

NGHIÊN CỨU SẤY TRÀ HOA LAVENDER TRÊN HỆ THỐNG SẤY BƠM NHIỆT TẦNG SÔI

RESEARCH ON DRYING LAVENDER TEA ON THE FLUIDIZED BED HEAT PUMP DRYING SYSTEM

Dương Ngọc Khánh^{1,2}, Phan Thành Nhân^{1,2,*}

¹Bộ môn Công nghệ Nhiệt Lạnh, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Nghiên cứu sấy trà hoa Lavender trên hệ thống sấy bơm nhiệt tầng sôi với môi chất lạnh R134A. Hệ thống sấy có công suất máy nén là 0,532kW, năng suất tách ẩm dàn lạnh 2,37kW, sử dụng hai dàn nóng năng suất lần lượt là 2,37kW và 0,472kW. Thực nghiệm sấy trà hoa Lavender được tiến hành ở phạm vi nhiệt độ từ 38°C đến 52°C, bề dày sản phẩm từ 13mm đến 37mm, với vận tốc gió là 1,5m/s. Đối với ảnh hưởng của bề dày lớp sản phẩm khi sấy, tại nhiệt độ sấy 45°C, thì thời gian sấy của lớp vật liệu càng mỏng sấy càng nhanh, tuy nhiên hệ số tách ẩm trên 1kWh của bề dày 30mm là tối ưu nhất với giá trị SMER gấp 3,87 lần so với bề dày 13 mm, và gấp 1,24 lần so với bề dày 37mm. Phân tích kết quả ảnh hưởng của nhiệt độ sấy tại bề dày lớp sấy 30mm, ở nhiệt độ sấy 50°C, thời gian sấy có thể giảm 3,4 lần và chỉ số tách ẩm SMER tăng gấp 3,15 lần so với sấy ở 40°C. Bên cạnh đó, bài báo cũng so sánh sấy trà hoa Lavender trên hai hệ thống sấy bơm nhiệt và bơm nhiệt tầng sôi, kết quả rất đáng ghi nhận khi sấy ở cùng chế độ nhiệt và bề dày sản phẩm, sấy bơm nhiệt tầng sôi chiếm ưu thế vượt trội.

Từ khóa: Trà hoa Lavender; Trà hoa Oải Hương; Sấy bơm nhiệt tầng sôi; Bơm nhiệt; Sấy tầng sôi.

ABSTRACT

Research on Lavender tea on the fluidized bed heat pump drier with R134A refrigerant. The exploitation system has a compressor capacity of 0.532kW, a cryogenic separation capacity of 2.37kW, and two energy applications of 2.37kW and 0.472kW respectively. Lavender drying experiments were conducted at a temperature range of 38°C to 52°C, with product thickness from 13mm to 37mm, with a wind speed of 1.5m/s. Regarding the influence of product layer thickness when drying, at a drying temperature of 45°C, the drying time of the material layer is faster. Still, the separation coefficient per 1kWh of 30mm thickness is the most optimal with SMER value is 3.87 times greater than 13mm thickness, and 1.24 times greater than 37mm thickness. Analysing the results of drying temperature at a drying layer thickness of 30mm, at a drying temperature of 50°C, the drying time can be reduced by 3.4 times and the SMER decomposition index increased by 3.15 times compared to drying at 40°C. On that side, the article also compares Lavender firefighting on two heating systems and boiling temperature, the results are very remarkable when breathing at the same temperature regime and product thickness, breathing boiling layer heat dominance.

Keywords: Lavender tea flower; Oai Huong tea flower; Fluidized bed heat pump drying; Heat pump; Fluidized bed drying.

1. GIỚI THIỆU

Sấy là một trong những công đoạn của quá trình bảo quản, chế biến nông sản. Có rất nhiều phương pháp sấy khác nhau đã được ứng dụng rộng rãi trong nghiên cứu và trong thực tế sản xuất ngày nay. Sấy bơm nhiệt là một trong những phương pháp sấy được ứng dụng nhiều trong thời gian gần đây tại Việt Nam và trên thế giới. Tuy nhiên, để hệ thống sấy mang lại hiệu quả cao hơn nữa thì nguyên lý sấy bơm nhiệt vẫn là một trong những phương pháp tiếp tục nhận được nhiều sự quan tâm của các nhà khoa học trong và ngoài nước. Cải tiến hệ thống sấy bơm nhiệt hay kết hợp hệ thống sấy bơm nhiệt với các thiết bị hỗ trợ khác là một trong những đặc tính có thể nói là ưu việt và mang lại nhiều hiệu quả cao trong nghiên cứu và trong sản xuất thiết bị sấy và quá trình sấy sản phẩm. Thiết bị tầng sôi là một ý tưởng không mới trên thế giới nhưng lại là phương án mang tính mới lạ được ứng dụng kết hợp với hệ thống bơm nhiệt tại Việt Nam nhằm cải tiến, nâng cao năng suất, đảm bảo chất lượng của sản phẩm sau khi sấy.

Sấy bơm nhiệt với sự hỗ trợ thiết bị tầng sôi đã được thực hiện với nhiều nghiên cứu được công bố trong và ngoài nước. theo kết quả nghiên cứu về chế độ tầng sôi qua lớp hạt đối với sản phẩm hạt tiêu tươi và hạt tiêu khô của nhóm tác giả P. T. Nhân [1] được công bố năm 2021. Các thí nghiệm được thực hiện với bề dày lớp hạt thay đổi từ 4-44 mm và vận tốc tác nhân sấy thay đổi từ 5-11 m/s. Kết quả phân tích từ thực nghiệm đã xác định được vận tốc dòng không khí tối thiểu để lớp vật liệu sôi trong phạm vi từ 5,2 m/s đến 6,5 m/s. Tổn thất áp suất qua lớp hạt của hạt tiêu tươi là 225 Pa, còn với hạt tiêu khô là 147 Pa ứng với vị trí bề dày lớp hạt là 37mm. Bên cạnh đó, nhóm tác giả Bùi Trung Thành và Nguyễn Hay [2] cũng đã có những nghiên cứu về sấy tầng sôi cho sản

phẩm sấy muối tinh với kết quả nghiên cứu đưa ra được các yếu tố ảnh hưởng đến tổn thất áp qua lớp hạt bao gồm: kích thước hạt, nếu hạt có nhiều tạp chất mịn tổn thất áp tăng, độ rỗng của khối hạt, độ nhớt động lực học của tác nhân sấy ở độ sôi tối thiểu. Thực nghiệm sấy cà rốt trên hệ thống máy sấy bơm nhiệt tầng sôi do nhóm tác giả Xukun Zhang [3] năm 2004 với tác nhân lạnh R22, đã đưa ra kết quả tối đa của hệ thống là tốc độ tách ẩm $MER = 3,63 \text{ kg/h}$, tốc độ tách ẩm riêng phần $SMER_{hp} = 1,25 \text{ kg/kWh}$, $SMER_{ws} = 0,715 \text{ kg/KWh}$. Bên cạnh đó, nhóm tác giả cũng đã đưa ra được phương trình thực nghiệm với độ tin cậy cao, có so sánh với kết quả mô phỏng dựa trên phần mềm mô phỏng Comsol. Năm 2016, tác giả M. Yahya [4] công bố kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho sản phẩm sấy lúa gạo trên hai hệ thống sấy tầng sôi. Thứ nhất là hệ thống sấy tầng sôi kết hợp với năng lượng mặt trời và đốt nhiên liệu biomass, hệ thống sấy thứ hai là hệ thống sấy bơm nhiệt tầng sôi kết hợp đốt nhiên liệu biomass. Tác giả kết luận, với hệ thống sấy bơm nhiệt tầng sôi kết hợp đốt biomass đạt hiệu quả sấy cao hơn so với hệ thống còn lại [4]. Vào năm 2017, tác giả Gokul G Nair [5] cũng tiến hành nghiên cứu thực nghiệm hệ thống sấy bơm nhiệt có hỗ trợ của tầng sôi ở phạm vi nhiệt độ sấy từ 50°C đến 60°C và kết luận nhiệt độ sấy tăng thì thời gian sấy sẽ giảm. Cùng chủ đề sấy bơm nhiệt có sự hỗ trợ của tầng sôi, nhóm tác giả Stanislaw P. Rudobachta và Galina A. Zueva [6] đã công bố nghiên cứu vào năm 2019 cho sản phẩm sấy bắp ở chế độ 60°C với tác nhân lạnh được sử dụng là R600a (isobutane), kết quả của nhóm nghiên cứu chỉ ra rằng với hệ thống sấy này cho phép tiết kiệm tới 66% năng lượng sử dụng cho quá trình sấy bắp.

Phạm vi nghiên cứu của bài báo là nghiên cứu thực nghiệm sự ảnh hưởng của chế độ sấy đến thời gian sấy, tốc độ giảm ẩm cũng

như năng lượng tách ẩm trên sản phẩm trà hoa Lavender. Bên cạnh đó, thực nghiệm so sánh đánh giá tính hiệu quả của sấy sản phẩm trà hoa Lavender trên hai hệ thống sấy, hệ thống sấy bơm nhiệt và hệ thống sấy bơm nhiệt tăng sôi nhằm đánh giá sự vượt trội của phương pháp sấy về mặt thời gian, về mặt năng lượng cũng như chất lượng của sản phẩm sau khi sấy.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Xác định ẩm độ và tốc độ giảm ẩm của sản phẩm

Để phân tích, tính toán kết quả sấy, các phương trình tính về lượng nước tách ra của quá trình sấy, về ẩm độ sản phẩm theo thời gian, về tốc độ sấy và hệ số tách ẩm được trình bày như sau:

$$M_{H_2O} = M_o - M_e \quad (1)$$

$$M_{H_2O} = M_o \cdot \frac{W_o - W_e}{100 - W_e} \quad (2)$$

$$W_e = W_o - M_{H_2O} \cdot \frac{100 - W_o}{M_e} \quad (3)$$

$$W_t = W_o - Water \cdot \frac{100 - W_o}{M_t} \quad (4)$$

$$MR = \frac{M_{t+\Delta t} - M_t}{\Delta t} \quad (5)$$

$$SMER = \frac{M_{H_2O}}{E} \quad (6)$$

2.2. Nghiên cứu thực nghiệm

2.2.1. Chuẩn bị mẫu vật liệu sấy – hoa Lavender

Hoa Lavender hay còn gọi là hoa Oải Hương với tên khoa học là *Lavandula Angustifolia*. Hoa Lavender dòng Costa được trồng tại thành phố Đà Lạt, tỉnh Lâm Đồng,

Việt Nam. Trên hình 1 minh họa hoa Lavender và cấu trúc cây.

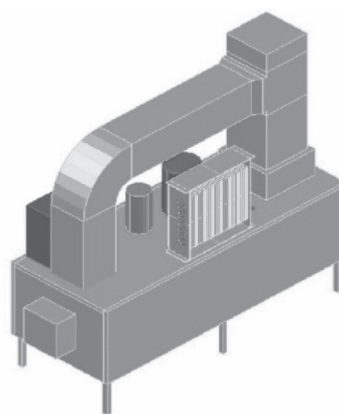


Hình 1. Hoa Lavender và cấu trúc cây

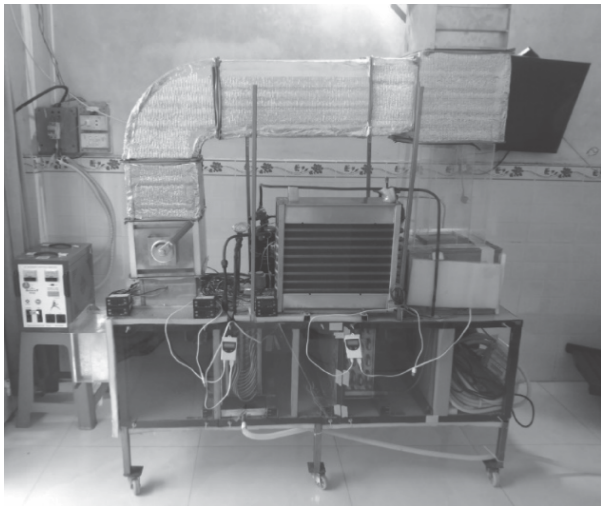
2.2.2. Hệ thống thí nghiệm

Mô hình hệ thống sấy bơm nhiệt tăng sôi:

Hệ thống bơm nhiệt tăng sôi được chế tạo và sử dụng trong thực nghiệm sấy sản phẩm với công suất máy nén là 0,532kW, năng suất tách ẩm dàn lạnh 2,37kW, sử dụng hai dàn nóng năng suất lần lượt là 2,37kW và 0,472kW, tác nhân R134A được sử dụng trong hệ thống. Phạm vi nhiệt độ vào buồng sấy có thể điều chỉnh từ 35°C đến 55°C. Với chế độ sấy bơm nhiệt, hệ thống quạt tăng sôi sẽ ngưng hoạt động.



Hình 2. Mô hình thiết kế 3D



Hình 3. Mô hình chế tạo

Tác nhân sấy từ buồng hòa trộn được đưa vào dưới ghi buồng sấy. Ghi sấy là một tấm lưới thép có nhiều lỗ có kích thước thích hợp để tác nhân sấy đi qua mà các vật liệu sấy không bị rơi xuống. Tác nhân sấy ở chế độ sấy theo yêu cầu được qua lớp vật liệu, trong buồng sấy, với tốc độ thích hợp, nâng các vật liệu sấy lên và làm cho chúng xáo trộn bập bùng trong dòng tác nhân như một dịch thể đang sôi. Đặc trưng của hệ thống sấy tầng sôi là vật liệu sấy ở thể sôi trao đổi nhiệt ẩm với dòng tác nhân. Khi tốc độ tác nhân bé, lớp vật liệu sấy nằm yên.

Để tác nhân sấy đạt chế độ yêu cầu, hệ thống bơm nhiệt được sử dụng để xử lý tác nhân sấy. Tác nhân sấy đi qua dàn lạnh được tách nước, sau đó qua dàn nóng để gia nhiệt lên lại đến nhiệt độ sấy yêu cầu. Các thiết bị cảm biến, thiết bị điều khiển được sử dụng để tác nhân sấy đạt được nhiệt độ, vận tốc tại điều kiện thí nghiệm.

Dụng cụ đo:

Các dụng cụ đo được sử dụng trong các thí nghiệm sấy được trình bày trong bảng 1 với các thiết bị có độ chính xác cao.

Bảng 1. Dụng cụ đo.

Thông số đo	Thiết bị	Độ chính xác
Vận tốc	Testo 425	± 0.3 m/s
Nhiệt độ	Datalogger TC type K	± 0.1°C
Ẩm độ không khí	PH721	± 3%
Khối lượng vật liệu	Digital scale	± 0.1grams
Ẩm độ vật liệu	AND MX-50	± 0.1%
Tổn thất áp suất	Cole Parmer-PH721	± 2%

Điều kiện thí nghiệm:

Các thí nghiệm được tiến hành ở các điều kiện được trình bày trong bảng 2. Với vận tốc sấy là 1,5m/s, phạm vi nhiệt độ thay đổi từ 38°C đến 52°C, bề dày sản phẩm từ 13mm đến 37mm được tiến hành trên hai hệ thống sấy là bơm nhiệt và bơm nhiệt tầng sôi.

Bảng 2. Điều kiện thí nghiệm.

Vận tốc	1,5m/s
Nhiệt độ	38, 40, 45, 50, 52°C
Bề dày sản phẩm	13, 20, 25, 30, 37mm
Hệ thống	Bơm nhiệt tầng sôi, bơm nhiệt

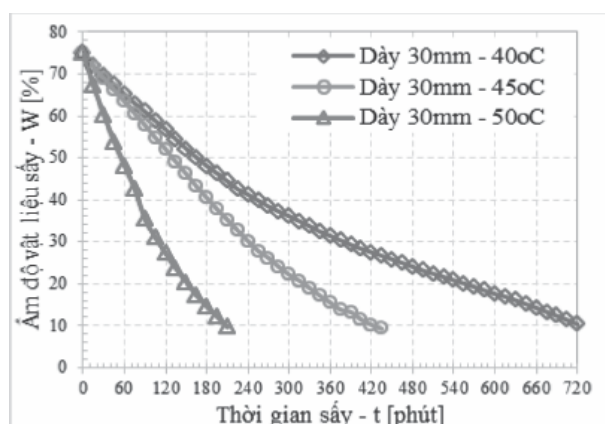
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến quá trình sấy

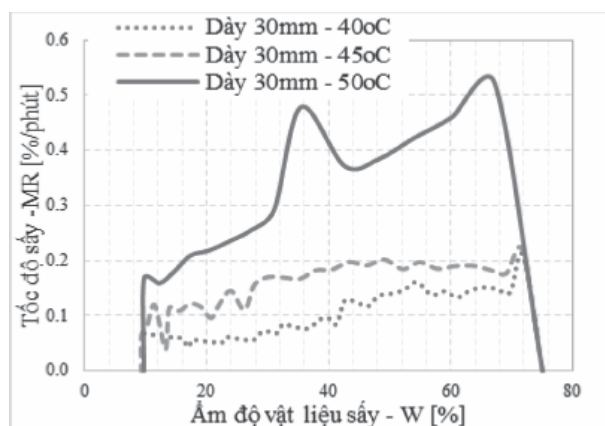
Thực nghiệm sấy trà hoa Lavender được thực hiện trên hệ thống sấy bơm nhiệt tầng sôi ở chế độ vận tốc 1,5m/s, bề dày lớp hoa 30mm với tại các giá trị nhiệt độ 40°C, 45°C, 50°C. Sản phẩm ban đầu có ẩm độ là 75% được sấy đến khi ẩm độ còn lại là 10%. Để làm khô



trà hoa Lavender ở 40°C mất đến 735 phút, ở 45°C cần 435 phút. trong khi ở nhiệt độ 50°C, thời gian sấy rất ngắn là 210 phút, kết quả được trình bày trên hình 4. Đối với tốc độ sấy, Hình 5 thể hiện kết quả ở chế độ 50°C, tốc độ sấy tăng gần gấp 3 lần so với ở 40°C, điều này có thể thấy sự ảnh hưởng của nhiệt độ trên hệ thống sấy bơm nhiệt tầng sôi là rất lớn. Bên cạnh đó, xét về mặt chất lượng của sản phẩm, sản phẩm sấy có độ giữ màu tốt, hệ thống sấy tuần hoàn kín nên sản phẩm vẫn giữ được mùi hương.



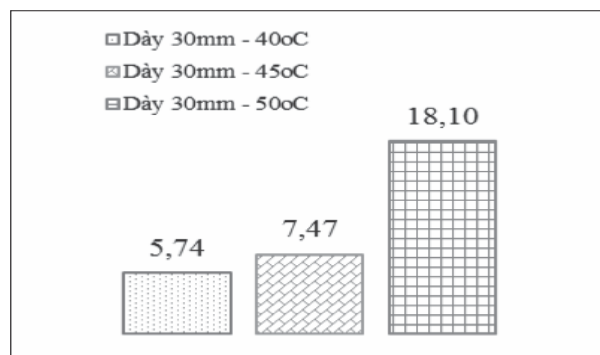
Hình 4. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến quá trình sấy thể hiện trên đường cong sấy



Hình 5. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy thể hiện trên đường cong tốc độ sấy

Đánh giá về mặt năng lượng thể hiện qua chỉ số SMER thể hiện trên hình 6, có thể thấy hệ thống sấy bơm nhiệt tầng sôi ở nhiệt độ

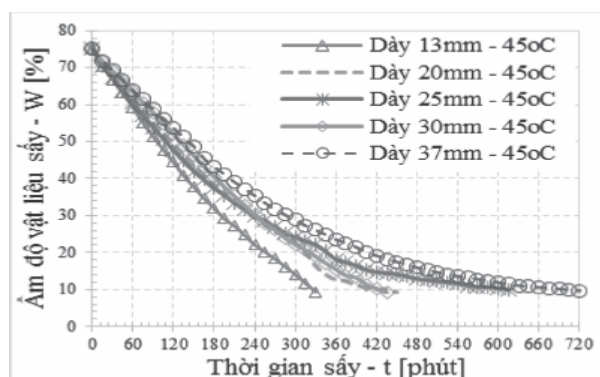
50°C, vận tốc 1,5m/s có hệ số SMER tăng gấp 3 lần so với ở nhiệt độ 40°C và tăng gấp 2,5 lần so với chế độ 45°C.



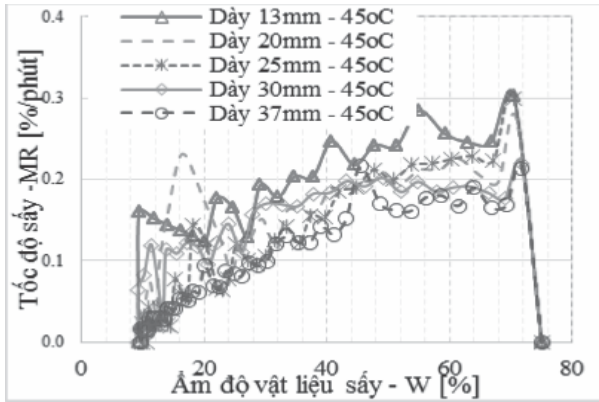
Hình 6. Các chỉ số SMER ở các nhiệt độ sấy

3.2. Đánh giá sự ảnh hưởng của bề dày tầng sôi đến quá trình sấy

Để đánh giá sự ảnh hưởng của bề dày lớp sản phẩm đến quá trình sấy trên hệ thống bơm nhiệt tầng sôi, thí nghiệm được thực hiện ở 5 mức bề dày khác nhau: 13mm, 20mm, 25mm, 30mm, 37mm. Vận tốc sôi và nhiệt độ được duy trì không đổi, với vận tốc gió 1,5m/s, nhiệt độ thí nghiệm là 45°C. Kết quả thu được thể hiện trên Hình 7, tại bề dày 37mm cần đến 720 phút để sấy khô sản phẩm, trong khi đó tại bề dày 13mm chỉ cần 330 phút để sấy khô, bề dày 20mm cần 450 phút, bề dày 25mm cần 615 phút.

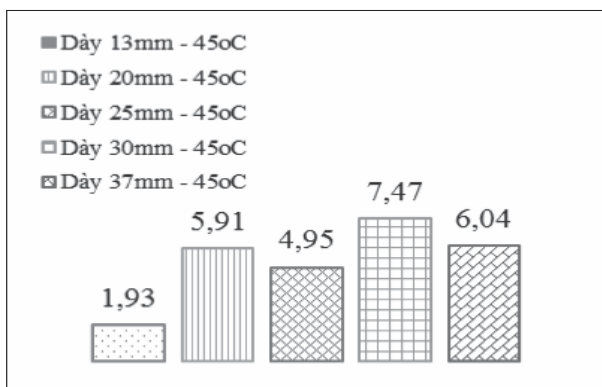


Hình 7. Ảnh hưởng của bề dày lớp sôi đến quá trình sấy thể hiện trên đường cong sấy



Hình 8. Ảnh hưởng của bề dày lớp sôi đến quá trình sấy thể hiện trên đường cong tốc độ sấy

Hình 8 cho ta thấy được tốc độ sấy ở bề dày 13mm là cao nhất tương đương với thời gian sấy là ngắn nhất, mặc dù thời gian sấy là ngắn nhất, tuy nhiên chỉ số SMER của bề dày vật liệu 13mm lại thấp nhất; đối với lớp vật liệu có bề dày 30mm trái ngược với thời gian sấy dài hơn so với lớp vật liệu 13mm nhưng lại có chỉ số SMER cao nhất, xếp sau nó là lớp bề dày 37mm. Như vậy, khi chọn chế độ sấy xét về chỉ số SMER, ta nên chọn bề dày là 30mm là tốt nhất.

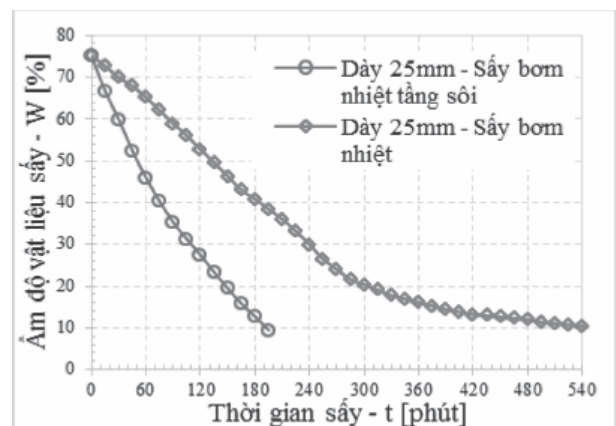


Hình 9. Các chỉ số SMER tại các chế độ bề dày sản phẩm sấy

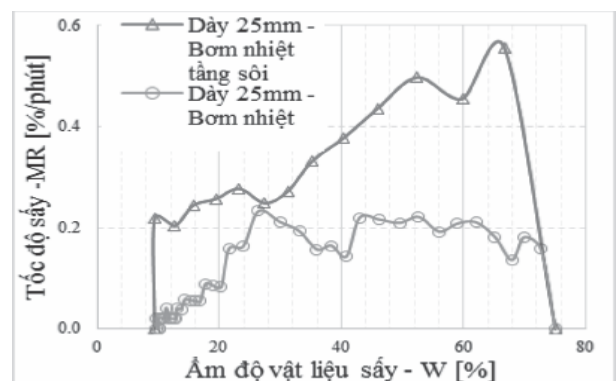
3.3. So sánh sấy trà hoa Lavender trên hệ thống sấy bơm nhiệt tầng sôi và bơm nhiệt

Để so sánh tính hiệu quả của hệ thống

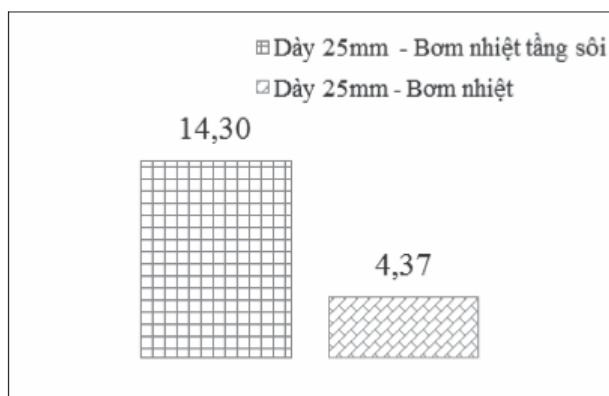
sấy bơm nhiệt tầng sôi cho sản phẩm trà hoa Lavender, thực nghiệm so sánh sấy hoa trên hai hệ thống sấy bơm nhiệt tầng sôi và sấy bơm nhiệt với cùng chế độ sấy nhiệt độ, bề dày lớp sấy. Kết quả thể hiện sự vượt trội của hệ thống sấy bơm nhiệt tầng sôi so với hệ thống bơm nhiệt qua giá trị tỷ lệ tách ẩm và thời gian sấy, cũng như hệ số năng lượng SMER trên hình 10, hình 11 và hình 12. Cụ thể như sau: Với chế độ sấy trà hoa Lavender ở nhiệt độ 52°C, bề dày lớp vật liệu 25mm, thời gian sấy trên hệ thống bơm nhiệt tầng sôi giảm 2,8 lần, tốc độ sấy trung bình tăng gấp 3 lần và tỷ lệ tách ẩm tăng gấp 3,3 lần trên 1kWh năng lượng điện cung cấp so với trên hệ thống sấy bơm nhiệt ở cùng chế độ.



Hình 10. Đường cong sấy trên hệ thống sấy bơm nhiệt tầng sôi và bơm nhiệt



Hình 11. Đường cong tốc độ sấy trên hệ thống sấy bơm nhiệt tầng sôi và bơm nhiệt



Hình 12. Chỉ số SMER sấy bơm nhiệt tăng sôi và bơm nhiệt

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu thực nghiệm phân tích, đánh giá sự ảnh hưởng của các chế độ sấy trên sản phẩm trà hoa Lavender tiến hành với kết quả thể hiện qua đường cong sấy, đường cong tốc độ sấy và chỉ số tách ẩm trên một đơn vị năng lượng tiêu tốn. Kết quả đánh giá được tính hiệu quả của hệ thống sấy bơm nhiệt tăng sôi so với hệ thống sấy bơm nhiệt thông thường qua số liệu về thời gian sấy giảm 2,8 lần, tốc độ sấy trung bình tăng gấp 3 lần và tỷ lệ tách ẩm trên 1kWh tăng gấp 3,3 lần. Đồng thời, ở nhiệt độ càng cao, hiệu quả sấy sản phẩm càng tối ưu, tuy nhiên đối với bề dày lớp sôi thì ở chế độ 30mm đạt kết quả khả quan nhất. ❖

Lời cảm ơn:

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh đã hỗ trợ cho nghiên cứu này. ❖

Danh mục viết tắt:

M_0 : Khối lượng sản phẩm tươi;
 M_t : Khối lượng sản phẩm sau khoảng thời gian sấy t;
 M_e : Khối lượng sản phẩm sau khi sấy;

M_{H_2O} : Lượng nước cần lấy ra của sản phẩm;
 W_0 : Ẩm độ ban đầu của sản phẩm tươi;
 W_t : Ẩm độ của sản phẩm sau thời gian sấy t;
 W_e : Ẩm độ của sản phẩm sau khi sấy;
 Δt : Khoảng thời gian;
 MR : Tốc độ sấy;
 E : Tổng điện tiêu thụ của quá trình sấy.

Ngày nhận bài: **18/9/2023**

Ngày phản biện: **11/10/2023**

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nhân P T, Minh L N, Tâm N T, Hương H T N; “Nghiên cứu thực nghiệm xác định chế độ sôi của hạt tiêu trong quá trình sấy tầng sôi”. Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.; 4(4):1194-1200.
- [2]. Bùi Trung Thành, Nguyễn Hay, 2009; “Xác định tổn áp của tác nhân khí qua lớp hạt muối tinh trong quá trình sấy bằng máy sấy tầng sôi liên tục”, Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Số 149/2009.
- [3]. Xukun Zhang, Zhihuai Mao, Ling Sun; “Heat Pump Fluidized Bed Drying of Agricultural Materials”, presented at 2004 ASAE/CSAE Annual International Meeting Fairmont Chateau Laurier, The Westin, Government Centre Ottawa, Ontario, Canada 1 – 4, August 2004.
- [4]. M. Yahya; “Performance Analysis of Solar Assisted Fluidized Bed Dryer Integrated Biomass Furnace with and without Heat Pump for Drying of Paddy”. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Photoenergy Volume 2016, Article ID 3801918, 17 pages.
- [5]. Gokul G. Nair; “Experimental Investigation of a Heat Pump Assisted Fluidized Bed Dryer”, GRD Journal for Engineering, Volume 2, Issue 6, May 2017.
- [6]. Stanislaw P. Rudobashta & Galina A. Zueva. “On-farm heat pump – assisted fluidized bed dryer and its kinetics calculation”. Drying Technology, 09 Apr 2019.