

NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM SẤY VẢI THIỀU TRÊN HỆ THỐNG SẤY SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG GIÁN TIẾP TỪ SINH KHỐI

Nguyễn Văn Thành¹, Nguyễn Xuân Thành¹, Nguyễn Đức Khuyển²

TÓM TẮT:

Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu thực nghiệm sấy vải thiều, mỗi mẻ khoảng 5 tấn trên hệ thống sấy gián tiếp dùng nhiên liệu sinh khối, với hai yếu tố khảo sát: (i) nhiệt độ tác nhân sấy 70°C, 75°C và 80°C tại vận tốc không khí $v = 0,5$ m/s; (ii) vận tốc tác nhân sấy 0,3 m/s; 0,5 m/s và 0,7 m/s tại mức nhiệt độ 75°C. Kết quả cho thấy, tại chế độ 75°C và $v = 0,5$ m/s cho hiệu quả tối ưu, với thời gian sấy khoảng 51 giờ, mức tiêu hao khoảng 1.345 kg củi/mẻ và chất lượng cảm quan tốt, màu sắc đồng đều, củi dẻo và đàn hồi. Việc tăng nhiệt độ lên 80°C hoặc vận tốc lên 0,7 m/s giúp rút ngắn thời gian nhưng làm tăng lượng củi tiêu hao và giảm chất lượng sản phẩm. Ngược lại, giảm vận tốc xuống 0,3 m/s kéo dài thời gian sấy (~60 giờ) mà không mang lại lợi ích tiết kiệm nhiên liệu.

Từ khóa: Năng lượng sinh khối, nhiệt độ tác nhân sấy, sấy gián tiếp, vải thiều, vận tốc tác nhân sấy.

EXPERIMENTAL STUDY ON LYCHHEE DRYING USING AN INDIRECT BIOMASS-FIRED DRYING SYSTEM

ABSTRACT:

This paper presents the experimental results of lychee (*Litchi chinensis* Sonn.) drying, with each batch consisting of approximately 5 tons, using an indirect biomass-fired drying system. Two operating factors were investigated: (i) drying air temperature at 70°C, 75°C, and 80°C with a fixed air velocity of $v = 0,5$ m/s; and (ii) drying air velocity at 0,3 m/s, 0,5 m/s, and 0,70 m/s at a fixed temperature of 75°C. The results indicated that the condition of 75°C and $v = 0,5$ m/s provided the optimal performance, with a drying duration of about 51 hours, fuel consumption of approximately 1.345 kg of wood per batch, and desirable sensory quality characterized by uniform color, elastic and chewy pulp. Increasing the drying temperature to 80°C or the air velocity to 0,7 m/s shortened the drying time but led to higher fuel consumption and deterioration of product quality. Conversely, reducing the velocity to 0.3 m/s prolonged the drying period (~60 hours) without offering any benefit in fuel savings.

Keywords: Biomass energy, drying air temperature, drying air velocity, indirect drying, lychee.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vải thiều (*Litchi chinensis* Sonn.) là đặc sản có giá trị kinh tế cao của Việt Nam, tập trung ở Bắc Giang và Hải Dương, với sản lượng năm 2025 ước đạt khoảng 303 nghìn tấn [1]. Do thời gian thu hoạch ngắn và hàm lượng nước cao (75–80%) [2], quả dễ hư hỏng sau thu hoạch, giá cả biến động mạnh theo cung cầu. Sấy khô là giải pháp quan trọng giúp kéo dài thời gian bảo quản, nâng cao giá trị và đa dạng hóa sản phẩm [3]. Tuy nhiên, các phương pháp sấy thủ công hiện nay thường gây ô nhiễm và khó kiểm soát chất lượng [4], trong khi sấy sử dụng nhiệt từ điện hay vi sóng có chi phí đầu tư, vận hành cao, gây áp lực cho hạ tầng điện lưới. Trước thực trạng đó, hệ thống sấy sử dụng năng lượng gián tiếp từ sinh khối được phát triển

như một giải pháp khả thi, vừa tiết kiệm chi phí vừa đảm bảo an toàn vệ sinh và kiểm soát tốt thông số công nghệ [5]. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm thử nghiệm quá trình sấy vải thiều trên máy sấy gián tiếp dùng năng lượng gián tiếp từ sinh khối (chủ yếu là củi gỗ), qua đó đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ và vận tốc tác nhân sấy đến thời gian sấy, năng lượng tiêu hao và chất lượng sản phẩm cuối cùng.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu và thiết bị nghiên cứu

2.1.1. Vật liệu nghiên cứu

Vải thiều sử dụng trong thí nghiệm được thu mua tại khu vực xã Lục Ngạn, tỉnh Bắc Ninh. Sau khi thu mua, các quả vải được tách rời khỏi chùm, cắt sát cuống và được loại bỏ

¹Trung tâm Thúc đẩy phát triển thị trường khoa học và công nghệ

²Khoa Cơ khí công nghệ, Trường Đại học Nông Lâm TP. HCM

*Email liên hệ: vanthanh.satitech@gmail.com

tạp chất và những quả dập nát hoặc có kích thước quá nhỏ nhằm bảo đảm tính đồng nhất của nguyên liệu trước khi sấy. Độ ẩm trung bình của vải thiều tươi được xác định ở mức

khoảng 80%. Nguyên liệu sau khi được lựa chọn đạt yêu cầu được đưa vào máy sấy có năng suất 5 tấn/mẻ và được sấy khô cho đến khi đạt độ ẩm khoảng 15%.

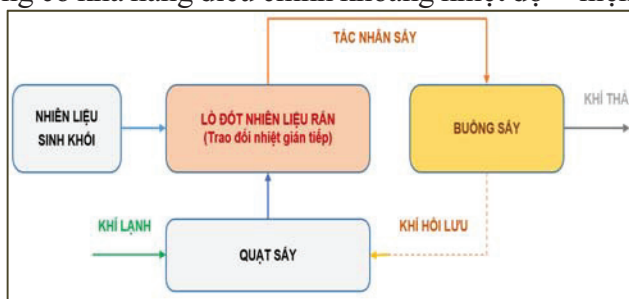


Hình 1. Quả vải thiều được sử dụng để khảo nghiệm

2.1.2. Thiết bị sử dụng trong nghiên cứu

Mô hình sấy sử dụng nhiệt gián tiếp từ nhiên liệu sinh khối được thiết kế và hoàn thiện chế tạo với năng suất đạt 5 tấn/mẻ. Hệ thống có khả năng điều chỉnh khoảng nhiệt độ

từ 50°C đến 90°C, vận tốc tác nhân sấy có thể hiệu chỉnh trong khoảng từ 0,1 đến 1,0 m/s, độ ẩm tác nhân sấy có thể hiệu chỉnh được từ 10% đến 90%. Nguyên lý và thiết bị được thể hiện ở hình 2.



Hình 2. Nguyên lý (trái) và hệ thống thiết bị (phải) sấy sử dụng năng lượng gián tiếp từ sinh khối

Hệ thống sấy vải thiều bằng lò đốt sinh khối gián tiếp gồm các bộ phận chính: hai buồng sấy có lớp bảo ôn bằng bông thủy tinh cách nhiệt, lò đốt nhiên liệu rắn, quạt sấy kiểu hướng trục, cụm ống nội tuyến, ống xả khói, cửa thoát ẩm, thiết bị ra tro và tủ điện điều khiển. Buồng sấy được thiết kế kín, có cửa để đưa nguyên liệu vào và lấy sản phẩm ra; trên buồng bố trí cửa thoát ẩm, được điều khiển đóng mở tự động dựa trên tín hiệu độ ẩm của tác nhân sấy. Lò đốt sinh khối sử dụng củi hoặc phụ phẩm nông nghiệp để tạo nhiệt, sau đó truyền qua bộ trao đổi nhiệt gián tiếp nhằm đảm bảo không khí sấy sạch, không lẫn khói bụi. Quạt sấy làm nhiệm vụ hút khí lạnh

từ ngoài vào, tạo dòng tuần hoàn không khí trong hệ thống và phân phối đều tác nhân sấy vào các buồng. Khí thải từ quá trình đốt nhiên liệu được dẫn ra ngoài qua ống xả, trong khi tro xỉ được thu gom bởi thiết bị ra tro.

Nguyên lý hoạt động: Nhiên liệu sinh khối được đưa vào lò đốt, quá trình cháy tạo nhiệt được truyền sang dòng không khí thông qua bộ trao đổi nhiệt gián tiếp. Quạt sấy hút khí lạnh từ ngoài vào, đẩy qua cụm trao đổi nhiệt để gia nhiệt thành tác nhân sấy. Luồng khí nóng sạch này được đưa vào buồng sấy, tiếp xúc với nguyên liệu vải thiều, mang theo hơi ẩm thoát ra từ quả. Khi độ ẩm khí thải nhỏ hơn giá trị cài đặt, cửa thoát ẩm tự động

đóng, không khí tuần hoàn trở lại lò đốt để được gia nhiệt và tiếp tục đi vào buồng sấy, quá trình này giúp tiết kiệm năng lượng nhiệt đáng kể trong quá trình sấy. Ngược lại, khi độ ẩm khí thải vượt ngưỡng, cửa thoát ẩm mở để xả bớt hơi ẩm, đến khi độ ẩm giảm xuống

dưới mức đặt thì đóng lại. Cơ chế tương tự cũng được áp dụng với điều khiển nhiệt độ, giúp duy trì ổn định môi trường sấy. Trong suốt quá trình, khói sinh ra từ buồng đốt được thoát ra ngoài qua ống xả khói, còn tro xỉ được loại bỏ nhờ thiết bị ra tro.



Hình 3. Một số hình ảnh quá trình khảo nghiệm

2.2. Phương pháp nghiên cứu và khảo nghiệm

2.2.1. Phương pháp nghiên cứu

Sử dụng phương pháp thực nghiệm để xác định một số chỉ tiêu:

Độ ẩm của vật liệu sấy được đo định kỳ 2 giờ/lần bằng cân sấy ẩm Ohaus MB23; mỗi lần đo lấy 3 mẫu ở các vị trí trên, giữa và dưới của lớp nguyên liệu sấy, sau đó tính giá trị trung bình. Khi độ ẩm đạt $\leq 15\%$, mẻ sấy được coi là kết thúc; Vận tốc tác nhân sấy được xác định bằng thiết bị đo vận tốc và lưu lượng Testo 425. Các phép đo vận tốc được thực hiện tại 5 vị trí ngay dưới khay sấy (1 điểm ở tâm và 4 điểm tại bốn góc khay), sau đó tính giá trị trung bình. Quá trình đo được lặp lại ba lần để bảo đảm độ tin cậy.

Nhiệt độ tác nhân sấy được xác định và điều khiển bằng cảm biến nhiệt độ kết hợp bộ điều khiển nhiệt độ AX4-1 được hiển thị liên tục. Độ ẩm không khí buồng sấy được xác định và điều khiển bằng bộ điều khiển độ ẩm Conotec FOX-1H được hiển thị liên tục. Khối lượng củi sử dụng cho mỗi mẻ được ghi nhận bằng cách lấy khối lượng củi trước mẻ trừ đi khối lượng còn lại sau mẻ. Đồng thời, khối lượng nguyên liệu sấy (quả vải thiều tươi) được cân trước khi đưa vào máy sấy.

Đánh giá cảm quan được tiến hành dựa trên các tiêu chí: màu sắc vỏ, hiện tượng nứt hoặc móp, độ nhẵn và độ đồng đều màu vỏ; đồng thời quan sát độ dính hoặc độ khô của bề mặt củi, màu sắc và cấu trúc củi để xác định chất lượng sản phẩm sau sấy.



Hình 4. Một số thiết bị được sử dụng trong quá trình nghiên cứu

2.2.2. Phương pháp khảo nghiệm

Các thí nghiệm được bố trí theo hướng thay đổi hai yếu tố chính: nhiệt độ tác nhân sấy và vận tốc tác nhân sấy, trong khi các điều kiện khác được giữ ổn định. Cụ thể, nhiệt độ tác nhân sấy được khảo nghiệm ở ba mức 70°C, 75°C và 80°C; vận tốc tác nhân sấy khảo nghiệm ở ba mức 0,3 m/s, 0,5 m/s và 0,7 m/s. Mỗi chế độ khảo nghiệm được tiến hành với cùng một khối lượng nguyên liệu (5 tấn quả vải thiều tươi/mẻ) nhằm bảo đảm tính so sánh.

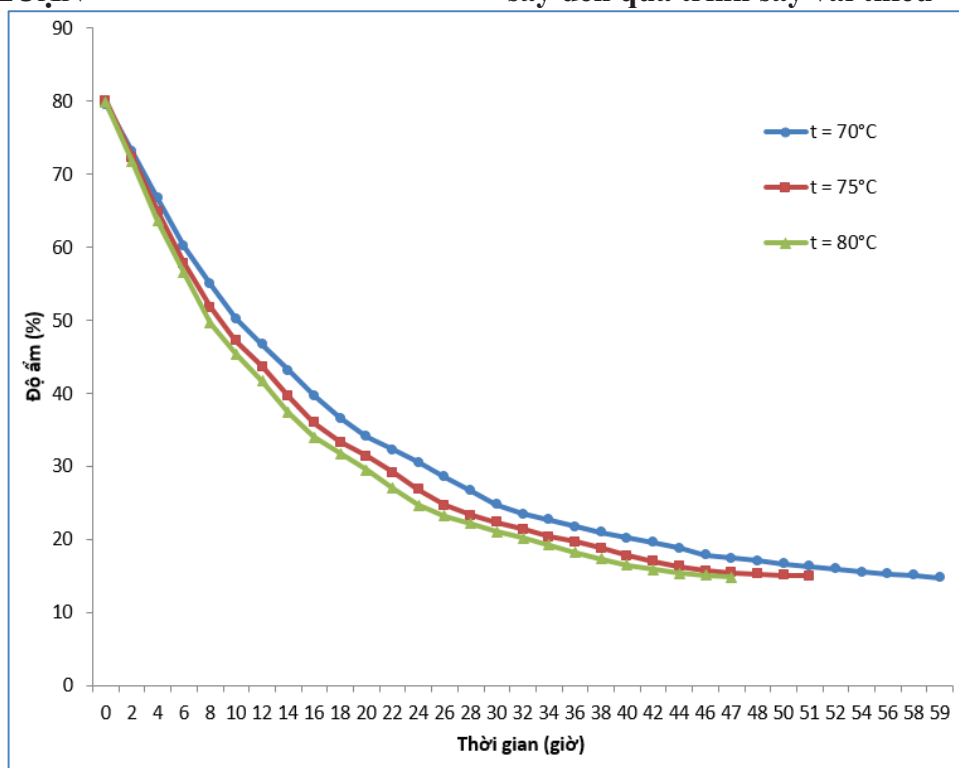
Trong quá trình khảo nghiệm, các thông số kỹ thuật (độ ẩm nguyên liệu, vận tốc và

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

nhiệt độ tác nhân sấy, khối lượng nhiên liệu sử dụng) được theo dõi và ghi nhận theo phương pháp đã nêu tại mục 2.2.1 phía trên. Sau khi kết thúc mỗi mẻ sấy, sản phẩm được lấy mẫu và đánh giá cảm quan dựa trên màu sắc, hình thái vỏ và chất lượng cùi.

Dữ liệu thu thập được xử lý bằng phương pháp thống kê mô tả, tính toán giá trị trung bình và so sánh các chế độ khảo nghiệm. Các kết quả được tổng hợp để xác định ảnh hưởng của từng thông số công nghệ đến thời gian sấy, mức tiêu hao năng lượng và chất lượng sản phẩm, từ đó lựa chọn chế độ sấy phù hợp.

3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ tác nhân sấy đến quá trình sấy vải thiều



Hình 5. Quá trình giảm ẩm khi sấy quả vải thiều ở vận tốc tác nhân sấy $v = 0,5 \text{ m/s}$

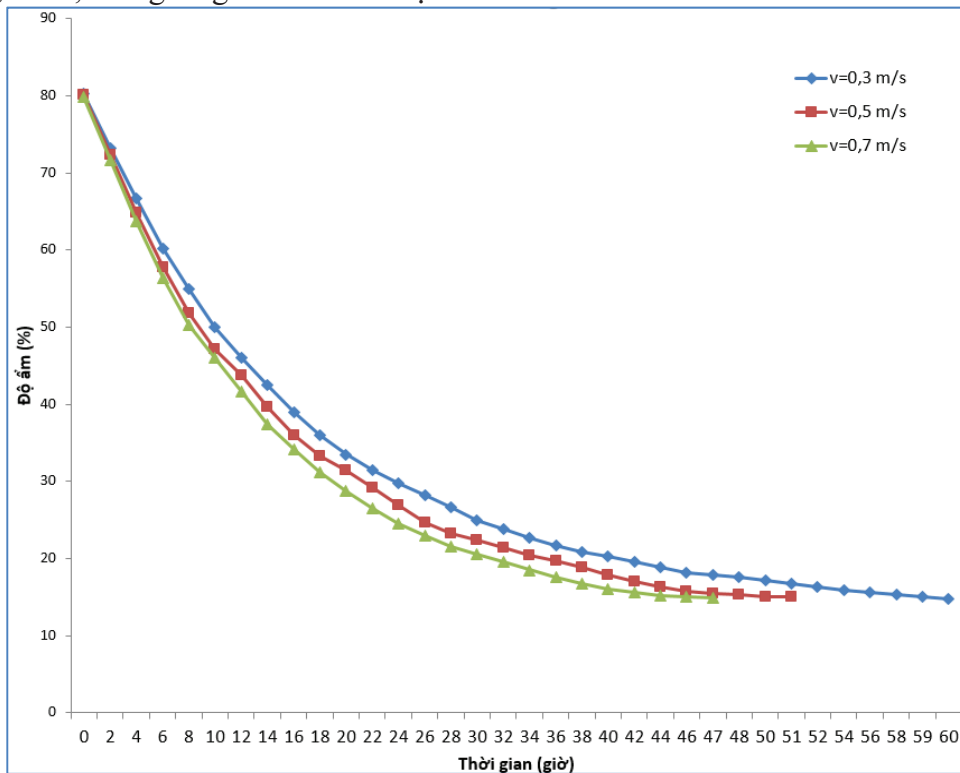
Quá trình giảm ẩm của vải thiều khi sấy với khối lượng 5 tấn/mẻ, vận tốc tác nhân sấy cố định ở 0,5 m/s và nhiệt độ thay đổi được trình bày ở Hình 5. Kết quả cho thấy, khi tăng nhiệt độ tác nhân sấy, thời gian sấy giảm đáng kể. Cụ thể, ở 70°C, thời gian giảm ẩm từ 79,5% xuống 14,9% là 59 giờ; ở 75°C là 51 giờ; và ở 80°C chỉ còn 47 giờ. Điều này

cho thấy, việc tăng nhiệt độ tác nhân sấy làm gia tăng cường độ truyền nhiệt – truyền khối, rút ngắn đáng kể thời gian sấy, phù hợp với các nghiên cứu động học sấy lớp mỏng, cho thấy tốc độ thoát ẩm tăng theo nhiệt độ [6]. Tuy nhiên, ở mức nhiệt cao (80 °C), mặc dù thời gian sấy ngắn nhất, chất lượng cảm quan của sản phẩm có xu hướng giảm.

3.2. Ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy đến quá trình sấy vải thiều

Ảnh hưởng của vận tốc tác nhân sấy được khảo sát ở ba mức 0,3 m/s, 0,5 m/s và 0,7 m/s trong điều kiện nhiệt độ 75°C được thể hiện ở Hình 6. Kết quả cho thấy, vận tốc càng cao thì thời gian sấy càng ngắn. Cụ thể, với vận tốc 0,3 m/s, thời gian để giảm ẩm từ 80,2% xuống 14,8% là 60 giờ; trong khi đó, ở 0,5 m/s và 0,7 m/s, thời gian giảm còn lần lượt là

51 giờ và 47 giờ. Điều này chứng tỏ vai trò quan trọng của vận tốc dòng khí trong việc tăng cường khả năng thoát ẩm của vật liệu, xu hướng này tương đồng với các nghiên cứu trước đây về vai trò của dòng khí trong thoát ẩm [6]. Tuy nhiên, ở vận tốc quá cao (0,7 m/s), sản phẩm lại xuất hiện hiện tượng khô không đồng đều, dẫn tới rạn nứt và giảm chất lượng.



Hình 6. Quá trình giảm ẩm khi sấy quả vải thiều ở nhiệt độ tác nhân sấy $t = 75^{\circ}\text{C}$

3.3. Đánh giá chất lượng cảm quan và hiệu quả năng lượng

Kết quả tổng hợp 5 thí nghiệm trong Bảng 1 cho thấy, khi cố định vận tốc tác nhân sấy ở 0,5 m/s và thay đổi nhiệt độ, ở mức 70°C thời gian sấy kéo dài tới 59 giờ nhưng mức tiêu hao nhiên liệu lại thấp nhất, chỉ 1323 kg củi/mẻ. Tuy nhiên, chất lượng sản phẩm chỉ đạt mức trung bình, vỏ hơi dính ẩm, màu chưa đều và củi tuy dẻo nhưng mềm, đàn hồi kém. Khi tăng lên 75°C, thời gian sấy rút ngắn đáng kể, còn 51 giờ, tiêu hao củi tăng nhẹ lên 1345 kg/mẻ (chỉ cao hơn 22 kg, ~1,7%), nhưng chất lượng sản phẩm vượt

trội: vỏ đỏ nâu đồng đều, bề mặt khô ráo, củi có màu hồng phách sáng, dẻo, đàn hồi tốt và hình dáng đẹp. Ở mức 80°C, thời gian sấy ngắn nhất, còn 47 giờ nhưng tiêu hao nhiên liệu tăng vọt lên 1690 kg/mẻ (cao hơn 345 kg so với 75°C, ~25,6%), đồng thời chất lượng giảm mạnh, sản phẩm bị nứt, móp lớn, màu sậm và củi dai cứng. Như vậy, 75°C là điểm cân bằng hợp lý giữa thời gian, tiêu hao nhiên liệu và chất lượng. Khi cố định nhiệt độ tác nhân sấy ở 75°C và thay đổi vận tốc, kết quả cho thấy ở mức 0,30 m/s thời gian sấy kéo dài tới 60 giờ, tiêu hao 1510 kg củi/mẻ, cao hơn 165 kg (~12,3%) và lâu hơn 9 giờ

(~17,6%) so với 0,5 m/s; chất lượng sản phẩm kém do vỏ còn dính ẩm, loang màu tối và cùi thiếu đồng đều. Ở mức 0,5 m/s, thời gian sấy còn 51 giờ với mức tiêu hao thấp nhất (1345 kg/mẻ), đồng thời chất lượng đạt tốt nhất: vỏ đỏ nâu đồng đều, khô ráo, cùi hồ phách sáng, dẻo và đàn hồi. Khi tăng lên 0,7 m/s, thời gian rút ngắn còn 48 giờ (giảm thêm 3 giờ, ~5,9%) nhưng lượng cùi tăng lên 1666

kg/mẻ (cao hơn 321 kg, ~23,9%), chất lượng lại suy giảm với hiện tượng khô không đều, nứt rạn và co ngót quá mức. Do đó, vận tốc 0,5 m/s được xác định là phù hợp nhất. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu trong nước về sấy vải thiều, cho thấy điều kiện sấy ảnh hưởng mạnh đến màu sắc và độ đàn hồi cùi [7].

Bảng 1. Bảng đánh giá chất lượng cảm quan và hiệu quả năng lượng

Chế độ	Thời gian (h)	Cùi gỏi (kg/mẻ)	Đánh giá chất lượng
t = 70°C; v = 0,5 m/s	59	1323	Vỏ đỏ nâu tự nhiên; bóng nhẹ nhưng không đều; ít nứt; bề mặt hơi dính ẩm. Cùi vàng hồ phách sáng; dẻo, mềm; đàn hồi nhẹ; vị trong; màu kém đều; hơi móp.
t = 75°C; v = 0,5 m/s	51	1345	Vỏ đỏ nâu tự nhiên, tròn đồng đều, ít nứt; bề mặt khô ráo. Cùi hồ phách đẹp, đồng đều; mùi sạch; dẻo, đàn hồi tốt; ít dính; độ móp ít vừa phải, hình dáng đẹp.
t = 80°C; v = 0,5 m/s	47	1690	Vỏ nứt cao, móp lớn, nâu sậm; Cùi ẩm cặn, không đồng đều; chuyển nâu đậm; ngoài hơi dai và cứng.
t = 75°C; v = 0,3 m/s	60	1510	Vỏ tròn đều nhưng hơi dính/ẩm, loang màu hơi tối; Cùi mềm, dẻo, mịn; cảm giác hơi khô; có điểm co bóc; đồng đều kém, hơi móp nhẹ.
t = 75°C; v = 0,7 m/s	48	1666	Vỏ khô ráo, giảm dính; nứt/rạn lớn, có loang màu không đều, lượng móp nhỏ lớn. Cùi ráo, hơi chai bề mặt; cảm giác cứng; một số rút co ngót quá; kém đồng đều hơn 0,5 m/s.

Nhận xét: Kết quả nghiên cứu cho thấy thời gian sấy giảm khi tăng nhiệt độ và vận tốc tác nhân sấy, tuy nhiên việc gia tăng quá mức một trong hai thông số này có thể dẫn đến suy giảm chất lượng sản phẩm và tiêu hao nhiều năng lượng hơn. Trong các chế độ khảo sát, sấy ở 75°C với vận tốc 0,5 m/s được xác định là phù hợp nhất, vừa bảo đảm chất lượng cảm quan đồng đều, vừa cân bằng tốt giữa thời gian sấy và mức tiêu thụ nhiên liệu.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu cho thấy nhiệt độ và vận tốc tác nhân sấy có ảnh hưởng quyết định đến thời gian, mức tiêu hao nhiên liệu và chất lượng cảm quan của vải thiều sấy khô; khi tăng nhiệt độ và vận tốc, thời gian sấy giảm đáng kể nhưng nếu vượt quá ngưỡng tối ưu thì chất lượng sản phẩm suy giảm và tiêu hao nhiên

liệu gia tăng. Trong các chế độ khảo sát, điều kiện sấy ở 75 °C với vận tốc 0,5 m/s được xác định là phù hợp nhất, vừa đảm bảo chất lượng cảm quan đồng đều (vỏ đỏ nâu tự nhiên, cùi hồ phách sáng, dẻo và đàn hồi tốt), vừa cân bằng hợp lý giữa thời gian sấy (51 giờ) và mức tiêu thụ nhiên liệu (1345 kg cùi/mẻ). Kết quả này khẳng định tính khả thi và hiệu quả của hệ thống sấy gián tiếp dùng sinh khối trong chế biến vải thiều, góp phần nâng cao giá trị gia tăng, khả năng bảo quản sản phẩm và có thể mở rộng ứng dụng cho nhiều loại nông sản khác; đồng thời gợi mở hướng nghiên cứu tiếp theo về tối ưu hóa quá trình truyền nhiệt – truyền ẩm, đánh giá hiệu suất năng lượng và cảm quan bán định lượng nhằm hoàn thiện mô hình và nâng cao tính ứng dụng thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. <https://www.vietnamplus.vn/san-luong-vai-thieu-tang-nganh-nong-nghiep-len-ke-hoach-thong-suot-xuat-khau-post1037361.vnp>
2. <https://medlatec.vn/tin-tuc/tac-dung-cua-qua-vai-va-nhung-luu-y-khi-an-2>
3. Hebbar, H. U., & Ramesh, M. N. (2005). *Microwave drying of vegetables – recent developments*. *Drying Technology*, 23(1–2)
4. Phạm Văn Lang, Nguyễn Văn Lượng (2020). *Kỹ thuật bảo quản và chế biến nông sản sau thu hoạch*. NXB Nông nghiệp.
5. Nguyễn Quang Thạch, Trần Văn Hùng (2019). *Nghiên cứu công nghệ sấy nông sản bằng năng lượng sinh khối*. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam*, số 5 (106)
6. Ojediran, J. O., & Raji, A. O. (2010). *Thin-layer drying characteristics of castor oil seeds*. *Journal of Food Processing and Preservation*, 34(4)
7. Nguyễn Thanh Bình, Lê Văn Hiền (2021). *Ảnh hưởng của điều kiện sấy đến chất lượng vải thiều khô tại Bắc Giang*. *Tạp chí Công nghiệp Nông thôn*, số 11