

# NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG SÓNG SIÊU ÂM TRONG THIẾT BỊ SẤY NẤM LINH CHI BẰNG PHƯƠNG PHÁP BƠM NHIỆT KẾT HỢP SÓNG SIÊU ÂM

EXPERIMENTAL STUDY TO EVALUATE THE EFFECTS OF ULTRASONIC WAVES IN A GANODERMA MUSHROOM DRYING DEVICE USING THE HEAT PUMP COMBINED WITH ULTRASONIC WAVES

Lương Thị Thu Huyền<sup>1</sup>,

Lê Quang Huy<sup>1,\*</sup>, Trần Thị Ngọc Diệp<sup>1</sup>, Nguyễn Thế Bảo<sup>2,3</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huih5804.2023.256>

## TÓM TẮT

Nấm linh chi (*Ganoderma lucidum*) được biết đến với một loạt các công dụng có lợi cho sức khỏe, và đã được sử dụng trong thảo dược truyền thống Á Đông trong hàng ngàn năm. Nó chứa các hoạt chất sinh học quý giá, bao gồm polysaccharide, triterpenoid, peptit, và các chất chống oxy hóa khác. Trong đó thành phần polysaccharide là một trong những thành phần hữu hiệu nhất chứa trong nấm Linh chi, rất được các nhà y dược học coi trọng. Trong bài báo này sẽ đề cập về ảnh hưởng của thông số sóng siêu âm bao gồm công suất và tỉ lệ gián đoạn phát sóng siêu âm đến các thông số của quá trình sấy như: thời gian sấy, chi phí điện năng riêng, sự thay đổi màu sắc, tổn thất hàm lượng Polysaccharides của nấm linh chi sau sấy. Kết quả nghiên cứu cho thấy rằng công suất và tỉ lệ gián đoạn phát sóng siêu âm có ảnh hưởng đến các thông số của quá trình sấy nấm linh chi như: thời gian sấy, chi phí điện năng riêng, sự thay đổi màu sắc, tổn thất hàm lượng Polysaccharides.

**Từ khóa:** Bơm nhiệt, nấm linh chi, sóng siêu âm, polysaccharide, thời gian sấy.

## ABSTRACT

*Ganoderma lucidum* is known for its wide range of health benefits, and has been used in traditional Asian herbal medicine for thousands of years. It contains valuable bioactive substances, including polysaccharides, triterpenoids, peptides, and other antioxidants. The polysaccharide component is one of the most effective ingredients contained in *Ganoderma lucidum*, and is highly valued by medical scientists. This article discusses the influence of ultrasonic wave parameters including power and interruption rate of ultrasonic waves on parameters of the drying process such as drying time, specific electricity cost, color change, loss of Polysaccharides content of *Ganoderma lucidum* after drying. Research results show that the power and interruption rate of ultrasonic waves affects the parameters of the *Ganoderma* drying process such as drying time, and specific electricity cost, color change, and loss of polysaccharide content.

**Keywords:** Heat pump, *ganoderma lucidum*, ultrasound, polysaccharide, drying time.

<sup>1</sup>Trường Cao đẳng Kỹ thuật Cao Thắng

<sup>2</sup>Trường Đại học Bách khoa TP. HCM

<sup>3</sup>Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

\*Email: lequanghuy@caothang.edu.vn

Ngày nhận bài: 15/10/2023

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 05/12/2023

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2023

## KÝ HIỆU

TNS - tác nhân sấy

VLS - vật liệu sấy

HP - sấy bơm nhiệt

UP - công suất sóng siêu âm, W

Ar - chi phí điện năng riêng, kWh/kgVLS

m - khối lượng nấm tươi, kg

m<sub>k</sub> - khối lượng chất khô có trong nấm, kg

PA - hàm lượng polysaccharides, g/100g chất khô

%PA - phần trăm hàm lượng polysaccharides, %

t - nhiệt độ tác nhân sấy, °C

v - vận tốc tác nhân sấy, m/s

ω - độ ẩm tương đối của nấm, % (kga/kgVLA)

ω<sub>k</sub> - độ ẩm tuyệt đối của nấm, kga/kgVLA

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nấm linh chi (*Ganoderma lucidum*) còn được gọi là "thần dược". Nó chứa các hoạt chất sinh học quý giá bao gồm polysaccharides, triterpenoids, peptit, và các chất chống oxy hóa khác. Trong đó thành phần polysaccharide là thành phần có giá trị nhất quyết định nên giá trị của nấm Linh Chi. Vì vậy nhu cầu sấy khô để bảo toàn chất lượng sản phẩm với chi phí sấy hợp lý là rất cần thiết.

Sóng siêu âm được định nghĩa là âm thanh không nghe thấy được với tần số cao đối với con người, tần số thường lớn hơn 20 kHz. Sóng siêu âm là sóng cơ học, bao gồm các dao động

của các hạt nguyên tử hoặc phân tử xung quanh vị trí cân bằng của các hạt của một chất. Sóng siêu âm có thể lan truyền trong môi trường đàn hồi như môi trường chất rắn, lỏng hoặc khí, nhưng không lan truyền trong môi trường chân không. Ngày nay siêu âm được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khác nhau như y học, công nghiệp thực phẩm,... góp phần nâng cao năng suất lao động, tăng hiệu quả về kinh tế cho các lĩnh vực tương ứng.

Sấy là quá trình làm bốc hơi nước ra khỏi vật liệu bằng phương pháp nhiệt, ẩm từ trong lòng vật liệu sẽ di chuyển ra bề mặt vật liệu và từ bề mặt vật liệu bay hơi vào môi trường. 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 được tích hợp trong buồng sấy. Có rất nhiều công trình nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của sóng siêu âm đến hiệu quả quá trình sấy với nhiều vật liệu khác nhau như: khoai tây [1], đậu xanh [2], đậu [3], cà rốt [4], hạt đậu [5], sắn bột chính [6, 7], đậu sắn [8]. Các tác giả đều nhận định rằng sóng siêu âm hỗ trợ hiệu quả quá trình sấy, cụ thể: giảm thời gian sấy, giảm chi phí điện năng tiêu thụ mà không ảnh hưởng nhiều đến chất lượng như thành phần màu sắc, được tính sản phẩm. Tuy nhiên ảnh hưởng của sóng siêu âm phụ thuộc rất nhiều vào cấu trúc và thành phần của vật liệu.

Kế thừa các công trình nghiên cứu về sấy có hỗ trợ sóng siêu âm trong và ngoài nước và căn cứ vào đặc tính của nấm Linh Chi, nhóm nghiên cứu thấy rằng bảo quản nấm linh chi bằng phương pháp sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm là phù hợp với điều kiện thực tế tại Việt Nam. Với phương pháp này có thể đảm bảo được chất lượng dược tính cũng như tiết kiệm chi phí sấy.

**2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU THÍ NGHIỆM**

**2.1. Vật liệu thí nghiệm**

Nấm linh chi tươi được trồng tại trại nấm Đông Thành, Thị xã Tân Uyên, tỉnh Bình Dương, Việt Nam.

Sau thu hoạch, nấm được lau bụi bằng khăn khô, các mẫu vật liệu sấy được bảo quản trong túi chân không kín ở điều kiện  $8 \pm 0,5^\circ\text{C}$  trong tủ mát khoảng 3 - 5 ngày để ẩm độ phân bố đồng đều trên toàn bộ thể tích mẫu vật liệu thực nghiệm.

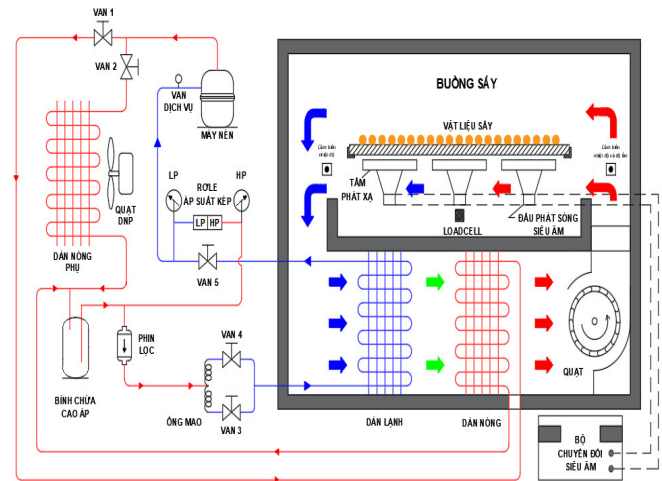
Để độ dày của các lát nấm đồng đều và hạn chế sai số, vật liệu sấy được thái lát bằng máy thái lát thực phẩm thương hiệu Ritter (Model: RITTER E16 515000, xuất xứ Đức) với độ dày 6mm. Trước khi tiến hành thực nghiệm, các mẫu nấm được làm ẩm cho tới khi đạt nhiệt độ môi trường thí nghiệm rồi cho vào buồng sấy.

Ẩm độ ban đầu của vật liệu được xác định bằng cân sấy ẩm hồng ngoại thương hiệu Kett (Model: FD-720, xuất xứ Nhật Bản), thực nghiệm 5 lần cân cho 5 mẫu ngẫu nhiên rồi lấy giá trị trung bình. Ẩm độ ban đầu của nấm tươi:  $\omega_1 = 69,4\% \text{ kga/kgVLA} = 2,27 \text{ kga/kgVLK}$ .

Ẩm độ yêu cầu  $\omega_2 = 13\% \text{ kga/kgVLA} = 0,15 \text{ kga/kgVLK}$ .

**2.2. Thiết bị thí nghiệm**

Thiết bị thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng sóng siêu âm trong quá trình sấy đến chi phí điện năng riêng, sự thay đổi màu sắc và phần trăm hàm lượng polysaccharide còn lại sau sấy có sơ đồ như hình 1.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống sấy



Hình 2. Thiết bị sấy thực nghiệm

Thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm cấu tạo gồm ba thành phần: hệ thống bơm nhiệt, hệ thống sấy đối lưu, hệ thống siêu âm và hệ thống điều khiển.

Hệ thống bơm nhiệt bao gồm máy nén thương hiệu Kulthorn với công suất động cơ  $\frac{3}{4}$  HP (Model: AE2428ZK-SR, xuất xứ Thái Lan), dàn lạnh, dàn nóng chính, dàn nóng phụ, van tiết lưu,... với mục đích tách ẩm và gia nhiệt TNS đến nhiệt độ yêu cầu.

Hệ thống sấy hồi lưu toàn phần bao gồm buồng sấy, động cơ quạt.

Hệ thống siêu âm bao gồm: 3 bộ phát sóng siêu âm công suất 60W/bộ (Model: KMD-M4, xuất xứ Trung Quốc) được đặt cách khay sấy 1cm.

Hệ thống điều khiển bao gồm:

+ Đồng hồ đo nhiệt độ DS - 1: thang đo  $-50 \div 70^\circ\text{C}$ ; sai số  $\pm 1^\circ\text{C}$ .

+ Đồng hồ đo nhiệt độ - độ ẩm hãng Conotec Fox-300A: thang đo -55,0 ~ 99°C, 0 ~ 100% RH, sai số ±1%.

+ Đồng hồ đo tốc độ gió Lutron AM-4203: thang đo 0,4 ÷ 25m/s, sai số ± 2%.

+ Đồng hồ đo điện năng (Model: PZEM-061), thang đo: 0 ~ 10000kWh.

+ Loadcell cảm biến khối lượng hãng CAS, model: BCL-20L, thang đo 0 - 10kg, sai số ±0,03%.

Dụng cụ đo đặc:

+ Cân sấy ẩm hồng ngoại thương hiệu Kett, model: FD-720, xuất xứ Nhật Bản, thang đo 3 - 50g, sai số ±0,5%.

+ Cân điện tử WH-B20: giới hạn đo 0 - 10kg, sai số ±0,1gram.

### 2.3. Phương pháp xử lý số liệu

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.

Các số liệu đo đạc trực tiếp bằng các dụng cụ đo gồm nhiệt độ sấy, thời gian sấy, khối lượng và độ dày nấm linh chi, công suất sóng siêu âm, điện năng tiêu thụ.

- Hàm lượng polysaccharide (g/100g chất khô): được xác định với phương pháp NREL (Viện nghiên cứu Công nghệ sinh học và Môi trường, Trường Đại học Nông Lâm TP. HCM).

- Phần trăm hàm lượng Polysaccharide (%) được tính theo công thức sau:

$$\%PA = \frac{PA_2}{PA_1} \times 100(\%) \quad (1)$$

Trong đó:

PA<sub>1</sub>: Hàm lượng polysaccharides ban đầu (g/100g chất khô).

PA<sub>2</sub>: Hàm lượng polysaccharides sau khi sấy (g/100g chất khô).

Sau khi biết được độ ẩm ban đầu, ta 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:

$$m_k = m_1 \cdot (1 - \omega_1), \text{ kg} \quad (2)$$

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

$$\omega_1 = \frac{m_2 - m_k}{m_2} \cdot 100, (\%, \text{kg/kgVLA}) \quad (3)$$

Trong đó:

m<sub>1</sub>: khối lượng VLS ban đầu, (kg).

m<sub>2</sub>: khối lượng VLS tại thời điểm τ, (kg).

- Màu sắc của vật liệu sấy có thể được đánh giá bằng cảm quan hoặc dựa vào thông số màu sắc. Trong nghiên cứu này, thông số màu CIE Lab (L\*, a\*, b\*) được sử dụng để mô tả sự thay đổi màu sắc trong quá trình sấy, các giá trị L\*, a\*, b\* được đo bởi máy đo màu CHN SPEC CS-10 (Model: CS 10,

xuất xứ Trung Quốc). Mức độ thay đổi màu sắc so với giá trị chuẩn được đánh giá thông qua thông số dE xác định theo công thức:

$$dE = \sqrt{(L^* - L_{ref}^*)^2 + (a^* - a_{ref}^*)^2 + (b^* - b_{ref}^*)^2} \quad (4)$$

Trong đó, L<sub>ref</sub><sup>\*</sup>, a<sub>ref</sub><sup>\*</sup>, b<sub>ref</sub><sup>\*</sup> là các giá trị chuẩn, sử dụng các giá trị ban đầu của vật liệu tươi (trước khi sấy) làm giá trị chuẩn.

### 2.4. Nội dung nghiên cứu

Với mục đích 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. Tiến hành sấy 2 mẻ theo hai chế độ là bơm nhiệt và bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm công suất 150W ở cùng nhiệt độ TNS 50°C, vận tốc TNS: 0,5m/s, công suất 1kg/mẻ với độ ẩm ban đầu: ω<sub>k1</sub> = 2,27kg/kgVLK, độ ẩm sau sấy: ω<sub>k2</sub> = 0,15 kg/kgVLK.

Nhằm đánh giá ảnh hưởng của công suất sóng siêu âm đến thời gian sấy, chi phí điện năng riêng cũng như phần trăm hàm lượng polysaccharide còn lại, từ đó chọn được dải công suất thích hợp để tiến hành các thực nghiệm xác định chế độ sấy cho thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm. Kế thừa nhiệt độ TNS 50°C, vận tốc TNS 0,5m/s [9], tiến hành sấy 5 mẻ trên thiết bị HP với dải công suất sóng siêu âm từ 30 - 150W.

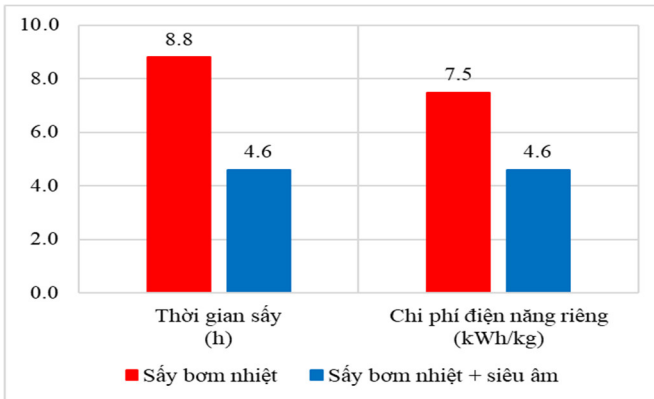
Nhằm đánh giá ảnh hưởng của tỉ lệ gián đoạn phát sóng siêu âm đến thời gian sấy, chi phí điện năng riêng cũng như phần trăm hàm lượng polysaccharide còn lại, từ đó chọn được dải tỉ lệ gián đoạn phù hợp để tiến hành các thực nghiệm xác định chế độ sấy cho thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm. Tiến hành sấy 4 mẻ trên thiết bị HP kết hợp phát sóng siêu âm, với dải tỉ lệ gián đoạn phát sóng siêu âm từ 0,2 đến 0,8.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Đánh giá khả năng làm việc của thiết bị sấy

Qua thực nghiệm sấy ở chế độ bơm nhiệt và bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm cùng công suất 150W ở nhiệt độ TNS 50°C, vận tốc TNS 0,5m/s thu được kết quả như hình 3.

Kết quả sấy khô nấm linh chi bằng hệ thống sấy bơm nhiệt có hỗ trợ siêu âm cho thấy tốc độ sấy lát nấm linh chi tăng lên khi tăng công suất siêu âm. Công suất siêu âm có tác dụng củng cố lớn hơn trong việc sấy khô bằng bơm nhiệt ở vận tốc và nhiệt độ không khí thấp hơn. Cụ thể là, ở chế độ sấy bơm nhiệt, thời gian sấy là 8,8 giờ, khi sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm công suất 150W thì thời gian sấy giảm còn 4,6 giờ, như vậy rút ngắn được 47,7% thời gian sấy. Thêm vào đó, khi sấy kết hợp sóng siêu âm thì chi phí điện năng riêng cũng giảm từ 7,5kWh/kg xuống còn 4,6kWh/kg. Điều này phù hợp với các nghiên cứu trước đó là sóng siêu âm hỗ trợ quá trình sấy giúp rút ngắn thời gian sấy từ đó giảm chi phí điện năng riêng. Hơn nữa, siêu âm không chỉ thay đổi tính chất cấu trúc của vật liệu mà còn tăng cường truyền nhiệt và truyền khối trong sấy không khí nóng [10].



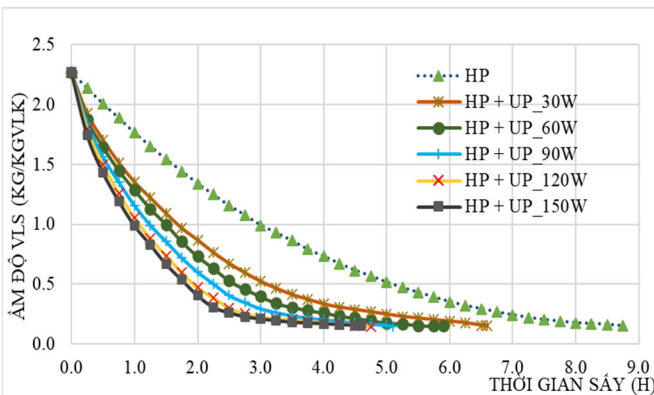
Hình 3. Biểu đồ so sánh chế độ sấy bơm nhiệt và bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm

### 3.2. Ảnh hưởng của công suất siêu âm

Kết quả thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của công suất sóng siêu âm được thể hiện ở bảng 1, hình 4.

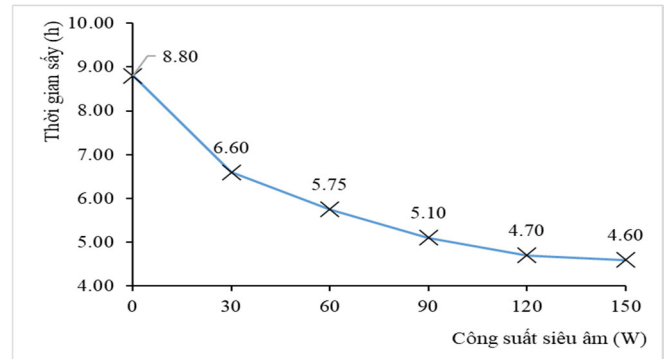
Bảng 1. Ảnh hưởng công suất sóng siêu âm đến thời gian sấy, chi phí điện năng, sự thay đổi màu sắc, hàm lượng polysaccharides của vật liệu sấy

P (W)	$\tau$ (h)	Ar (kWh/kg)	dE	PA (%)
0	8,80	7,48	35,00	62,2
30	6,60	5,81	28,21	89,2
60	5,75	5,37	26,50	89,8
90	5,10	4,80	26,42	92,8
120	4,70	4,56	28,35	91,4
150	4,60	4,60	30,70	88,4



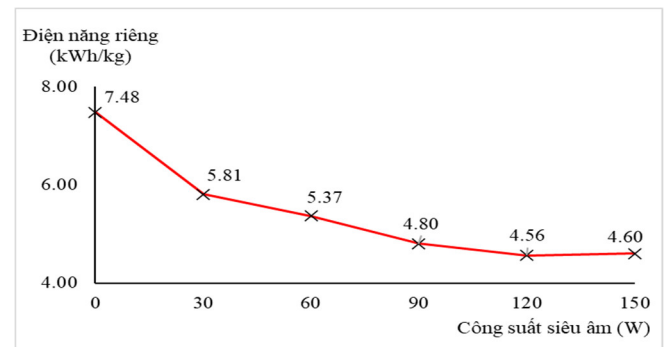
Hình 4. Đồ thị đường cong sấy ở các mức công suất siêu âm khác nhau tại nhiệt độ TNS 50°C

Kết quả đường cong sấy ở hình 4 cho thấy, xu hướng giảm ẩm của nấm linh chi trong quá trình sấy bằng bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm tương ứng các chế độ sấy tương đối giống nhau. Kết quả cho thấy khi tăng công suất bộ phát siêu âm sẽ giúp ngắn đáng kể thời gian sấy. Điều này được lý giải do tác dụng của siêu âm là hiệu ứng xâm thực, hiệu ứng cơ học và hiệu ứng nhiệt, sự rung siêu âm có thể tăng cường truyền chất ở lớp biên ẩm một cách hiệu quả. Bằng việc tăng công suất siêu âm, tác động xáo trộn, tạo bọt và tạo tia của siêu âm có thể ảnh hưởng lên bề mặt và cấu trúc bên trong tế bào của vật liệu sấy và mở rộng khoảng cách giữa các thành tế bào, yếu tố góp phần khuếch tán nước bên trong tế bào [11].

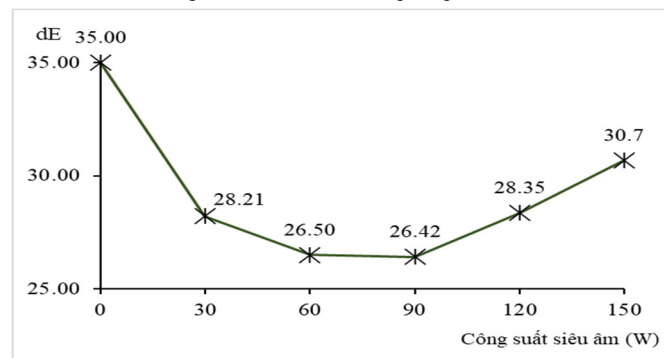


Hình 5. Ảnh hưởng UP đến thời gian sấy

Từ kết quả ở hình 5 cho thấy, khi công suất siêu âm càng cao thì hiệu quả quá trình sấy càng giảm. Cụ thể là, từ 30 - 60W thời gian sấy rút ngắn từ 6,6h xuống 5,75h, giảm 12,9%; từ 60 - 90W rút ngắn đến 5,1h giảm 11,3%; từ 90 - 120W rút ngắn đến 4,7h giảm 7,8% và đến 150W thời gian sấy là 4,6h giảm 2,1%. Từ kết quả trên, dự đoán rằng với một giá trị nào đó công suất tiếp tục tăng thì tốc độ sấy tăng lên không đáng kể và thời gian sấy không còn giảm nữa, tuy nhiên do điều kiện thí nghiệm, trong đề tài này vẫn chưa thực hiện được.



Hình 6. Ảnh hưởng UP đến chi phí điện năng riêng

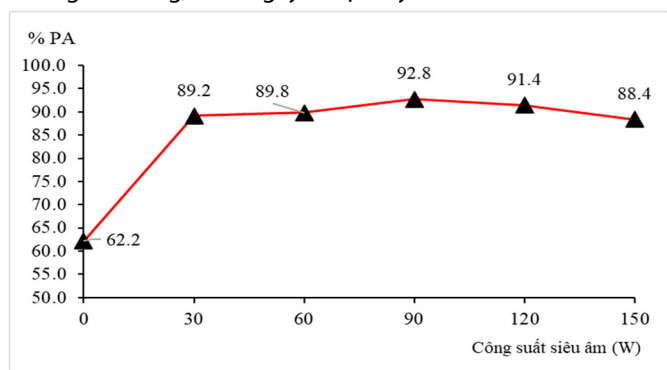


Hình 7. Ảnh hưởng của UP đến sự thay đổi màu sắc của vật liệu sấy

Kết quả hình 6 cho thấy, ở mức công suất 30 - 120W, chi phí điện năng riêng giảm đáng kể từ 7,48kWh/kg xuống 5,81 kWh/kg, tiết kiệm 31,1% chi phí sấy. Tuy nhiên khi công suất siêu âm tiếp tục tăng từ 120W - 150W, chi phí điện năng riêng tăng không đáng kể từ 4,56kWh/kg lên 4,6kWh/kg. Điều này được lý giải ở mức công suất thấp, tiêu tốn điện năng của bộ phát sóng siêu âm chưa cao, hiệu quả hỗ trợ sóng siêu âm trong quá trình sấy tốt và thời gian sấy giảm đáng kể, từ đó tiết kiệm được chi phí điện năng riêng.

Tuy nhiên khi công suất siêu âm tiếp tục tăng, mức tiêu tốn điện năng của bộ phát sóng càng cao trong khi hiệu quả hỗ trợ sấy càng giảm, dẫn đến chi phí điện năng riêng có xu hướng tăng.

Với sự hỗ trợ của sóng siêu âm ở mức 30 - 120W, thời gian sấy giảm, hạn chế thời gian tiếp xúc của nấm linh chi với nhiệt độ TNS giúp lưu giữ màu sắc tốt hơn. Tuy nhiên, ở mức 120 - 150W, mặc dù thời gian sấy có giảm nhưng sự thay đổi màu sắc của sản phẩm lại tăng cho thấy dao động cơ học của sóng siêu âm cũng phần nào ảnh hưởng đến màu sắc của sản phẩm, cũng như tác dụng nhiệt của sóng siêu âm, đặc biệt ở mức công suất cao. Điều này cũng được giải thích ở mức công suất cao, năng lượng siêu âm là rất lớn, khi lan truyền đến vật liệu, chúng phá vỡ lớp biên ẩm và gây ra hiện tượng "nguyên tử hóa", kết quả là bề mặt vật liệu "bị lột trần" tiếp xúc với không khí nóng, do đó gây ra sự thay đổi màu sắc [12].



Hình 8. Ảnh hưởng của UP đến phần trăm hàm lượng polysaccharide

Qua kết quả hình 8 cho thấy hàm lượng Polysaccharide được giữ lại nhiều hơn khi sấy kết hợp sóng siêu âm, cụ thể %PA tăng từ 62,2 - 89,2%. Tuy nhiên, hàm lượng polysaccharide chỉ cải thiện đáng kể ở mức công suất 30 - 90 W (từ 89,2% đến 92,8%) và có chiều hướng giảm xuống khi công suất tiếp tục tăng từ 90 - 150W (từ 92,8% còn 88,4%). Điều này được lý giải ở mức công suất thấp 30 - 90W, do thời gian sấy được rút ngắn, từ đó hạn chế thời gian ảnh hưởng của nhiệt độ đến hàm lượng polysaccharide trong sản phẩm. Nhưng khi công suất tiếp tục tăng từ 90 - 150W, mức ảnh hưởng do dao động cơ học của sóng siêu âm đến được chất polysaccharide trong sản phẩm tăng lên, trong khi hiệu quả hỗ trợ sấy giảm, điều này dẫn đến hàm lượng polysaccharide còn lại có xu hướng giảm. Kết quả này cũng phù hợp với các nghiên cứu trước đây [6].

Qua các kết quả thí nghiệm trên, cho thấy khi sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm ở vùng công suất 60 - 120W thì chi phí điện năng, màu sắc, hàm lượng polysaccharide được cải thiện đáng kể.

### 3.3. Ảnh hưởng của tỉ lệ gián đoạn

Theo các nghiên cứu trước cho thấy áp dụng siêu âm gián đoạn hữu ích trong quá trình sấy vì nó ngăn chặn sự gia tăng nhiệt độ. Người ta nhận thấy rằng sấy hỗn hợp gián đoạn giúp giảm tổng thời gian sấy và mức tiêu thụ năng lượng, nâng cao cả tốc độ sấy và chất lượng sản phẩm [13, 14].

Tỉ lệ gián đoạn được tính theo công thức:

$$A = \frac{T_{OFF}}{T_{ON} + T_{OFF}} \tag{5}$$

Trong đó:

$T_{ON}$  - thời gian sấy có sự hỗ trợ sóng siêu âm

$T_{OFF}$  - thời gian sấy không có sóng siêu âm

$A = 0$ : chạy liên tục                       $A = 0,2$ : chạy 60s nghỉ 15s

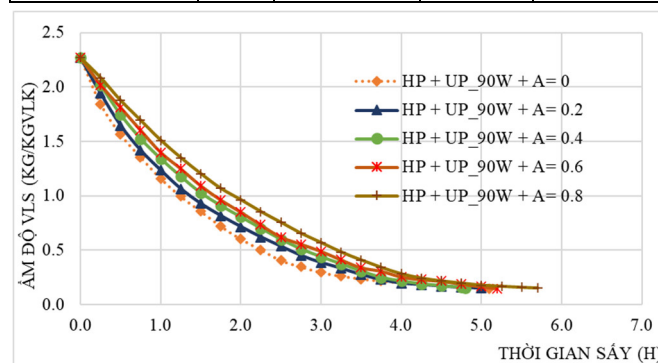
$A = 0,4$ : chạy 60s nghỉ 40s             $A = 0,6$ : chạy 60s nghỉ 90

$A = 0,8$ : chạy 60s nghỉ 240s

Như đã trình bày ở mục 2.4 các thí nghiệm sẽ thực hiện ở nhiệt độ TNS 50°C, vận tốc TNS 0,5m/s. Kế thừa từ kết quả phân tích dữ liệu trên hình 7 và 8, các thí nghiệm sấy sau đây được thực hiện với công suất siêu âm là 90W.

Bảng 2. Ảnh hưởng tỉ lệ gián đoạn đến thời gian sấy, chi phí điện năng, sự thay đổi màu sắc, và hàm lượng polysaccharides vật liệu sấy

Tỉ lệ gián đoạn A	$\tau$ (h)	Ar (kWh/kg)	dE	PA (%)
0,0	5,1	4,8	26,42	92,8
0,2	5,0	4,6	24,52	93,9
0,4	4,8	4,4	23,40	96,6
0,6	5,2	4,6	27,50	92,1
0,8	5,7	4,9	34,61	91,5

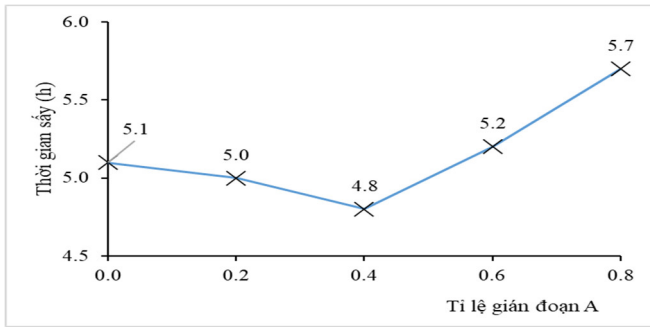


Hình 9. Đường cong sấy ở các tỉ lệ gián đoạn khác nhau

Trong quá trình gián đoạn, sự nóng lên của vật liệu được dừng lại và độ ẩm bên trong sẽ được phân bố lại, điều này sẽ tạo điều kiện cho sự khuếch tán bên trong và tốc độ bay hơi bề mặt [15, 16].

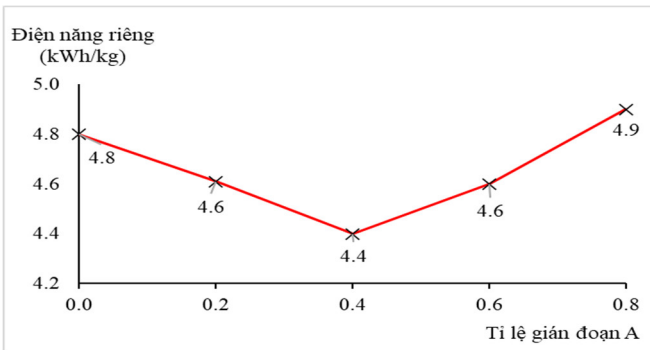
Ở cùng điều kiện nhiệt độ, công suất sóng siêu âm (50°C + 90W), kết quả cho thấy tỷ lệ gián đoạn phát sóng siêu âm ảnh hưởng đáng kể đến thời gian sấy. Cụ thể, thời gian sấy khi phát sóng siêu âm liên tục ( $A = 0$ ) chưa phải là thời gian nhỏ nhất.

Từ kết quả hình 10 cho thấy tỷ lệ gián đoạn phát sóng siêu âm ảnh hưởng đáng kể đến thời gian sấy, khi tăng tỉ lệ từ  $A = 0 \div 0,4$  thì rút ngắn thời gian sấy từ 5,1h xuống 4,8h, giảm 5,9% nhưng ở tỉ lệ gián đoạn  $A = 0,4 \div 0,8$  thì thời gian sấy tăng từ 4,8h lên 5,7h, tăng 15,8%. Điều này được lý giải trong quá trình sấy gián đoạn, quá trình gia nhiệt của vật liệu diễn ra lẻ tẻ và độ ẩm bên trong được phân phối lại, điều này sẽ tạo điều kiện cho hơi ẩm khuếch tán, đẩy nhanh tốc độ khuếch tán bên trong và tốc độ bay hơi khỏi bề mặt vật liệu nên giúp rút ngắn thời gian sấy nhưng khi  $T_{OFF}$  của sóng siêu âm dài hơn dẫn đến sự hỗ trợ của sóng siêu âm vào quá trình sấy không còn nhiều dẫn đến thời gian sấy giảm [13, 14].



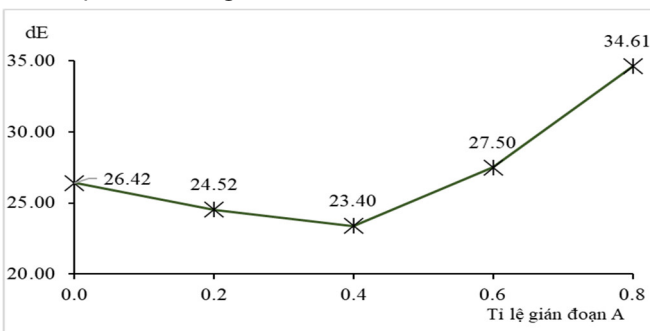
Hình 10. Ảnh hưởng tỉ lệ gián đoạn âm đến thời gian sấy

Như vậy chế độ sấy với tỉ lệ gián đoạn A = 0,4 cho kết quả thời gian sấy tốt nhất.



Hình 11. Ảnh hưởng tỉ lệ gián đoạn đến chi phí điện năng riêng

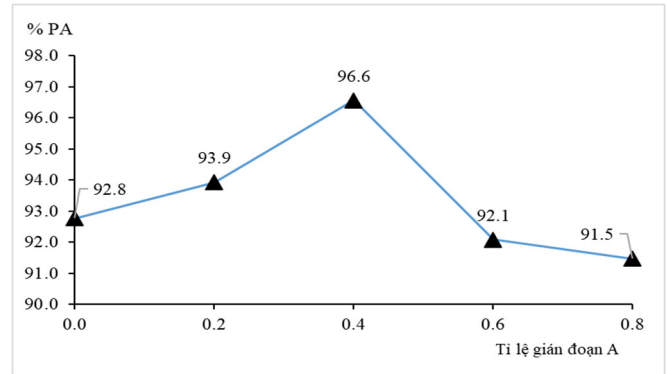
Từ kết quả hình 11 cho thấy rằng ở tỉ lệ gián đoạn A = 0,4 giúp rút ngắn thời gian sấy thấp nhất. Nhờ vậy, hạn chế điện năng tiêu tốn cho bộ phát sóng siêu âm, dẫn đến chi phí điện năng riêng được giảm đáng kể. Nhưng ở tỉ lệ gián đoạn A = 0,4 ÷ 0,8 thì khả năng truyền ẩm giảm do các vi kênh tạo ra trên bề mặt VLS giảm dẫn đến thời gian sấy lâu hơn, tiêu tốn chi phí điện năng nhiều hơn.



Hình 12. Ảnh hưởng tỉ lệ gián đoạn đến sự thay đổi màu sắc của vật liệu sấy

Từ kết quả hình 12 cho thấy rằng ở tỉ lệ gián đoạn A = 0,4 sự thay đổi màu sắc VLS ít nhất. Cụ thể là, tỉ lệ gián đoạn A = 0 ÷ 0,4, thì sự thay đổi màu sắc giảm từ 26,42 đến 23,4 và A = 0,4 ÷ 0,8 thì thay đổi màu sắc tăng từ 23,4 đến 34,61. Điều này được lý giải rằng, siêu âm là dạng sóng cơ khi lan truyền trong vật liệu, các dao động cơ học siêu âm có thể làm tăng nhiệt độ, sự tăng nhiệt độ gây ra bởi sóng siêu âm trong khoảng từ 1 - 10°C [17]. Tùy vào điều kiện làm khô cụ thể, trong quá trình gián đoạn (T<sub>OFF</sub>), hiệu ứng nhiệt gây ra bởi sự truyền năng lượng của siêu âm trong VLS bị dừng lại, từ đó hạn chế sự thay đổi màu sắc.

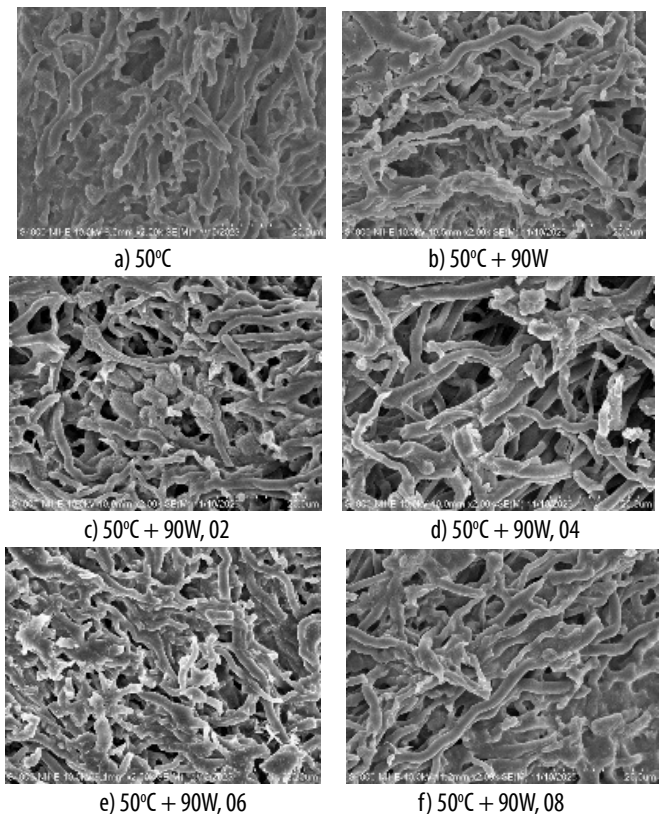
Nhờ vậy có hỗ trợ phát sóng siêu âm gián đoạn mà hạn chế VLS tiếp xúc với nhiệt độ TNS mà có thể giữ lại hàm lượng Polysaccharide đáng kể. Tuy nhiên, ở mỗi tỉ lệ gián đoạn có sự hỗ trợ khác nhau nên từ kết quả ở hình 13, cho thấy tại tỉ lệ gián đoạn A = 0,4 giúp giữ lại hàm lượng Polysaccharide nhiều nhất. Điều này được lý giải, trong quá trình gián đoạn (T<sub>OFF</sub>), hiệu ứng nhiệt gây ra bởi sự truyền năng lượng của siêu âm trong VLS bị dừng lại [17]. Từ đó giữ lại được hàm lượng polysaccharide càng nhiều.



Hình 13. Ảnh hưởng tỉ lệ gián đoạn đến phần trăm hàm lượng polysaccharide

Với kết quả trên chúng tôi thấy rằng sóng siêu âm có ảnh hưởng đến đến thời gian sấy, chi phí điện năng, sự thay đổi màu sắc, và tổn thất hàm lượng Polysaccharides của nấm linh chi sau sấy.

Điều này cũng được thể hiện qua hình ảnh chụp vi cấu trúc các mẫu nấm linh chi sau sấy ở mỗi chế độ sấy khác nhau như hình 14.



Hình 14. Ảnh chụp SEM vật liệu sấy

Hình 14a là sấy bơm nhiệt thuần túy ở 50°C và 14b,c,d,e,f là sấy có sự hỗ trợ của sóng siêu âm với các tỷ lệ gián đoạn khác nhau, năng lượng sóng siêu âm khi lan truyền đã tạo ra các vi kênh trong lòng vật liệu và phá vỡ lớp biên ẩm, từ đó qua ảnh chụp bằng kính hiển vi điện tử với độ phóng đại 2000 lần cho thấy bề mặt vật liệu khi sấy có hỗ trợ sóng siêu âm thì có rất nhiều lỗ trống trong khi sấy bơm nhiệt thuần túy thì hầu như không có (hình 14a), chính những lỗ trống này đã tạo điều kiện để quá trình truyền ẩm diễn ra nhanh hơn, thời gian sấy ngắn hơn. Tuy nhiên qua quan sát thấy số lượng lỗ trống và kích thước lỗ trống phụ thuộc vào tỷ lệ gián đoạn, và ở đây với  $A = 0,4$  (hình 14d) thì số lượng lỗ trống nhiều nhất và kích thước lớn nhất trong các tỷ lệ gián đoạn, do đó có thể lý giải chính nhờ điều này mà ở chế độ sấy gián đoạn  $A = 0,4$  thì thời gian sấy là ngắn nhất, mặt khác nhờ chế độ sấy gián đoạn nên đã hạn chế được tiêu tốn điện năng của bộ phát sóng, và chi phí điện năng riêng cũng giảm.

#### 4. KẾT LUẬN

Từ kết quả thực nghiệm điều kiện nhiệt độ, vận tốc TNS (50°C; 0,5m/s) trên thiết bị sấy bơm nhiệt kết hợp sóng siêu âm công suất 150W, kết quả cho thấy rằng trong sấy bơm nhiệt có kết hợp sóng siêu âm thì công suất sóng siêu âm và tỉ lệ gián đoạn có ảnh hưởng đến thời gian sấy, chi phí điện năng riêng, sự thay đổi màu sắc VLS, và tổn thất hàm lượng Polysacchride.

Vùng công suất siêu âm có ảnh hưởng nhiều nhất là  $P = 60 - 120W$ . Cụ thể, thời gian sấy giảm, chi phí điện năng giảm, sự thay đổi màu sắc giảm, phần trăm polysaccharide tăng ở  $P = 30 - 90W$ ; nhưng khi công suất tăng từ 120 - 150W thì thời gian sấy giảm không đáng kể, chi phí điện năng tăng, sự thay đổi màu sắc tăng, phần trăm polysaccharide giảm. Vì vậy, công suất của sóng siêu âm phải được giới hạn ở vùng thích hợp, vì đến một mức nào đó khi công suất tiếp tục tăng sẽ làm tăng chi phí điện năng riêng và giảm hàm lượng polysacchride trong sản phẩm sấy.

Vùng tỉ lệ gián đoạn có ảnh hưởng nhiều được thấy ở  $A = 0,2 - 0,6$ . Cụ thể, thời gian sấy giảm, chi phí điện năng giảm, sự thay đổi màu sắc giảm, và phần trăm polysaccharide tăng. Nhưng ở tỉ lệ gián đoạn  $A = 0,6 - 0,8$  thì thời gian sấy tăng đáng kể, chi phí điện năng tăng, sự thay đổi màu sắc tăng, và phần trăm polysaccharide giảm. Vì vậy, tỉ lệ gián đoạn phát sóng siêu âm phải được giới hạn ở vùng thích hợp, vì đến một mức nào đó khi tỉ lệ gián đoạn tiếp tục tăng sẽ làm tăng chi phí điện năng riêng và giảm hàm lượng polysacchride trong sản phẩm sấy. Đây cũng là hai chỉ tiêu quan trọng để đánh giá hiệu quả kinh tế và kỹ thuật của một thiết bị sấy.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. C. Ozuna, et al., 2011. *Improvement of water transport mechanisms during potato drying by applying ultrasound*. J Sci Food Agric., 91(14):2511-7. doi: 10.1002/jsfa.4344.
- [2]. Z. Tekin, et al., 2017. *Dehydration of green beans using ultrasound-assisted vacuum drying as a novel technique: drying kinetics and quality parameters*.

- J. Food Process. Preserv., vol. 41, no. 6.
- [3]. Z. Yang, 2018. *Ultrasound-assisted heat pump drying of pea seed*. Dry. Technol., vol. 36, no. 16, pp. 1958–1969.
- [4]. J. Kroehnke, et al., 2018. *Ultrasound- and microwave-assisted convective drying of carrots - Process kinetics and product's quality analysis*. Ultrason. Sonochemistr, vol. 48, pp. 249–258, 2018.
- [5]. Z. Yang, Z. Yang, F. Yu, Z. Tao, 2020. *Ultrasound-assisted heat pump intermittent drying of adzuki bean seeds: Drying characteristics and parameter optimization*. J. Food Process Eng., vol. 43, no. 10, p. 13501.
- [6]. L. Q. Huy, Nguyen Hay, Nguyen Huu Quyen, Ngo Thi Minh Hieu, Le Thanh Dat 2021. *Experimental research to evaluate effects of ultrasound power on the quality of dried bo chinh ginseng by heat pump dryer combined ultrasound*. Thermal Energy Review, Vol. 156 pp. 22–27.
- [7]. Nguyen Hay, Le Quang Huy, Le Thanh Dat, Le Dinh Trung, Tran Thi Ngoc Diep, 2023. *Experimental determination of the moisture diffusion coefficient of bo chinh ginseng in a heat pump dryer combined with ultrasound wave*. University of Danang - Journal of Science and Technology, Vol. 21, No. 1.
- [8]. N. X. Quang, 2020. *Study on agricultural products drying used ultrasound*. Doctoral thesis, NongLam University, Ho Chi Minh City.
- [9]. P. V. Kien, 2019. *Research on drying technique of Ganoderma lucidum in Vietnam*. Doctoral thesis, NongLam University, Ho Chi Minh City.
- [10]. D. L. Luo, J. Liu, Y. H. Liu, G. Y. Ren, 2015. *Drying characteristics and mathematical model of ultrasound assisted hot-air drying of carrots*. Int. J. Agric. Biol. Eng., vol. 8, no. 4, pp. 124–132, Aug. 2015, doi: 10.3965/j.jjabe.20150804.1962.
- [11]. J. W. Bai, Hong-Wei Xiao, Z. Lou, Z. J. Gao, 2013. *Mathematical modeling and polysaccharide content of Ganoderma lucidum by hot air impingement drying*. American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- [12]. S. J. Kowalski, D. Mierzwa, M. Stasiak, 2017. *Ultrasound-assisted convective drying of apples at different process conditions*. Dry. Technol., vol. 35, pp. 929–947.
- [13]. D. Mierzwa, J. Szadzinska, A. Pawlowski, R. Pashminehazar, and A. Kharaghani, 2019. *Nonstationary convective drying of raspberries, assisted by microwaves and ultrasound*. Dry. Technol., vol. 37, no. 8, pp. 988–1001.
- [14]. J. Szadzińska, D. Mierzwa, A. Pawłowski, G. Musielak, R. Pashminehazar, A. Kharaghani, 2020. *Ultrasound- and microwave-assisted intermittent drying of red beetroot*. Dry. Technology, vol. 38, no. 1–2, pp. 93–107.
- [15]. M. Beigi, 2016. *Energy efficiency and moisture diffusivity of apple slices during convective drying*. Food Science and Technology (Brazil), vol. 36, no. 1. pp. 145–150. doi: 10.1590/1678-457X.0068.
- [16]. E. Demiray, Yahya Tulek, 2012. *Thin-layer drying of tomato (Lycopersicon esculentum Mill. cv. Rio Grande) slices in a convective hot air dryer*. Heat Mass Transf., pp. 841–847, 2012.
- [17]. D. Colucci, D. Fissore, C. Rossello, J. A. Carcel, 2018. *On the effect of ultrasound-assisted atmospheric freeze-drying on the antioxidant properties of eggplant*. Food Res. Int., vol. 106, pp. 580–588.

#### AUTHORS INFORMATION

**Luong Thi Thu Huyen<sup>1</sup>, Le Quang Huy<sup>1</sup>, Tran Thi Ngoc Diep<sup>1</sup>, Nguyen The Bao<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Cao Thang Technical College, Vietnam

<sup>2</sup>Ho Chi Minh City University of Technology, Vietnam

<sup>3</sup>Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam