay hoặc có biện pháp bảo quản phù hợp.

Nấm bào ngư không giống như các loại nấm khác, sau 2 đến 3 ngày nếu không được làm khô sẽ bị hỏng. Để kéo dài thời gian bảo quản, nấm bào ngư cũng như các loại nấm cần được sơ chế thành nấm khô. Các phương pháp làm khô nấm hiện nay chủ yếu là phơi nắng, tủ sấy năng lượng mặt trời, lò sấy thủ công và máy sấy theo phương pháp sấy không khí nóng. Các phương pháp này tuy đơn giản, chi phí thấp, nhưng tồn tại nhiều nhược điểm, thời gian phơi kéo dài 2 - 3 nắng, thời gian sấy kéo dài từ 6 - 7 giờ, nấm sau khi phơi sấy bị thâm màu và quan trọng hơn cả là làm giảm chất lượng nấm sau khi phơi, sấy. Vì vậy, việc sấy nấm sau khi thu hoạch là hết sức quan trọng và cần thiết để giải quyết bài toán kinh tế - kỹ thuật, đảm bảo được chất lượng sản phẩm sau khi sấy.

Với các loại nấm, khi sấy ở nhiệt độ cao sẽ làm ảnh hưởng đến màu sắc của nấm, phá hủy các chất dinh dưỡng, hoạt tính sinh học, mùi vị, vitamin,... của nấm [1], do đó sẽ làm giảm chất lượng sản phẩm. Vì vậy, sấy ở nhiệt độ thấp theo nguyên lý sấy bơm nhiệt sẽ đáp ứng được những yêu cầu khắt khe về chất lượng sau khi sấy do tác nhân sấy có độ ẩm tương đối thấp, nhiệt độ sấy thấp so với các phương pháp sấy thông thường, do đó hạn chế được sự ảnh hưởng không có lợi về màu sắc và mùi vị tự nhiên của sản phẩm [2].

Nấm cũng như các loại rau quả nói chung, quá trình sấy sẽ làm thay đổi các thành phần dinh dưỡng, hoạt tính,... và màu sắc của nấm. Sự thay đổi này đã được nhiều tác giả công bố cho một số loại rau quả [1],[3],[4], [5].

Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm thiết kế chế tạo được máy sấy nấm theo nguyên lý sấy bơm nhiệt quy mô sản xuất công nghiệp với năng suất 50 kg/mẻ và thực nghiệm sấy cho nấm bào ngư và nấm mộc nhĩ.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Vật liệu sử dụng trong thí nghiệm

Vật liệu thí nghiệm là nấm bào ngư xám tươi và nấm mộc nhĩ tươi đạt tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5322:1991 (CODEX STAN 38-1981) [6]. Khi ẩm độ nấm đạt 12% theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 10918:2015 (CODEX STAN 39-1981) thì ngừng sấy [7].

2.2 Phương pháp nghiên cứu

- Phương pháp nghiên cứu lý thuyết:

Các thông số của máy sấy được tính toán thiết kế căn cứ vào năng suất máy sấy, các đặc tính nhiệt vật lý của nấm, yêu cầu kỹ thuật của quá trình sấy nấm, lý thuyết tính toán máy sấy bơm nhiệt [8], lý thuyết tính toán về truyền nhiệt và tính toán thiết bị trao đổi nhiệt [9].

- Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm:

Máy sấy được chế tạo theo các phương pháp gia công tùy theo họ chi tiết cần gia công. Một số chi tiết qui chuẩn được chọn mua trên thị trường theo các kết quả tính toán.

Máy được khảo nghiệm không tải để theo dõi chất lượng chế tạo máy, kiểm tra hoàn chỉnh máy và khảo nghiệm có tải để kiểm tra các kết quả tính toán thiết kế và hiệu chỉnh thông số công nghệ thiết bị.

Các thông số thực nghiệm được xác định như sau:

Âm độ nấm được xác định bằng cân phân tích ẩm độ nhãn hiệu A&D-MX 50 của Nhật Bản, độ nhạy của cân 0,001 gram, dải nhiệt độ phân tích 50 - 200°C.

Khối lượng vật liệu sấy được đo bằng cân điện tử và ẩm độ tại thời gian sấy t được xác định bằng công thức (1):

$$M_t = 100 - \frac{W_o}{W_t} (100 - M_o) \quad (1)$$

Trong đó:

M_t : ẩm độ nấm tại thời gian t (% wb.);

M_0 : ẩm độ ban đầu của nấm (% wb.);

W_t : khối lượng nấm tại thời gian sấy t (h);

W_0 : khối lượng ban đầu của nấm (g).

Tốc độ sấy: tốc độ sấy được tính theo công thức (2):

$$dM = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (2)$$

Trong đó:

dM : tốc độ sấy (%/h);

$M_t, M_{t+\Delta t}$: độ ẩm của nấm tại thời gian sấy t và $t + \Delta t$ (%); Δt : khoảng thời gian sấy (h).

Tiêu thụ điện năng riêng của quá trình sấy được xác định theo công thức (3):

$$Se = \frac{E}{G_n} \quad (3)$$

Trong đó:

E : điện năng tiêu thụ của 1 mẻ sấy, (kWh).

G_n : khối lượng của nấm trong 1 mẻ sấy (kg).

Nhiệt độ tác nhân sấy và nhiệt độ vật liệu sấy được đo bằng cảm biến nhiệt độ loại can nhiệt PT100 phạm vi đo 0 - 200°C, sai số $\pm 0,2^\circ\text{C}$, tiêu chuẩn IP 68. Điện năng tiêu thụ, công suất máy được ghi nhận thông qua bộ giám sát điều khiển của máy và được kiểm tra bằng đồng hồ điện 3 pha EMIC MV3E4 30 - 60 A, 50 Hz và Ampe kìm AC/DC Lutron DM-6056, sai số $\pm 1\%$.

Số vòng quay của quạt cấp tác nhân sấy được điều chỉnh thông qua biến tần Invt CHF100A, tần số 0 - 60 Hz và được đo bằng dụng cụ đo số vòng quay DT2234 với độ chính xác 1 vòng/phút.

Xử lý số liệu thực nghiệm: sự khác biệt của các số liệu thí nghiệm về mặt thống kê được xử lý bằng phương pháp LSD (Least Significant Difference - Giới hạn sai khác nhỏ nhất) [10].

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1 Nguyên lý cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy sấy

Năng suất máy sấy: 50 kg nấm tươi/mẻ.

Nhiệt độ sấy được chọn trong tính toán thiết kế là 60°C.

Máy sấy nấm theo nguyên lý sấy bơm nhiệt năng suất 50 kg/mẻ trình bày trên hình 1. Máy gồm có 4 bộ phận chính: buồng sấy, bơm nhiệt, bộ phận phân phối tác nhân sấy và bộ phận điều khiển thiết bị sấy.

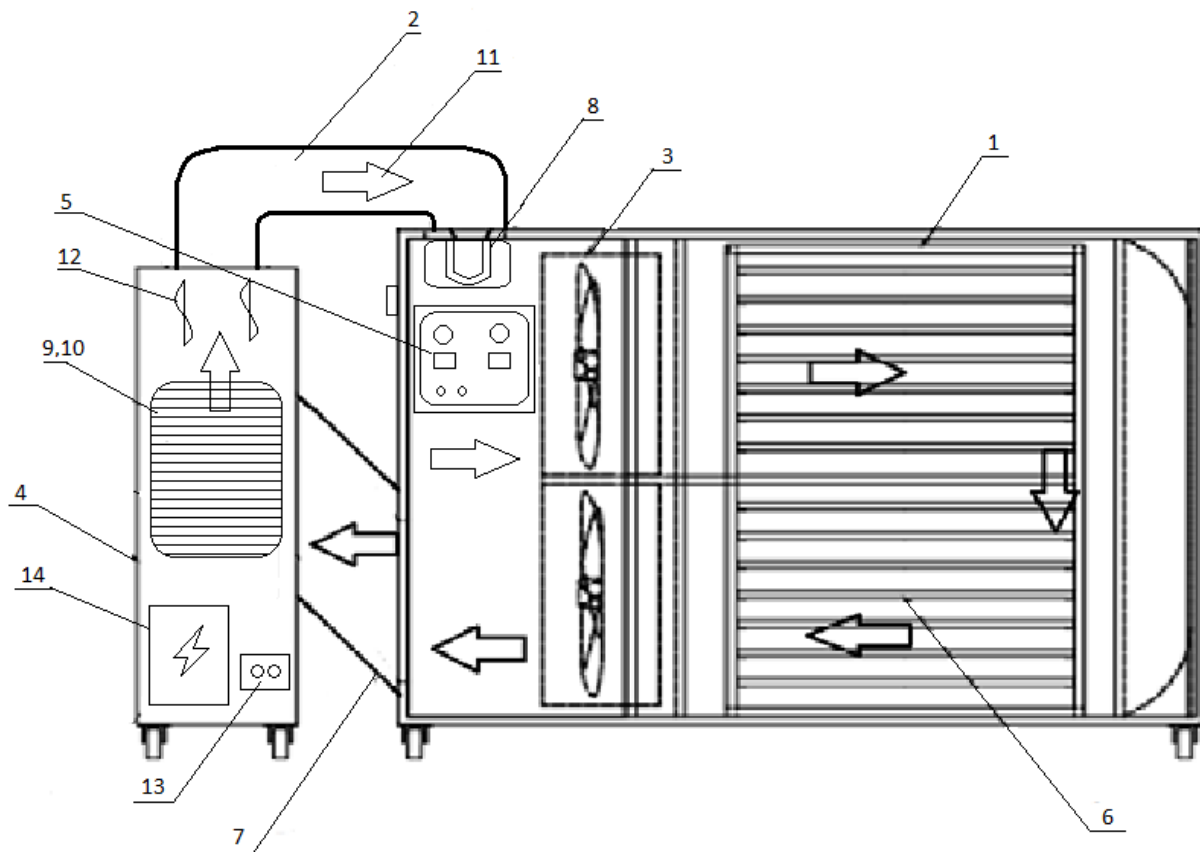
Trên cơ sở kế thừa các kết quả nghiên cứu đã công bố, chọn nguyên lý sấy buồng và vật liệu sấy đặt trên các khay sấy. Nguồn nhiệt để gia nhiệt cho tác nhân sấy và vật liệu sấy là bộ bơm nhiệt và bộ điện trở gia nhiệt phụ.

Vách buồng sấy, khay sấy và các chi tiết của máy sấy được chế tạo bằng thép không gỉ 304 nhằm đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm. Cấu tạo vách buồng sấy gồm 3 lớp, ở giữa là lớp cách nhiệt. Cửa buồng sấy được bố trí ở mặt trước của máy, trên cửa bố trí tấm mica trong suốt chịu nhiệt để theo dõi diễn biến bên trong buồng sấy.

Bộ bơm nhiệt được bố trí tách biệt bên ngoài buồng sấy và ráp kết nối để thuận tiện cho việc bảo trì, bảo dưỡng cũng như quá trình vận chuyển máy sấy. Công suất bộ bơm nhiệt được xác định thông qua tính toán thiết kế.

Các thông số hoạt động của máy sấy như nhiệt độ tác nhân sấy, ẩm độ tác nhân sấy, vận tốc tác nhân sấy, thời gian sấy được cài đặt, hiển thị và giám sát tự động. Các thông số năng lượng của quá trình sấy được ghi nhận và lưu trữ trên bộ ghi năng lượng.

Với các phân tích lựa chọn như trên, kết quả đã xác định được nguyên lý cấu tạo và nguyên lý làm việc của máy sấy nấm theo nguyên lý bơm nhiệt. Nguyên lý cấu tạo của máy được trình bày trên hình 1.



Hình 1. Máy sấy nấm theo nguyên lý sấy bơm nhiệt

1. Buồng sấy; 2. Ống dẫn tác nhân sấy; 3. Quạt sấy; 4. Bộ bơm nhiệt; 5. Bộ điều khiển máy sấy; 6. Khung đặt khay sấy; 7. Ống hồi lưu tác nhân sấy; 8. Điện trở; 9,10. Dàn bay hơi và dàn ngưng tụ; 11. Hướng chuyển động của tác nhân sấy; 12. Quạt thổi tác nhân sấy; 13. Đồng hồ áp suất cao, áp suất thấp; 14. Tủ hiển thị các thông số bộ bơm nhiệt.

Nguyên lý làm việc: nấm bào ngư được xếp đều lên các khay sấy và đặt lên khung đặt khay sấy (6). Đóng kín cửa buồng sấy. Cài đặt các thông số của máy trên trên tủ điều khiển (5). Lần lượt khởi động quạt sấy (3) rồi đến bơm nhiệt (4). Quạt (3) được thiết kế là quạt hướng trục có nhiệm vụ đẩy tác nhân sấy qua bộ bơm nhiệt (4) để tách ẩm tại dàn bay hơi và gia nhiệt ở dàn ngưng tụ đến nhiệt độ cần thiết. Tác nhân sấy tiếp tục theo đường ống dẫn vào buồng sấy (1) để tách ẩm cho nấm. Khi cần thiết, nhiệt độ của tác nhân sấy sẽ được gia nhiệt nhờ các điện trở (8). Tác nhân sấy sau khi qua buồng sấy sẽ hồi lưu về bơm nhiệt theo đường ống (7). Quá trình lặp đi lặp lại cho đến khi vật liệu sấy đạt độ ẩm yêu cầu thì ngưng quá trình sấy.

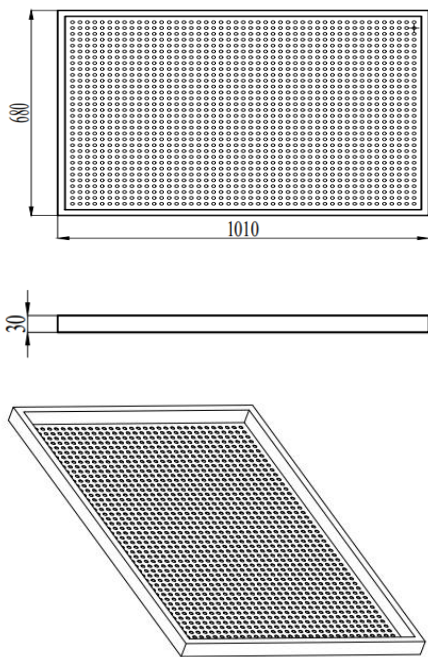
3.2 Kết quả tính toán thiết kế

- Tính toán thiết kế khay sấy:

Kết quả thực nghiệm đã xác định được 1 m² khay có thể chứa được 5,26 kg nấm bào ngư tươi với bề dày lớp nấm ~ 40 mm, căn cứ vào năng suất thiết kế là 50 kg nấm tươi/m² thì diện tích khay cần thiết để chứa hết 50 kg nấm này là 9,4 m².

Để thuận tiện cho người thao tác và kích thước của vật liệu chế tạo khay, chọn khay sấy có kích thước dài x rộng = 1010 x 680 mm. Khung khay sấy được làm bằng inox 304 dạng hộp có kích thước 30 mm x 10 mm

Như vậy, tổng số khay để chứa hết 50 kg nấm là 14 khay. Khay sấy được làm bằng inox 403 lưới. Kích thước khay sấy như hình 2.

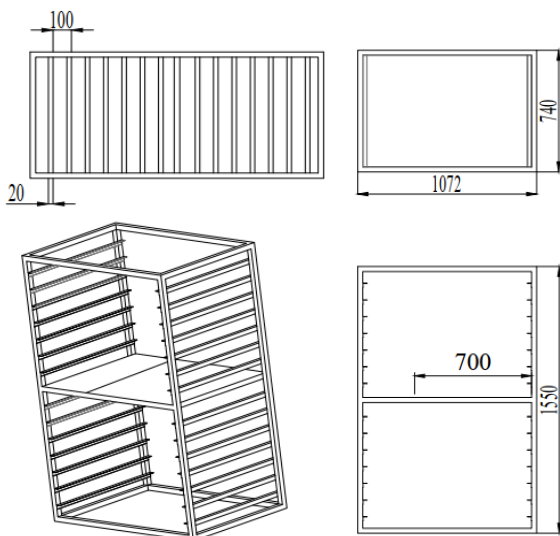


Hình 2. khay sấy

- Tính toán thiết kế khung đỡ khay sấy:

Các khay sấy được bố trí trên khung đỡ khay sấy. Kích thước khung được tính toán thiết kế trên cơ sở số khay sấy và kích thước khay sấy.

Chọn khoảng cách giữa 2 khay sấy là 100 mm. Vật liệu chế tạo khung đỡ khay sấy là thép không gỉ loại hộp vuông 30 mm x 30 mm. Như vậy khung đỡ khay có kích thước: dài x rộng x cao = 1.072 x 740 x 1550 mm.



Hình 3. Khung đỡ khay sấy

- Tính toán thiết kế buồng sấy:

Kích thước buồng sấy được tính toán thiết kế căn cứ vào kích thước của khung đỡ khay sấy, kích thước kênh dẫn tác nhân sấy và khoảng trống cần thiết để thao tác. Trên cơ sở đó, kết quả tính toán thiết kế đã xác định được kích thước buồng sấy: dài x rộng x cao: 1300 x 850 x 1650 mm.

Vách buồng sấy được cấu tạo 3 lớp, lớp giữa là lớp cách nhiệt, 2 vách ngoài là inox 304 dày 1 mm. Các tấm vách của buồng sấy được tính toán và gia công riêng, sau đó hàn ghép lại với nhau tạo thành buồng sấy.

- Nhiệt lượng cần thiết cho sấy:

Tổng nhiệt lượng cần thiết cho máy sấy:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5, W.$$

Trong đó

Q: tổng lượng nhiệt cho quá trình sấy

Q1: nhiệt lượng làm nóng vật liệu sấy

Q2: nhiệt lượng làm nóng buồng sấy, khay sấy

Q3: nhiệt lượng cần thiết để nước trong vật liệu sấy hóa hơi

Q4: tổn thất nhiệt do dẫn nhiệt

Q5: tổn thất nhiệt do bức xạ

Lượng nhiệt Q₁ và Q₂ được tính căn cứ vào nhiệt dung riêng của vật liệu sấy, khối lượng vật liệu được gia nhiệt và chênh lệch nhiệt độ khi gia nhiệt từ nhiệt độ ban đầu đến nhiệt độ sấy là 60°C: Q₁ = 0,965 kW và Q₂ = 2,37 kW.

Lượng nhiệt Q₃ được tính toán theo lý thuyết để đảm bảo bay hơi nước trong vật liệu sấy: Q₃ = 5,72 kW.

Lượng nhiệt Q₄ và Q₅ là các thành phần nhiệt tổn thất trong quá trình sấy được tính toán theo lý thuyết truyền nhiệt qua vách phẳng và truyền nhiệt do bức xạ: Q₄ = 0,78 kW và Q₅ = 0,39 kW.

Như vậy, kết quả tính toán đã xác định được tổng nhiệt lượng cho quá trình sấy là 10,2 kW. Căn cứ vào kết quả này để tính công suất của bộ bơm nhiệt.

- Xác định lưu lượng tác nhân sấy:

Âm độ ban đầu của nấm được xác định bằng thực nghiệm: nấm bào ngư là 86%(wb.) và nấm mộc nhĩ là 82%(wb.). Như vậy chọn ẩm độ 86% để tính toán lượng ẩm bay hơi. Ẩm độ yêu cầu của nấm sau khi sấy là 14% (w.b), như vậy lượng nước cần bay hơi khi sấy 50 kg nấm là 41,86 kg nước. Với thời gian sấy chọn trong tính toán theo kết quả khảo nghiệm sơ bộ là 5,5 giờ, lượng nước bốc ẩm trung bình là 7,61 kgH₂O/h.

Sử dụng giản đồ không khí ẩm để tính toán lượng tác nhân sấy cần thiết cho việc bốc ẩm 7,61 kgH₂O/h, kết quả xác định được lưu lượng tác nhân sấy cần thiết để bốc ẩm là 1.856 kg/h, tương đương 0,51 kg/s. Năng suất lạnh của hệ thống bơm nhiệt là 16,48 kW.

- Tính toán thiết kế bộ bơm nhiệt:

Với năng suất lạnh của hệ thống cần thiết kế lắp đặt là 16,48 kW, chọn nhiệt độ đầu ra của thiết bị bay hơi là 12°C, môi chất lạnh R22, máy nén loại piston 1 cấp.

Dựa vào đồ thị log P-h của môi chất R22 để xác định các thông số của chu trình máy nén lạnh, kết quả đã xác định được công suất cần thiết của bộ bơm nhiệt là 5 HP.

Tra catalogue của hãng Danfoss, chọn máy nén xoắn ốc có mã hiệu ZR28K3E-PFJ-522. Bộ bơm nhiệt được thiết kế bên ngoài buồng sấy để thuận tiện cho quá trình bảo trì bảo dưỡng.

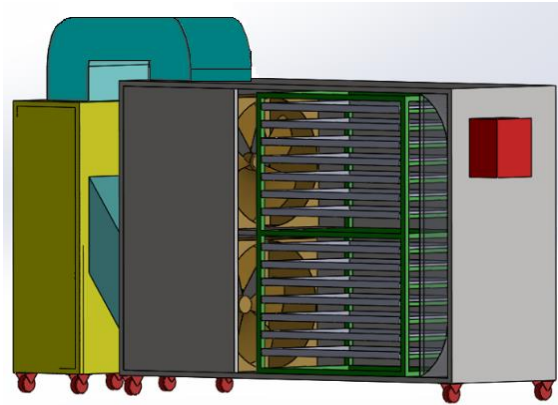
- Tính toán quạt sấy:

Các thông số cần tính toán cho quạt lưu chuyển tác nhân sấy là cột áp và công suất quạt. Hai thông số này được tính toán căn cứ vào lưu lượng tác nhân sấy cần thiết là 0,51 kg/s, tương đương 0,48 m³/s và trở lực của toàn bộ máy sấy. Các trở lực này bao gồm các trở lực qua dàn bơm nhiệt, trở lực cục bộ qua các co, ống đột thu, đột mở, tổn thất do ma sát,... Kết quả xác định được cột áp toàn phần của quạt là 412 Pa và công suất là 371 W.

Căn cứ vào kết cấu của buồng sấy, cách bố trí khay sấy và các thông số cần thiết của quạt, chọn quạt sấy là loại quạt hướng trục,

bố trí 1 quạt thổi ở vị trí đầu vào buồng sấy và 1 quạt hút ở vị trí đầu ra của buồng sấy, bố trí theo chiều cao của khung đặt khay sấy.

Trên cơ sở các kết quả tính toán thiết kế, máy sấy nấm theo nguyên lý sấy bơm nhiệt được thiết kế hoàn chỉnh như hình 4.



Hình 4. Máy sấy nấm được thiết kế hoàn chỉnh

3.3 Kết quả chế tạo

Căn cứ vào các kết quả tính toán thiết kế, máy sấy nấm theo nguyên lý sấy bơm nhiệt hình 5.



Hình 5. Máy sấy nấm theo nguyên lý sấy bơm nhiệt

3.4 Khảo nghiệm máy sấy

- Mục đích khảo nghiệm:

Mục đích khảo nghiệm nhằm kiểm tra các kết quả tính toán thiết kế, chất lượng chế tạo và xác định các thông số vận hành của máy sấy như công suất quạt, công suất điện trở, công suất bơm nhiệt, lưu lượng tác nhân sấy, nhiệt độ tác nhân sấy, phân bố nhiệt độ sấy và vận tốc tác nhân sấy bên trong buồng

sấy, điện năng tiêu thụ, thời gian sấy và sự giảm ẩm của nấm trong quá trình sấy.

- Bố trí thí nghiệm:

Vật liệu sấy là nấm bào ngư tươi và nấm mộc nhĩ tươi. Năng suất sấy 1 mẻ là 50 kg. Trong quá trình sấy, sau mỗi 60 phút lấy mẫu để xác định ẩm độ của nấm. Quá trình sấy kết thúc khi ẩm độ nấm đạt 14%. Các thí nghiệm được lặp lại 3 lần và tính giá trị trung bình

- Kết quả khảo nghiệm:

+ Nhiệt độ tác nhân sấy:

Tại giá trị lưu lượng quạt sấy theo thiết kế, nhiệt độ tác nhân sấy đạt đến nhiệt độ đến 60°C, đảm bảo giá trị nhiệt độ cần thiết cho các mẻ sấy.

+ Hệ thống điện điều khiển của máy sấy:

Bộ điều khiển hoạt động tốt, chính xác theo đúng các giá trị cài đặt, cụ thể là thời gian sấy, nhiệt độ sấy, vận tốc tác nhân sấy, chế độ tự động hoặc bằng thao tác thủ công đều vận hành chính xác.

Các thông số vận hành của máy sấy được cài đặt dễ dàng, hiển thị và giám sát giá trị cài đặt đúng yêu cầu. Các chỉ số tiêu thụ năng lượng trong quá trình sấy - khử khuẩn hiển thị trên bộ ghi và đo năng lượng là chính xác khi so sánh với phương pháp đo bằng các thiết bị đo chuyên dụng.

+ Phân bố nhiệt độ tác nhân sấy, vận tốc tác nhân sấy:

Nhiệt độ tác nhân sấy và vận tốc tác nhân sấy đồng đều giữa các khay sấy và tại các vị trí trên bề mặt khay sấy.

+ Xác định vận tốc tác nhân sấy tương ứng với tần số của biến tần:

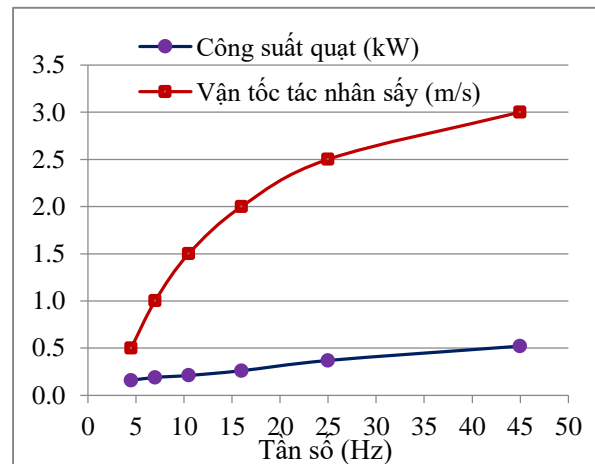
Điều chỉnh các giá trị của biến tần sao cho vận tốc tác nhân sấy đạt các giá trị theo yêu cầu: 0,5, 1, 1,5, 2, 2,5 và 3 m/s, sau đó ghi lại giá trị tần số hiển thị trên biến tần,

song song đó tiến hành đo công suất của quạt sấy. Kết quả trình bày trên hình 6.

Từ số liệu khảo nghiệm, xác định được phương trình mô tả mối quan hệ giữa tần số biến tần $f(\text{Hz})$ và vận tốc tác nhân sấy $v (\text{m/s})$ có dạng phi tuyến bậc hai.

$$f = 10,05 - 12,4036.v + 7,8214.v^2$$

$$(R^2 = 0,984)$$



Hình 6. Kết quả khảo nghiệm quạt sấy

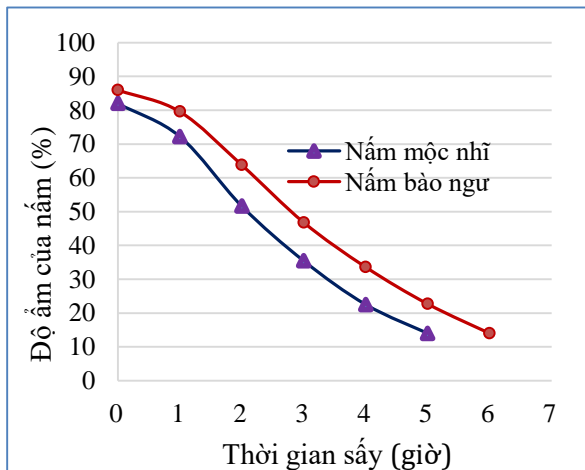
Từ các kết quả khảo nghiệm cho thấy khi tăng tần số từ 5 - 45 Hz thì vận tốc tác nhân sấy đảm bảo giá trị cho máy sấy. Khi vận tốc tác nhân sấy tăng, công suất quạt cũng tăng và động cơ đảm bảo công suất cho quạt sấy vận hành.

+ Kết quả khảo nghiệm sấy nấm:

Cài đặt vận tốc tác nhân sấy khi sấy nấm bào ngư và nấm mộc nhĩ là 2 m/s. Nhiệt độ tác nhân sấy thay đổi tại 3 mức 45, 50 và 55°C. Căn cứ vào thời gian sấy, tiêu thụ điện năng và chất lượng của nấm sau khi sấy, kết quả cho thấy nhiệt độ tác nhân sấy phù hợp cho sấy nấm bào ngư là 50°C và cho nấm mộc nhĩ là 53°C. Quá trình giảm ẩm của hai loại nấm theo thời gian sấy tại các giá trị nhiệt độ tác nhân sấy này được trình bày trong bảng 1.

Bảng 1. Quá trình giảm ẩm của hai loại nấm theo thời gian sấy

Thời gian sấy (giờ)	0	1	2	3	4	5	6
Độ ẩm mộc nhĩ (%)	82,3	72,1	51,6	35,4	22,5	13,8	-
Độ ẩm bào ngư (%)	86,1	79,7	63,8	46,7	33,6	22,7	14,1



Hình 7. Quá trình giảm ẩm của nấm theo thời gian sấy.

Bảng 2. Thời gian, ẩm độ, tốc độ sấy khi sấy hai loại nấm

Stt	Thông số sấy	Nấm mộc nhĩ	Nấm bào ngư
1	Nhiệt độ tác nhân sấy, (°C)	50	53
2	Thời gian sấy, (h)	5	6
3	Ẩm độ nấm trước khi sấy, (% wb.)	82,3	86,1
4	Ẩm độ sản phẩm, (% wb.)	~14	~14
5	Tốc độ sấy, (%/h)	13,7	12,1
6	Điện năng riêng, (kWh/kg)	1,49	2,10

Để dự đoán ẩm độ của nấm tại thời điểm sấy bất kỳ trong suốt quá trình sấy, phương trình hồi quy dự đoán ẩm độ của nấm M (% w.b.) theo thời gian sấy t (giờ) được xác định từ các số liệu khảo nghiệm như sau:

Ẩm độ nấm mộc nhĩ theo thời gian sấy:

$$M = 84,7893 - 17,8839.t + 0,6768.t^2$$

$$(R^2 = 0,985)$$

Ẩm độ nấm bào ngư theo thời gian sấy:

$$M = 89,4429 - 14,4607.t + 0,2679.t^2$$

$$(R^2 = 0,984)$$

Như vậy, từ các kết quả khảo nghiệm đã cho thấy máy sấy hoạt động tốt, đạt yêu cầu kỹ thuật. Chế độ hoạt động của máy sấy được xác định như sau:

- Năng suất sấy: 50 kg/mẻ
- Nhiệt độ sấy: 50°C khi sấy nấm bào ngư và 53°C khi sấy nấm mộc nhĩ.

Kết quả trung bình của các mẻ sấy cho hai loại nấm như sau:

- Sấy nấm mộc nhĩ: sau 5 giờ sấy, ẩm độ nấm mộc nhĩ đạt giá trị ẩm độ 13,8%, khối lượng nấm sau khi sấy là 10,5 kg. Tốc độ sấy trung bình đạt 13,7 %/h. Điện năng tiêu thụ cho mẻ sấy là 15,73 kWh. Tiêu thụ điện năng riêng cho quá trình sấy là 1,49 kWh/kg nấm.

- Sấy nấm bào ngư: sau 6 giờ sấy, ẩm độ nấm bào ngư đạt giá trị ẩm độ 14,1%, khối lượng nấm sau khi sấy là 8,2 kg. Tốc độ sấy trung bình đạt 12,1 %/h. Điện năng tiêu thụ cho mẻ sấy là 17,19 kWh. Tiêu thụ điện năng riêng cho quá trình sấy là 2,1 kWh/kg nấm.

- Vận tốc tác nhân sấy: 2 m/s

- Thời gian sấy: 6 giờ khi sấy nấm bào ngư và 5 giờ khi sấy nấm mộc nhĩ.

So với các phương pháp sấy nấm hiện đang sử dụng với nhiệt độ sấy 60°C, máy sấy nấm theo phương pháp sấy bơm nhiệt mặc dù sấy ở nhiệt độ thấp hơn nhưng đã rút ngắn thời gian sấy trung bình từ 1 - 1,5 h/mẻ, chất lượng nấm sau khi sấy đạt tiêu chuẩn Việt Nam.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở nhu cầu thực tế sản xuất, nghiên cứu đã kế thừa các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước về công nghệ và thiết bị trao đổi nhiệt, đặc tính của nấm và yêu cầu chất lượng của nấm sau khi sấy để tính toán thiết kế và chế tạo máy sấy nấm theo nguyên lý sấy bơm nhiệt năng suất 50 kg/mẻ.

Kết quả khảo nghiệm cho thấy máy sấy hoạt động ổn định, các thông số hoạt động

của máy sấy như nhiệt độ tác nhân sấy, vận tốc tác nhân sấy, thời gian sấy và ẩm độ tác nhân sấy được cài đặt, hiển thị và giám sát tự động và chính xác. Với nấm bào ngư, tại nhiệt độ sấy 50°C, thời gian sấy là 6 giờ, tiêu thụ điện năng riêng cho quá trình sấy là 2,1

kWh/kg nấm khô. Với nấm mộc nhĩ, tại nhiệt độ sấy 53°C, thời gian sấy là 5 giờ, tiêu thụ điện năng riêng cho quá trình sấy là 1,49 kWh/kg nấm khô. Ẩm độ nấm bào ngư và nấm mộc nhĩ sau khi sấy là 14%, chất lượng nấm sau khi sấy đạt Tiêu chuẩn Việt Nam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Hay, Lê Anh Đức, 2019. Một số kết quả nghiên cứu về công nghệ và thiết bị sấy nông sản thực phẩm giá trị cao. Tạp chí Công nghiệp nông thôn. Hội Cơ khí Nông nghiệp Việt Nam, số 32, 42–47.
- [2] Salih Coşkun, İbrahim Doymaz, Cüneyt Tunçkal, Seçil Erdoğan, 2017. Investigation of drying kinetics of tomato slices dried by using a closed loop heat pump dryer. Heat and Mass Transfer, Vol.53, Issue 6, 1863–1871.
- [3] Marie Céleste Karam, Jeremy Petit, David Zimmer, Elie Baude laire Djantou, Joël Scher, 2016. Effects of drying and grinding in production of fruit and vegetable powders: A review. Journal of Food Engineering, Vol.188, 32–49.
- [4] Magdalini K. Krokida, Zacharias B. Maroulis, George D. Saravacos, 2001. The effect of the method of drying on the colour of dehydrated products. Food Science and Technology, Vol. 36, Issue 1, 53–59.
- [5] Min Zhang, Huizhi Chen, Arun. S. Mujumdar, Juming Tang, Song Miao, Yuchuan Wang, 2017. Recent developments in high-quality drying of vegetables, fruits, and aquatic products. Critical reviews in Food science and nutrition. Vol. 57, No. 6, 1239–1255.
- [6] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5322:1991 (CODEX STAN 38-1981). Nấm ăn và sản phẩm nấm ăn. Tổng cục Tiêu chuẩn đo lường chất lượng thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [7] Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 10918:2015 (CODEX STAN 39-1981). Nấm khô. Tổng cục Tiêu chuẩn đo lường chất lượng thẩm định, Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [8] Trần Văn Phú, 2008. Kỹ thuật sấy. Nhà xuất bản Giáo Dục.
- [9] Bùi Hải, 2008. Tính toán thiết kế thiết bị trao đổi nhiệt. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.
- [10] Bùi Minh Trí, 2005. Xác suất thống kê và qui hoạch thực nghiệm. Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.

Tác giả chịu trách nhiệm bài viết:

PGS.TS. Lê Anh Đức
Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh
Email: leanhduc@hcmuaf.edu.vn