

NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH TÍNH CHẤT NHIỆT VẬT LÝ CỦA LÁ CHÙM NGÂY

Lê Anh Đức, Nguyễn Hay - Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh

Trần Đình Khải - Đại học Công nghệ TP. Hồ Chí Minh

Ngày nhận bài: 17/10/2019

Ngày nhận bài được sửa theo ý kiến phản biện: 25/11/2019

Ngày bài được duyệt đăng: 14/01/2020

Nghiên cứu được thực hiện nhằm xác định các tính chất nhiệt vật lý của lá chùm ngây theo ẩm độ của lá như khối lượng thể tích, độ co ngót, nhiệt dung riêng và ẩn nhiệt hóa hơi để làm cơ sở xây dựng các phương trình truyền nhiệt truyền ẩm của lá trong quá trình sấy. Khi độ ẩm của lá chùm ngây thay đổi từ 24,64 - 77,4%(wb.), giá trị nhiệt dung riêng của lá chùm ngây tăng tuyến tính với độ ẩm của vật liệu và có giá trị thay đổi từ 3,17 - 3,58 kJ/kg°C, khối lượng thể tích tăng từ 103,27 - 162,67 kg/m³, độ co ngót giảm từ 92,81% - 42,75% và ẩn nhiệt hóa hơi của lá chùm ngây giảm theo độ ẩm của lá. Các phương trình hồi quy đã được xây dựng để dự đoán khối lượng thể tích, nhiệt dung riêng, độ co ngót và ẩn nhiệt hóa hơi của lá chùm ngây theo ẩm độ của lá.

Từ khóa: Chùm ngây, khối lượng thể tích, độ co ngót, nhiệt dung riêng, ẩn nhiệt hóa hơi.

1. Đặt vấn đề

Lá chùm ngây (*Moringa oleifera*) là loại thực phẩm có hàm lượng dinh dưỡng cao được dùng làm thực phẩm chức năng để bồi dưỡng cơ thể, được trồng chủ yếu ở các vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới, đây được xem là loại cây lương thực của nhiều nhóm sắc tộc và dân tộc ở châu Á và Châu Phi [1,2]. Để có được sản phẩm lá chùm ngây khô, cần tiến hành làm khô lá chùm ngây tươi từ độ ẩm ban đầu khoảng 77%. Hiện nay, có nhiều phương pháp làm khô lá chùm ngây, trong đó phơi nắng là phương pháp truyền thống với chi phí đầu tư thấp, đơn giản dễ thực hiện. Tuy nhiên, nhược điểm của phương pháp này là phụ thuộc vào thời tiết, dễ nhiễm bụi, vi khuẩn làm giảm chất lượng, không đảm bảo an toàn thực phẩm. Để khắc phục những nhược điểm trên, nhiều phương pháp sấy khác nhau đã được ứng dụng để làm khô lá chùm ngây. Trong quá trình sấy, việc xây dựng mô hình bài toán truyền nhiệt và truyền ẩm để mô tả quá trình sấy là cần thiết nhằm hiểu rõ bản chất động học của quá trình sấy. Để xây dựng được các mô hình về truyền nhiệt và truyền ẩm trong quá trình sấy, các thông số nhiệt vật lý của vật liệu sấy như nhiệt dung riêng, khối lượng riêng, độ co ngót và ẩn nhiệt hóa hơi là những thông số quan trọng cần được xác định, các thông số này có ảnh hưởng quyết định đến quá trình truyền nhiệt truyền ẩm trong vật liệu sấy [3,4,5].

Đã có nhiều tác giả nghiên cứu về tính chất nhiệt vật lý của các loại vật liệu sấy. Tính chất nhiệt vật lý của lá chùm ngây cũng giống như các loại nông sản thực phẩm khác là phụ thuộc vào

giống, độ tuổi, đặc điểm sinh thái... Do đó tính chất nhiệt vật lý của lá chùm ngây của mỗi vùng miền và mỗi quốc gia sẽ khác nhau, hơn nữa các thông số nhiệt vật lý của lá chùm ngây chưa được các tác giả nghiên cứu và công bố. Mục tiêu của nghiên cứu này là thực nghiệm khảo sát, xác định nhiệt dung riêng, khối lượng thể tích, độ co ngót và ẩn nhiệt hóa hơi của lá chùm ngây. Những thông số này được sử dụng trong các phương trình mô tả truyền nhiệt và truyền chất trong quá trình sấy lá chùm ngây.

Các thông số nhiệt vật lý của vật liệu sẽ phụ thuộc vào nhiệt độ, độ ẩm của vật liệu, trong nghiên cứu này sẽ đánh giá ảnh hưởng của độ ẩm lá chùm ngây đến một số thông số nhiệt vật lý của lá chùm ngây.

2. Vật liệu và phương pháp

2.1 Vật liệu

Lá chùm ngây sau khi thu hoạch được tuốt khỏi cọng, rửa sạch, để ráo và lưu trữ trong tủ lạnh ở nhiệt độ $4 \pm 1^\circ\text{C}$ cho đến khi các thí nghiệm được thực hiện [2]. Độ ẩm của lá chùm ngây được xác định bằng thiết bị cân sấy ẩm, nhãn hiệu A&D-MX 50 của Nhật Bản, độ chính xác 0,1%. Độ ẩm ban đầu của lá chùm ngây tươi $77 \pm 0,5\%$ (wb.).

Để tạo ra được các mẫu lá chùm ngây có các mức giá trị độ ẩm theo yêu cầu thí nghiệm, lá chùm ngây tươi được đưa vào máy sấy đối lưu để hạ độ ẩm. Trong quá trình sấy, khi độ ẩm lá đạt mức giá trị yêu cầu thì lấy mẫu và bảo quản trong bọc nylon kín, Khối lượng mỗi mẫu làm thí nghiệm là 500 g.



Hình 1. Thiết bị và vật liệu thí nghiệm xác định nhiệt dung riêng của lá chùm ngây

2.2 Phương pháp nghiên cứu

Các tính chất nhiệt vật lý của lá chùm ngây được xác định dựa trên phương pháp nghiên cứu thực nghiệm và kết hợp với lý thuyết để xây dựng các phương trình hồi quy mô tả tính chất nhiệt vật lý của lá.

2.2.1. Phương pháp xác định khối lượng thể tích

Khối lượng thể tích là đại lượng đo bằng thương số giữa khối lượng (m) của một vật thể với thể tích (V) của vật thể đó.

Khối lượng thể tích của lá chùm ngây (γ , kg/m³) được tính theo công thức (1).

$$\gamma = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Trong đó: m là khối lượng vật liệu (kg); V là thể tích khối vật liệu (m³).

Thực nghiệm: trước tiên xác định khối lượng khay chứa vật liệu, cho lá chùm ngây vào đầy khay, dùng thước xác định chiều cao khối vật liệu trong khay để xác định thể tích vật liệu và đem toàn bộ khay chứa vật liệu cân để xác định khối lượng lá chùm ngây chứa trong khay. Cho khay chứa vật liệu vào buồng sấy và sấy đến một thời gian nhất định cho vật liệu đạt độ ẩm theo yêu cầu, sau đó đo chiều cao khối vật liệu trong khay để xác định thể tích và cân khay chứa vật liệu để xác định khối lượng vật liệu trong khay sau khi sấy.

Các giá trị thực nghiệm đo đặc khối lượng thể tích lá chùm ngây được xác định tại 6 mức ẩm độ của lá, thay đổi trong phạm vi từ 24,64 - 77,4% (ẩm độ của lá tươi). Thực nghiệm được thực hiện 3 lần cho mỗi độ ẩm vật liệu và lấy kết quả trung bình.

2.2.2. Phương pháp xác định độ co ngót

Độ co ngót của vật liệu là sự giảm thể tích do mất độ ẩm. Sự thay đổi thể tích theo thời gian này phụ thuộc vào hàm lượng nước chứa trong vật liệu tươi.

Độ co ngót được xác định bằng tỉ số giữa thể tích của mẫu thực nghiệm trước và sau khi sấy [5]. Trong đó thể tích mẫu được xác định bằng phương pháp sấy thực nghiệm tại các ẩm độ đã định trước. Độ co ngót S(%) được tính theo công thức (2).

$$S = \frac{V_d}{V_0} \cdot 100 \quad (\%) \quad (2)$$

Trong đó: V_d là thể tích của vật liệu sau khi sấy đến độ ẩm yêu cầu; V_0 là thể tích ban đầu của vật liệu.

Các giá trị thực nghiệm về độ co ngót của lá chùm ngây được xác định tại 6 mức ẩm độ của lá, thay đổi trong phạm vi từ 24,64 – 77,4%. Thực nghiệm được thực hiện 3 lần cho mỗi độ ẩm vật liệu và lấy kết quả trung bình.

2.2.3. Phương pháp xác định nhiệt dung riêng

Nhiệt dung riêng của lá chùm ngây được xác định bằng phương pháp hòa trộn sử dụng nhiệt lượng kế [5, 6]. Các nhiệt lượng đã được hiệu chỉnh theo quy trình được mô tả bởi Aviara và Haque [7]. Để xác định nhiệt dung riêng, vật liệu thí nghiệm cần được xác định khối lượng, nhiệt độ và độ ẩm để đưa vào nhiệt lượng kế có chứa nước đã xác định trọng lượng và nhiệt độ của nước. Hỗn hợp được khuấy đều cho đến khi nhiệt độ của hỗn hợp không đổi, ghi nhận nhiệt độ cuối cùng này.

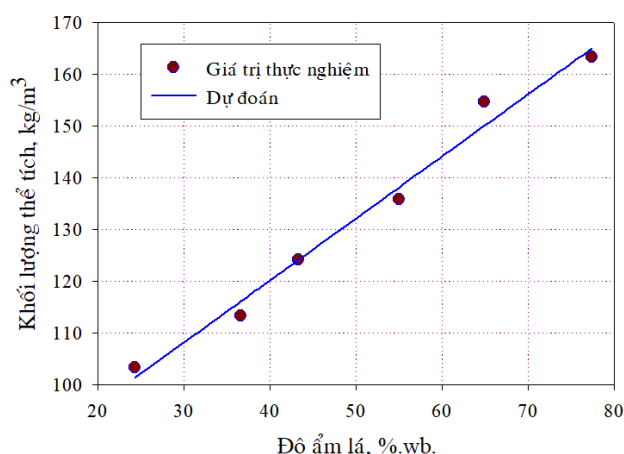
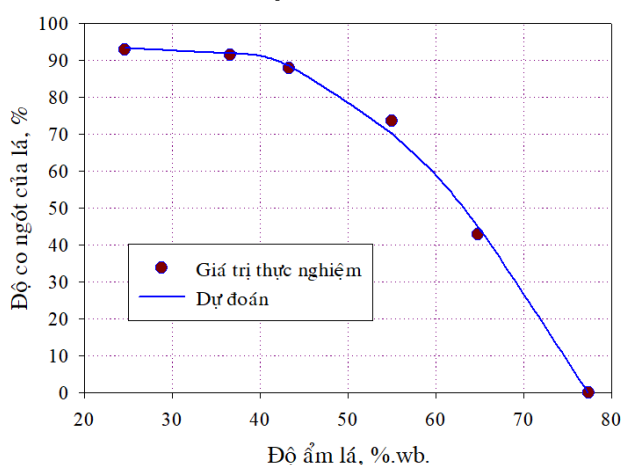
Dụng cụ dùng trong thí nghiệm gồm bình định mức, bình chứa hỗn hợp (bình chứa mẫu) có thân bình được làm bằng vật liệu cách nhiệt và bên trong bình được gắn đầu cảm biến nhiệt kế điện tử loại đầu dò Pt100 có độ chính xác $\pm 0,1^\circ\text{C}$, đồng hồ bấm giây, cân điện tử HZX-310 có độ chính xác $\pm 0,001$ g, thiết bị đo nhiệt hồng ngoại Infrared thermometer center 350 có độ chính xác $\pm 2\%$, và các mẫu lá chùm ngây có độ ẩm từ 24,64% đến 77,4%.

Bảng 1. Khối lượng thể tích lá chùm ngây theo độ ẩm lá.

Độ ẩm lá Chùm ngây (%)	24,64	36,62	43,32	54,96	64,85	77,40
Khối lượng thể tích (kg/m ³)	103,27	113,37	124,1	135,91	154,69	163,28

Bảng 2. Độ co ngót lá chùm ngây theo độ ẩm của lá

Độ ẩm lá chùm ngây (%)	24,64	36,62	43,32	54,96	64,85	77,40
Độ co ngót lá chùm ngây (%)	92,81	91,39	87,89	73,64	42,75	0

**Hình 2. Khối lượng thể tích của lá chùm ngây theo độ ẩm của lá.****Hình 3. Độ co ngót của lá chùm ngây theo độ ẩm của lá**

Cân 100g mẫu lá chùm ngây đã xác định nhiệt độ bằng thiết bị đo hồng ngoại cho vào bình chứa mẫu có chứa 500g nước tinh khiết tại nhiệt độ 3 - 4°C. Đóng chặt nắp bình để đảm bảo không có sự trao đổi nhiệt giữa hỗn hợp bên trong bình và môi trường. Mỗi thí nghiệm được tiến hành ba lần, kết quả là giá trị trung bình của ba lần thí nghiệm.

Quan sát diễn biến nhiệt độ trong bình thông qua bộ hiển thị số của bộ đo nhiệt độ, các thông số nhiệt độ được ghi lại liên tục cho tới khi đạt nhiệt độ cân bằng, khi nhiệt độ hỗn hợp bên trong

bình không đổi thì ghi lại nhiệt độ này. Ở trạng thái cân bằng, ghi nhận nhiệt độ cuối cùng và nhiệt dung riêng của mẫu vật liệu thí nghiệm được tính theo công thức (3).

$$C_{cn} = C_n \frac{m_n(t_{hh} - t_n)}{m_{cn}(t_{cn} - t_{hh})} \quad (3)$$

Trong đó: C_n là nhiệt dung riêng của nước, (kJ/kg°C); m_n , m_{cn} lần lượt là khối lượng của nước, lá chùm ngây, (kg); t_{hh} , t_{cn} , t_n lần lượt là nhiệt độ cân bằng của mẫu và hỗn hợp nước; nhiệt độ ban đầu của lá chùm ngây và của nước, (°C).

2.2.4. Phương pháp xác định ẩn nhiệt hóa hơi

Động học của quá trình sấy bao gồm ba giai đoạn cơ bản là: giai đoạn đốt nóng, giai đoạn sấy đẳng tốc và giai đoạn tốc độ sấy giảm dần. Trong đó, hai giai đoạn sấy đẳng tốc và giai đoạn tốc độ sấy giảm dần là các giai đoạn hóa hơi của nước trong vật liệu sấy. Như vậy, để tính nhiệt lượng cần thiết cho các giai đoạn này, cần phải biết được ẩn nhiệt hóa hơi của nước bên trong vật liệu sấy.

Nước bên trong vật liệu sấy khác với nước tự do vì chúng tồn tại các liên kết với vật liệu. Mỗi loại vật liệu sẽ có ẩn nhiệt hóa hơi khác nhau, vì vậy việc nghiên cứu xác định ẩn nhiệt cho một loại vật liệu sấy cụ thể là cần thiết. Các nghiên cứu về ẩn nhiệt hóa hơi của vật liệu thường được xác định dựa vào giá trị ẩm độ cân bằng của vật liệu [8,9,10,11,12].

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Khối lượng thể tích phụ thuộc vào độ ẩm

Khối lượng thể tích của lá chùm ngây được xác định trong phạm vi độ ẩm ban đầu của lá tươi là 77,4% đến độ ẩm 24,46%. Kết quả xác định được khối lượng thể tích của lá tại các mức độ ẩm thay đổi trong phạm vi 123,28– 103,27kg/m³. Giá trị cụ thể được trình bày trong bảng 1.

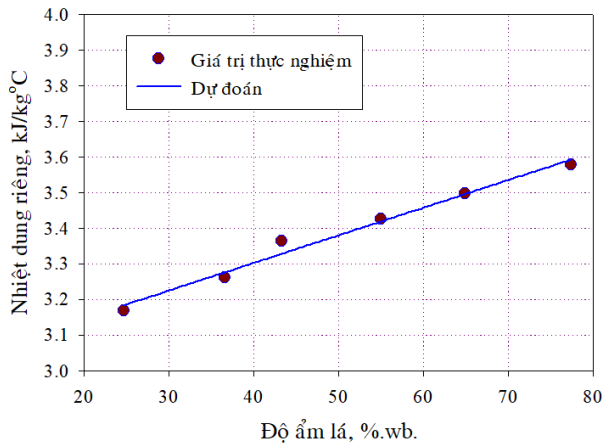
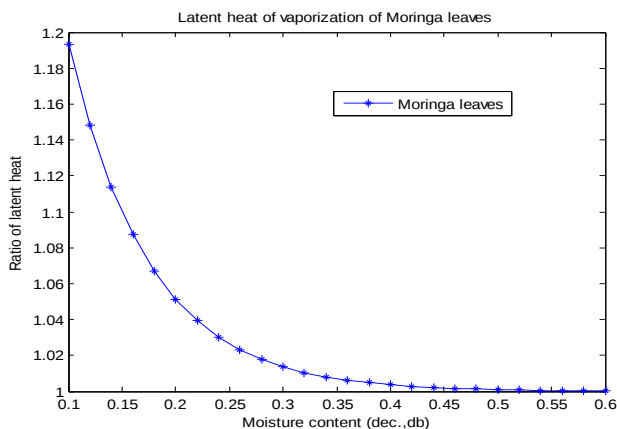
Từ kết quả thí nghiệm trên cho thấy, khối lượng thể tích của lá chùm ngây tăng khi độ ẩm của lá tăng. Quan hệ giữa khối lượng thể tích của lá (γ , kg/m³) theo độ ẩm của lá chùm ngây (M , %wb.) có dạng tuyến tính và được biểu diễn bằng phương trình hồi quy dạng bậc 1 như sau:

Bảng 3: Biến đổi nhiệt dung riêng lá chùm ngây theo độ ẩm lá

Ẩm độ (%)	24,64	36,62	43,32	54,96	64,85	77,40
Nhiệt dung riêng (kJ/kg ⁰ C)	3,169	3,261	3,365	3,426	3,498	3,578

$$\gamma = 72,2547 + 1,198.M ; (R^2 = 0,981) \quad (4)$$

3.2. Độ co ngót theo độ ẩm của lá

**Hình 4. Biến đổi nhiệt dung riêng của lá chùm ngây theo ẩm độ****Hình 5. Quan hệ giữa tỷ số ẩn nhiệt hóa hơi của nước trong lá chùm ngây và nước tự do theo ẩm độ lá chùm ngây**

Độ co ngót của lá chùm ngây cũng được xác định trong phạm vi từ độ ẩm ban đầu của lá tươi là 77,4% đến độ ẩm 24,46%. Kết quả xác định được độ co ngót của lá chùm ngây tại các mức độ ẩm tương ứng thay đổi trong phạm vi 42,75 - 92,81%. Giá trị cụ thể được trình bày trong bảng 2.

Hình 3 cho thấy khi độ ẩm vật liệu sấy càng thấp thì độ co ngót càng cao, sự khác nhau về khối lượng của pha khí bên trong các tế bào thực vật cũng có thể làm tăng hoặc giảm độ co ngót lý thuyết do việc loại bỏ nước.

Quan hệ giữa độ co ngót của lá (s , kg/m³) theo độ ẩm của lá chùm ngây (M , %wb.) được biểu diễn bằng phương trình hồi quy phi tuyến dạng

bậc 2 như phương trình (5).

$$s = 47,5139 + 2,9308.M - 0,0458.M^2 ; \quad (5)$$

$$(R^2 = 0,995)$$

3.3. Nhiệt dung riêng theo độ ẩm của lá

Kết quả đã xác định được nhiệt dung riêng của lá chùm ngây thay đổi theo ẩm độ và đạt giá trị từ 3,17 đến 3,58 kJ/kg⁰C tương ứng với ẩm độ lá thay đổi từ 24,64% đến 77,40% (wb). Giá trị cụ thể được trình bày trong bảng 3.

Từ kết quả thí nghiệm trên có thể thấy rằng nhiệt dung riêng của lá chùm ngây tăng tuyến tính với sự gia tăng độ ẩm của lá, giá trị nhiệt dung riêng trong phạm vi từ 3,169 – 3,578 kJ/kg⁰C. Giá trị này cũng tương tự như các giá trị nhiệt dung riêng theo độ ẩm của một số loại hạt giống [13], hạt shea [7], hạt gùna và hạt nhân [14] và các giống khác của đậu nành [15].

Quan hệ giữa nhiệt dung riêng của lá (C , kJ/kg⁰C) theo độ ẩm của lá chùm ngây (M , %wb.) được biểu diễn bằng phương trình hồi quy tuyến tính dạng đa thức bậc 1 như phương trình (6).

$$C = 2,9927 + 0,0078.M ; (R^2 = 0.977) \quad (6)$$

3.4. Ẩn nhiệt hóa hơi của lá chùm ngây

Sử dụng công thức của Gallaher [16] để xác định ẩn nhiệt hóa hơi của nước trong vật liệu. Ẩn nhiệt hóa hơi là một hàm số phụ thuộc vào độ ẩm của vật liệu.

$$h_{mw} = h_{fw} [1 + A \cdot \exp(-B \cdot M)] \quad (7)$$

$$h_{fw} = (2502,2 - 2,386 \cdot T)$$

Trong đó: h_{mw} : ẩn nhiệt hóa hơi của nước trong vật liệu (kJ/kg-H₂O); h_{fw} : ẩn nhiệt hóa hơi của nước tự do (kJ/kg-H₂O); M : ẩm độ vật liệu (decimal, d.b.); A , B các hệ số của mô hình; T : nhiệt độ tuyệt đối của nước (K).

Các hệ số A và B của mô hình được xác định trên cơ sở ẩm độ cân bằng của vật liệu. Giá trị của áp suất bay hơi (P_v) tại các giá trị nhiệt độ khác nhau được xác định theo phương pháp của Stanislaw [11] như công thức (8).

$$P_v = P_s \cdot ERH \quad (8)$$

Trong đó: P_s là áp suất bay hơi bão hòa (kPa); ERH là ẩm độ cân bằng của không khí (dec.)

Quan hệ giữa áp suất bay hơi P_v và ẩn nhiệt hóa hơi của nước trong vật liệu và nước tự do tại cùng nhiệt độ được xác định theo công thức (9) [10,12].

$$\ln P_v = \frac{h_{mw}}{h_{fw}} \cdot \ln P_s + C \quad (9)$$

Trong đó: C là hằng số.

Giải phương trình (8), tỷ số giữa ẩn nhiệt hóa hơi của nước trong vật liệu và nước tự do là một hàm số phụ thuộc vào ẩm độ vật liệu có dạng đường cong logarit và được xác định theo phương trình (10) [11,12,16].

$$\frac{h_{mw}}{h_{fw}} = 1 + A \cdot \exp(-B \cdot M) \quad (10)$$

Sử dụng phần mềm MATLAB để lập và giải bài toán, kết quả xác định được các hệ số A và B của phương trình (9) như sau:

$$A = 0,7267 \text{ và } B = 13,251.$$

Như vậy, ẩn nhiệt hóa hơi của lá chùm ngây được dự đoán theo phương trình (11):

$$\frac{h_{mw}}{h_{fw}} = 1 + 0,7267 \cdot \exp(-13,251 \cdot M) \quad (11)$$

Quan hệ giữa tỷ số ẩn nhiệt hóa hơi của nước trong lá chùm ngây và nước tự do vào ẩm độ lá chùm ngây được trình bày như hình 5.

Từ kết quả biểu diễn bằng đồ thị như hình 5 cho thấy khi ẩm độ của vật liệu càng thấp thì ẩn nhiệt hóa hơi của nước trong vật liệu sẽ càng cao. Kết quả này là tương đồng với các kết quả đã công bố của Hall [8] khi nghiên cứu về ẩn nhiệt hóa hơi cho các loại nông sản. Các giá trị của các hệ số xác định được trong mô hình cũng khá tương đồng với các kết quả nghiên cứu về ẩn nhiệt hóa hơi của các tác giả khác cho hạt cải dầu là $A = 0,5$ và $B = 14,5$ [8]; ẩn nhiệt hóa hơi của nhân sâm thái lát là $A = 0,6544$ và $B = 6,395$ [10]. Cụ thể, với nhân sâm thái lát, tỷ số h_{mw}/h_{fw} là

1,028 khi ẩm độ nhân sâm 0,6 (dec.db.) và tỷ số này tăng dần đạt đến giá trị 1,237 khi ẩm độ nhân sâm là 0,1 (dec.db.).

4. Kết luận

Từ các nghiên cứu về ảnh hưởng của độ ẩm đến tính chất nhiệt vật lý của lá chùm ngây đã cho thấy khi ẩm độ lá chùm ngây càng tăng thì khối lượng thể tích tăng từ 103,27 đến 162,67 kg/m³, độ co ngót giảm từ 92,81% xuống còn 42,75%, nhiệt dung riêng tăng từ 3,17 đến 3,58 kJ/kg°C và ẩn nhiệt hóa hơi giảm theo độ ẩm. Như vậy, các tính chất nhiệt vật lý của lá chùm ngây có mối quan hệ với ẩm độ của lá.

Trên cơ sở độ ẩm cân bằng của lá chùm ngây đã xác định được ẩn nhiệt hóa hơi của lá chùm ngây, kết quả tính toán và phân tích cho thấy ẩn nhiệt hóa hơi của nước trong lá chùm ngây phụ thuộc vào độ chứa ẩm. Các phương trình hồi quy đã được xây dựng để dự đoán khối lượng thể tích, độ co ngót, nhiệt dung riêng và ẩn nhiệt hóa hơi của lá chùm ngây khi ẩm độ của lá thay đổi.

Bảng ký tự sử dụng trong bài báo:

Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị
C	Nhiệt dung riêng	kJ/kg°C
h	Ẩn nhiệt hóa hơi	kJ/kg
M	Độ ẩm	%
m	Khối lượng	kg
P	Áp suất	kPa
s	Độ co ngót	%
t	Nhiệt độ	°C
T	Nhiệt độ tuyệt đối	K
V	Thể tích	m ³
γ	Thể tích riêng	m ³ /kg

Tài liệu tham khảo

1. Dako D.Y., Hill D.C., 1997. Chemical and biological evaluation of *Mucuna pruriens* (Utilis) beans. Nutrition Report International, 15: 239–244.
2. Dev S.R.S., Geetha P., Orsat V., Gariépy Y., Raghavan G.S.V., 2011. Effects of Microwave - Assisted hot air drying and conventional hot air drying on the drying kinetics, color, rehydration, and volatiles of *Moringa oleifera*. Drying Technology, 29: 1452–1458.
3. Karababa, E. 2006. Physical properties of popcorn kernels. Journal of Food Engineering 72: 100-107.
4. Coskuner, Y. and E. Karababa. 2007. Physical properties of coriander seeds (*Coriandrum sativum* L.). Journal of Food Engineering 80: 408-416.
5. Duc, L.A., Han, J.W., Hong, S.J., Choi, H.S., Kim, Y.H., Keum, D.H., 2008. Physical properties of rapeseed (I). Journal of Biosystems Engineering 33, 101–105.
6. Ogunjimi L.A.O. Aviara N.A., Aregbesola O.A., 2002. Some engineering properties of locust bean seed. Journal of Food Engineering, 55(2): 95–99.

1. Aviara N.A., Haque M.A., 2001 Moisture dependence of thermal properties of shea nut kernel. Journal of Food Engineering, 47(2): 109–113.
2. Cenkowski, S., W.E. Muir and D.S. Jayas, 1989. Simulation of canola and barley drying in deep bed. Journal of Food Process Engineering 12:171–190.
3. Tagawa, A., Murata, S., Hayashi, H., 1993. Latent heat of vaporization in buckwheat using the data of equilibrium moisture content. Trans. ASAE, 36(I), 113–118.
4. Yong-Jin Cho, Seung-Je Park, Chong-Ho Lee, 1996. Latent heat of Korean Ginseng. Journal of Food Engineering, 30, 425–131.
5. Stanislaw P., Digvir S.J., Stefan C., 1998. Grain drying: Theory and practice. Published by John Wiley and Sons, ISBN 0471573876, 9780471573876, 303 pages.
6. Keum D.H., Han J.G, Kang S.R., Kim O.W., Kim H., Han J.W. and Hong S.J., 2005. Development of s rice circulating concurrent-flow dryer (I) - Performance teset of pilot scale dryer. Journal of Biosystems Engineering 10(2):97–106.
7. Singh K.K., Goswami T.K., 2000. Thermal properties of cumin seed. Journal of Food Engineering, 45: 181–187.
8. [14] Aviara N.A., Haque M. A., Ogunjimi L.A.O., 2008. Thermal properties of guna seed. International Agrophysics, 22: 291–297
9. Deshpande S.D., Bal S., Ojha T. P., 1996. Bulk thermal conductivity and diffusivity of soy bean. Journal of Food Processing and Preservation, 20: 177–189.
10. Gallaher G.L., 1951. A method of determining the latent heat of agricultural crops. Agricultural Engineering 32(1) 34-38.
11. Hall, C.W., 1980. Drying and Storage of Agricultural Crops. AVI Publishing Company, Westport, CT, 16–38

DETERMINATION OF THERMAL PHYSICAL PROPERTIES OF MORINGA OLEIFERA LEAVES

Le Anh Duc, Nguyen Hay - *Argro Forest University of Hochiminh City*

Tran Dinh Khai - *Hochiminh City University of Technology*

Abstract: *The study was done to determine the physical and thermal properties of moringa leaves versus leaves moisture content such as bulk density, shrinkage, specific heat and latent heat evaporation for building the heat and moisture transfer equations of moringa leaves during drying process. When the moisture content of moringa leaves varies from 24.64 to 77.4% (wb.), the specific heat value increases linearly with the moisture content and varies from 3.17 to 3.58 kJ/kg°C, the bulk density increases from 103.27 to 162.67 kg/m³, the shrinkage decreases from 92.81% to 42.75% and the latent heat of evaporation decreases. The regression equations were determined to predict the bulk density, shrinkage, specific heat and latent heat of evaporation according to the moisture content of moringa leaves.*

Keywords: *Moringa oleifera; density, shrinkage; specific heat; latent heat.*