NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH CHẾ ĐỘ SẤY THÍCH HỢP TRONG THIẾT BỊ SẤY SÂM BỐ CHÍNH BẰNG PHƯƠNG PHÁP BƠM NHIỆT KẾT HỢP SÓNG SIÊU ÂM

Nguyễn Hay[1], Lê Quang Huy[2*], Lê Thanh Đạt[2], Ngô Thị Minh Hiếu[2]

TÓM TẮT

Sâm Bố Chính (*Abelmoschus sagittifolius*) là một dược liệu quý, có giá trị cao, thành phần hóa học chính là saponin triterpen, coumarin, chất nhầy, acid béo, đường khử, polyphenol, các nguyên tố vi lượng, trong đó thành phần saponin được xem như là hoạt chất chính tạo nên những giá trị của nhân sâm. Hiện nay, ở Việt Nam các công trình nghiên cứu về sâm Bố Chính còn hạn chế, chủ yếu ở lĩnh vực bảo tồn, nhân giống phát triển hoặc về tính chất dược lý của sâm, số lượng nghiên cứu về bảo quản và sấy khô sâm sau thu hoạch hầu như rất ít. Vì vậy việc nghiên cứu phát triển kỹ thuật sấy sâm để đảm bảo chất lượng vốn quý và nâng cao giá trị kinh tế của sâm sau quá trình chế biến là thật sự cần thiết và có ý nghĩa khoa học. Kế thừa các công trình nghiên cứu về sấy khi có sự hỗ trợ của sóng siêu âm trong và ngoài nước, căn cứ vào đặc tính của sâm Bố Chính, bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu chế tạo và phương pháp thực nghiệm xác định chế độ sấy thích hợp trên thiết bị sấy sâm Bố Chính bằng phương pháp bơm nhiệt kết hợp với sóng siêu âm.

Từ khóa: *Bơm nhiệt, chi phí điện năng, saponin, sâm Bố Chính, sóng siêu âm, thời gian sấy.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Sấy là quá trình tách ẩm ra khỏi vật liệu không chỉ để làm khô mà đòi hỏi vật liệu sau quá trình sấy phải đảm bảo chất lượng theo một tiêu chuẩn nào đó với chi phí sấy là phù hợp.

Sóng siêu âm là sóng cơ, có tần số vượt ra khỏi giới hạn nghe của tai người. Sóng siêu âm được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau như y học, sinh học, hóa học, công nghiệp thực phẩm, gia công cơ khí. Ngày nay, có rất nhiều công trình nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của sóng siêu âm lên hiệu quả quá trình sấy với các loại vật liệu khác nhau: Cà rốt và vỏ chanh [1], cà chua [2], cà tím [3], hạt dẻ cười [4], táo [5], khoai mì và táo [6], mâm xôi [7], tiêu xanh [8], đậu xanh [9], đậu Hà Lan [10], cà rốt [11, 14], đậu đỏ [12], đảng sâm [13], dâu tây [15]. Các tác giả đều nhận định rằng sóng siêu âm hỗ trợ hiệu quả quá trình sấy. Cụ thể sóng siêu âm cung cấp năng lượng làm phá vỡ lớp biên ẩm bề mặt, đồng thời lan truyền trong vật liệu sấy cung cấp năng lượng làm cho các phân tử cấu thành vật liệu sấy rung, co giãn liên tục tăng dao động dẫn đến tạo ra nhiều vi kênh trong vật liệu cũng như làm giảm lực liên kết giữa các phân tử, từ đó ẩm trong vật liệu khuếch tán ra bề mặt và từ bề mặt vật liệu sấy vào tác nhân sấy một cách dễ dàng nhờ hạn chế hiệu ứng Luikov. Vì vậy rút ngắn thời gian sấy, giảm năng lượng tiêu thụ đặc biệt ở điều kiện nhiệt độ sấy thấp thì hiệu quả càng rõ rệt.

Sâm Bố Chính (*Abelmoschus sagittifolius*) là một dược liệu quý, có giá trị cao, thành phần hóa học chính là saponin triterpen, coumarin, chất nhầy, acid béo, đường khử, polyphenol, các nguyên tố vi lượng. Thành phần saponin, được xem như là hoạt chất chính tạo nên những giá trị của nhân sâm.

Rễ sâm Bố Chính sau thu hoạch thường đóng gói dạng tươi trong các túi chân không, bảo quản ở nhiệt độ nhỏ hơn 8°C, phơi nắng hoặc sấy khô bằng không khí nóng, với các phương pháp làm này đã làm mất đi những giá trị dược tính quý giá vốn có của sâm và chứa nguy cơ gây hại cho người tiêu dùng, với thời gian sử dụng ngắn.

Hiện nay, ở Việt Nam, các công trình nghiên cứu về sâm Bố Chính còn hạn chế, chủ yếu ở lĩnh vực bảo tồn, nhân giống phát triển hoặc về tính chất dược lý của sâm. Số lượng nghiên cứu về bảo quản và sấy khô sâm sau thu hoạch hầu như rất ít. Vì vậy việc nghiên cứu phát triển kỹ thuật sấy sâm để đảm bảo chất lượng vốn quý và nâng cao giá trị kinh tế của

[1] Trường Đại học Nông Lâm thành phố Hồ Chí Minh
[2] Trường Cao đẳng Kỹ thuật Cao Thắng
*Email: lequanghuy@caothang.edu.vn

sâm sau quá trình chế biến là cần thiết và có ý nghĩa khoa học. Sau khi tìm hiểu về ưu điểm của sóng siêu âm hỗ trợ trong quá trình sấy, căn cứ vào đặc tính của sâm Bố Chính và nhằm đảm bảo chất lượng dược tính và giảm chi phí sấy. Phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp với sóng siêu âm là phù hợp với thực tế ở Việt Nam hiện nay.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

2.1.1. Vật liệu thí nghiệm

+ Sâm Bố Chính tươi được trồng tại huyện Đức Huệ, tỉnh Long An bởi Công ty Hoàng Ngọc Global.

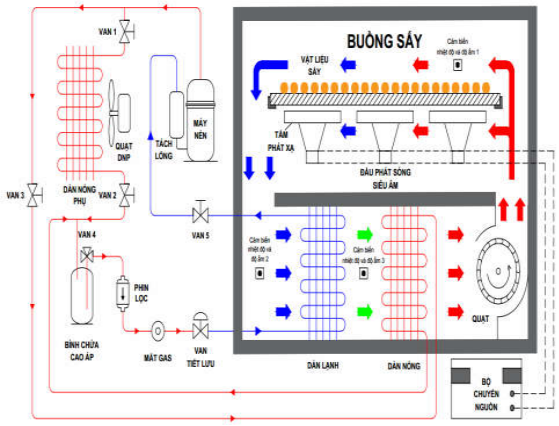
+ Sâm tươi được rửa sạch, cắt lát với chiều dày 6 mm.

+ Ẩm độ ban đầu: $\omega_1 \approx 82\%$ kg/kgVLA.

+ Ẩm độ yêu cầu: $\omega_2 \approx 13\%$ kg/kgVLA.

2.1.2. Thiết bị thí nghiệm

Thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm được sử dụng trong thí nghiệm là sản phẩm của nhóm tác giả bài báo tự thiết kế, chế tạo. Sơ đồ nguyên lý thiết bị sấy được thể hiện ở hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý thiết bị sấy

- Nguyên lý làm việc:

Sâm bố chính cắt lát với chiều dày 6 mm được trải đều trên khay và đặt trong buồng sấy. Dòng tác nhân sấy đầu tiên được quạt thổi qua dàn lạnh, tại đây một phần ẩm sẽ được ngưng tụ và tách ra khỏi tác nhân sấy sau đó tác nhân sấy tiếp tục đi vào dàn nóng để gia nhiệt đến nhiệt độ yêu cầu rồi đưa đến buồng sấy. Trong buồng sấy, tác nhân sấy chuyển động theo hướng song song với khay sấy kết hợp với sóng siêu âm phát ra từ bộ phát sóng để thực hiện quá trình trao đổi nhiệt ẩm làm khô vật liệu. Cụ thể dưới tác dụng nhiệt của tác nhân sấy và dao động cơ học của sóng siêu âm, ẩm trong vật liệu sẽ dịch chuyển từ tâm ra bề mặt và sau đó từ bề mặt khuếch tán ra bên ngoài nhanh và đều hơn. Tác nhân sấy sau khi nhận ẩm từ vật liệu sấy sẽ trở lại dàn lạnh để tiếp tục thải ẩm, qua dàn ngưng và vào lại buồng sấy, chu trình tuần hoàn tác nhân sấy diễn ra liên tục đến khi ẩm độ trong vật liệu sấy đạt yêu cầu thì dừng lại.

2.2. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm

2.2.1. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đơn yếu tố

Áp dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đơn yếu tố để nghiên cứu ảnh hưởng riêng của hai yếu tố: t – nhiệt độ tác nhân sấy (°C), P – công suất sóng siêu âm (W) đến Ar – chi phí điện năng riêng (kWh/kg) và Sp – hàm lượng saponin (%).

2.2.2. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đa yếu tố

Áp dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đa yếu tố (phương pháp quy hoạch thực nghiệm) để nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của hai yếu tố: t – nhiệt độ tác nhân sấy (°C), P – công suất sóng siêu âm (W) đến Ar – chi phí điện năng riêng (kWh/kg) và Sp – hàm lượng saponin (%).

Thí nghiệm được tiến hành theo quy hoạch thực nghiệm bậc II dạng bất biến quay với số lượng thí nghiệm được xác định theo công thức sau:

$$N = 2^k + 2k + n_0 \qquad (1)$$

Trong đó: k là số yếu tố nghiên cứu; 2^k là số thí nghiệm ở mức trên và mức dưới; 2k là số thí nghiệm ở mức điểm sao ± α với ($\alpha = 2^{k/4}$); n_0 là số lượng thí nghiệm lặp ở mức cơ sở.

2.2.3. Phương pháp nghiên cứu tối ưu tổng quát

Áp dụng phương pháp tối ưu tổng quát để xác định giá trị tối ưu chung của các yếu tố vào cho tất cả các thông số ra làm cơ sở cho việc hoàn thiện quy trình công nghệ và thiết kế cải tiến thiết bị sấy nhằm triển khai ứng dụng rộng rãi trong thực tiễn sản xuất.

Bài toán tối ưu hóa được xây dựng trên cơ sở các hàm toán là các phương trình hồi qui, xác định được bằng phương pháp thực nghiệm hồi qui có dạng đa thức bậc II. Sử dụng phần mềm Statgraphics 18 để giải bài toán tối ưu trên các hàm mục tiêu có điều kiện phù hợp đặc trưng của sâm Bố Chính khi sấy.

Hàm mục tiêu: $Sp \geq Sp_S$ và $Ar \rightarrow min$

2.3. Phương pháp xác định một số thông số công nghệ của quá trình sấy

2.3.1. Dụng cụ đo đạc

Dụng cụ đo đạc trong nghiên cứu này gồm:

+ Cân sấy ẩm hồng ngoại SH-10A: giới hạn mẫu đo 3 ~ 50 g; độ chính xác ± 0,5%.

+ Cân điện tử DS-2002N: giới hạn đo 2000 g; sai số cho phép ± 0,01 g.

+ Đồng hồ đo nhiệt độ Hanyoung Nux BR6A: thang đo -50,0 ~ 150,0°C; độ chính xác ±1%

+ Đồng hồ đo nhiệt độ - độ ẩm hãng Conotec Fox-300A: thang đo -55,0 ~ 99,9°C; 0 ~ 100% RH; độ chính xác nhiệt độ ±1% và ẩm độ là ±3%

+ Đồng hồ đo tốc độ gió Lutron AM-4203: Đo tốc độ gió 0,4 – 25,0 m/s; độ chính xác ±2%.

+ Đồng hồ đo điện năng (điện áp V, dòng điện A, công suất W và điện năng tiêu thụ Wh) hãng PZEM. Điện áp đo 80 ~ 260VAC; dòng đo 0 - 20A; tần số 50/60Hz. Độ chính xác ±1%.

2.3.2. Phương pháp đo đạc

Các số liệu thí nghiệm được xác định theo hai phương pháp: số liệu đo đạc trực tiếp và số liệu xác định gián tiếp.

- Nhiệt độ sấy, thời gian sấy, khối lượng và độ dày sâm Bố Chính, công suất sóng siêu âm, điện năng tiêu thụ được đo trực tiếp bằng các dụng cụ đo trình bày ở trên.

- Hàm lượng saponin (g/100 g chất khô): được xác định với phương pháp saponin/01/2019 (Viện Nghiên cứu Công nghệ sinh học và Môi trường, Trường Đại học Nông Lâm thành phố Hồ Chí Minh).

- Hàm lượng saponin Sp (%) được tính theo công thức sau:

$$Sp = \frac{Sp_2}{Sp_1}.100\ (\%) \qquad (2)$$

Trong đó: Sp_1 là hàm lượng saponin ban đầu (g/100 g chất khô); Sp_2 là hàm lượng saponin sau sấy (g/100 g chất khô).

- Chi phí điện năng riêng được xác định qua biểu thức:

$$Ar = \frac{P\tau}{m_1}\ (kWh/kg) \qquad (3)$$

Trong đó: P là công suất tiêu thụ trong quá trình sấy (kW); m_1 là khối lượng sâm Bố Chính trước khi sấy (kg); τ là thời gian sấy (h).

- Độ ẩm tương đối của sâm Bố Chính:

Độ ẩm ban đầu của vật liệu được xác định bằng cân sấy ẩm hồng ngoại SH-10A, thực nghiệm 5 lần cân cho 5 mẫu ngẫu nhiên rồi lấy giá trị trung bình, kết quả xác định được độ ẩm của sâm tươi: $\omega_1 \approx 82\%$.

Sau khi biết được độ ẩm ban đầu, sẽ xác định được khối lượng chất khô có trong vật liệu, khối lượng này xem như không thay đổi trong suốt quá trình sấy, được tính theo công thức:

$$m_k = m_1 \times (1 - \omega_1) = m_1 \times 0,18\ (kg) \qquad (4)$$

Độ ẩm của vật liệu tại từng thời điểm quá trình sấy được xác định sau khi đã biết khối lượng chất khô theo công thức sau:

$$\omega = \frac{m_2 - m_k}{m_2} \times 100\ (\%\ kg/kgVLA) \qquad (5)$$

Trong đó: m_1 là khối lượng sâm Bố Chính trước khi sấy (kg); m_2 là khối lượng sâm Bố Chính tại thời điểm τ (kg); m_k là khối lượng chất khô có trong vật liệu (kg).

2.3.3. Phương pháp xử lí số liệu

Số liệu được thu thập, lưu trữ và xử lí bằng phần mềm Statgraphics 18. Sử dụng phương pháp hồi qui, phân tích phương sai (ANOVA) để xác định giá trị các hệ số trong mô hình hồi qui đa thức. Kiểm tra mức ý nghĩa của các hệ số hồi qui theo tiêu chuẩn Student và tính tương thích của mô hình theo tiêu chuẩn Fisher.

2.4. Quy trình thực nghiệm

2.4.1. Thực nghiệm đánh giá khả năng làm việc

Với mục đích kiểm tra so sánh thời gian sấy thực tế với lý thuyết cũng như kiểm tra so sánh thời gian sấy, chi phí điện năng riêng của phương pháp sấy bơm nhiệt và phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm từ đó đánh giá sơ bộ hiệu quả của phương pháp sấy kết hợp. Đã tiến hành 2 mẻ sấy là bơm nhiệt và bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm công suất 120 W ở cùng nhiệt độ tác nhân sấy (TNS) 45°C, vận tốc TNS: 0,5 m/s, công suất 1,5 kg/mẻ với độ ẩm ban đầu: ω_1 = 82% (kg/kgVLA), độ ẩm sau: ω_2 = 13% (kg/kgVLA).

2.4.2. Thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của công suất sóng siêu âm

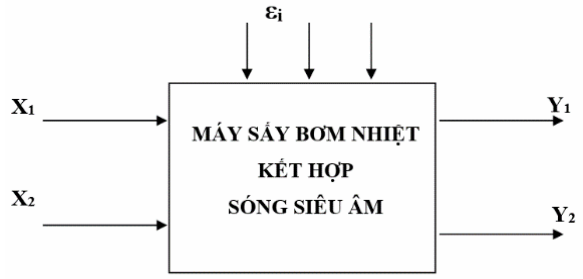
Đã đánh giá ảnh hưởng của công suất sóng siêu âm đến thời gian sấy, chi phí điện năng riêng cũng như hàm lượng saponin còn lại, từ đó chọn được dải công suất thích hợp để tiến hành các thực nghiệm xác định chế độ sấy thích hợp cho thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm.

Kế thừa nhiệt độ TNS 45°C, vận tốc TNS 0,5 m/s, tiến hành sấy 4 mẻ với dải công suất sóng siêu âm từ 40 – 160 W.

2.4.3. Thực nghiệm xác định chế độ sấy thích hợp

Chi phí điện năng riêng, hàm lượng saponin là các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật quan trọng trong quá trình sấy. Hai chỉ tiêu này phụ thuộc vào nhiều yếu tố: vận tốc tác nhân sấy, độ ẩm của tác nhân sấy, nhiệt độ của tác nhân sấy, độ dày lớp vật liệu sấy, ẩm độ của vật liệu sấy, thời gian sấy, công suất sóng siêu âm, tần số sóng siêu âm, vật liệu tấm phát xạ, khoảng cách phát xạ, sấy tiếp xúc hay không tiếp xúc, cách bố trí vật liệu sấy,...

Căn cứ vào điều kiện thí nghiệm và giới hạn của nghiên cứu, các thông số đầu vào được chọn là thông số đặc trưng cho thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm bao gồm:



Hình 2. Mô hình bài toán hộp đen mô tả quá trình nghiên cứu

Thông số đầu vào: X_1: Nhiệt độ tác nhân sấy; X_2: Công suất sóng siêu âm.

Chỉ tiêu nghiên cứu: Y_1: Chi phí điện năng riêng; Y_2: Hàm lượng saponin.

Để xây dựng hàm hồi quy nhằm đánh giá ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến các chỉ tiêu đầu ra, từ đó đưa ra chế độ sấy thích hợp cho thiết bị sấy, đã tiến hành thí nghiệm sấy ở 3 mức nhiệt độ t = 40 – 45 – 50°C và 3 mức công suất sóng siêu âm từ thực nghiệm thăm dò đánh giá ảnh hưởng của công suất sóng siêu âm, với số lượng thí nghiệm được xác định theo công thức sau:

$N = 2^k + 2k + n_0 = 2^2 + 2.2 + 1 = 9.$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả tính toán thiết kế

Trên cơ sở đặc điểm cấu tạo, sơ đồ nguyên lý đã đề xuất và các yêu cầu thiết kế ban đầu là sâm Bố Chính tươi cắt lát 6 mm, năng suất thiết bị sấy G_1 = 1,5 kg/mẻ, ẩm độ ban đầu $\omega_1 \approx 82\%$ kg/kgVLA, ẩm độ yêu cầu $\omega_2 \approx 13\%$ kg/kgVLA, nhiệt độ sấy t_s = 45°C, vận tốc tác nhân sấy v = 0,5 m/s, thời gian sấy τ = 8 h/mẻ.

Sau khi tính toán thiết kế, thông số kỹ thuật cụ thể của thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm (HPUS) được thể hiện ở bảng 1.

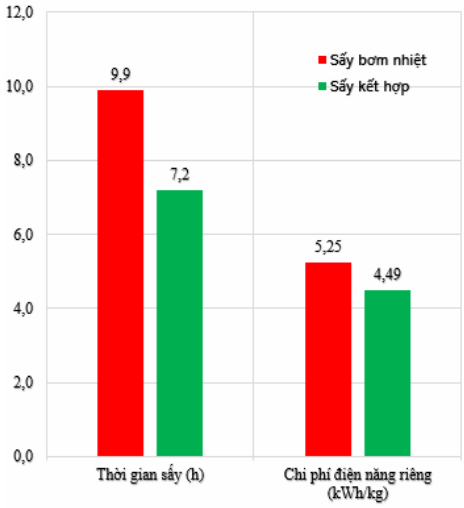
Hình 3. Thiết bị sấy thực nghiệm

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của máy sấy

TT	Nội dung	Thông số
1	Năng suất (kg/mẻ)	1,5
2	Kích thước buồng sấy: D x R x C (mm)	900 x 440 x 400
3	Công suất động cơ máy nén (kW)	0,4
4	Công suất động cơ quạt (kW)	0,29
5	Công suất bộ phát sóng (kW)	0,2
6	Tần số bộ phát sóng siêu âm (kHz)	28
7	Kích thước tấm phát xạ: D x R x C (mm)	260 x 124 x 29
8	Vật liệu làm tấm phát xạ	Inox 304
9	Nhiệt độ tác nhân sấy t (°C)	40 - 55
10	Tốc độ tác nhân sấy v (m/s)	0,5 - 3
11	Điện áp sử dụng:	Ph/220V/50 Hz

3.2. Thực nghiệm đánh giá khả năng làm việc

Thực nghiệm sấy bơm nhiệt và bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm (HPUS) công suất 120 W ở cùng nhiệt độ TNS 45°C, vận tốc TNS 0,5 m/s như đã trình bày ở mục 2.4.1, kết quả thực nghiệm thể hiện ở hình 4.



Hình 4. Biểu đồ chế độ sấy bơm nhiệt và bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm

Kết quả thực nghiệm cho thấy: Ở chế độ sấy bơm nhiệt, thời gian sấy là 9,9 giờ, khi sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm công suất 120 W, thời gian sấy được rút ngắn còn 7,2 giờ. Ngoài ra sấy kết hợp thì chi phí điện năng riêng cũng giảm so với sấy bơm nhiệt, điều này phù hợp với nhận định sóng siêu âm hỗ trợ quá trình sấy, rút ngắn thời gian sấy cũng như các kết quả nghiên cứu trước đó.

Từ phân tích trên cho thấy: Sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm giúp rút ngắn thời gian sấy, giảm chi phí điện năng riêng, do đó việc sấy kết hợp là hoàn toàn cần thiết.

3.3. Thực nghiệm xác định chế độ sấy thích hợp

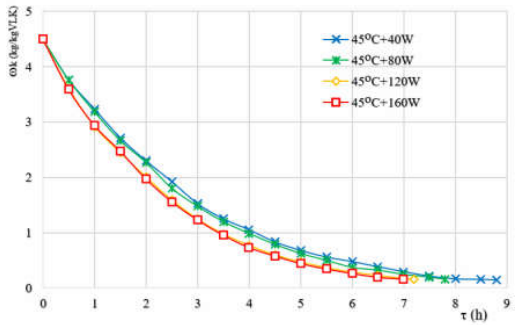
3.3.1. Thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của công suất sóng siêu âm đến thời gian sấy, chi phí điện năng riêng và hàm lượng saponin

Kế thừa nhiệt độ TNS 45°C, vận tốc TNS 0,5 m/s [13], tiến hành sấy 4 mẻ trên bơm nhiệt công suất 690 W, với dải công suất sóng siêu âm từ 40 – 160 W.

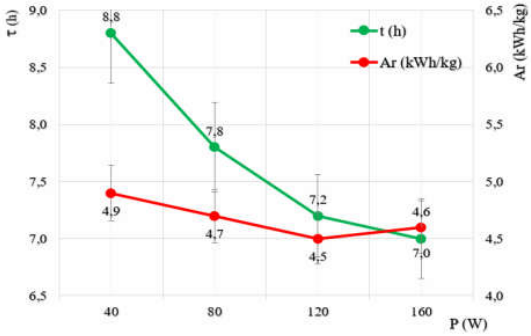
Kết quả thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của công suất sóng siêu âm được thể hiện ở bảng 2, hình 5, 6 và 7.

Bảng 2. Ảnh hưởng của công suất sóng siêu âm đến thời gian sấy, chi phí điện năng riêng và hàm lượng saponin

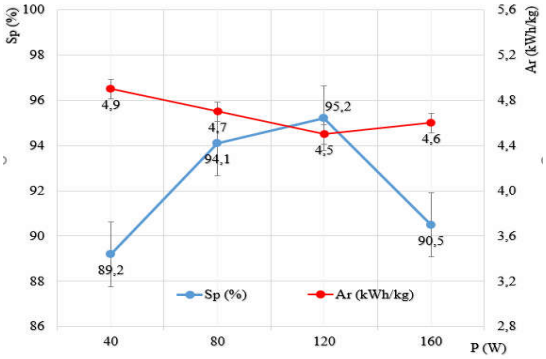
STT	P (W)	τ (h)	Ar (kWh/kg)	Sp (%)
1	40	8,8	4,9	89,2
2	80	7,8	4,7	94,1
3	120	7,2	4,5	95,2
4	160	7,0	4,6	90,5



Hình 5. Đường cong sấy ở các mức công suất khác nhau tại nhiệt độ 45°C



Hình 6. Ảnh hưởng của công suất sóng siêu âm đến thời gian sấy, chi phí điện năng riêng



Hình 7. Ảnh hưởng công suất sóng siêu âm đến chi phí điện năng riêng và hàm lượng saponin (%)

Từ kết quả thực nghiệm điều kiện nhiệt độ, vận tốc tác nhân sấy (45°C, 0,5 m/s) trên thiết bị sấy bơm nhiệt 690 W và công suất sóng siêu âm 200 W cho thấy, trong sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm, thì công suất sóng siêu âm có ảnh hưởng đến thời gian sấy cũng như tổn thất saponin trong sâm Bố Chính và vùng công suất sóng siêu âm: P = 80 - 160 W là vùng có ảnh hưởng nhiều nhất. Cụ thể chi phí điện năng giảm, phần trăm saponin tăng khi tăng công suất siêu âm từ 40 – 120 W và chi phí điện năng tăng, phần trăm saponin giảm khi công suất siêu âm tăng từ 120 - 160 W (Bảng 2, hình 7).

Vì vậy công suất của sóng siêu âm phải được giới hạn ở một vùng thích hợp, vì đến một mức nào đó, khi công suất siêu âm tiếp tục tăng sẽ làm tăng chi phí điện năng riêng và giảm hàm lượng saponin trong sản phẩm sấy.

3.3.2. Thực nghiệm xác định chế độ sấy thích hợp

Để xây dựng hàm hồi quy nhằm đánh giá ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến các chỉ tiêu đầu ra, từ đó đưa ra chế độ sấy thích hợp cho thiết bị sấy. Thực nghiệm sấy ở 3 mức nhiệt độ t = 40 - 45 - 50 °C và 3 mức công suất sóng siêu âm P = 80 - 120 - 160 W. Sau khi tiến hành thực nghiệm theo ma trận thí nghiệm đã lập, các số liệu thu được thể hiện ở bảng 3.

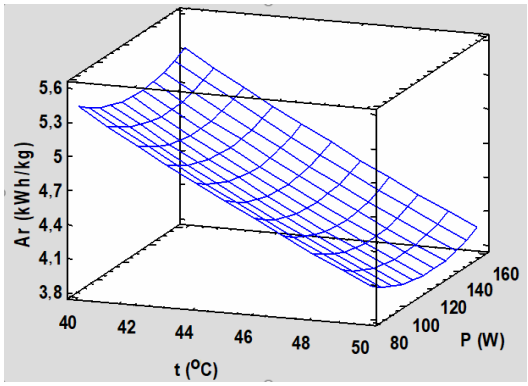
Bảng 3. Thông số thực nghiệm

STT	Thông số đầu vào		Thông số đầu ra	
	t (°C)	P (W)	Ar (kWh/kg)	Sp (%)
1	40	80	5,4	75,7
2	40	120	5,25	83,1
3	40	160	5,3	88,6
4	45	80	4,7	94,1
5	45	120	4,5	95,2
6	45	160	4,6	90,5
7	50	80	4,1	73,2
8	50	120	3,8	78,1
9	50	160	4	75,7

Từ kết quả thu được ở bảng 3, tiến hành phân tích phương sai cho cả hai hàm toán đa thức bậc II ta được 2 phương trình hồi quy sau:

- Hàm hồi quy chi phí điện năng riêng (kWh/kg):

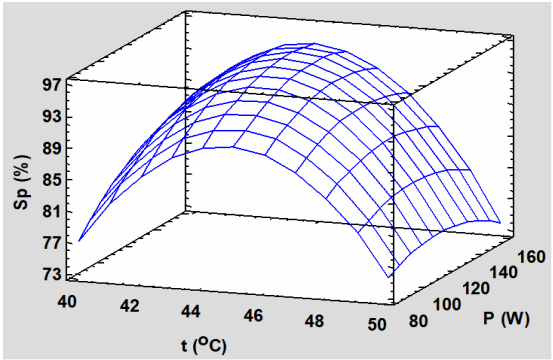
$Ar = 15,5889 – 0,285t – 0,02625P + 0,00166667t^2 + 0,000104167P^2$ ($R^2 = 0,99$)



Hình 8. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa Ar, t và P

- Hàm hồi quy hàm lượng saponin (%):

$Sp = -1123,27 + 52,0t + 1,00917P – 0,568t^2 – 0,013tP – 0,0015625P^2$ ($R^2 = 0,92$)



Hình 9. Đồ thị biểu diễn quan hệ giữa Sp, t và P

Qua kết quả thực nghiệm trên cho thấy:

- Nhiệt độ tác nhân sấy, công suất sóng siêu âm ảnh hưởng đến chi phí điện năng riêng của quá trình sấy. Điều này cũng phù hợp với phân tích lý thuyết cũng như nhiều công trình nghiên cứu trước đây. Khi nhiệt độ tác nhân sấy, cường độ siêu âm càng lớn thì tiêu hao điện năng cho quá trình sấy càng giảm vì rút ngắn thời gian sấy. Tuy nhiên khi cường độ siêu âm vượt mức giới hạn nào đó, thì tiêu hao điện năng sẽ không tiếp tục giảm mà ngược lại sẽ ngày càng tăng.

- Nhiệt độ tác nhân sấy, công suất sóng siêu âm ảnh hưởng đến hàm lượng saponin sau quá trình sấy. Cụ thể, khi nhiệt độ tác nhân sấy tăng, hàm lượng saponin còn lại tăng do rút ngắn thời gian sấy, tuy nhiên nếu tiếp tục tăng, nhiệt độ sấy cao hơn dẫn đến phá hủy thành phần saponin, hàm lượng saponin còn lại sẽ ngày càng giảm. Tương tự, khi công suất siêu âm P tăng, hàm lượng saponin còn lại tăng do rút

ngắn thời gian sấy, đây là mối quan hệ tỷ lệ thuận Tuy nhiên khi cường độ siêu âm P vượt mức giới hạn nào đó, thì hàm lượng saponin sẽ không tăng nữa mà ngược lại sẽ ngày càng giảm, đây là mối quan hệ tỷ lệ nghịch. Mối quan hệ này phù hợp với các nghiên cứu [1], [13].

3.3.3. Chế độ sấy tối ưu

Chỉ tiêu tối ưu về hàm chi phí điện năng riêng (kWh/kg) là mức tiêu thụ điện năng riêng thấp nhất trong quá trình sấy thực nghiệm.

Chỉ tiêu tối ưu về hàm lượng saponin (%) trong sâm Bố Chính là hàm lượng saponin đạt được cao nhất trong quá trình sấy thực nghiệm.

Chỉ tiêu tối ưu chung hay còn gọi là đa mục tiêu được hiểu là sao cho đồng thời chi phí điện năng riêng là thấp nhất, hàm lượng saponin đạt được cao nhất trong quá trình sấy thực nghiệm.

Thông số tối ưu là giá trị các thông số đảm bảo trị số chỉ tiêu tối ưu.

Xuất phát từ mục đích nghiên cứu, bài toán tối ưu được xác định trên cơ sở hai hàm hồi quy Ar, Sp đặc trưng cho các chỉ tiêu nghiên cứu kinh tế và kỹ thuật tìm được trong quá trình quy hoạch thực nghiệm.

- Hàm đa mục tiêu: $Sp \geq Sp_S$ và $Ar \rightarrow min$

$Ar = 15,5889 - 0,285t - 0,02625P + 0,00166667t^2 + 0,000104167P^2 \rightarrow min$

$Sp = -1123,27 + 52,0t + 1,00917P - 0,568t^2 - 0,013tP - 0,0015625P^2 \rightarrow max$

- Hàm điều kiện: $50 \geq t \geq 40$ (^oC)

$160 \geq P \geq 80$ (W)

Trong đó: Sp_S là hàm lượng saponin yêu cầu.

Các bài toán tối ưu được giải trên máy tính bằng phần mềm Statgraphics 18 với kết quả như sau:

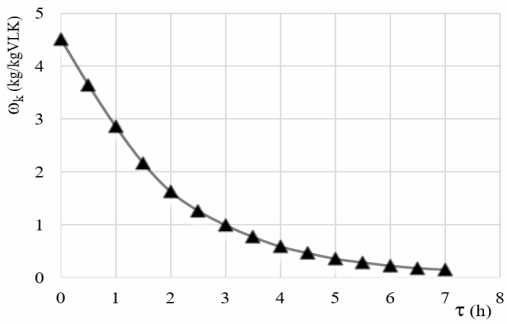
- Thông số tối ưu: t = 46,4^{o}C; P = 127,8 W.

- Chỉ tiêu tối ưu: Ar = 4,3 kWh/kg; Sp = 93,05%.

3.3.4. Đường cong sấy tại chế độ sấy thích hợp cho sâm Bố Chính

Từ kết quả xác định thông số làm việc tối ưu của thiết bị sấy, tiến hành thực nghiệm tại thông số làm việc tối ưu: t = 46,4^{o}C; P = 127,8 W.

Đã xây dựng được đường cong sấy tại chế độ sấy thích hợp cho sâm Bố Chính như ở hình 10.



Hình 10. Đường cong sấy tại chế độ sấy thích hợp

4. KẾT LUẬN

Bằng phương pháp thực nghiệm trên thiết bị sấy sâm Bố Chính (HPUS) đã xác định được hàm hồi quy biểu diễn quan hệ giữa chi phí điện năng riêng (kWh/kg) và hàm lượng saponin (%) với nhiệt độ tác nhân sấy (^oC) và công suất sóng siêu âm (W) như sau:

$Ar = 15,5889 - 0,285t - 0,02625P + 0,00166667t^2 + 0,000104167P^2$ ($R^2 = 0,99$).

$Sp = -1123,27 + 52,0t + 1,00917P - 0,568t^2 - 0,013t.P - 0,0015625P^2$ ($R^2 = 0,92$).

Bằng phương pháp tối ưu hóa đã xác định chế độ sấy thích hợp cho thiết bị sấy sâm Bố Chính theo nguyên lý bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm như sau: nhiệt độ tác nhân sấy 46,4^{o}C, công suất sóng siêu âm 127,8 W. Chỉ tiêu đạt được gồm có: chi phí điện năng riêng 4,3 kWh/kg, hàm lượng saponin 93,05%. Đây là cơ sở để thiết kế chế tạo cải tiến máy sấy sâm Bố chính hiện nay.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. García-Pérez, J. V., *et al.*, 2009. Influence of the Applied Acoustic Energy on the Drying of Carrots and Lemon Peel. Drying Technology. 27 (2): p. 281 - 287.

2. Ozuna, C., *et al.,* 2011. Improvement of water transport mechanisms during potato drying by applying ultrasound. J Sci Food Agric. 91 (14): p. 2511 - 2517.

3. Puig, A., *et al.,* 2012. Moisture loss kinetics and microstructural changes in eggplant (*Solanum melongena* L.) during conventional and ultrasonically assisted convective drying. Food and Bioproducts Processing. 90 (4): p. 624 - 632.

4. Kouchakzadeh, A., 2013. The effect of acoustic and solar energy on drying process of pistachios.

Energy Conversion and Management. 67: p. 351 - 356.

5. Kowalski, S. J. and D. Mierzwa, 2015. US - Assisted Convective Drying of Biological Materials. Drying Technology. 33 (13): p. 1601-1613.

6. Ozuna, C., *et al.,* 2014. Influence of material structure on air-borne ultrasonic application in drying. Ultrasonics Sonochemistry. 21 (3): p. 1235 - 1243.

7. Kowalski, S. J., *et al.,* 2016. High power airborne ultrasound assist in combined drying of raspberries. Innovative Food Science & Emerging Technologies. 34: p. 225 - 233.

8. Szadzińska, J., *et al.,* 2017. The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper. Ultrasonics Sonochemistry. 34: p. 531 - 539.

9. Tekin, Z., *et al.,* 2017. Dehydration of green beans using ultrasound - assisted vacuum drying as a novel technique: drying kinetics and quality parameters. Journal of Food Processing and Preservation. 41.

10. Yang, Z., *et al.,* 2018. Ultrasound-assisted heat pump drying of pea seed. Drying Technology. 36 (16): p. 1958 - 1969.

11. Kroehnke, J., *et al.,* 2018. Ultrasound - and microwave - assisted convective drying of carrots – Process kinetics and product's quality analysis. Ultrasonics Sonochemistry. 48: p. 249 - 258.

12. Yang, Z., *et al.,* 2020. Ultrasound-assisted heat pump intermittent drying of adzuki bean seeds: Drying characteristics and parameter optimization. Journal of Food Process Engineering. 43 (10): p. e13501.

13. Nguyễn Xuân Quang, 2020. Đề tài nghiên cứu kỹ thuật sấy nông sản thực phẩm sử dụng sóng siêu âm. Trường Đại học Nông Lâm thành phố Hồ Chí Minh.

14. Luo, D.L., *et al.,* 2015. Drying characteristics and mathematical model of ultrasound assisted hot-air drying of carrots. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 8: p. 124-132.

15. Juliana Gamboa-Santos, Antonia Montilla, Juan Andrés Cárcel, Mar Villamiel, Jose V. Garcia-Perez, 2014. Air-borne ultrasound application in the convective drying of strawberry. Journal of Food Engineering, Vol 128, pp. 132-139.

RESEARCHING EXPERIMENTS FOR DETERMINING SUITABLE DRYING REGIME IN BO CHINH GINSENG DRYER USING ASSISTED ULTRASOUND WITH HEAT PUMP DRYER

Nguyen Hay[1], Le Quang Huy[2], Le Thanh Dat[2], Ngo Thi Minh Hieu[2]

[1]Nong Lam University Ho Chi Minh city

[2]Cao Thang Technical College

Email: lequanghuy@caothang.edu.vn

Summary

Bo Chinh ginseng *(Abelmoschus sagittifolius)* is a high value, precious pharmaceutical herb and the main chemical compositions are saponin triterpen, carbohydrates, coumarin, polyphenols, sugars, and organic acids. Saponin is the main component that is created the value of ginseng. Nowadays, in Vietnam, there are a few studies of Bo Chinh ginseng and these studies are mainly related to the conservation, propagation, and pharmaceutical properties of this ginseng. The number of studies on the preservation of dried ginseng after harvest is small. Therefore, researching, developing drying techniques for Bo Chinh ginseng to ensure its original quality, and improving its economic value in processes are really practical and scientific meaning. By referring to the research on drying techniques with the support of ultrasound in Vietnam and abroad and basing on the properties of Bo Chinh ginseng, we present research results and experimental methods to determine the suitable drying regime in Bo Chinh ginseng dryer using the assisted ultrasound with heat pump dryer.

Keywords: *Heat pump, energy consumption, saponin, Bo Chinh ginseng, ultrasound, drying time.*

Người phản biện: PGS.TS. Trần Như Khuyên

Ngày nhận bài: 15/10/2021

Ngày thông qua phản biện: 16/11/2021

Ngày duyệt đăng: 23/11/2021