

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH CHẾ ĐỘ SẤY HỢP LÝ CHO SẤY NẤM BÀO NGƯ THEO NGUYÊN LÝ SẤY BƠM NHIỆT HỒNG NGOẠI Ở TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ AN GIANG

Nguyễn Bá Tông

Giảng viên, Khoa Cơ khí, Trường Cao đẳng Nghề An Giang

Tóm tắt: Việt Nam có điều kiện khí hậu nhiệt đới, độ ẩm cao, thuận lợi cho việc nuôi trồng nấm bào ngư (*Pleurotus*). Đây là loại nấm giàu dinh dưỡng, chứa nhiều protein, vitamin và axit amin, có lợi cho sức khỏe và có thể thay thế đạm động vật. Hiện nay, nấm bào ngư được trồng rộng rãi với sản lượng khoảng 60.000 tấn/năm. Tuy nhiên, thời gian bảo quản sau thu hoạch ngắn (3-5 ngày), nên cần áp dụng phương pháp sấy để kéo dài thời gian sử dụng. Các phương pháp sấy truyền thống như phơi nắng, sấy không khí nóng còn nhiều hạn chế về chất lượng và hiệu quả bảo quản. Do đó, nghiên cứu này tập trung vào xác định chế độ sấy tối ưu cho nấm bào ngư bằng kỹ thuật bơm nhiệt kết hợp tia hồng ngoại, nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm và kéo dài thời gian bảo quản.

Từ khóa: Nấm bào ngư, sấy bơm nhiệt, tia hồng ngoại, chế độ sấy, bảo quản thực phẩm

RESEARCH ON DETERMINING THE SUITABLE DRYING MODE FOR DRYING ABALONE MUSHROOMS ACCORDING TO THE PRINCIPLE OF INFRARED HEAT PUMP DRYING AT AN GIANG VOCATIONAL COLLEGE

Nguyen Ba Tong

Lecturer, Faculty of Mechanical Engineering, An Giang Vocational College

Abstract: Vietnam has a tropical climate with high humidity, which is favorable for the cultivation of oyster mushrooms (*Pleurotus*). This type of mushroom is rich in nutrients, contains a lot of protein, vitamins and amino acids, is good for health and can replace animal protein. Currently, oyster mushrooms are widely grown with an output of about 60,000 tons/year. However, the post-harvest preservation time is short (3-5 days), so it is necessary to apply drying methods to extend the shelf life. Traditional drying methods such as sun drying and hot air drying have many limitations in quality and preservation efficiency. Therefore, this study focuses on determining the optimal drying mode for oyster mushrooms using heat pump technology combined with infrared rays, to improve product quality and extend the preservation time.

Keywords: Oyster mushroom, heat pump drying, infrared rays, drying mode, food preservation

Nhận bài: 16/03/2025

Phản biện: 16/04/2025

Duyệt đăng: 19/04/2025

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nấm bào ngư (*Pleurotus*) là một loại thực phẩm giàu dinh dưỡng, được trồng rộng rãi tại Việt Nam với sản lượng lớn. Tuy nhiên, do hàm lượng nước cao, nấm bào ngư có thời gian bảo quản ngắn, chỉ từ 3 - 5 ngày sau thu hoạch, dẫn đến nguy cơ hư hỏng nhanh và tổn thất kinh tế đáng kể. Vì vậy, sấy khô là giải pháp quan trọng giúp kéo dài thời gian bảo quản, đồng thời giữ được chất lượng và giá trị dinh dưỡng của sản phẩm.

Hiện nay, các phương pháp sấy truyền thống như phơi nắng, sấy không khí nóng còn nhiều hạn chế như mất chất dinh dưỡng, thay đổi màu sắc, kết cấu sản phẩm và tiêu tốn nhiều năng lượng. Do đó, việc nghiên cứu và áp dụng công nghệ sấy tiên tiến như sấy bơm nhiệt kết hợp tia hồng ngoại là cần thiết, nhằm nâng cao chất lượng sản phẩm và tối ưu hóa hiệu quả kinh tế.

Nghiên cứu này tập trung vào xác định sự ảnh hưởng của chế độ sấy nấm bào ngư theo nguyên lý sấy bơm nhiệt hồng ngoại đến chất lượng sản phẩm và các chỉ tiêu kinh tế – kỹ thuật. Đồng thời,

nghiên cứu cũng hướng đến việc xác định chế độ sấy hợp lý nhằm tối ưu hiệu suất máy sấy và chất lượng nấm sau khi sấy.

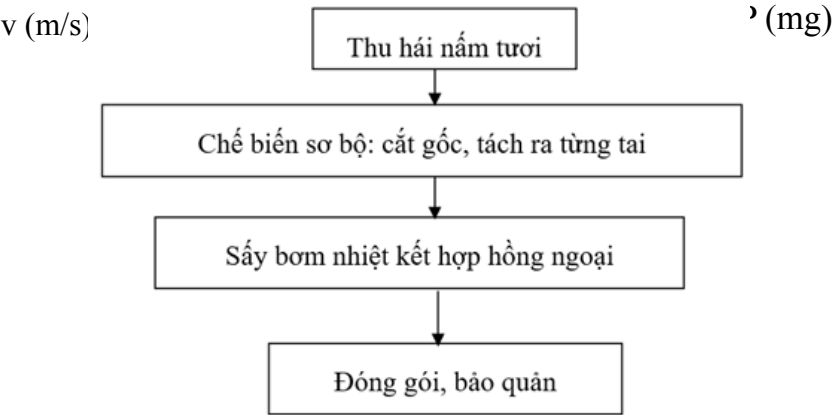
II. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại

Phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp tia hồng ngoại khác biệt so với các phương pháp truyền thống như sấy không khí nóng, sấy chân không,... nhờ khả năng giảm áp suất hơi nước trong tác nhân sấy, giúp đẩy nhanh quá trình thoát ẩm, rút ngắn thời gian sấy và nâng cao hiệu quả kinh tế.

Cơ chế hoạt động dựa trên việc giảm áp suất môi trường không khí bên ngoài, tạo sự chênh lệch áp suất giữa vật liệu sấy và môi trường, giúp hơi ẩm di chuyển nhanh hơn từ bên trong vật ra bề mặt và vào môi trường. Nhiệt độ sấy của phương pháp này thường thấp hơn so với sấy không khí nóng nhưng nhờ sự kết hợp của nhiệt đối lưu, nhiệt dẫn truyền và nhiệt hồng ngoại, thời gian sấy ngắn hơn và hiệu suất cao hơn.

Trong quá trình sấy để đảm bảo hơi ẩm thoát ra hiệu quả, tác nhân sấy cần có độ ẩm tương đối thấp nhằm duy trì sự chênh lệch áp suất hơi nước giữa vật sấy và môi trường, giúp tăng cường quá trình tách ẩm và cải thiện chất lượng sản phẩm.

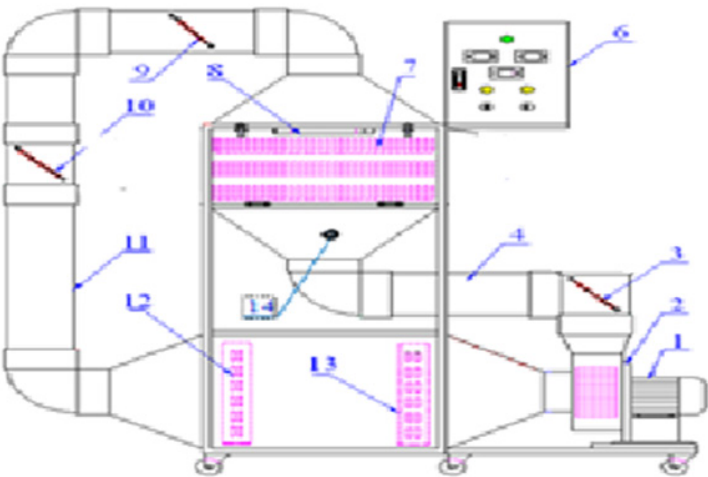


Hình 1: Sơ đồ chế biến nấm sấy

Thiết bị nghiên cứu.



Hình 2: Mô hình sấy nấm bào ngư bằng bơm nhiệt hồng ngoại.



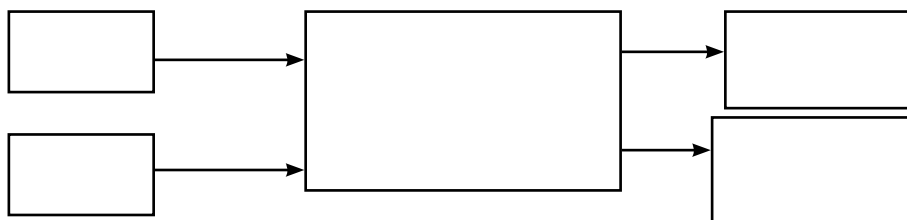
Hình 3: Sơ đồ cấu tạo máy sấy bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại

2.2. Xây dựng bài toán hộp đen

Từ kết quả xác định các thông số nghiên cứu, chúng ta có mô hình bài toán “hộp đen” mô tả quy hoạch thực nghiệm quá sấy nấm bào ngư theo nguyên lý sấy bơm nhiệt hồng ngoại

- Thông số vào:

T – Nhiệt độ tác nhân sấy (°C);
 v – Vận tốc tác nhân sấy (m/s);
- Thông số ra:
 Se – Tiêu thụ điện năng riêng (Wh/kg);
 PP –Chất lượng dinh dưỡng (mg);



Hình 4. Bài toán hộp đen

Xác định phương án quy hoạch thực nghiệm

Từ các kết quả nghiên cứu đã được trên cho thấy sự phụ thuộc của Se (Wh/kg) và PP (mg) vào vận tốc tác nhân sấy v (m/s), nhiệt độ tác nhân sấy T ($^{\circ}\text{C}$);

Bậc 2: $N = 2^k + 2 \cdot k + n_0 = 22 + 2 \cdot 2 + 5 = 13$

Trong đó: k – Số thông số vào, $k = 2$.

2^k – Số thí nghiệm diễn ra ở mức trên và mức dưới hay số thí nghiệm cho phương án bậc I không có lặp, $22 = 22 = 4$ thí nghiệm

2.3. Xác định chế độ sấy hợp lý cho sấy nấm bào ngư

2.3.1. Xây dựng bài toán tối ưu đa mục tiêu

Xuất phát từ mục đích nghiên cứu, bài toán tối ưu được lập trên cơ sở hai hàm PP và Se đặc trưng cho chỉ tiêu nghiên cứu.

- Bài toán tối ưu hóa một mục tiêu cho hàm PP:

+ Hàm mục tiêu: PP $\rightarrow$ max.

+ Hàm điều kiện: $1,414 \geq x_i \geq -1,414$; $i = 2$

- Bài toán tối ưu hóa một mục tiêu cho hàm Se:

+ Hàm mục tiêu: Se $\rightarrow$ min.

+ Hàm điều kiện: $1,414 \geq x_i \geq -1,414$; $i = 2$

- Bài toán tối ưu hóa đa mục tiêu:

+ Hàm mục tiêu: PP $\rightarrow$ max và Se $\rightarrow$ min.

+ Hàm điều kiện: $1,414 \geq x_i \geq -1,414$; $i = 2$

Trong đó x_i là số thông số nghiên cứu, $i = 2$ bao gồm: x_1 là nhiệt độ tác nhân sấy (thông số T); x_2 vận tốc tác nhân sấy (thông số v).

Kết quả giải bài toán tối ưu hóa

- Các thông số tối ưu:

+ Nhiệt độ tác nhân sấy: $T = 40,5^{\circ}\text{C}$

+ Vận tốc tác nhân sấy: $v = 0,71$ m/s

- Các chỉ tiêu tối ưu:

+ Hàm lượng vitamin trong nấm: PP = 130,2 mg

+ Tiêu thụ điện năng riêng cho quá trình sấy nấm: Se = 7,679 Wh/kg.

- Các thông số tối ưu:

+ Nhiệt độ tác nhân sấy: $T = 43,3^{\circ}\text{C}$

+ Vận tốc tác nhân sấy: $v = 1,62$ m/s

- Các chỉ tiêu tối ưu:

+ Hàm lượng vitamin trong nấm: PP = 121,7 mg

+ Tiêu thụ điện năng riêng cho quá trình sấy nấm: Se = 3,456 Wh/kg.

Bài toán tối ưu đa mục tiêu được lập và giải

bằng phần mềm Microsoft Excel. Kết quả giải bài toán tối ưu. Kết quả giải bài toán tối ưu đa mục tiêu đã xác định được các thông số tối ưu và các chỉ tiêu tối ưu như sau:

- Các thông số tối ưu:

+ Nhiệt độ tác nhân sấy: $T = 41,5^{\circ}\text{C}$

+ Vận tốc tác nhân sấy: $v = 1,2$ m/s

- Các chỉ tiêu tối ưu:

+ Hàm lượng vitamin trong nấm: PP = 128,2mg

+ Tiêu thụ điện năng riêng cho quá trình sấy nấm: Se = 4,5 Wh/kg.

2.3.2. Khảo nghiệm sấy so sánh tại chế độ sấy đã xác định

Để xác định chính xác thời gian sấy tại chế độ sấy hợp lý đã xác định và so sánh với phương pháp sấy khi không có sự hỗ trợ của hồng ngoại, tiến hành bố trí khảo nghiệm như sau:

Sấy nấm bào ngư với 2 phương pháp sấy: sấy bơm nhiệt và sấy bơm nhiệt kết hợp hồng ngoại.

Chế độ sấy được cài đặt theo chế độ sấy hợp lý đã xác định, cụ thể là nhiệt độ tác nhân sấy $41,5^{\circ}\text{C}$ và vận tốc tác nhân sấy là 1,2 m/s.

Vật liệu sấy: nấm bào ngư nguyên tai, khối lượng mỗi mẻ sấy là 5 kg.

Quá trình sấy sẽ kết thúc khi ẩm độ nấm đạt $12 \pm 0,5\%$ (theo Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 5322:1991).

Khi sấy theo nguyên lý sấy bơm nhiệt, thời gian sấy yêu cầu là 5 h để nấm đạt ẩm độ 12,3%, tốc độ sấy trung bình là 15,8 %/h. Khi có sự hỗ trợ của hồng ngoại, thời gian sấy giảm còn 4,5 h, ẩm độ nấm đạt 11,4%, tốc độ sấy trung bình là 17,7 %/h, nhanh hơn khi sấy không có sự hỗ trợ của hồng ngoại. Màu sắc, mùi vị của cả hai mẫu nấm là như nhau khi đánh giá bằng cảm quan.

2.4. Thiết kế máy sấy 50 kg

2.4.1. Lựa chọn các thông số ban đầu cần thiết cho quá trình tính toán

Vật liệu sấy: nấm bào ngư nguyên tai.

Kích cỡ tai nấm là 20-40 mm

Năng suất sấy của thiết bị G1 = 50 kg/ mẻ.

Độ ẩm sản phẩm đạt M2 = 12%.

Các tai nấm sẽ được xếp trên các khay.

Sấy bơm nhiệt hồi lưu 100% tác nhân sấy.

Nhiệt độ sấy $t - 4 = 450^{\circ}\text{C}$.

Âm độ ban đầu của nấm là 91%.

Trạng thái không khí ngoài trời ở TP. Hồ Chí Minh $t_0 = 300^{\circ}\text{C}$, $\varphi_0 = 80\%$.

Thời gian sấy tối ưu 8 giờ.

2.4.2. Tính toán kích thước buồng sấy

Dựa vào các dữ liệu đã cho ta có thể thiết lập được phương trình sau:

$$G_1 = G_2 + W$$

$$G_1(100 - M_1) = G_2(100 - M_2)$$

Khối lượng vật liệu sau khi sấy:

$$G_2 = G_1 \cdot \frac{100 - M_1}{100 - M_2} = 50 \cdot \frac{100 - 91}{100 - 13} = 5,17 \text{ kg/m}^2$$

Độ ẩm bốc hơi trong quá trình sấy (W):

$$W = G_1 - G_2 = 50 - 5,17 = 44,83 \text{ kg/m}^2$$

Lượng chất khô có trong sản phẩm là:

$$G_{ck} = G_1(100 - M_1) = G_2(100 - M_2) = \frac{50 \cdot (100 - 91)}{100} = 4,5 \text{ kg}$$

Lượng nước ban đầu có trong sản phẩm là:

$$W_{db} = G_1 - G_{ck} = G_1 \cdot M_1 = 50 - 4,5 = 45,5 \text{ kg}$$

Lượng nước còn lại trong sản phẩm:

$$W_{cl} = W_{db} - W = 45,5 - 44,83 = 0,67 \text{ kg}$$

Lượng ẩm bốc hơi trong 1 giờ:

$$W_h = \frac{W}{\tau} = \frac{44,83}{8} = 5,6 \text{ kg/h}$$

Từ thực nghiệm với 1m^2 có thể chứa được 5,5 kg nấm bào ngư (với kích cỡ tai nấm là 2-4cm, chiều dày lớp nấm 0,3 cm), vậy để chứa được 50 kg nấm thì cần $12,5\text{m}^2$

Chọn:

Chiều dài khay sấy: $l = 1000 \text{ mm}$

Chiều rộng khay sấy: $b = 700 \text{ mm}$

Chiều cao mỗi khay sấy: $h = 30 \text{ mm}$

Khoảng cách giữa các khay: $k = 50 \text{ mm}$

$$n = \frac{12,5}{0,71} = 17,8 \text{ khay} \quad \text{âm bào ngư nguyên.}$$

Chọn số khay là 18

Bố trí kiểu khay là 2 khay song song. Khoảng cách từ cửa và mặt sau đến khay chứa vật liệu sấy là 100 mm. Khoảng cách giữa các khay là 40 mm, chiều cao mỗi khay là 30 mm. Khung buồng sấy được làm bằng inox 304 hộp vuông 20mm, được bọc bằng inox 304 tấm dày 1mm.

- Chiều dài buồng sấy: $D = 700 \cdot 2 + 3 \cdot 20 + 2 \cdot 50 = 1540 \text{ mm}$.

Chọn $D = 1600 \text{ mm}$

- Chiều rộng buồng sấy: $R = 1000 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 50 = 1140 \text{ mm}$.

Chọn $R = 1200 \text{ mm}$

- Chiều cao buồng sấy: $C = 8 \cdot 50 + 9 \cdot 30 + 2 \cdot 100 + 2 \cdot 20 = 910 \text{ mm}$.

Chọn $C = 1000 \text{ mm}$.

Vậy kích thước buồng sấy là $1600\text{mm} \times 1200\text{mm} \times 1000 \text{ mm}$

Nhiệt lượng cần thiết cho hệ thống sấy như sau:

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

Trong đó:

Q_1 (kW): Nhiệt lượng cần thiết để gia nhiệt vật liệu đến nhiệt độ sấy.

Q_2 (kW): Nhiệt lượng để làm nóng khay sấy.

Q_3 (kW): Nhiệt lượng cần thiết để nước trong vật liệu hóa hơi.

Q_4 (kW): Nhiệt lượng làm nóng buồng sấy.

Q_5 (kW): Tổn thất nhiệt buồng sấy do dẫn nhiệt.

Q_6 (kW): Tổn thất nhiệt do bức xạ ở buồng sấy.

2.4.3. Xác định các thông số trạng thái của tác nhân sấy trong quá trình sấy

1: Giảm đồ t-d ta tìm được các thông số điểm nút

Trạng thái	$t, ^{\circ}\text{C}$	$d, \text{kg/kgkkk}$	$\varphi, \%$	$I, \text{kJ/kg}$
1	13	0,00937	100	36,72
2	50	0,00937	12	74,55
2'	45	0,0114	18,3	73,64
3	40	0,0135	28,3	74,55
4	18,5	0,0135	100	52,71

Phương trình cân bằng ẩm

$$G_2' d_2' = G_3 d_3 + G_2 d_2$$

$$d_2' = 0,5 \cdot d_3 + 0,5 \cdot d_2 = 0,5 \cdot 0,0135 + 0,5 \cdot 0,00937 = 0,0114 \text{ kg/kgkkk}$$

Phương trình cân bằng nhiệt độ

$$G_2' d_2' = G_3 d_3 + G_2 d_2$$

$$t_2' = 0,5 \cdot 40 + 0,5 \cdot 50 = 450^{\circ}\text{C}$$

Lưu lượng không khí khô cần thiết cho quá trình sấy.

$$L_{kk} = \frac{W}{\tau \cdot (d_3 - d_2')} = \frac{41,95}{8(0,0135 - 0,0114)} = 2497 \text{ kgkkk/h}$$

Công suất cần thiết của dàn lạnh.

$$Q_{DL} = 0,5 \cdot \frac{L_{kk} \cdot (h_3 - h_1)}{3600} = 0,5 \cdot \frac{2497 \cdot (74,55 - 36,72)}{3600} = 13,11 \text{ kW}$$

Công suất cần thiết của dàn nóng.

$$Q_{DN} = \frac{0,5 \cdot L_{kk} \cdot (h_2' - h_1)}{3600} = \frac{0,5 \cdot 2497 \cdot (73,64 - 36,72)}{3600} = 12,8 \text{ kW}$$

Lượng nước ngưng tụ tại dàn lạnh

$$G_{ng} = 0,5.L_{kk}.(d_4 - d_1) = 0,5.2497.(0,0135 - 0,00937) = 5,15 \text{ kg/h}$$

Lượng ẩm bay hơi trong 1 h

$$w = \frac{W}{\tau} = \frac{41,95}{8} = 5,24 \text{ kg/h}$$

2.4.4. Tính toán nhiệt tải cho hệ thống sấy lạnh

Tính toán nhiệt tải cho hệ thống lạnh chính là tính toán năng suất lạnh của máy nén lạnh cần lắp

đặt Q_0^{mn} . Năng suất lạnh cần lắp đặt để phù hợp với phụ tải được tính theo công thức sau:

$$Q_0^{mn} = \frac{k.Q}{b}, W$$

Trong đó: Q: Tổng nhiệt lượng tiêu tốn, W

k: Hệ số tính đến tổn thất trên đường ống và thiết bị của HTL.

b: Hệ số thời gian làm việc.

Hệ số k có thể tra bảng sau đây, những giá trị nào không có trong bảng có thể dùng phương pháp nội suy để tìm.

Hệ số k phụ thuộc vào nhiệt độ bay hơi ở dàn lạnh.

Hệ số thời gian làm việc phụ thuộc vào thời gian làm việc thực tế của hệ thống trong một ngày đêm (24 giờ) và nhiệt độ bay hơi ở dàn lạnh. Hệ số thời gian làm việc của các HTL có công suất nhỏ không lớn hơn 0,7.

Năng suất lạnh thực tế của hệ thống:

Chọn hệ số k = 1,0 và b = 0,7 (với hệ thống lạnh nhỏ và làm việc ở nhiệt độ dương):

III. KẾT LUẬN

Nấm bào ngư được trồng rộng rãi tại Việt Nam

với sản lượng lớn, nhưng thời gian bảo quản sau thu hoạch ngắn (3 - 5 ngày), khiến việc sấy khô trở thành giải pháp quan trọng. Các phương pháp sấy truyền thống như phơi nắng, sấy không khí nóng vẫn còn nhiều hạn chế, làm giảm chất lượng sản phẩm, hao hụt dinh dưỡng, mất màu sắc và mùi đặc trưng, đồng thời tiêu tốn nhiều thời gian và chi phí.

Nghiên cứu cho thấy, chế độ sấy bơm nhiệt kết hợp tia hồng ngoại ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng nấm và hiệu quả kinh tế. Tiêu thụ điện năng riêng đạt mức tối ưu khi nhiệt độ tác nhân sấy từ 43 – 44°C và vận tốc tác nhân sấy từ 1,5 – 1,7 m/s, với mức tiêu thụ khoảng 3,5 Wh/kg nấm. Chế độ sấy này giúp tối ưu hóa cả hàm lượng vitamin PP trong nấm sau sấy và mức tiêu thụ điện năng, đảm bảo chất lượng cao nhất với chi phí thấp nhất.

Từ kết quả nghiên cứu, việc áp dụng các thông số tối ưu vào thiết kế máy sấy nấm bào ngư công suất 50 kg sẽ giúp nâng cao hiệu quả sản xuất, kéo dài thời gian bảo quản và tăng giá trị kinh tế cho sản phẩm.

Hướng phát triển: Nghiên cứu có thể mở rộng theo hướng theo dõi thêm sự thay đổi của các thành phần dinh dưỡng khác trong nấm như protein, các loại vitamin khác, chất béo,... để đánh giá toàn diện hơn về ảnh hưởng của chế độ sấy đến chất lượng sản phẩm. Ngoài ra, có thể nghiên cứu thêm về các phương pháp điều chỉnh độ ẩm và kết cấu sản phẩm sau sấy nhằm nâng cao giá trị cảm quan và ứng dụng thực tiễn của nấm bào ngư sấy khô.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bùi Minh Trí (2006), Tối ưu hóa. NXB Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
2. Hoàng Đình Tín (2002), Cơ sở truyền nhiệt. NXB Đại học Quốc gia TP. HCM.
3. Lê Duy Thắng (2001), Kỹ thuật nuôi trồng nấm ăn, tập 1. NXB Nông Nghiệp Tp. Hồ Chí Minh.
4. Nguyễn Lâm Dũng (2004), Công Nghệ Nuôi Trồng Nấm Tập 1+2. NXB Nông Nghiệp
5. Nguyễn Trọng Hiệp (1999), Giáo trình chi tiết máy tập 1,2. NXB Giáo dục
6. Nguyễn Như Hiến và Phạm Văn Dư (2013), Thực trạng và giải pháp phát triển sản xuất nấm tại các tỉnh phía Nam
7. Nguyễn Văn Cương (2002), Bài giảng máy và thiết bị chế biến thực phẩm
8. Nguyễn Hữu Đồng, Đinh Xuân Linh, Nguyễn Thi Sơn, Zani Federico (2002). Nấm ăn cơ sở khoa học và công nghệ nuôi trồng. NXB Nông Nghiệp.
9. Nguyễn Cảnh (1993). Quy hoạch thực nghiệm. Nhà xuất bản Trường Đại học bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh.
10. Nguyễn Văn May (2004), Kỹ thuật sấy nông sản thực phẩm. NXB Khoa học kỹ thuật Hà Nội
11. Trần Dự, Bùi Đức Hợi, Mai Văn Lê, Nguyễn Như Thung (1983), Công nghệ và các máy chế biến lương thực. NXB Khoa học kỹ thuật
12. Trần Văn Phú, Lê Nguyên Dương (1994), Kỹ thuật sấy nông sản. NXB Khoa học kỹ thuật Hà Nội
13. Charles Muyanja, David Kyambadde and Brenda Namugumya. "Effect of Pretreatments and Drying Methods on Chemical Composition and Sensory Evaluation of Oyster Mushroom (*Pluerotus Oestreatus*) Powder and Soup". School of Food Technology, Nutrition and Bio-engineering, Makerere University, PO Box 7062, Kampala 7062, Uganda.