

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO
TRƯỜNG ĐẠI HỌC NÔNG LÂM THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH**

-oOo-

NGUYỄN XUÂN QUANG

**NGHIÊN CỨU KỸ THUẬT SẤY NÔNG SẢN THỰC
PHẨM SỬ DỤNG SÓNG SIÊU ÂM**

Chuyên ngành: Kỹ thuật cơ khí

Mã số: 9 52 01 03

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2020

Công trình được hoàn thành tại:

- Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh
- Trường Đại học Sư Phạm Kỹ Thuật TP. Hồ Chí Minh

Người hướng dẫn khoa học:

1. GS. TS. NGUYỄN HAY
2. PGS. TS. NGUYỄN NGỌC PHƯƠNG

Người phản biện:

1.
2.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

1. Thư viện Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN

1. Xuan-Quang Nguyen, Anh-Duc Le, Ngoc-Phuong Nguyen, Hay Nguyen, “Thermal Diffusivity, Moisture Diffusivity, and Color Change of *Codonopsis javanica* with the Support of the Ultrasound for Drying,” *Journal of food quality*, Vol. 2019, Article ID 2623404, 13 pages, 2019 (SCIE). <https://doi.org/10.1155/2019/2623404>
2. Nguyễn Xuân Quang, Lê Anh Đức, Nguyễn Ngọc Phương, Nguyễn Hay, “Nghiên cứu ảnh hưởng của siêu âm năng lượng cao đến tốc độ sấy và màu sắc đẳng sâm,” *Tạp chí năng lượng nhiệt*, Số 131, 2016 (ISSN: 0868-3336).
3. Nguyễn Xuân Quang, Nguyễn Hay, Nguyễn Ngọc Phương, Bùi Ngọc Hùng, “Nghiên cứu ảnh hưởng tiền xử lý siêu âm đến tốc độ sấy và màu sắc thượng đẳng sâm”, *Hội nghị khoa học công nghệ toàn quốc về cơ khí lần thứ IV*, trang 832-837, 2015 (ISBN: 978-604-73-3690-6).

GIỚI THIỆU

1. Sự cần thiết của vấn đề nghiên cứu

Việt Nam là nước có nền nông nghiệp phát triển, sản phẩm trong nông nghiệp rất đa dạng và có sản lượng lớn. Trong đó, nông sản cao cấp nói chung và cây dược liệu nói riêng có sản lượng ngày càng tăng. Theo định hướng phát triển của Bộ Y Tế Việt Nam về cây dược liệu Việt Nam giai đoạn từ năm 2015 đến năm 2030 là bảo tồn phát triển 70% cây dược liệu Việt Nam và 80% sử dụng cây thuốc Việt Nam, năm 2030 tiến tới xuất khẩu sản phẩm từ cây dược liệu. Do vậy, đi đôi với việc nghiên cứu phát triển canh tác, vấn đề làm khô để bảo quản và tồn trữ các sản phẩm sau thu hoạch cây dược liệu là cần thiết nhằm ổn định nguồn nguyên liệu dùng làm thực phẩm và điều chế dược liệu phục vụ đời sống con người.

Sấy là giải pháp thường được áp dụng nhất để làm khô nông sản thực phẩm. Quá trình sấy là quá trình tách ẩm ra khỏi vật liệu, liên quan đến quá trình truyền nhiệt truyền ẩm bên trong vật liệu, từ đó ảnh hưởng đến động học quá trình sấy và cũng từ đó ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm. Chi phí sản xuất và chất lượng sản phẩm là những vấn đề cần quan tâm khi làm khô một nông sản vì liên quan đến hiệu quả kinh tế nhưng đối với cây dược liệu thì vấn đề chất lượng cần phải đặt lên hàng đầu vì giá trị của nó là những vi lượng quý hiếm còn bảo tồn trong sản phẩm khô. Phương pháp sấy ảnh hưởng rất nhiều đến chất lượng sản phẩm khô (Chen và cộng sự (2008)), do đó, nghiên cứu phương pháp sấy nhằm duy trì vi lượng quý hiếm có trong sản phẩm cây dược liệu là công việc được các nhà khoa học trong và ngoài nước tập trung giải quyết.

Sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm được xếp vào nhóm kỹ thuật sấy kết hợp, được giới thiệu là một giải pháp hiệu quả để cải thiện tốc độ sấy ở điều kiện nhiệt độ sấy thấp (Musielak và cộng sự (2016)), một số kết quả nghiên cứu trên thế giới về sóng siêu âm hỗ trợ sấy trên các nông sản khác nhau đã so sánh giữa sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm và không có sự hỗ trợ của sóng siêu âm thì phương pháp sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm có khả năng chất lượng sản phẩm sấy cao hơn (Nascimento và cộng sự (2016)). Tuy vậy, áp dụng với qui mô lớn vẫn còn hạn chế do thiết bị phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy và do sự suy giảm năng lượng của sóng siêu âm trong môi trường không khí (tác nhân sấy). Đồng thời, hiệu quả tách ẩm khi có sóng siêu âm hỗ trợ sấy phụ thuộc vào loại vật liệu và điều kiện tác nhân sấy (Musielak và cộng sự (2016)).

Với ưu điểm về thời gian sấy giảm và chất lượng sản phẩm sấy cao khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm, ngoài ra, nghiên cứu sấy nông sản thực phẩm có sự hỗ trợ của sóng siêu âm ở Việt Nam vẫn còn hạn chế, đồng thời, việc nghiên cứu xác định phương pháp sấy hợp lý cho các sản phẩm của cây dược liệu trong bối cảnh hiện tại ở Việt Nam đang cần được thực hiện. Do vậy, đề tài “Nghiên cứu kỹ thuật sấy nông sản thực phẩm sử dụng sóng siêu âm” được thực hiện trong luận án này là cần thiết.

2. Mục tiêu, đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu ảnh hưởng của sóng siêu âm đến quá trình sấy và chất lượng sản phẩm ứng với các chế độ sấy khác nhau với phương pháp sấy là bơm nhiệt kết hợp với sóng siêu âm và vật liệu sấy là đảng sâm Việt Nam đại diện cho dòng sản phẩm cao cấp trong nông nghiệp dùng làm thực phẩm và dược liệu, thông qua việc xây dựng mô hình toán để tính toán truyền nhiệt truyền ẩm và thực nghiệm xác định chế độ sấy hợp lý cho đảng sâm Việt Nam.

3. Giới hạn nghiên cứu

Nghiên cứu cơ chế hỗ trợ sấy của sóng siêu âm kết hợp sấy bơm nhiệt qui mô nhỏ với khối lượng một mẻ sấy là 0,2 kg; hiệu quả kinh tế - kỹ thuật là phân giới hạn của nghiên cứu.

4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu chung là nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm kiểm chứng.

5. Điểm mới và đóng góp của luận án

Kết quả đạt được của luận án này có 4 điểm mới về ý nghĩa khoa học và thực tiễn:

- 1) Đã xác định được tính chất nhiệt vật lý của đảng sâm Việt Nam bao gồm bao gồm khối lượng riêng, nhiệt dung riêng, hệ số dẫn nhiệt, độ ẩm cân bằng và lượng nhiệt tăng thêm khi có sóng siêu âm lan truyền.
- 2) Xây dựng được giải pháp xác định thông số hình học của bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy, đó là, dựa vào phân tích phần tử hữu hạn (FEA) và thuật toán tối ưu PSO. Kết quả sai lệch giữa tần số hoạt động và tần số cộng hưởng (tần số dao động riêng) của bộ phận phát sóng siêu âm đã chế tạo là 0,37%, như vậy, giải pháp này có thể áp vào trong thực tiễn.
- 3) Xác định mô hình toán mô tả bản chất quá trình truyền nhiệt truyền âm khi sấy vật liệu với sự hỗ trợ của sóng siêu âm; đề xuất sử dụng thuật toán PSO để xác định đồng thời hệ số khuếch tán nhiệt (α_t), hệ số khuếch tán âm (D_c) của vật liệu sấy (giải pháp ERM-O). Từ số liệu các tiêu chí đánh giá mô hình toán cho thấy, giải pháp ERM-O có độ chính xác chấp nhận được và có thể áp dụng thực tiễn (sai số tương đối trung bình giữa kết quả tính toán và thực nghiệm nhỏ hơn 10% và sai số ít hơn so với phương pháp mà các công trình nghiên cứu tương tự đã áp dụng để xác định D_c), giảm thiểu được số lượng thí nghiệm đáng kể khi xác định các thông số có trong mô hình toán truyền nhiệt truyền âm.
- 4) Xác định được phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp với sóng siêu âm là phương pháp sấy hợp lý, hữu ích cho đảng sâm Việt Nam nhằm duy trì màu sắc và dược chất saponin trong sản phẩm sấy (Kết quả khảo nghiệm cho thấy, sai lệch màu sắc ΔE từ 8,4 đến 12,9, hàm lượng saponin còn duy trì từ 78-95 % so với nguyên liệu tươi). Đóng góp thêm thông tin cho nghiên cứu về sấy nông sản thực phẩm sử dụng sóng siêu âm.

Chương 1. TỔNG QUAN

1. 1 Tổng quan về sấy và ảnh hưởng của các loại sóng đến quá trình sấy nông sản

1.1.1 Tổng quan về phương pháp sấy và sấy bơm nhiệt

Sấy là quá trình tách ẩm ra khỏi vật liệu do tác động của một nguồn năng lượng nào đó vào vật liệu ẩm, liên quan đến truyền nhiệt truyền âm bên trong vật liệu. Dựa vào trạng thái của tác nhân sấy (TNS) có thể chia thành hai phương pháp sau (Trần Văn Phú (2001)):

- Phương pháp sấy nóng: tác nhân sấy (TNS) và vật liệu sấy (VLS) được đốt nóng. Do vậy, phân áp suất hơi nước trong TNS giảm, phân áp suất trong VLS tăng, tạo ra sự chênh lệch phân áp suất hơi nước giữa TNS và VLS dẫn đến ẩm trong lòng VLS dịch chuyển ra bề mặt đi vào môi trường.

- Phương pháp sấy lạnh: khác với phương pháp nóng, để tạo ra sự chênh lệch phân áp suất hơi nước giữa VLS và TNS, người ta giảm phân áp suất trong TNS bằng cách giảm ẩm trong TNS (giảm độ chứa ẩm) và độ ẩm tương đối.

- Hệ thống sấy sử dụng bơm nhiệt: trên cơ sở của phương pháp sấy lạnh người ta thiết kế ra hệ thống máy sấy bơm nhiệt. Với hệ thống sấy bơm nhiệt, TNS được xử lý qua hệ thống bơm nhiệt, TNS là không khí trước hết được đưa qua thiết bị bay hơi để khử ẩm bằng cách làm lạnh dưới nhiệt độ đọng sương, sau đó được đưa qua thiết bị ngưng tụ tại đây TNS được gia nhiệt đến nhiệt độ yêu cầu rồi cho đi qua vật liệu sấy.

1.1.2 Sơ lược về các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm sấy và các yếu tố ảnh hưởng đến động học quá trình sấy

Sấy là quá trình tách ẩm ra khỏi vật liệu, liên quan đến truyền nhiệt truyền âm bên trong vật liệu. Trong chế biến và bảo quản nông sản thực phẩm sau thu hoạch, sấy là một công đoạn quan trọng vì liên quan đến chất lượng và thời gian tồn trữ sản phẩm.

Quá trình sấy thực phẩm không chỉ làm giảm lượng nước, mà còn ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm, nhiều loại nông sản thực phẩm đặc biệt là các nông sản nhạy nhiệt khi sấy ở nhiệt độ cao thì hương vị bị mất đáng kể, màu sắc thay đổi nhiều so với nguyên liệu ban đầu, chất dinh dưỡng bị biến đổi (Ramallo và cộng sự (2012)).

Phương pháp sấy, chế độ sấy không những ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm mà còn ảnh hưởng đến động học sấy và chi phí năng riêng của vật liệu. Trong quá trình sấy, có hai loại trở kháng làm ảnh hưởng đến sự truyền âm: trở kháng nội ảnh hưởng đến di chuyển của âm bên trong vật liệu, trở kháng ngoại ảnh hưởng đến sự trao đổi âm giữa bề mặt vật liệu và TNS. Trở kháng nội phụ thuộc vào cấu trúc và các tính chất của vật liệu còn trở kháng ngoại phụ thuộc vào bề dày của lớp biên truyền âm (Simal và cộng sự (2001), Trần Văn Phú (2001)). Sấy có sự hỗ trợ của vi sóng, sóng RF, sóng siêu âm làm giảm trở kháng nội/ngoại và vì thế làm tăng tốc độ sấy ở điều kiện nhiệt độ sấy thấp, nâng cao chất lượng sản phẩm.

1.1.3 Tình hình nghiên cứu ứng dụng sấy bơm nhiệt tại Việt Nam

Việt Nam là nước có khí hậu nóng và ẩm, vi sinh vật và nấm mốc phát triển rất nhanh làm hư hỏng và giảm chất lượng nông sản thực phẩm. Và do vậy, nếu ứng dụng bơm nhiệt vào các hệ thống sấy chắc chắn sẽ mang lại ý nghĩa kinh tế to lớn (Nguyễn Đức Lợi và cộng sự (2011)). Một vài công trình tiêu biểu về ứng dụng sấy bơm nhiệt đã được các nhà khoa học trong nước thực hiện được thống kê như sau: công trình nghiên cứu sấy kẹo Jelly bằng phương pháp bơm nhiệt được ứng dụng ở công ty Hải Hà do Nguyễn Đức Lợi và cộng sự (1998) thực hiện; nhằm tìm ra khả năng ứng dụng của hệ thống sấy bơm nhiệt so với các hệ thống sấy khác, Phạm Văn Tuyền và cộng sự (2003) đã thực nghiệm sấy rau quả thực phẩm bao gồm cà rốt, củ cải, hành tây, thì là với hệ thống sấy bơm nhiệt, không khí nóng, hồng ngoại; tiếp theo đó, Phạm Văn Tuyền và cộng sự (2007) cũng đã nghiên cứu sấy bơm nhiệt trên nhiều loại rau củ quả khác nhau và đã đưa ra một số định hướng ứng dụng sấy bơm nhiệt ở điều kiện khí hậu Việt Nam; bằng nghiên cứu thực nghiệm, Phạm Anh Tuấn và cộng sự (2009) đã chỉ ra khoảng nhiệt độ phù hợp khi sấy rau quả sử dụng hệ thống sấy bơm nhiệt; công trình nghiên cứu của Võ Mạnh Duy và Lê Chí Hiệp (2011) về ứng dụng hệ thống sấy bơm nhiệt để sấy cà rốt; nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống sấy bơm nhiệt, Trương Minh Thắng và cộng sự (2012) đã nghiên cứu mô hình máy sấy bơm nhiệt hoạt động theo kiểu bậc thang với vật liệu sấy là cà rốt; kết quả nghiên cứu của Lê Anh Đức và Nguyễn Hữu Hòa (2014) đã chỉ ra rằng phương pháp sấy bơm nhiệt là phương pháp sấy phù hợp nhất cho nấm đông cô; Nguyễn Hay và Lê Quang Huy (2017) đã nghiên cứu ứng dụng hệ thống sấy bơm nhiệt để sấy phân hoa Việt Nam.

Nhận xét: Từ các kết quả nghiên cứu ở các công trình vừa nêu cho thấy, với điều kiện khí hậu Việt Nam, áp dụng hệ thống sấy bơm nhiệt để sấy các sản phẩm từ nông nghiệp thì màu sắc, mùi vị, hương thơm tự nhiên ít bị thay đổi và chất lượng sản phẩm sấy đạt chất lượng, rất phù hợp với nông sản nhạy nhiệt. Tuy nhiên, thời gian sấy dài là hạn chế của hệ thống sấy này.

1.2 Sóng siêu âm và cơ chế hỗ trợ sấy của sóng siêu âm

1.2.1 Sóng siêu âm và ứng dụng

Sóng siêu âm là một dạng sóng cơ học có tần số từ 18 kHz đến 1 MHz, xét về phương truyền sóng thì sóng siêu âm chia thành hai dạng: sóng dọc và sóng ngang, xét về năng lượng thì sóng siêu âm bao gồm siêu âm năng lượng thấp (tần số lớn hơn 100 kHz) và siêu âm năng lượng cao (tần số từ 18-100 kHz, tần số càng cao năng lượng càng thấp) (Musielak và cộng sự (2016)).

Ngày nay, sóng siêu âm được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau đem lại hiệu quả kinh tế cao, trong đó, sóng siêu âm năng lượng cao hỗ trợ sấy là lĩnh vực cũng được các nhà khoa học tập trung nghiên cứu.

1.2.2 Cơ chế hỗ trợ sấy của sóng siêu âm

Có nhiều giải thích khác nhau về cơ chế hỗ trợ sấy của sóng siêu âm được nhiều công trình khoa học về lĩnh vực này đề cập đến, nhìn về phương diện sóng cơ học thì có hai tác động làm cho thời gian sấy được rút ngắn (Musielak và cộng sự (2016)):

Thứ nhất, tác động vi dao động cơ học của sóng siêu âm tại bề mặt của VLS làm vỡ lớp biên ẩm ngăn cách giữa VLS và TNS làm tăng khả năng khuếch tán ẩm ra môi trường (tác dụng làm giảm trở kháng ngoại).

Thứ hai, sóng siêu âm lan truyền trong vật liệu ẩm sẽ làm cho các phân tử cấu thành vật co/giãn liên tục tạo ra hoặc khai thông các vi mao dẫn bên trong vật liệu, và đồng thời làm giảm lực liên kết giữa các phân tử nước và vật liệu. Kết quả làm tăng cường khả năng khuếch tán của ẩm ra bề mặt VLS.

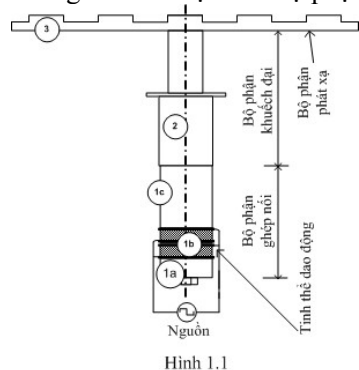
1.3 Tình hình nghiên cứu sấy siêu âm trên thế giới

Sóng siêu âm hỗ trợ sấy được nghiên cứu đầu tiên vào khoảng năm 1950 bởi các nhà khoa học người Hungary (Gregus, Brun và Boucher), cho đến nay, đã có khoảng 75 công trình nghiên cứu (Musielak và cộng sự (2016)) bao gồm: nghiên cứu thiết bị phát sóng siêu âm và nghiên cứu ảnh hưởng của sóng siêu âm đến động học sấy, chất lượng sản phẩm.

1.3.1 Nghiên cứu thiết kế thiết bị phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy

Bộ phận phát sóng siêu âm có khả ứng dụng trong sấy gồm 3 cụm chính. Trong đó, tinh thể dao động có vai trò chuyển đổi dao động điện sang dao động cơ học (PZT). Cụm ghép nối, đóng vai trò ghép nối các tinh thể có biên độ dao động nhỏ thành một cụm dao động có biên độ lớn hơn. Cụm 3 đóng vai trò phân phối sóng ra môi trường là bộ phận công tác trong trường hợp sấy siêu âm tiếp xúc và là bộ phận phân phối sóng trong trường hợp sấy siêu âm không tiếp xúc.

Thông số hình học của bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy có cấu trúc như hình 1.1 được



Hình 1.1

xác định bằng tính toán giải tích dựa theo lý thuyết Rayleigh hoặc bằng phương pháp phần tử hữu hạn. *Nhân xét:* từ các kết quả ở các công trình tham khảo cho thấy, để xác định thông số hình học của bộ phận phát sóng hỗ trợ sấy thì cần phải xác định dạng dao động (mode) của từng bộ phận, tần số dao động riêng của từng bộ phận. Tuy nhiên, dạng dao động cụm khuếch đại và cụm ghép nối và PZT là giãn/dài, trong khi đó, dạng dao động của bộ phận phát xạ (cụm 3) lại là uốn cong. Cho nên, mặc dù khi tính toán từng cụm chọn tần số dao động riêng là như nhau nhưng khi ghép nối các cụm trở thành một bộ phận thì tần số dao động riêng của hệ sẽ không bằng so với tần số dao động riêng từng cụm, dẫn đến, vị trí

đường tròn nút của bộ phận phát xạ sai lệch so với tính toán ban đầu, kết quả, tuổi thọ của bộ phận phát sóng không cao, và vì vậy, vấn đề thiết kế và phát triển bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy vẫn cần được nghiên cứu và phát triển.

1.3.2 Sấy nông sản thực phẩm có sự hỗ trợ của sóng siêu âm

Sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm thuộc dạng kỹ thuật sấy kết hợp, hệ thống sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm bao gồm máy sấy theo phương pháp đối lưu, hoặc bơm nhiệt, hoặc là chân không,..., và bộ phận phát sóng siêu âm được tích hợp trong buồng sấy. Phương pháp

sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm đã được các công trình nghiên cứu khoa học thực hiện trên nhiều nông sản thực phẩm khác nhau và được tổng kết ở bảng 1.1.

Bảng 1.1: Các công trình nghiên cứu về sấy đối lưu với sự hỗ trợ của sóng siêu âm

TT	Tác giả, loại nông sản	Vấn đề nghiên cứu
1	Gallego-Juarez và cộng sự (2007), cà rốt	Cơ chế hỗ trợ tách ẩm của sóng siêu âm
2	- Fernandes và cộng sự (2015), táo. - Denglin và các cộng sự (2015), cà rốt, dâu tây. - Ozuna và cộng sự (2014), cá tuyết đại dương.	Nhiệt độ TNS ảnh hưởng đến hiệu quả hỗ trợ tách ẩm của sóng siêu âm
3	- Garcia-Perez và cộng sự (2007), cà rốt, vỏ chanh.	Vận tốc TNS ảnh hưởng đến hiệu quả hỗ trợ tách ẩm của sóng siêu âm
4	- Gamboa – Santos và cộng sự (2014), dâu tây. - Denglin và cộng sự (2015), cà rốt. - Rodriguez và cộng sự (2014), táo.	Ảnh hưởng của TNS và cường độ sóng siêu âm đến động học sấy vật liệu
5	- Denglin và cộng sự (2015), cà rốt. - Liu và cộng sự (2015), thảo dược kim ngân.	Suy giảm năng lượng của sóng siêu âm trong TNS từ đó ảnh hưởng đến hiệu quả hỗ trợ sấy của sóng siêu âm
6	- Fernandes và các cộng sự (2015), táo - Liu và cộng sự (2015) thảo dược kim ngân. - Nascimento và cộng sự (2016), chanh dây - Mendez và cộng sự (2015), chuối, ôi, xoài - Liu và cộng sự (2019) khoai lang	Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến màu sắc và chất lượng sản phẩm

Nhận xét: Từ các kết quả nghiên cứu ở các công trình tham khảo ở bảng 1.1 cho thấy, sấy nông sản thực phẩm có sự hỗ trợ của sóng siêu âm là hiệu quả (thời gian sấy giảm) cho nông sản có độ xốp thấp và cho cả nông sản có độ xốp cao, và cũng nhận xét thêm rằng, hiệu quả hỗ trợ sấy của sóng siêu âm là không giống nhau cho các loại nông sản. Như vậy, để đánh giá mức độ hiệu quả khi có sóng siêu âm hỗ trợ sấy cho nông sản nào thì cần phải nghiên cứu cụ thể trên nông sản đó. Sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm thì thời gian sấy giảm ở điều kiện nhiệt độ TNS thấp, từ đó làm cho màu sắc của sản phẩm sấy ít thay đổi so với nguyên liệu tươi, giảm thiểu được sự chuyển hóa và suy giảm vitamin, phenol, hoạt tính chống oxy hóa do nhiệt độ. Tuy nhiên, đối với các dược chất quý hiếm có trong sản phẩm từ cây dược liệu thì mức độ ảnh hưởng như thế nào khi có sóng siêu âm hỗ trợ sấy cũng còn ít công trình nghiên cứu.

1.4 Nghiên cứu động học sấy khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm

Các công trình nghiên cứu đã tham khảo về động học sấy khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm phần nhiều tập trung vào nghiên cứu ảnh hưởng của sóng siêu âm đến sự giảm ẩm trong quá trình sấy và thường sử dụng phương trình khuếch tán để nghiên cứu qui luật truyền ẩm trong vật liệu.

1.5 Tổng quan về đối tượng nghiên cứu

- Đẳng sâm Việt Nam, sơ chế và bảo quản

Đẳng sâm (danh pháp khoa học là *Codonopsis javanica*) là loài thực vật có hoa trong họ hoa chuông. Loài này được (Blume) Hook.f. & Thomson mô tả khoa học đầu tiên năm 1855. Tại Việt Nam, đẳng sâm là một cây thuốc quý nằm trong danh mục 54 cây thuốc được Bộ Y Tế ưu tiên phát triển trong giai đoạn từ năm 2015-2020 và được canh tác với qui mô trang trại miền trung tây nguyên Việt Nam. Thành phần chất dinh dưỡng và thảo dược của đẳng sâm bao gồm: đường, axit amin, chất béo và saponin (Chung 2002). Trong đó saponin là một trong

những thành phần dược liệu, hoạt chất chính tạo nên công dụng của sâm nói chung và đảng sâm nói riêng, có công dụng: chống viêm, kháng khuẩn, kháng nấm, ức chế vi rút và một số loại có thể điều trị viêm loét dạ dày, viêm da (Emara (2001)). Theo dược điển Việt Nam IV, hàm lượng saponin toàn phần không nhỏ hơn 3 % và theo dược điển Việt Nam V chất chiết được trong dược liệu không được ít hơn 2.5%, để bảo quản ở dạng khô thì độ ẩm của đảng sâm không quá 15%. Hiện nay, ở Việt Nam rất ít thông tin khoa học về kỹ thuật sấy loại sản phẩm này.

- Các phương pháp sấy và thiết bị sấy sâm trên thế giới

Kết quả nghiên cứu của các công trình nghiên cứu về sâm trên thế giới đã chỉ ra các chế độ sấy hợp lý cho từng chủng loại như sau: Sấy đối lưu 3 giai đoạn nhiệt độ 38 - 50 - 38°C là phù hợp nhất cho sâm Mỹ (*Panax quinquefolius*); phương pháp sấy bức xạ hồng ngoại cho sâm Hàn Quốc (*Panax ginseng*) thì rễ sâm ít bị co ngót, hàm lượng saponin tổng của ít bị mất nhất, nhiệt độ TNS phù hợp khi sấy là từ 38-50 °C; sấy hai chế độ giai đoạn đầu dùng vi sóng giai đoạn hai dùng bức xạ hồng ngoại cho sâm Hàn Quốc thì hàm lượng saponin còn tồn tại trong sâm khô cao. Tuy nhiên, màu sắc của sản phẩm khô sai lệch nhiều so với sâm tươi cao. Nhân xét, sâm là một loại vật liệu sấy nhạy với nhiệt.

Kết luận chương tổng quan

Nghiên cứu tổng quan về sấy và sóng siêu âm hỗ trợ sấy đã được trình bày trong chương này. Một số thành tựu cũng như những vấn đề còn tồn đọng chưa nghiên cứu về sấy nông sản thực phẩm sử dụng sóng siêu âm cũng đã trình bày ở nhận xét của từng mục. Một số kết luận được tổng kết như sau: *Một*, bộ phận phát sóng siêu âm ứng dụng trong sấy đã được nghiên cứu. Tuy nhiên, nếu tần số hoạt động của bộ phận phát sóng mà sai lệch nhiều so với tần số dao động riêng thì tuổi thọ của bộ phận phát sóng không cao. Do vậy, nghiên cứu và phát triển bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy vẫn còn là vấn đề cần được thực hiện, trong đó, thông số tần số cần được quan tâm khi thiết kế. *Hai*, các công trình nghiên cứu về sấy các nông sản với sự hỗ trợ của sóng siêu âm rất thành công khi sử dụng phương trình khuếch tán để làm mô hình toán truyền ẩm. Tuy nhiên, vấn đề nghiên cứu cả truyền nhiệt và truyền ẩm khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm còn ít nhưng trong quá trình sấy thì truyền nhiệt và truyền ẩm thường xảy ra đồng thời và có mối quan hệ với nhau. Do vậy, vấn đề này cần được nghiên cứu. *Ba*, để tính toán nhiệt độ và độ ẩm của VLS trong quá trình sấy thì các thông số có trong mô hình toán cần được xác định tức là thông số nhiệt vật lý và thông số động học sấy của VLS cần được xác định. *Bốn*, khi có sóng siêu âm hỗ trợ trong quá trình sấy thì nhiệt độ TNS không cao nhưng thời gian sấy giảm điều này rất có ích khi sấy các vật liệu nhạy với nhiệt đặc biệt cho các sản phẩm từ các cây thuốc. *Năm*, từ các kết quả nghiên cứu đã tham khảo đã chỉ ra cường độ siêu âm, các yếu tố về TNS, bố trí vật liệu sấy, loại vật liệu sấy sẽ ảnh hưởng đến động học quá trình sấy và từ đó ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm. Do vậy, mỗi một loại vật liệu khác nhau thì ảnh hưởng của sóng siêu âm đến động học sấy khác nhau, việc xác định chế độ sấy phù hợp cho từng loại vật liệu là điều cần thiết.

Tương tự sâm trên thế giới, đảng sâm Việt Nam là vật liệu nhạy nhiệt, nhiệt độ TNS và thời gian sấy ảnh hưởng đến chất lượng, dược chất và màu sắc sản phẩm khô nên chọn sấy bom nhiệt, nhưng thời gian sấy dài, do vậy, cần kết hợp với sấy siêu âm là một giải pháp hợp lý để giảm thời gian sấy không làm tăng nhiệt độ giữ được chất lượng sản phẩm. Và do đó, vấn đề sấy đảng sâm Việt Nam sử dụng sóng siêu âm kết hợp với bom nhiệt là đề tài cần nghiên cứu và sẽ được làm sáng tỏ ở trong luận án này nhằm đóng góp thêm thông tin về giải pháp làm khô dòng sản phẩm cao cấp này trong nông nghiệp.

Chương 2. VẬT LIỆU, PHƯƠNG PHÁP VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

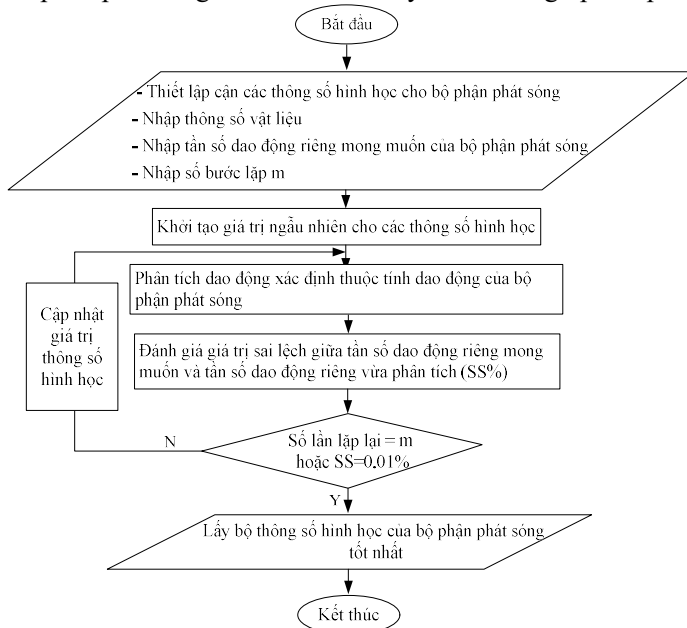
2.1 Vật liệu sấy

Vật liệu sấy (VLS) là đấng sâm tươi Việt Nam, từ 3 đến 4 năm tuổi, đường kính của củ từ 20-28 mm được canh tác tại tỉnh Lâm Đồng, có độ ẩm ban đầu từ 86-92 %. Khi thực nghiệm, VLS được thái lát và chọn những lát có đường kính khoảng 25 ± 1 mm, bề dày $5 \pm 0,5$ mm để ở nơi thoáng mát có nhiệt độ môi trường từ 32-37 °C và độ ẩm tương đối của không khí từ 65-75 % sau 1 giờ cho vào buồng sấy, khi đó, độ ẩm của đấng sâm lát từ 86,5-88,5 % (6,4 - 7,7 kg/kg VLK), thông số màu sắc: $L^* = 71,8 \pm 2,26$; $a^* = 2 \pm 0,05$; $b^* = 31,6 \pm 1,31$; hàm lượng saponin tổng, 1,404%; protein, 3,486%; chất béo, 1,723%; tro, 4,133%.

2.2 Các phương pháp nghiên cứu

2.2.1 Giải pháp thiết kế bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy

Nghiên cứu này tiếp cận theo hướng phân tích phần tử hữu hạn xác định thuộc tính dao động toàn cục bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy với sự trợ giúp của phần mềm ANSYS,



Hình 2.1: Lưu đồ giải pháp thiết kế bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy thuật toán tìm kiếm tối ưu bầy đàn (PSO) xác định thông số hình học tối ưu cho bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy trong đó tần số dao động riêng được quan tâm trong quá trình thiết kế với mục tiêu là tần số dao động riêng của cụm bằng giá trị mong muốn.

2.2.3 Phương pháp xử lý số liệu trong nghiên cứu thực nghiệm

Mỗi chế độ thí nghiệm được thực hiện 3 lần lặp lại, số liệu thực nghiệm cuối cùng là trung bình cộng của 3 lần lặp lại. Để loại bỏ những số liệu không phù hợp ở những thí nghiệm xấu, độ lệch bình phương trung bình (2.1) của một đại lượng y được áp dụng để đánh giá:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{t,i} - y_{tb})^2}{N - 1}} \quad (2.1)$$

Trong đó: s là độ lệch bình phương trung bình; N là số thí nghiệm; $y_{t,i}$, y_{tb} , lần lượt là đại lượng thí nghiệm thứ i và trung bình cộng của các đại lượng với N thí nghiệm.

Đại lượng $y_{t_n,i}$ bị loại (số liệu không phù hợp do thí nghiệm xấu) nếu $y_{t_n,i}$ không thỏa mãn (2.2):

$$y_{tb} - t_{p/2} \cdot s \leq y_{t_n,i} \leq y_{tb} + t_{p/2} \cdot s \quad (2.2)$$

Với: $t_{p/2}$ là tiêu chuẩn Student với mức ý nghĩa $p = 0,05$ với bậc tự do $(N-1)$

2.2.4 Phương pháp xác định độ ẩm, nhiệt độ của vật liệu sấy

- Độ ẩm trung bình của vật liệu sấy theo thời gian sấy được xác định theo cơ sở khô:

$$M = \frac{m_t - m_s}{m_s} \quad (2.3)$$

Chuyển đổi từ cơ sở khô sang cơ sở ướt và ngược lại:

$$X = \frac{M}{M+1} 100\%; \quad M = \frac{X}{100-X} \quad (2.4)$$

Trong đó: M là độ ẩm của vật liệu, kg ẩm/kg vật liệu khô (kg/kg VLK) (độ ẩm tính theo cơ sở khô); X là độ ẩm của vật liệu, %; m_t , m_s lần lượt là khối lượng của vật liệu ẩm và khối lượng vật liệu khô tuyệt đối, kg.

- Phương pháp xác định khối lượng vật liệu khô tuyệt đối (m_s) dựa theo tiêu chuẩn Việt Nam, nhiệt độ TNS để sấy khô kiệt vật liệu là 105°C (được điển 4 và 5 Việt Nam).

- Nhiệt độ trung bình của VLS là giá trị trung bình của N nhiệt độ tại N vị trí khác nhau bên trong VLS được xác định theo công thức:

$$t_{av} = \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{N} \quad (2.5)$$

- Màu sắc của VLS có thể được đánh giá bằng cảm quan hoặc dựa vào thông số màu sắc. Trong đề tài này, dựa vào thông số màu CIE Lab (L^* , a^* , b^*), mức độ thay đổi màu sắc so với giá trị chuẩn được đánh giá thông qua thông số ΔE xác định theo công thức:

$$\Delta E = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2} \quad (2.6)$$

Trong đó, L^* , a^* , b^* là các giá trị chuẩn, đối với đảng sâm Việt Nam sử dụng các giá trị ban đầu (trước khi sấy) làm giá trị chuẩn.

- Hàm lượng saponin tổng, thành phần chất dinh dưỡng và hóa học có trong đảng sâm Việt Nam được khảo nghiệm tại Viện nghiên cứu công nghệ sinh học và môi trường (Trường ĐHNL Tp. HCM).

2.2.5 Phương pháp xác định tính chất nhiệt vật lý của vật liệu sấy

- Khối lượng riêng của vật liệu sấy: Ở điều kiện nhiệt độ sấy thấp thì có thể xem như khối lượng riêng của vật liệu chỉ phụ thuộc vào độ ẩm và được xác định như công thức (2.7).

$$\rho_p = \frac{1+M}{\frac{1}{\rho_s} + \frac{M}{\rho_w}} \quad (2.7)$$

ρ_w là khối lượng riêng của nước có trong vật liệu, kg/m^3 ; ρ_s là khối lượng riêng của vật liệu khô, kg/m^3 .

- Nhiệt dung riêng của vật liệu xác định theo phương pháp bình giữ nhiệt.

- Hệ số dẫn nhiệt của vật liệu được xác định theo phương pháp que thăm.

- Độ ẩm cân bằng của đảng sâm được xác định theo phương pháp tĩnh sử dụng muối bão hòa.

2.2.6 Xác định lượng nhiệt tăng thêm khi sấy vật liệu có sự hỗ trợ của sóng siêu âm

Khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm thì nhiệt độ của vật liệu sấy cao hơn so với không có sóng siêu âm, mức độ tăng thêm nhiệt độ do năng lượng sóng siêu âm tác động vào vật liệu được thể hiện thông qua hệ số μ_u . Áp dụng định luật cân bằng năng lượng cho vật liệu sấy ta xác định được μ_u :

$$\mu_u = \frac{2\delta\rho_p c_p \Delta t_{av}}{\Delta \tau I_u} \quad (2.8)$$

Trong đó: Δt_{av} là lượng nhiệt độ tăng thêm của vật liệu trong khoảng thời gian $\Delta \tau$ khi có sóng siêu âm hỗ trợ sấy; δ là một nửa bề dày của vật liệu sấy; ρ_p , c_p lần lượt là khối lượng riêng và nhiệt dung riêng của vật liệu ẩm; I_u là cường độ sóng siêu âm.

2.2.7 Phương pháp xác định các thông số liên quan đến động học sấy

- Hệ số trao đổi nhiệt đối lưu (h_t), hệ số trao đổi ẩm đối lưu (h_m) khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm được xác định theo phương pháp bán thực nghiệm. Trong giai đoạn tốc độ sấy không đổi h_t , h_m xác định như sau:

$$h_m = \frac{\Delta m}{A_m (\tau_{rc} - \tau_r) (m_{v,s} - m_{v,a})} \quad (2.9)$$

$$h_t = \frac{h_{fg} h_m (m_{v,s} - m_{v,a}) - \mu_u I_u}{(t_a - t_s)} \quad (2.10)$$

Trong đó: Δm là lượng giảm khối lượng của vật liệu sấy ở giai đoạn tốc độ sấy không đổi, thời gian bắt đầu τ_r tính từ lúc bắt đầu sấy đến khi kết thúc giai đoạn tốc độ sấy không đổi; $\tau_{rc} - \tau_r$ là thời gian của giai đoạn tốc độ sấy không đổi; $m_{v,s}$, $m_{v,a}$ lần lượt là thành phần khối lượng hơi nước trong không khí ẩm tại bề mặt VLS; μ_u là hệ số gia tăng nhiệt độ khi có sóng siêu âm hỗ trợ sấy; I_u là cường độ sóng siêu âm; t_a , t_s lần lượt là nhiệt độ của TNS và nhiệt độ bề mặt của VLS; h_{fg} là ẩn nhiệt hóa hơi của nước.

- Hệ số khuếch tán ẩm (D_e) của VLS có thể được xác định dựa vào quan hệ sau đây:

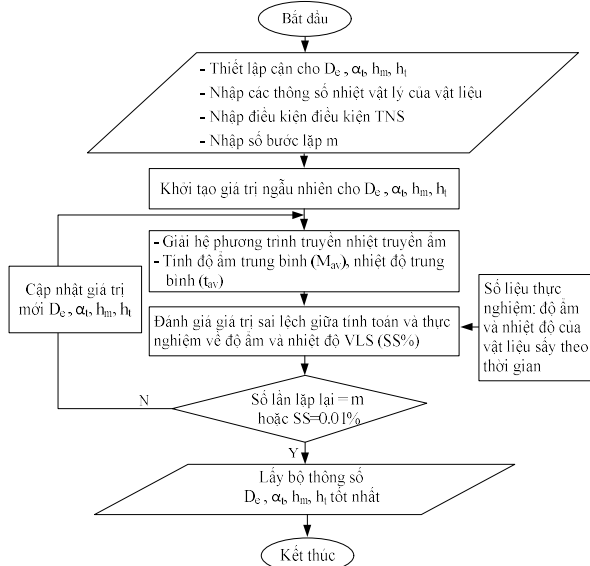
$$\ln(MR) = \ln\left(\frac{M - M_e}{M_0 - M_e}\right) = \ln\left(\frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 D_e \tau}{4\delta^2} \quad (2.11)$$

Phương trình (2.11) là phương trình đường thẳng $\ln(MR) - \tau$ có hệ số góc $(-\pi^2 D_e)/4\delta^2$.

Dựa vào độ ẩm của vật liệu sấy theo thời gian thực nghiệm xác định được D_e .

Một hướng tiếp cận mới xác định khuếch tán ẩm (D_e) và khuếch tán nhiệt (α_t)

Để giảm bớt sự tính toán phức tạp bằng phương pháp giải tích, đề tài này tiếp cận theo hướng:



Hình 2.2: Lưu đồ giải pháp ERM-O xác định D_e , α_t , h_m , h_t

sử dụng phương pháp số giải gần đúng phương trình vi phân truyền nhiệt truyền âm của đảng sâm, dựa vào kết quả tính toán, số liệu thực nghiệm, thuật toán tối ưu xác định giá trị các thông số cần thiết có trong mô hình toán truyền nhiệt truyền âm và điều kiện biên (trình bày trong chương 3), có nghĩa là các hệ số có liên quan đến động học sấy bao gồm nhiệt và ẩm (D_e , α_t , h_m , h_t) được xác định cùng một lúc thỏa mãn hàm mục tiêu đặt ra. Giải pháp này được gọi là ERM-O.

Giải pháp ERM-O được trình bày tóm tắt như sau: Thuật toán tìm kiếm tối ưu sẽ chọn lựa một bộ giá trị D_e , α_t , h_m , h_t nằm trong một miền xác định đã được chọn trước. Sau đó, giải hệ phương trình vi phân truyền nhiệt truyền âm đồng thời xác định độ ẩm trung bình của VLS (M_{av}), nhiệt độ trung bình của VLS (t_{av}). Sau đó đánh giá sai lệch về độ ẩm và nhiệt độ của VLS giữa kết quả thực nghiệm và tính toán lý thuyết, nếu như giá trị sai lệch này chưa thỏa mãn mục tiêu thì cập nhật giá trị mới cho bộ thông số D_e , α_t , h_m , h_t . Quá trình chọn lựa giá trị D_e , α_t , h_m , h_t được dừng lại khi mục tiêu đã được thỏa mãn. Trình tự thực hiện được thể hiện ở lưu đồ hình 2.2. Áp dụng giải pháp ERM-O xác định bộ thông số D_e , α_t , h_m , h_t của đảng sâm được trình bày ở chương kết quả nghiên cứu.

2.2.8 Phương pháp đánh giá mô hình toán

Để đánh giá sự phù hợp của mô hình toán tiêu chí thống kê sau đây được áp dụng: hệ số tương quan R^2 (2.12), sai số căn bình phương trung bình RMSE (Root Mean Square Error) (2.13), sai số tương đối trung bình MRE (Mean Relative Percentage Error) (2.14) để xem xét sự phù hợp của mô hình toán.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_{tn,i} - y_{dd,i})^2}{\sum_{i=1}^N (y_{tn,i} - y_{tb})^2} \quad (2.12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_{tn,i} - y_{dd,i})^2} \quad (2.13)$$

$$MRE = \frac{100 \sum_{i=1}^N \frac{|y_{tn,i} - y_{dd,i}|}{y_{tn,i}}}{N} \quad (2.14)$$

Trong đó: y_{tn} , y_{dd} , y_{tb} lần lượt là giá trị đối sánh (giá trị thực nghiệm), giá trị dự đoán (giá trị tính toán) và giá trị trung bình; N là số thí nghiệm.

2.2.9 Phương pháp xác định thông số và miền giá trị của các thông số ảnh hưởng đến động học sấy đảng sâm

Phương án được chọn làm thực nghiệm trong luận án này là phương án cấu trúc có tâm cấp 2, k thông số với số thí nghiệm ở tâm là n_0 . Số lượng thí nghiệm được xác định như sau:

$$N = 2^k + 2k + n_0 \quad (2.15)$$

Bảng nghiên cứu kế thừa các công trình về sấy sâm và sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm suy ra thông số TNS và cường độ siêu âm khi nghiên cứu thực nghiệm sấy đảng sâm Việt Nam:

- + Nhiệt độ TNS từ 30°C đến 60 °C.
- + Độ ẩm tương đối của TNS từ 10% đến 40%.
- + Vận tốc TNS nhỏ hơn 3 m/s.
- + Tần số sóng siêu âm là 20 kHz.
- + Cường độ năng lượng sóng siêu âm lớn hơn 1 kW/m².

2.2.10 Phương pháp xác định chế độ sấy hợp lý

Để xác định chế độ sấy hợp lý cho đảng sâm Việt Nam với phương pháp sấy là bom nhiệt kết hợp với sóng siêu âm, đề tài này dựa vào lượng giảm thời gian sấy giữa có sóng siêu âm

hỗ trợ sấy và không có sóng siêu âm hỗ trợ sấy, sự thay đổi màu sắc của sản phẩm khô so với nguyên liệu tươi và lượng saponin tổng còn lại trong sản phẩm sấy từ đó xây dựng hàm mục tiêu chất lượng bao gồm các thông số ảnh hưởng vừa nêu, thuật toán tối ưu sẽ xác định được chế độ sấy hợp lý cho loại vật liệu này.

2.2.11 Phương pháp chọn phần mềm hỗ trợ khi nghiên cứu

Để hỗ trợ việc tính toán, nghiên cứu này đã sử dụng các phần mềm chuyên dụng tương tự như các nhà khoa học trong và ngoài nước áp dụng khi nghiên cứu ví dụ MATLAB, ANSYS, SAS. Ngoài ra, đề tài này cũng đã xây dựng một phần mềm thu thập dữ liệu và điều khiển hệ thống máy sấy dựa trên phần mềm C#.

2.2.12 Phương pháp tối ưu hóa

Phương pháp tối ưu hóa được sử dụng trong luận án này là sử dụng thuật toán tối ưu hóa bầy đàn PSO (Particle Swarm Optimization), là thuật toán dựa trên hành vi tìm kiếm thức ăn trong một quần thể (bầy, đàn). Mỗi cá thể có một vị trí trong không gian tìm kiếm, đại diện cho một thông số cần tìm kiếm và một vectơ vận tốc để cập nhật vị trí mới. Ở mỗi bước lặp, mỗi cá thể sẽ cập nhật hai giá trị tốt nhất đó là vị tốt nhất trong quần thể P_{best} và vị trí tốt nhất trong không gian tìm kiếm G_{best} cho đến bước hiện tại. Vị trí và vận tốc của mỗi cá thể được gia tốc theo hướng tốt nhất của cá nhân và hướng tốt nhất trong không gian tìm kiếm theo qui luật sau:

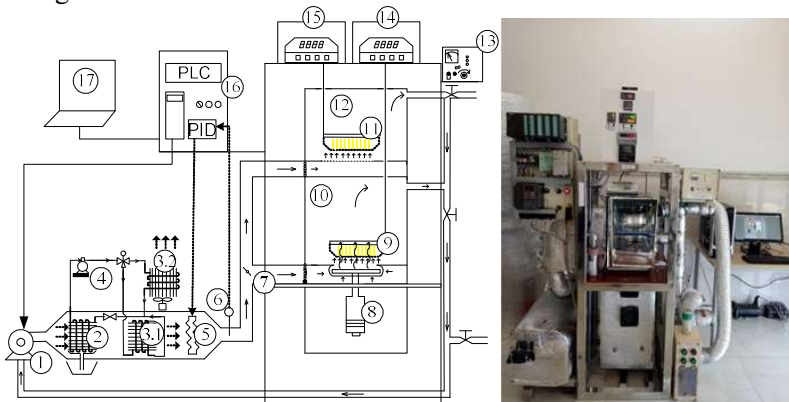
$$v_i(m+1) = \omega v_i(m) + c_1 w_1 [x_{P_{best}} - x_i(m)] + c_2 w_2 [x_{G_{best}} - x_i(m)] \quad (2.16)$$

$$x_i(m+1) = x_i(m) + v_i(m+1) \quad (2.17)$$

Mỗi một ứng dụng cho từng phần sẽ có một hàm mục tiêu (f^{muc_tieu}).

2.3 Hệ thống máy sấy bơm nhiệt kết hợp với sóng siêu âm

Để nghiên cứu thực nghiệm, đề tài này, đã thiết kế chế tạo một mô hình máy sấy bơm nhiệt kết hợp với sóng siêu âm như sau:



Hình 2.3: Thiết bị khảo nghiệm. 1 - Quạt; 2 - Dàn bay hơi; 3.1, 3.2 - Dàn ngưng tụ; 4 - Máy nén; 5 - Điện trở gia nhiệt phụ; 6 - Cảm biến đo nhiệt độ và độ ẩm không khí; 7 - Van; 8 - Thiết bị phát sóng siêu âm; 9, 11 - Khay chứa mẫu; 10 - Ngăn sấy có sóng siêu âm; 12 - Ngăn sấy không có sóng siêu âm; 13 - Nguồn siêu âm; 14, 15 - Cân điện tử; 16 - Bộ điều khiển; 17 - Máy tính.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1 Thiết kế chế tạo bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy

Bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy (hình 3.1) được thiết kế theo qui trình:

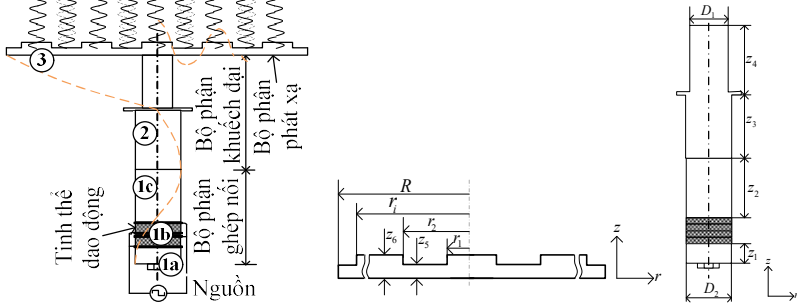
Bước 1: Kiểm tra phần mềm phân tích xác định thuộc tính dao động

Nhận xét: phân tích dao động bằng phần mềm ANSYS R14.5 cho tấm tròn bậc công bố ở công trình nghiên cứu (Emeterio (1987)). Kết quả, tần số của tấm tròn có được từ phân tích sai lệch 0,28% so với kết quả đo đạt của Emeterio. Với sai lệch này chứng tỏ rằng kết quả phân tích có được từ phần mềm xem như chấp nhận được và phần mềm phục vụ cho việc phân tích có độ tin cậy chấp nhận được.

Bước 2: xác định các thông số cần thiết kể cho bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy.

❖ Thông số vật liệu và tinh thể dao động PZT.

Tinh thể dao động PZT- 5020 – 4DS do hãng Branson cung cấp với tần số dao động riêng là 20 kHz, nguồn cung cấp lớn nhất 1,3 kW, biên độ dao động lớn nhất là 8 μ m.



Hình 3.1: Bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy

❖ Tần số và bán kính tấm tròn phát xạ

- Tần số sóng siêu âm là 20 kHz.

- Cường độ năng lượng của sóng siêu âm sử dụng khi thực nghiệm từ 0 kW/m² đến 30 kW/m².

Bước 3: Tiến hành thiết kế

Trình tự thiết kế: Với thông số vật liệu ở bảng 3.1, đầu tiên xác định kích thước cho cụm ghép nối (cụm 1) theo lưu đồ hình 3.2a, sau đó xác định kích thước cho toàn cụm theo lưu đồ hình 3.2b. Thuật toán tối ưu PSO dựa vào hàm mục tiêu (3.1) là sai giữa tần số dao động riêng của bộ phận phát sóng (f_u) có được từ phân tích dao động và tần số dao động riêng mong muốn ($f_{u,0}$) nhỏ nhất. Kết quả thiết kế được thể hiện bảng 3.2, tần số dao động riêng và dạng dao động (mode) thể hiện ở hình 3.3.

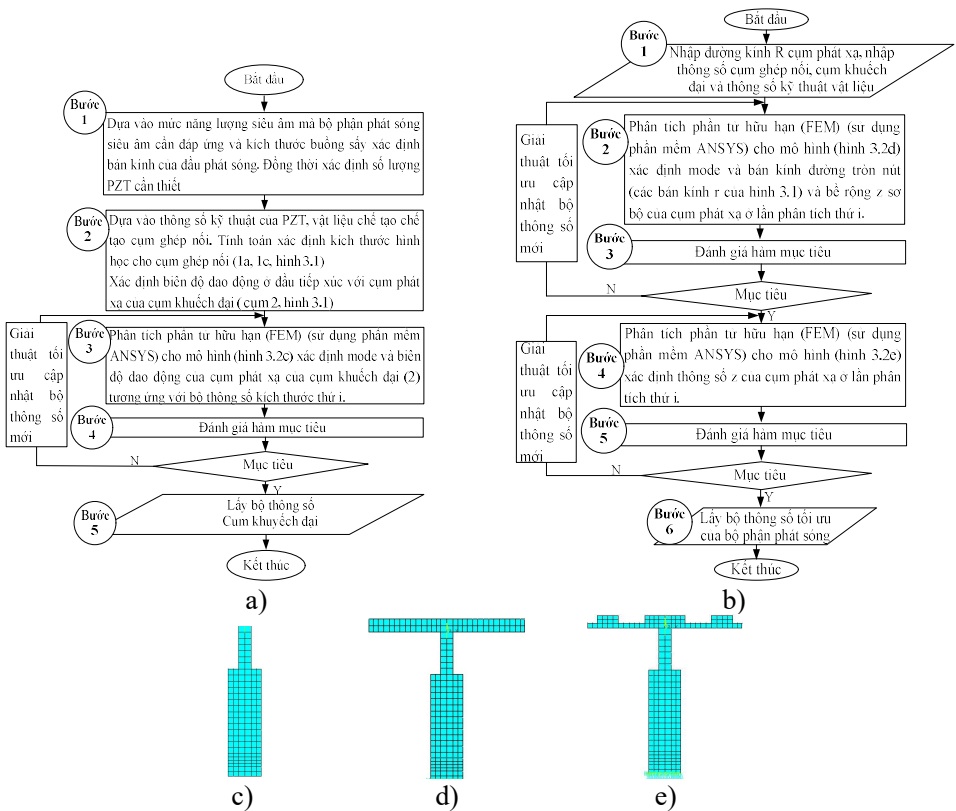
$$f^{\text{muc_tieu}} = \min |f_u - f_{u,0}| \quad (3.1)$$

Bảng 3.1: Thông số vật liệu của bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy

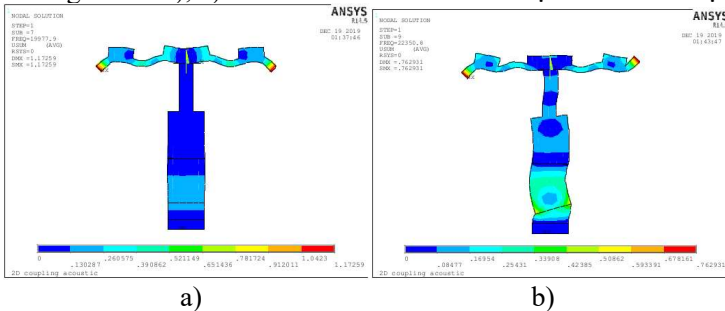
Vật liệu	Cụm	Thông số			
		E,(GPa)	μ_m	ρ , (kg/m ³)	v, (m/s)
AA 7075-T6	1,3	71,7	0,33	2810	5030
SS 41	2	210	0,3	7800	5188

Bảng 3.2: Thông số hình học của bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy

Stt	Thông số	Giá trị (mm)	Stt	Thông số	Giá trị (mm)
1	r_1	30,995	12	z_1	14,000
2	r_2	72,374	13	z_2	62,800
3	r_3	105,517	14	z_3	64,900
9	R	120,000	15	z_4	64,900
10	h_1	7,755	16	D_1	19,100
11	h_2	19,869	17	D_2	50,000



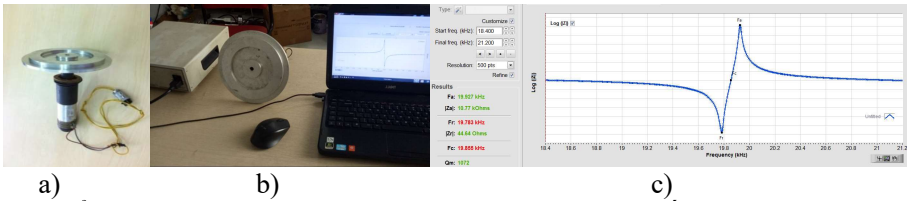
Hình 3.2: Lưu đồ xác định thông số hình học bộ phát sóng siêu âm a) xác định cho cụm khuếch đại; b) xác định nguyên cụm; c) mô hình chia lưới cụm khuếch đại; d) mô hình chia lưới khi xác định vị trí đường tròn nút; e) mô hình chia lưới khi xác định chiều cao bậc.



Hình 3.3: Mode và tần số dao động a) mode 7; b) mode 9

Bước 4: Chế tạo và đo kiểm

Sử dụng máy phân tích dao động chuyên dụng (TRZ Horn Analyzer) của hãng ATCP Physical Engineering (hình 3.4b, thiết bị của Bộ môn Vật Liệu, Khoa Cơ Khí, Trường đại học Bách Khoa Tp.HCM) xác định tần số dao động riêng và trở kháng của bộ phận phát sóng đã được chế tạo (hình 3.4a), kết quả tần số dao động riêng của bộ phận phát sóng là 19,927 kHz (hình 3.4c)



Hình 3.4: Kiểm tra bộ phận phát sóng siêu âm ứng dụng trong sậy a) hình ảnh của bộ phận phát sóng; b) đo tần số dao động riêng; c) tần số cộng hưởng và trở kháng.

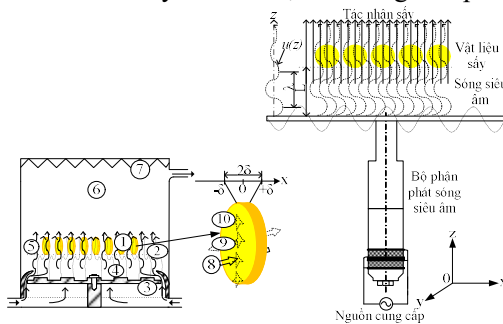
3.2 Hiện tượng vật lý khi sậy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm

Mô tả mô hình vật lý: vật liệu sậy (1) dạng lát mỏng có bề dày 2δ đặt đứng trên khay chứa mẫu dạng lưới (2). Tầm phát xạ sóng siêu âm (3) được đặt cách vật liệu sậy một khoảng cách L , sóng siêu âm (4) được phát với cường độ I_u và tần số f_u xuyên qua khay chứa mẫu dạng lưới đi vào vật liệu sậy. TNS (5) được đưa vào buồng sậy qua miệng côn tròn thổi đều ngang qua hai bề mặt của vật liệu sậy, có nhiệt độ t_a , có độ ẩm tương đối φ_a và có vận tốc v_a (hình 3.5). Sóng siêu âm lan truyền trong không khí thuộc dạng sóng dọc, tạo ra áp suất âm thanh (áp suất do sóng siêu âm tạo ra) cách bộ phận phát sóng một khoảng cách L được xác định theo phương trình:

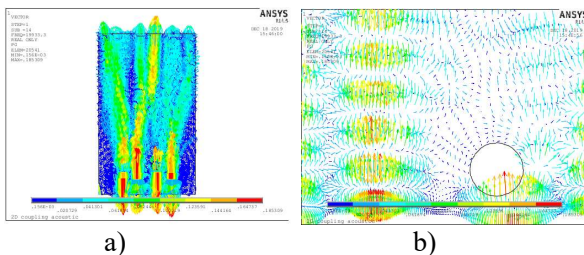
$$p_a = \rho_a v_{u,a} \sqrt{2 \frac{P_u}{S_R}} \cos(2\pi f_u \tau) \quad (3.1)$$

Với: ρ_a là khối lượng riêng của không khí; f_u là tần số của sóng siêu âm; S_R là diện tích tầm phát xạ của bộ phận phát sóng siêu âm; $v_{u,a}$ là vận tốc truyền sóng siêu âm trong không khí; P_u là công suất của nguồn phát sóng siêu âm

Sử dụng phương pháp phân tích phần tử hữu hạn với một mô hình rắn – khí – rắn tương tự như mô hình vật lý hình 3.5, mô phỏng được triển khai trong phần mềm ANSYS R14.5. Rắn – khí – rắn là sự tương tác giữa 3 phần tử: phần tử rắn thứ nhất mô hình hóa cho bộ phận phát sóng siêu âm (phần tử 2D, 8 nút, plan 183 với keyopt 2 (phần tử biến dạng mặt)), phần tử khí mô hình hóa cho không khí quanh vật liệu sậy (phần tử fluid 29), phần tử rắn tiếp theo mô hình hóa cho vật liệu sậy (phần tử cyl4). Kết quả mô phỏng gradient áp suất trong buồng sậy thể hiện ở hình 3.6a và quanh vật liệu sậy hình 3.6b, với thang đo áp suất là Pa.



Hình 3.5: Mô hình vật lý sậy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm 1 - Vật liệu sậy; 2 - Khay chứa mẫu; 3 - Bộ phận phát sóng siêu âm; 4 - Sóng siêu âm; 5 - Tác nhân sậy (TNS); 6 - Buồng sậy; 7 - Vật liệu hấp thụ sóng siêu âm; 8 - Dòng nhiệt đi vào vật liệu; 9 - Dòng ẩm ra khỏi vật liệu; 10 - Các phân tử nước ở bề mặt vật liệu sậy.



Hình 3.6: Gradient áp suất a) trong buồng sấy; b) quanh vật liệu sấy

Thảo luận hiện tượng: Sóng siêu âm được phát ra từ bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy lan truyền trong TNS và từ đó tạo ra áp suất cục bộ trong buồng sấy là một hàm tuần hoàn (công thức 3.1). Kết quả mô phỏng ở hình 3.6 cho thấy, vùng không khí quanh VLS bị co/giãn với tần số bằng tần số sóng siêu âm. Do đó, gradient áp suất do sóng siêu âm tạo ra quanh vật liệu sấy có phương và chiều không ổn định theo thời gian. Và như vậy, góc hợp bởi vectơ vận tốc (\vec{v}_a) của TNS quanh bề mặt VLS và gradient nhiệt độ bên trong vật liệu sấy (∇T) thay đổi, ảnh hưởng đến $\cos\theta$ (hệ số góc giữa \vec{v}_a và ∇T); từ đó ảnh hưởng đến tiêu chuẩn Nu (Nusselt)

$$N_u = R_c P_r \int_0^1 \left(\left| \vec{v}_a \right| \cdot \left| \nabla T \right| \cdot \cos\theta \right) dz \quad (3.2)$$

Như vậy, nếu đặt một vật liệu ẩm trong môi trường TNS này thì trao đổi nhiệt và trao đổi ẩm giữa VLS và môi trường được cải thiện so với môi trường TNS không có sóng siêu âm.

Thêm vào đó, sóng siêu âm lan truyền trong TNS tác động vào bề mặt của VLS đi vào VLS làm giảm lực liên kết giữa các phân tử nước và các phân tử vật chất cấu thành nên VLS; từ đó cải thiện hệ số khuếch tán ẩm của VLS. Ngoài ra, một lượng ẩm sẽ dịch chuyển ra bề mặt dưới tác động của lực cơ học (ép, nén) do sóng siêu âm tạo ra với vận tốc được xác định theo công thức (3.3):

$$v_w = - \frac{K \nabla P}{\mu_w} \quad (3.3)$$

Trong đó, K là độ thấm thấu, m^2 ; μ_w là độ nhớt động học của ẩm (nước), Pa.s; ∇P là gradient áp suất, Pa/m.

3.3 Mô hình toán truyền nhiệt và truyền ẩm trong vật liệu sấy khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm

Mô hình toán truyền nhiệt truyền ẩm trong vật liệu sấy dạng lát khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm được thiết lập với một số giả thiết sau đây: vật liệu sấy đồng nhất và đẳng hướng, không thay đổi tiết diện trong quá trình sấy; khuếch tán nhiệt, ẩm của vật liệu là một hàm theo nhiệt độ TNS và cường độ siêu âm; thông số của TNS và cường độ siêu âm suốt quá trình sấy không đổi; ẩm trong vật liệu chỉ tồn tại ở dạng lỏng; không có phản ứng hóa học bên trong vật liệu sấy; vật liệu sấy dạng lát có tỉ lệ đường kính/ bề dày là 5 lần (25/5). Trên cơ sở này, giả sử truyền nhiệt và truyền ẩm bên trong vật liệu chỉ xảy ra theo phương bề dày (phương x, truyền nhiệt truyền ẩm là 1-D).

- Phương trình truyền nhiệt và truyền ẩm bên trong đẳng sâm:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \alpha_t \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \quad (3.4)$$

$$\frac{\partial M}{\partial \tau} = D_c \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \quad (3.5)$$

Trong đó: $\alpha_t = k_p / c_p \rho_p$ là hệ số khuếch tán nhiệt.

- Điều kiện ban đầu bao gồm nhiệt độ ban đầu và độ ẩm ban đầu:

$$\tau = 0; t(x,0) = t_0, M(x,0) = M_0 \quad (3.6)$$

-Tác nhân sấy và sóng siêu âm di chuyển đều qua hai bề mặt của vật liệu sấy, điều kiện đối xứng hình học sau đây được áp dụng:

$$x = 0, \tau > 0; \frac{\partial t(0,\tau)}{\partial x} = 0, \frac{\partial M(0,\tau)}{\partial x} = 0 \quad (3.7)$$

-Điều kiện biên trao đổi nhiệt đối lưu tại bề mặt của vật liệu sấy khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm được xác định như sau:

Truyền nhiệt tại bề mặt của vật liệu sấy bao gồm: dẫn nhiệt, trao đổi nhiệt đối lưu, nhiệt do năng lượng sóng siêu âm và nhiệt ẩn hóa hơi của nước tại bề mặt. Áp dụng định luật bảo toàn năng lượng ta có:

$$x = \delta, \tau > 0; -k \frac{\partial t(\delta,\tau)}{\partial x} = h_t [t_a - t(\delta,\tau)] + \mu_u I_u - D_e \rho_s h_{fg} \frac{\partial M(\delta,\tau)}{\partial x} \quad (3.8)$$

-Điều kiện biên trao đổi ẩm đối lưu tại bề mặt của vật liệu sấy khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm được xác định như sau:

$$x = \delta, \tau > 0; -D_e \rho_s \frac{\partial M(\delta,\tau)}{\partial x} = h_m [\varphi_e(\delta,t) - \varphi_a] \quad (3.9)$$

Trong đó: τ là thời gian, s; M là độ ẩm của vật liệu (tính ở cơ sở khô, hệ thập phân), kg ẩm/kg vật liệu khô (kg/kg VLK); t là nhiệt độ VLS tại thời điểm bất kỳ, °C M_0 là độ ẩm ban đầu của vật liệu ($\tau = 0$), kg/kg VLK; t_0 là nhiệt độ ban đầu của vật liệu ($\tau = 0$), °C; δ là nửa bề dày VLS, m; ρ_s là khối lượng riêng của vật liệu khô, kg/m³; μ_u là hệ số gia tăng nhiệt độ của VLS do sóng siêu âm tạo nên; k là hệ số dẫn nhiệt, W/m.K; α_t , D_e , lần lượt là hệ số khuếch nhiệt và hệ số tán ẩm của VLS, m²/s; h_t là hệ số trao đổi nhiệt đối lưu tại bề mặt VLS, W/m².K; h_m là hệ số trao đổi ẩm đối lưu tại bề mặt VLS, kg/m² s; h_{fg} là ẩn nhiệt hóa hơi của nước tại bề mặt của VLS, J/kg; $\varphi_e(\delta,\tau)$ là độ ẩm của không khí tại bề mặt của VLS, chính là hoạt độ nước (a_w) tại bề mặt VLS, 0 - 1; φ_a là độ ẩm tương đối TNS, 0 - 1, t_a là nhiệt độ TNS, °C; I_u là cường độ sóng siêu âm tại bề mặt của VLS và bằng cường độ sóng siêu âm được phát ra từ bộ phận phát sóng siêu âm, kW/m².

3.4 Xác định tính chất nhiệt vật lý của đảng sâm Việt Nam

Vận dụng phương pháp xác định tính chất nhiệt vật lý ở phần 2.2.5 cho vật liệu sấy là đảng sâm Việt Nam. Từ thực nghiệm và phân tích hồi quy, có được các kết quả sau đây:

-Khối lượng riêng của đảng sâm Việt Nam:

$$\rho_p = \frac{1+M}{\frac{1}{1620} + \frac{M}{1020}} \quad (3.10)$$

-Nhiệt dung riêng của đảng sâm Việt Nam:

$$c_p = 450,44 + 42,45X \quad (3.11)$$

-Hệ số dẫn nhiệt của đảng sâm Việt Nam:

$$k_p = 0,0971 + 0,0056X \quad (3.12)$$

-Độ ẩm cân bằng của đảng sâm Việt Nam:

$$M_e = (0,120438 - 0,0005t_a) \left(\frac{a_w}{1-a_w} \right)^{(0,399937 + 0,001958t_a)} \quad (3.13)$$

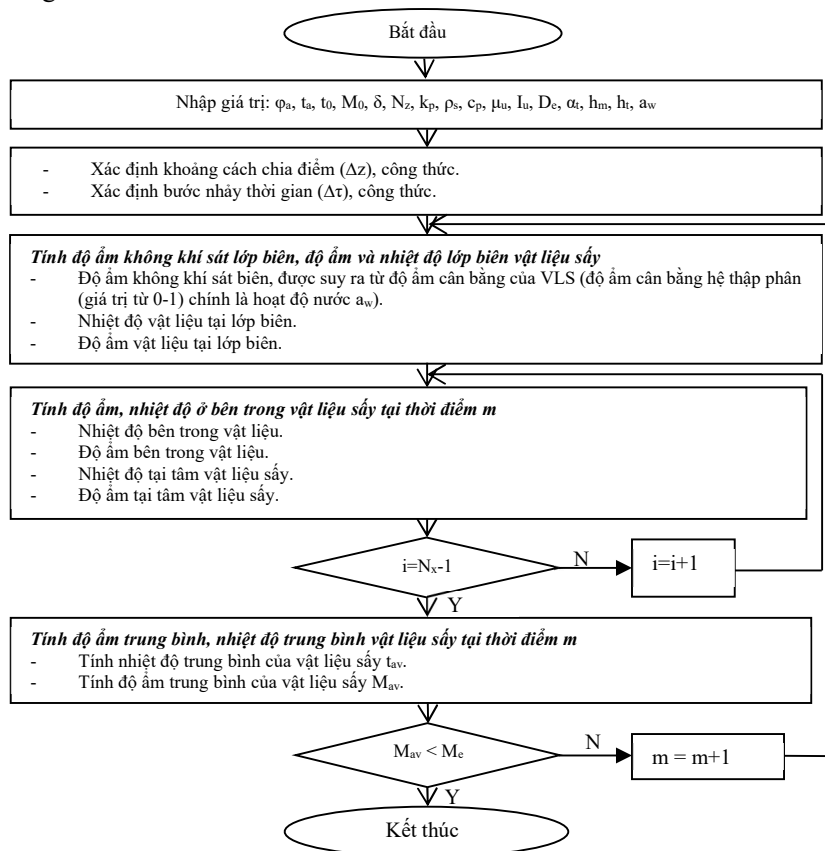
- Lượng nhiệt tăng thêm khi sấy đảng sâm có sự hỗ trợ của sóng siêu âm

Bằng thực nghiệm và phân tích hồi quy, lượng nhiệt tăng thêm trong đảng sâm Việt Nam khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm như sau:

$$\Delta t_{av} = 1,006 \times I_u - 0,7 \quad (3.14)$$

3.5 Giải phương trình truyền nhiệt truyền ẩm trong vật liệu sấy

Phương trình truyền nhiệt (3.4), truyền âm (3.5) cùng với điều kiện ban đầu và điều kiện biên (3.6), (3.7), (3.8), (3.9) đều là phương trình vi phân đạo hàm riêng có thể giải bằng phương pháp giải tích hoặc bằng phương pháp số. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp số - sai phân hữu hạn để giải. Giải thuật thực hiện được thể hiện ở hình 3.7

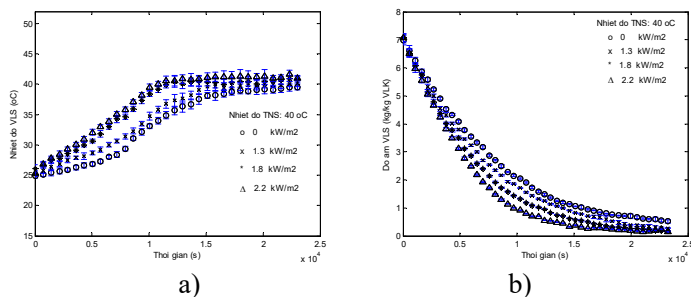


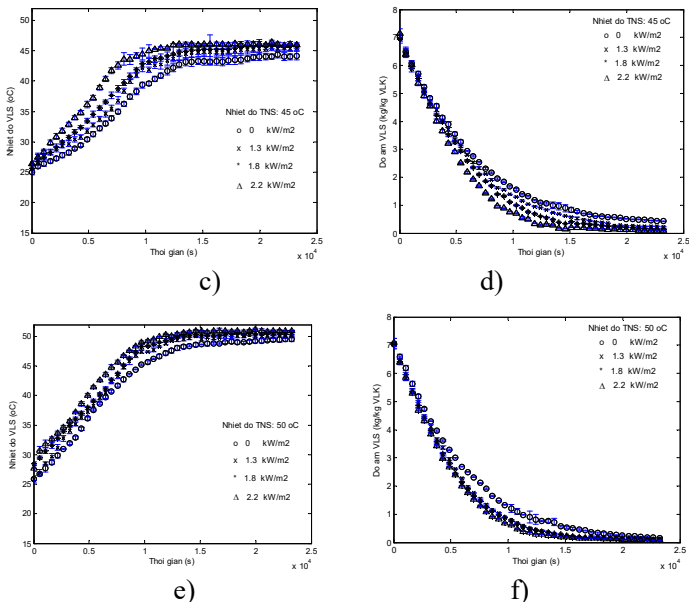
Hình 3.7: Giải thuật giải bài toán truyền nhiệt truyền âm của vật liệu sấy

3.6 Động học quá trình sấy đẳng sâm Việt Nam

3.6.1 Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến động học quá trình sấy đẳng sâm Việt Nam

Kết quả thực nghiệm mười hai chế độ sấy đẳng sâm Việt Nam, độ ẩm và nhiệt độ trong quá trình sấy được thể hiện sau đây:





Hình 3.8: Đồ thị quá trình sấy đẳng sâu tại điều kiện TNS a, b) lần lượt là đường cong nhiệt độ sấy và đường cong sấy tại nhiệt độ nhiệt độ 40 °C, độ ẩm tương đối $20 \pm 1,5 \%$, vận tốc 0,5 m/s; c), d) lần lượt là đường cong nhiệt độ sấy và đường cong sấy tại nhiệt độ nhiệt độ 45 °C, độ ẩm tương đối $18 \pm 1,5 \%$, vận tốc 0,5 m/s; e), f) lần lượt là đường cong nhiệt độ sấy và đường cong sấy tại nhiệt độ nhiệt độ 50 °C, độ ẩm tương đối $15 \pm 1,5 \%$, vận tốc 0,5 m/s.

Thảo luận kết quả: Từ kết quả thể hiện từ hình 3.8 cho thấy:

- Dao động cơ học của sóng siêu âm tác động vào bề mặt của vật liệu sấy, lan truyền trong vật liệu sấy làm cho sự truyền năng lượng từ bên ngoài vào trong vật liệu sấy diễn ra nhanh hơn điều này làm cho gia tăng nhiệt độ bên trong vật liệu sấy trong quá trình sấy nhanh hơn. Xét một trường hợp cụ thể, gia nhiệt đẳng sâu tại nhiệt độ TNS 40°C: trong 30 phút đầu của quá trình sấy nhiệt độ bên trong đẳng sâu tăng 0,7°C khi không có sóng siêu âm, trong khi đó, nhiệt độ bên trong đẳng sâu tăng 1,4°C, 1,6°C, 2,8°C khi có sự hỗ trợ của sóng siêu âm tương ứng với mức cường độ siêu âm 1,3 kW/m², 1,8 kW/m², 2,2 kW/m². Điều này cho thấy rằng, khuếch tán nhiệt bên trong đẳng sâu phụ thuộc vào cường độ của sóng siêu âm.

- Sóng siêu âm tạo ra áp suất cục bộ quanh vật liệu sấy (trình bày ở phần 3.2 của chương 3) làm cho nhiệt độ vật liệu sấy tăng thêm một lượng. Thực nghiệm đo đạc trên đẳng sâu thì lượng gia tăng này từ 0,7-1,7 °C tương ứng với cường độ siêu âm từ 1,3 kW/m² đến 2,2 kW/m².

- Đường cong sấy đẳng sâu có dạng là đường cong sấy hai giai đoạn: giai đoạn tốc độ sấy không đổi và giai đoạn tốc độ sấy giảm dần.

- Khi có sự hỗ trợ của sóng siêu âm trong quá trình sấy lớp biên truyền âm giữa VLS và TNS bị phá vỡ, tăng khả năng khuếch tán âm từ trong lòng VLS ra bề mặt VLS và từ bề mặt VLS ra môi trường, kết quả là thời gian sấy ít hơn so với không có sự hỗ trợ của sóng siêu âm. Số liệu thực nghiệm cho thấy, với điều kiện TNS, nhiệt độ từ 40-50 °C, độ ẩm tương đối 15-23 %, vận tốc 0,5 m/s và cường độ siêu âm từ 0-2,2 kW/m² thì thời gian sấy đẳng sâu giảm nhiều nhất là 42%, giảm ít nhất là 20%. Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến sự giảm ẩm của đẳng sâu không giống nhau ở mọi nhiệt độ TNS dẫn đến thời gian sấy đẳng sâu phụ thuộc vào nhiệt độ

TNS và cường độ siêu âm. Số liệu từ thực nghiệm cho thấy, so với không có sự hỗ trợ của sóng siêu âm trong quá trình sấy thì lượng giảm thời gian sấy khi có sự hỗ trợ của sóng siêu âm có chiều hướng tăng dần trong khoảng nhiệt độ 40-45 °C và có chiều hướng giảm dần ở khoảng nhiệt độ 45-50 °C. Các chế độ sấy TH4, TH7, TH8, TH12 là những trường hợp có lượng giảm thời gian sấy nhiều nhất, là những chế độ sấy cần được quan khi chọn chế độ sấy hợp lý cho đẳng sâm.

3.6.2 Xác định hệ số khuếch tán ẩm hệ số khuếch tán nhiệt ẩm của đẳng sâm

Vận dụng giải pháp ERM-O trình bày ở trên xác định các thông số có liên quan đến động học sấy với lưu đồ được thể hiện ở hình 2.2 chương 2, trong đó, M_{av} , t_{av} được tính toán từ lưu đồ 3.7, số liệu thực nghiệm được lấy ở phần 3.6.1, hàm mục tiêu (MRE) là điều kiện dừng cho thuật toán hình 2.2, được xác định như sau:

$$MRE_i = \alpha MRE_{M,i} + (1-\alpha)MRE_{t,i} \quad (3.15)$$

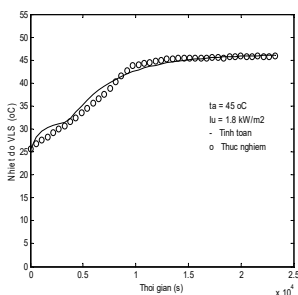
$$f^{muc_tieu} = \text{Min}\{MRE_i\} \quad (3.16)$$

Với MRE_i (công thức (2.14) ở chương 2) là sai số tương đối trung bình ở bước lặp thứ i , MRE_M cho độ ẩm, MRE_t cho nhiệt độ. α là trọng số chọn lựa (0-1), chọn $\alpha = 0,5$.

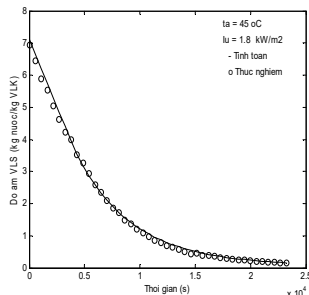
Thuật toán tìm kiếm tối ưu PSO dựa vào kết quả tính toán M_{av} , t_{av} , giá trị thực nghiệm của đẳng sâm và hàm mục tiêu (3.16) xác định bộ thông số D_e , α_t , h_m , h_t tốt nhất cho đẳng sâm trong 12 chế độ sấy, kết quả thể hiện ở bảng 3.3, một trường hợp tiêu biểu thể hiện 3.9.

Bảng 3.3: Thông số D_e , α_t , h_m , h_t của đẳng sâm

TH	I_u (kW/m ²)	t_a (°C)	$D_e \times 10^{-10}$ (m ² /s)	$\alpha_t \times 10^{-7}$ (m ² /s)	$h_m \times 10^{-3}$ (kg/m ² s)	h_t (W/m ² .K)	MRE(%)
1	0	40	3,2	1,01	2,3	29,2	3,3
2	1,3		4	1,13	2,8	39,8	3,1
3	1,8		4,6	1,27	3,2	48,8	3,4
4	2,2		5,6	1,32	3,8	60,1	6,8
5	0	45	3,9	1,16	2,9	30,7	3,0
6	1,3		4,9	1,30	3,2	40,7	2,7
7	1,8		5,7	1,35	3,6	51,2	2,9
8	2,2		6,4	1,37	4,0	62,4	4,4
9	0	50	4,9	1,27	3,4	33,2	2,7
10	1,3		5,9	1,35	3,6	41,6	2,2
11	1,8		6,4	1,37	3,9	53,6	5,2
12	2,2		6,7	1,38	4,1	63,6	2,6



a)



b)

Hình 3.9: Đồ thị quá trình sấy đẳng sâm tại nhiệt độ TNS 45 °C, vận tốc 0,5 m/s, độ ẩm tương đối $18 \pm 1,5$ %, cường độ siêu âm 1,8 kW/m² a) đường cong nhiệt độ sấy đẳng sâm; b) đường cong sấy đẳng sâm.

Thảo luận kết quả: Từ kết quả tính toán thể hiện ở bảng 3.2 cho thấy:

Sai số tương đối trung bình (MRE, chung cho cả nhiệt độ và độ ẩm tính theo công thức (2.14)) giữa giá trị thực nghiệm và giá trị tính toán của đẳng sâm từ 2,6-6,8 % trong 12 trường hợp. Điều này cho thấy rằng, bộ thông số D_e , α_t , h_m , h_t của đẳng sâm được xác định theo giải pháp ERM-O có thể chấp nhận được (MRE nhỏ hơn 10%).

Phân tích hồi qui phi tuyến với số liệu bảng 3.2, kết quả:

$$D_e = 3,05 \times 10^{-4} e^{\left(-\frac{4286,96}{(273,15 + t_a)} + 2,202967 I_u - \frac{212275 I_u}{(273,15 + t_a)^2} + \frac{24418,8 I_u^2}{(273,15 + t_a)} - \frac{3710120 I_u^2}{(273,15 + t_a)^2} - 40,04 I_u^2 \right)} \quad (3.17)$$

$$h_m = 0,010032 - \frac{0,41659}{t_a} - 0,0031 I_u - \frac{5,3856 I_u}{t_a^2} + \frac{0,256727 I_u}{t_a} + \frac{0,515849 I_u^2}{t_a^2} + \frac{4,285627}{t_a^2} \quad (3.18)$$

$$\alpha_t = 1,014 \times 10^{-7} + \frac{6,553 \times 10^{-6}}{t_a} - 6,53 \times 10^{-8} I_u - \frac{1,3 \times 10^{-4} I_u}{t_a^2} + \frac{6,242 \times 10^{-6} I_u}{t_a} + \frac{1,7 \times 10^{-5} I_u^2}{t_a^2} - \frac{2,6 \times 10^{-4}}{t_a^2} - 7,16 \times 10^{-9} I_u^2 \quad (3.19)$$

$$h_t = 56,64 + 2,20 t_a - \frac{34,54}{I_u} + \frac{4 t_a}{I_u^2} - \frac{5,63 t_a}{I_u}; SA = 13,03 + 0,4 t_a; \quad KSA \quad (3.20)$$

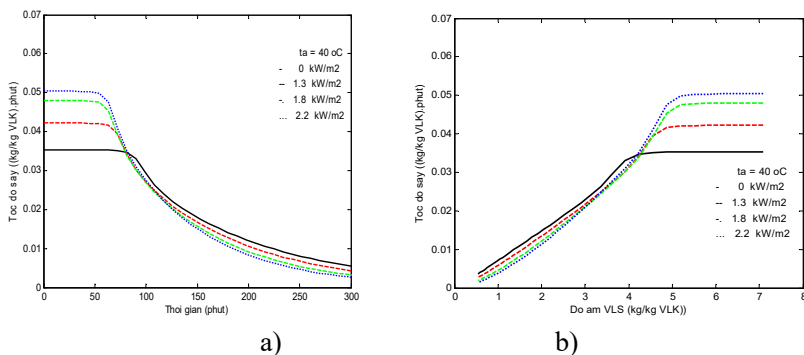
3.6.3 Ảnh hưởng của sóng siêu âm đến tốc độ sấy đẳng sâm Việt Nam

Tốc độ giảm ẩm trung bình trong khoảng thời gian τ được xác định theo công thức:

$$V_{M,av} = \frac{1}{\tau} \int \frac{dM_{av}}{d\tau} d\tau = \frac{M_{av,b} - M_{av,e}}{\tau} \quad (3.21)$$

Trong đó, $M_{av,i}$, $M_{av,i-1}$ lần lượt là độ ẩm trung bình của đẳng sâm tại 2 lần lấy mẫu liên tiếp; $\Delta\tau$ là thời gian lấy mẫu, chọn thời gian lấy mẫu là 3 phút.

Kết quả tính toán lý thuyết về tốc độ sấy đẳng sâm ở điều kiện nhiệt độ tác nhân TNS 40 °C được thể hiện hình 3.28.



Hình 3.10: Đường cong tốc độ sấy của đẳng sâm tại 40°C: a) theo thời gian; b) theo độ ẩm; đường gạch liền (-) màu đen là khi không có sóng siêu âm (0 kW/m²); đường gạch gạch (--) là khi có sóng siêu âm cường độ 1,3 kW/m²; đường gạch chấm (- ·) là khi có sóng siêu âm cường độ 1,8 kW/m²; đường chấm chấm (· ·) là khi có sóng siêu âm cường độ 2,4 kW/m².

Thảo luận kết quả: Từ đồ thị tốc độ sấy ở hình 3.10 cho thấy, sấy đẳng sâm Việt Nam bằng phương pháp bơm nhiệt kết hợp với sóng siêu âm thì tốc độ sấy của vật liệu tồn tại hai giai đoạn: giai đoạn tốc độ sấy không đổi (khoảng 60 phút đầu) và giai đoạn tốc độ sấy giảm dần (điều này cũng hợp lý so với kết quả thực nghiệm). Thời gian tồn tại giai đoạn tốc độ sấy không đổi phụ thuộc vào cường độ siêu âm, ngắn nhất ở cường độ $I_3 = 2,2$ kW/m², dài nhất cường độ siêu âm bằng không tức là sấy bơm nhiệt. Tốc độ sấy của đẳng sâm Việt Nam cao

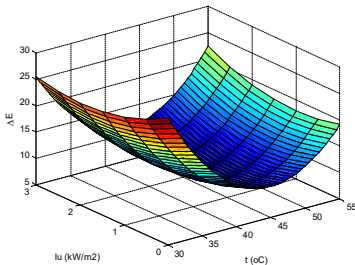
ở giai đoạn đầu (khi độ ẩm của vật liệu cao) và giảm dần khi càng về cuối quá trình sấy (khi độ ẩm của vật liệu càng thấp). Đồng thời, trong gian đoạn tốc độ sấy không đổi cường độ siêu âm càng cao thì tốc độ sấy càng cao. Như vậy, tác dụng của sóng siêu âm hỗ trợ sấy tương đối lớn cho những vật liệu có độ ẩm ban đầu cao. Kết quả tính toán cho thấy, tốc độ giảm ẩm trung bình của đảng sâm khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm tăng lên rõ rệt, so sánh với sấy bom nhiệt không có sóng siêu âm hỗ trợ sấy thì lượng tăng tốc độ giảm ẩm trung bình cao khi cường độ siêu âm cao và nhiệt độ TNS thấp, điều này chứng tỏ rằng, mức độ ảnh hưởng của sóng siêu âm đến tốc độ thoát ẩm của đảng sâm sẽ giảm đi khi nhiệt độ TNS tăng cao, nhận định này giúp ích cho việc lựa chọn thông số sấy hợp lý cho đảng sâm.

3.7 Đánh giá sự thay đổi màu sắc và saponin tổng của đảng sâm Việt Nam khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm

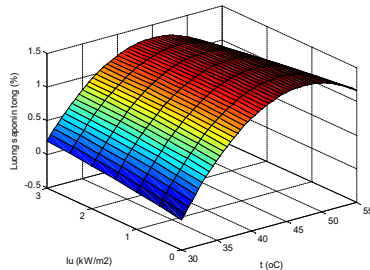
Sự thay đổi màu sắc và thành phần saponin tổng của đảng sâm Việt Nam khô được so sánh với nguyên liệu tươi ban đầu và được đánh giá thông qua thông số ΔE (công thức 2.6 chương 2). Thông số màu sắc của nguyên liệu tươi và sản phẩm khô tại 12 trường hợp thí nghiệm ở mục 3.6.2 được đo trong quá trình thí nghiệm và kết quả thể hiện ở bảng 3.4. Sau khi loại bỏ các trường hợp có màu sắc thay đổi lớn, hàm lượng saponin của đảng sâm các trường hợp còn lại thể hiện ở bảng 3.5.

Bảng 3.4: Thông số (Pr) màu sắc của đảng sâm khô

TH	I_u (kW/m ²)	t_a (°C)	L^*	a^*	b^*	ΔE
Nguyên liệu			$71,8 \pm 2,26$	$2 \pm 0,05$	$31,6 \pm 1,31$	
1	0	40	$79,2 \pm 1,08$	$2,7 \pm 0,13$	$21,4 \pm 0,69$	$12,6 \pm 0,42$
2	1,3		$78,6 \pm 1,07$	$3,3 \pm 0,06$	$23,9 \pm 0,57$	$10,4 \pm 0,20$
3	1,8		$78,5 \pm 1,42$	$3,4 \pm 0,04$	$25,5 \pm 0,39$	$9,2 \pm 0,11$
4	2,2		$76,8 \pm 1,12$	$4,2 \pm 0,11$	$22,5 \pm 0,36$	$10,6 \pm 0,32$
5	0	45	$75,1 \pm 1,46$	$5,8 \pm 0,10$	$21,6 \pm 0,50$	$11,2 \pm 0,23$
6	1,3		$78,4 \pm 1,31$	$4,5 \pm 0,10$	$26,2 \pm 0,43$	$8,8 \pm 0,18$
7	1,8		$78,2 \pm 6,66$	$5,4 \pm 0,19$	$27,3 \pm 2,45$	$8,4 \pm 0,82$
8	2,2		$72,6 \pm 1,93$	$5,9 \pm 0,19$	$23,7 \pm 1,31$	$8,8 \pm 0,56$
9	0	50	$59,6 \pm 1,74$	$6,1 \pm 0,18$	$30,8 \pm 0,74$	$12,9 \pm 0,19$
10	1,3		$61,6 \pm 0,97$	$6,1 \pm 0,13$	$30,8 \pm 0,75$	$11,0 \pm 0,18$
11	1,8		$61,6 \pm 1,13$	$6,8 \pm 0,62$	$33,1 \pm 0,76$	$11,4 \pm 0,24$
12	2,2		$60,1 \pm 2,2$	$7,1 \pm 0,30$	$32,8 \pm 0,96$	$12,8 \pm 0,51$



a)



b)

Hình 3.11: Biến đổi màu sắc và saponin của đảng sâm theo nhiệt độ TNS và cường độ siêu âm a) Thông số màu sắc; b) Hàm lượng saponin.

Bảng 3.5: Kết quả thử nghiệm hàm lượng saponin có trong sản phẩm đẳng sâm

Trường hợp	$I_u, \text{kW/m}^2$	$t_a, ^\circ\text{C}$	Hàm lượng saponin tổng (%)
Nguyên liệu			1,404
TH1	0	40	1,161
TH2	1,3		1,258
TH3	1,8		1,108
TH4	2,2		1,243
TH5	0	45	0,549
TH6	1,3		1,392
TH10	1,3	50	1,338

Thảo luận kết quả: Thông số màu sắc ΔE của đẳng sâm Việt Nam khô ở bảng 3.4 cho thấy, khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm thì màu sắc của sản phẩm khô ít thay đổi hơn so với không có sự hỗ trợ của sóng siêu âm. Điều này có thể do khi có sự hỗ trợ của sóng siêu âm trong quá trình sấy thì thời gian sấy đẳng sâm Việt Nam được rút ngắn, hạn chế thời gian tiếp xúc giữa đẳng sâm với nhiệt độ; từ đó giảm thiểu ảnh hưởng của nhiệt độ đến các thuộc tính cảm quan của đẳng sâm. Tuy nhiên, tại mức nhiệt độ cao và cường độ sóng siêu âm cao (50°C , $2,2 \text{ kW/m}^2$) thì màu sắc đẳng sâm khô sẽ thay đổi nhiều, điều này cho thấy rằng, dao động cơ học của sóng siêu âm cũng ảnh hưởng đến các thuộc tính cảm quan của đẳng sâm khi sấy ở nhiệt độ cao. Số liệu ở bảng 3.5 và hình 3.11 cho thấy, trong khoảng nhiệt độ TNS từ 40°C đến 50°C thì ảnh hưởng của sóng siêu âm đến hàm lượng của saponin còn trong sản phẩm sấy không giống nhau, lượng saponin còn trong đẳng sâm khô có chiều hướng tăng dần trong khoảng nhiệt độ TNS từ 40°C đến 45°C và có chiều hướng giảm xuống khi nhiệt độ TNS từ 45°C đến 50°C . Sấy đẳng sâm Việt Nam với phương pháp bơm nhiệt kết hợp với sóng siêu âm thì lượng saponin duy trì nhiều hơn so với sấy bơm nhiệt. Điều này do khi có sự hỗ trợ của sóng siêu âm trong quá trình sấy thì thời gian sấy được rút ngắn và do đó lượng saponin ít bị phân hủy hơn, hạn chế thời gian chuyển hóa giữa các loại saponin có trong đẳng sâm trong quá trình sấy. Tuy nhiên, ở điều kiện nhiệt độ TNS cao dưới tác động cơ học của sóng siêu âm làm cho biến đổi sinh hóa bên trong đẳng sâm sẽ xảy ra mạnh hơn và do vậy ảnh hưởng đến lượng saponin còn tồn tại trong sản phẩm.

3.8 Xác định chế độ sấy hợp lý cho đẳng sâm

Bài toán xác định chế độ sấy hợp lý được xác định dựa vào 3 mục tiêu sau:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 y_1 = \max \left\{ \begin{array}{l}
 \Delta t = -747,372 + 31,40902t_a + 82,17061I_u - 1,77869I_u t_a \\
 + 4,259259I_u^2 - 0,32t_a^2
 \end{array} \right\} \\
 y_2 = \min \left\{ \begin{array}{l}
 \Delta E = 175,5253 - 7,32584t_a - 7,55503I_u + 0,093085I_u t_a \\
 + 1,181203I_u^2 + 0,0815t_a^2
 \end{array} \right\} \\
 y_3 = \max \left\{ \begin{array}{l}
 Sp = -9,6514 + 0,467302t_a + 0,366799I_u - 0,00818I_u t_a - \\
 -0,01123I_u^2 - 0,00492t_a^2
 \end{array} \right\}
 \end{array} \right. \quad (3.22)$$

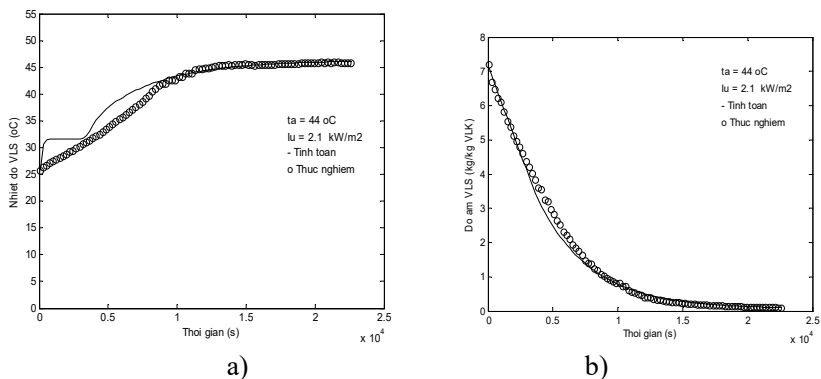
$$\left\{ \begin{array}{l}
 y_{\min, \text{com}} = \alpha_1 \frac{1}{100y_1} + \alpha_2 \frac{y_2}{\Delta E_{\max}} + \alpha_3 \frac{1}{y_3 Sp_{\max}} \\
 \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \\
 \forall t_a \in \Omega_t = \{40 \leq t_a \leq 50\} \\
 \forall I_u \in \Omega_{I_u} = \{0 \leq I_u \leq 3\}
 \end{array} \right.$$

Trong đó: Δt là lượng giảm thời gian sấy khi sấy bơm nhiệt kết hợp với sóng siêu âm so với bơm nhiệt; ΔE là thay đổi màu sắc của sản phẩm khô so với nguyên liệu tươi; SP là hàm lượng saponin còn trong sản phẩm khô

Sử dụng thuật toán PSO xác định bộ thông số hợp lý trong hệ phương trình (3.22). Một chế độ sấy hợp lý được khuyến nghị cho đáng sẫm như sau: nhiệt độ TNS là $43,6^{\circ}\text{C}$; cường độ siêu âm là $2,1 \text{ kW/m}^2$; trọng số mục tiêu cho thời gian sấy là $\alpha_1 = 0,05$, cho sự thay đổi màu sắc của đáng sẫm là $\alpha_2 = 0,95$ mặc nhiên lượng saponin tổng luôn đạt yêu cầu ($\alpha_3 = 0$), vì yếu tố này được hàm chứa ở yếu tố lượng giảm thời gian sấy và màu sắc của sản phẩm sấy

3.9 Kiểm chứng kết quả

Để kiểm chứng sự phù hợp của mô hình toán truyền nhiệt truyền ẩm trong vật liệu sấy dạng lát khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm và thuật toán giải đã được triển khai để giải mô hình toán ở một chế độ sấy bất kỳ.



Hình 3.12: Nhiệt độ và độ ẩm của đáng sẫm tại chế độ sấy hợp lý ($t_a = 44 \pm 0,1^{\circ}\text{C}$, $v_a = 0,8 \pm 0,2 \text{ m/s}$, $\varphi_a = 18 \pm 1,5\%$, $f_u = 20 \pm 0,073 \text{ kHz}$, $I_u = 2,1 \text{ kW/m}^2$) a) là đường cong nhiệt độ sấy; b)

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu của luận án về sấy nông sản thực phẩm sử dụng sóng siêu âm rút ra một số kết luận như sau:

- Giải pháp dựa vào phân tích phân tử hữu hạn kết hợp với thuật toán tối ưu PSO có thể áp dụng để xác định thông số hình học của bộ phận phát sóng siêu âm hỗ trợ sấy với sai số về tần số thiết kế và tần số hoạt động nhỏ hơn 1%.
- Mô hình toán truyền nhiệt truyền ẩm trong vật liệu sấy có dạng lát khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm được xác định ở mục 3.3 là phù hợp có thể chấp nhận được (sai lệch giữa kết quả tính toán và thực nghiệm không quá 10%). Như vậy, mô hình toán truyền nhiệt truyền ẩm và thuật toán giải có thể áp dụng để tính toán thời gian sấy đáng sẫm ở một chế độ sấy bất kỳ có thông số TNS và sóng siêu âm nằm trong miền thông số của nghiên cứu này.
- Dựa vào phương pháp thực nghiệm xác định tính chất nhiệt vật lý của đáng sẫm kết quả có độ tin cậy chấp nhận được, có thể áp dụng để nghiên cứu về sấy đáng sẫm.
- Giải pháp ERM-O là một giải pháp hiệu quả có thể giảm thiểu được số liệu thí nghiệm khi xác định thông số D_e , α_t , h_m , h_t cho VLS đáng sẫm với phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp với siêu âm.
- Sấy đáng sẫm Việt Nam bằng phương pháp bơm nhiệt kết hợp với sóng siêu âm thì sản phẩm khô có màu sắc ít bị thay đổi hơn và sự suy giảm saponin cũng ít hơn so với phương pháp sấy bơm nhiệt ở cùng điều kiện TNS. Điều này có được do nhiệt độ TNS thấp và thời sấy được rút ngắn. Như vậy, sử dụng sóng siêu âm hỗ trợ trong quá trình sấy đáng sẫm Việt Nam có thể

là giải pháp hữu ích nhằm duy trì màu sắc và hàm lượng saponin cho sản phẩm khô và như vậy mô hình máy sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm có thể khuyến nghị là mô hình máy sấy tiên tiến, có thể áp dụng để sấy đảng sâm Việt Nam, mở ra khả năng nghiên cứu ứng dụng sấy cho các thảo dược quý hiếm khác ở Việt Nam nhằm tiến đến nền sản xuất xanh và bền vững cho những loại sản phẩm có giá trị này.

KIẾN NGHỊ

Mặc dù, nghiên cứu về sấy đảng sâm Việt Nam với sự hỗ trợ của sóng siêu âm đã đạt được một số kết quả trình bày ở trên. Tuy nhiên, cũng còn nhiều vấn đề cần được tiếp tục nghiên cứu như sau:

- Mô hình toán truyền nhiệt truyền âm của vật liệu sấy và điều kiện biên cần được phát triển nghiên cứu tổng thể cho cả 3 pha rắn, lỏng, khí. Ngoài ra, cần xem xét thêm về sự thay đổi kích thước hình học của vật liệu sấy trong quá trình sấy. Và như vậy, nâng cao độ chính xác trong việc định lượng các thông số liên quan đến động học sấy và như vậy có thể áp dụng cho nhiều chủng loại vật liệu sấy khác nhau.
- Cần tiếp tục mở rộng nghiên cứu thêm các thông số ảnh hưởng đến hiệu quả tách ẩm khi sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm ví dụ độ ẩm của TNS và ảnh hưởng của khối lượng nguyên liệu đến động học sấy với phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm nhằm đánh giá hiệu quả kinh tế của phương pháp.
- Cần tiếp tục nghiên cứu sấy bơm nhiệt kết hợp với sóng siêu âm cho nhiều loại sản phẩm cao cấp trong nông nghiệp đặc biệt cho các sản phẩm nhạy nhiệt; từ đó, bổ sung thêm thông tin về ứng dụng sóng siêu âm để sấy nông sản thực phẩm.