

NGHIÊN CỨU SẤY THÓC GIỐNG BẰNG MÁY SẤY THÙNG QUAY KẾT HỢP BƠM NHIỆT ĐỂ XỬ LÝ NHIỆT ẨM TÁC NHÂN SẤY

EXPERIMENTAL STUDY ON DRYING OF RICE SEED IN A HEAT PUMP COMBINED WITH ROTARY DRUM DRYER FOR DRYING TEMPERATURE PROCESS

Nguyễn Trọng Các, Đinh Văn Nhượng

Trường Đại học Sao Đỏ; cacdhsd@gmail.com, nhuongdv2000@gmail.com

Tóm tắt - Trong công nghệ sấy, nhiều quy trình công nghệ sản xuất yêu cầu sấy lạnh hoặc sấy ở nhiệt độ thấp (bằng hoặc thấp hơn nhiệt độ môi trường). Trong công nghệ sấy lạnh, nhất thiết phải sử dụng bơm nhiệt dưới dạng máy hút ẩm hoặc máy lạnh kết hợp với chất hút ẩm. Trong bài báo này trình bày kết quả của việc nghiên cứu thiết kế, chế tạo và thực nghiệm mô hình sấy thóc giống bằng máy sấy bơm nhiệt kết hợp với thùng quay. Các kết quả thực nghiệm với giống lúa nếp N97 ở chế độ sấy: nhiệt độ sấy 370°C, vận tốc tác nhân sấy 6,6 m/s, số vòng quay 2,5 vòng/phút, khối lượng sấy ban đầu 270 kg, độ ẩm của vật liệu sấy ban đầu 29,44% hệ thống sấy đạt hiệu suất tách ẩm cao, làm việc ổn định và hiệu quả. Sản phẩm sau khi sấy có độ ẩm 13,2%, tỷ lệ nảy mầm 89,3% với thời gian sấy 19 giờ.

Từ khóa - sấy bơm nhiệt; sấy thùng quay; sấy nông sản - thực phẩm; sấy thóc nếp giống; tỷ lệ nảy mầm.

1. Đặt vấn đề

Sấy lạnh là quá trình sấy mà trong đó tác nhân sấy được tách ẩm trước khi đưa vào buồng sấy. Quá trình tách ẩm này làm cho tác nhân sấy hạ nhiệt độ xuống khoảng 10°C, sau đó tác nhân sấy sẽ đi qua bộ nâng nhiệt và đưa vào buồng sấy. Nhiệt độ sấy có thể điều chỉnh thấp hơn, bằng và cao hơn nhiệt độ môi trường tùy thuộc vào vật liệu sấy. Chính nhờ việc hạ thấp nhiệt độ sấy làm cho công nghệ sấy lạnh đạt được các ưu điểm đáng kể so với công nghệ truyền thống:

+ Vật liệu sấy không bị mất màu, mất chất do nhiệt. Các chất dinh dưỡng và màu sắc được giữ lại gần như tuyệt đối.

+ Sấy được những sản phẩm mà công nghệ sấy nhiệt thấp không sấy được như: các sản phẩm dễ nóng chảy (socola, bánh kẹo, v.v.); các sản phẩm dễ tạo màng do nhiệt (thanh long, chuối, hồng, v.v.); các sản phẩm có dầu, mỡ (cá da trơn, hải sản, bột gạo, v.v.).

+ Nâng cao tuổi thọ thiết bị.

Phân tích các công việc liên quan:

Nguyễn Xuân Thủy và cộng sự đã nghiên cứu sử dụng bơm nhiệt để sấy một số loại nông sản gồm: hành củ, hành lá, rau thìa, rau thơm [1].

[2] đã trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế, chế tạo và khảo nghiệm mô hình sấy bơm nhiệt kiểu thùng quay. Các kết quả khảo nghiệm cho thấy cả rút sấy ở chế độ: nhiệt độ sấy 40°C, vận tốc tác nhân sấy 2,5 m/s, số vòng quay 15 vòng/phút, khối lượng sấy ban đầu 4,5 kg thì hệ thống sấy đạt hiệu suất tách ẩm cao, làm việc ổn định và hiệu quả hơn, sản phẩm sấy giữ được màu sắc tốt hơn so với các phương pháp sấy thông thường.

[3] đã đề xuất giải pháp dùng máy lạnh để hút ẩm và sấy khô nông sản, thực phẩm ở nhiệt độ thấp với hệ máy 60 kW lạnh, nhiệt độ 20°C ÷ 27°C, độ ẩm 35% ÷ 45%.

Abstract - In drying technology, many technological processes require cold or low temperature drying (at or below air temperature). With freeze drying method, it is necessary to use a heat pump in the form of a dehumidifier or air conditioner combined with a desiccator. The results of designing, manufacturing, and experimenting a model of heat pump combined with rotary drum dryer for rice seed are presented in this paper. The experimental results show that sticky rice seed N97 are dried at drying temperature of 370°C, drying air velocity of 6.6 m/s, drum rotation speed of 2.5 rpm, raw product mass of 270 kg, raw moisture of 22.9 percent. The dryer gets the high performance, more effective and stable operation. It is shown that the moisture is 13.2 percent, germination rate is 89.3 percent, and drying time is 19 hours.

Key words - heat pump dryer; rotary drum dryer; drying food - agricultural products; sticky rice seed dryer; germination rate.

Cũng trong [2] đã nghiên cứu sấy các loại rau quả như cà rốt, hành, củ cải, ... bằng bơm nhiệt (sấy lạnh), kết quả cho thấy thời gian sấy lâu hơn so với phương pháp sấy truyền thống nhưng chất lượng về cảm quan và khả năng bảo toàn về vitamin C cao hơn. Tác giả cũng đề nghị chế độ sấy tối ưu đối với các loại rau quả ở nhiệt độ 30°C, vận tốc gió 3,5 m/s, độ ẩm không khí từ 20÷40%.

[4], [5] đã nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và lắp đặt thiết bị sấy lạnh bằng bơm nhiệt ứng dụng để sấy dược phẩm, thực phẩm, nông sản trong điều kiện Việt Nam. Ưu điểm của thiết bị sấy này là một phần nước trong không khí được tách ra trước khi đưa vào buồng sấy nên động lực của quá trình sấy tăng lên đáng kể, rút ngắn thời gian sấy, giảm chi phí vận hành.

[6] đã nghiên cứu sấy kẹo Jelly tại Công ty Bánh kẹo Hải Hà bằng phương pháp sấy lạnh, kết quả cho thấy chi phí về điện giảm khoảng 58%, tiêu hao năng lượng để tách một kg ẩm bay hơi giảm từ 11,49 kWh/kg ẩm xuống còn 4,67 kWh/kg ẩm so với phương pháp dùng máy hút ẩm, nhưng chất lượng sản phẩm vẫn được đảm bảo. Tác giả cũng đã nghiên cứu sấy các nguyên liệu dược phẩm dùng trong y học cổ truyền như nghệ, dịch gừng ép, dịch cúc hoa bằng phương pháp sấy lạnh, kết quả cho thấy chất lượng sản phẩm tốt hơn so với phương pháp sấy bằng không khí nóng.

[7] đã nghiên cứu thiết kế hệ thống bơm nhiệt để sấy nông sản. Sản phẩm có ưu điểm sử dụng hệ thống điều khiển thông minh (máy tính, màn hình cảm ứng), hệ thống lạnh một cấp nén, tự động đo lường và điều khiển năng suất lạnh bằng bộ biến tần theo nhiệt độ bay hơi của môi chất lạnh, tiết kiệm năng lượng cho quá trình sấy. Một số thông số kỹ thuật của hệ thống bơm nhiệt DSL-v2: Năng suất hệ thống 8 ÷ 12 kg/mẻ, thời gian sấy 12 ÷ 24 giờ/mẻ (tùy thuộc vào loại sản phẩm); Nhiệt độ động sương -15°C ÷ 25°C; Nhiệt độ môi trường sấy 35°C ÷ 45°C; Tốc độ tác nhân sấy 0 ÷ 20 m/s.

Trong bài báo này trình bày kết quả của việc nghiên cứu thiết kế, chế tạo và thực nghiệm mô hình sấy thóc giống bằng máy sấy bơm nhiệt kết hợp với thùng quay. Các kết quả thực nghiệm với giống lúa nếp N97 ở chế độ sấy: nhiệt độ sấy 37°C , vận tốc tác nhân sấy $6,6\text{ m/s}$, số vòng quay $2,5\text{ vòng/phút}$, khối lượng sấy ban đầu 270 kg , độ ẩm của vật liệu sấy ban đầu $29,44\%$ cho thấy hệ thống sấy làm việc ổn định và hiệu quả. Sản phẩm sau khi sấy có độ ẩm $13,2\%$, tỷ lệ nảy mầm $89,3\%$ với thời gian sấy 19 giờ .

2. Mô hình máy sấy thùng quay kết hợp bơm nhiệt

2.1. Cấu tạo

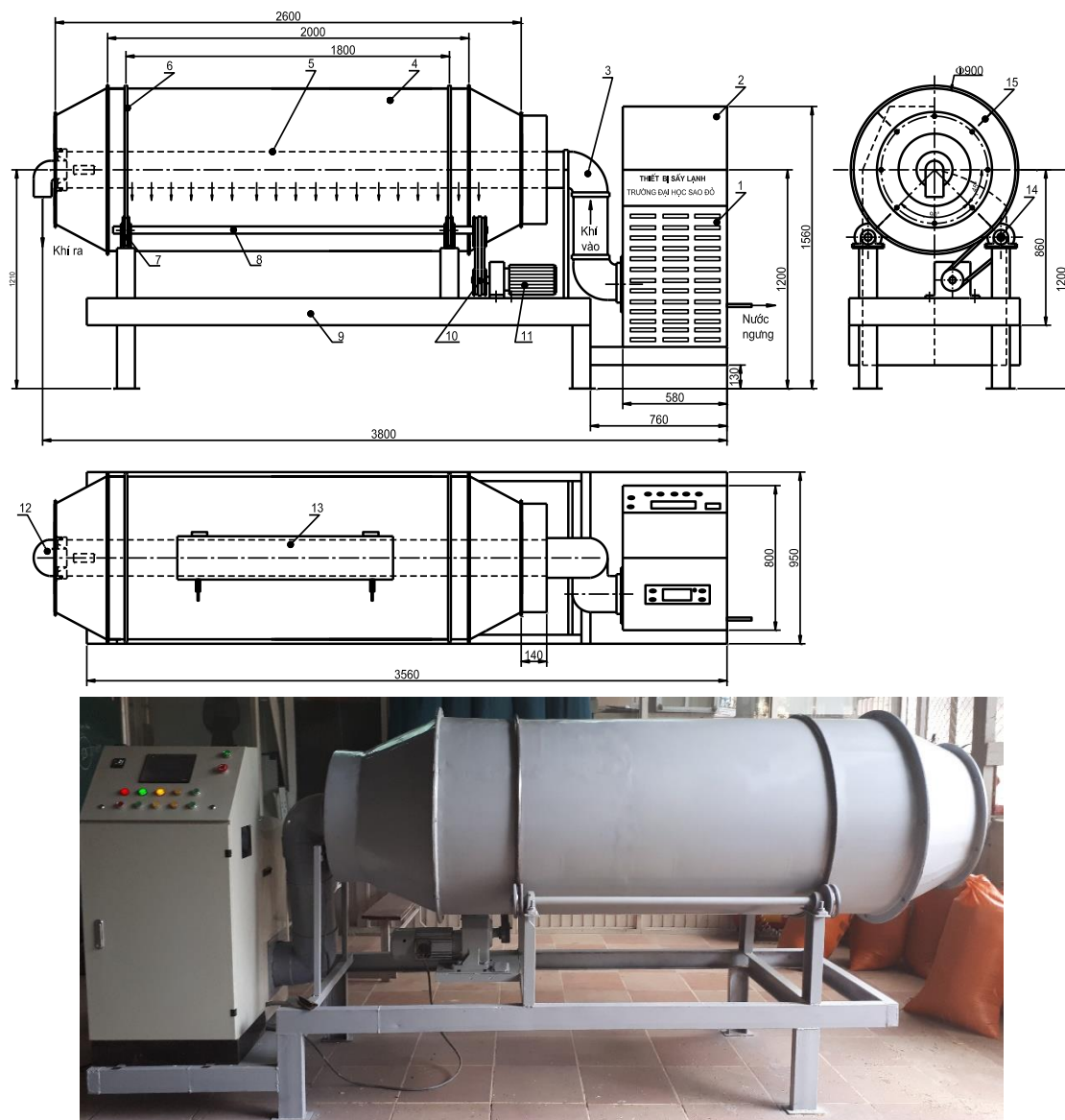
- Thùng sấy: dạng hình trụ tròn nằm ngang, làm bằng thép CT3 có đường kính $0,9\text{ m}$ và chiều dài 2 m . Bên trong

thùng có lắp đối xứng 4 cánh đảo liệu. Thùng sấy được truyền động nhờ động cơ điện có hộp giảm tốc công suất $1,5\text{ kW}$, số vòng quay $2,5\text{ vòng/phút}$.

- Hệ thống bơm nhiệt: Kích thước $480 \times 420 \times 1.010\text{ mm}$, công suất điện $1,5\text{ kW}$, công suất hút ẩm 145 lít/ngày , máy nén lạnh $2,5\text{ HP}$, lưu lượng khí khô $1.500\text{ m}^3/\text{h}$.

- Hệ thống điều khiển: Hệ thống điều khiển được lắp đặt đảm bảo khả năng tự động hóa cao. Các thiết bị tiên tiến, hiện đại gồm: PLC Omron CP1L 20CDR; màn hình HMI Omron; biến tần Yaskawa; cảm biến nhiệt độ, độ ẩm, tốc độ gió, v.v...

Mô hình máy sấy bơm nhiệt kết hợp thùng quay để sấy thóc giống nếp N97 được thể hiện như trên Hình 1.



Hình 1. Mô hình máy sấy bơm nhiệt kết hợp thùng quay để sấy thóc giống nếp N97

1. Bơm nhiệt; 2. Tủ điều khiển; 3. Ống dẫn khí vào; 4. Thùng sấy; 5. Ống phân phối khí; 6. Ray dẫn hướng; 7. Pulley; 8. Trục; 9. Khung đỡ; 10. Bộ truyền đai; 11. Động cơ giảm tốc; 12. Ống dẫn khí ra; 13. Cửa cấp – thoát liệu; 14. Gối đỡ trục; 15. Cánh đảo vật liệu

2.2. Nguyên lý làm việc

Thóc giống được đưa vào thùng sấy (4) thông qua cửa cấp (13). Tác nhân sấy được đưa vào buồng sấy từ bơm nhiệt

(1) thông qua đường ống (3) và (5). Nguyên liệu sấy được đảo đều trong thùng sấy nhờ các cánh gạt (15). Tủ điều khiển (2) có nhiệm vụ điều khiển, giám sát các thông số: nhiệt độ,

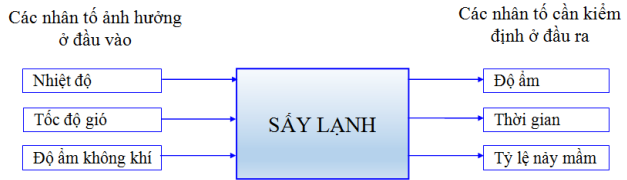
độ ẩm, vận tốc tác nhân sấy, tốc độ đảo vật liệu sấy. Kết thúc quá trình sấy, vật liệu được lấy ra khỏi thùng sấy thông qua cửa thoát liệu (13). Để thoát vật liệu sấy hoàn toàn, thùng sấy (4) được lập trình quay và đảo chiều gián đoạn.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Quy trình thí nghiệm

Thóc giống nếp N97 sau khi được mua từ Công ty CỔ PHẦN GIỐNG cây trồng Hải Dương được loại bỏ các tạp chất, cành lá, các hạt lép bằng quạt gió. Sau đó cân khối lượng trước khi đưa vào thùng sấy (đảm bảo 270 kg/m³). Đo độ ẩm của hạt thóc ban đầu. Khởi động hệ thống sấy lạnh (bơm nhiệt) và tiến hành sấy thóc trên thiết bị sấy thùng quay.

Thí nghiệm được thực hiện với khối lượng thóc giống nếp N97 ban đầu là 270 kg/m³, sấy 3 lần. Tiến hành sấy từ chế độ sấy ban đầu: Độ ẩm vật liệu sấy từ 20 – 30%; độ ẩm không khí từ 30 – 50%; vận tốc tác nhân sấy từ 3,5 – 8,5m/s; nhiệt độ tác nhân sấy từ 30 – 40°C, sấy ở các chế độ sấy khác nhau. Các thông số kiểm soát đầu ra là độ ẩm, thời gian sấy và tỷ lệ nảy mầm (Hình 2).



Hình 2. Sơ đồ mô tả các nhân tố đầu vào - ra trong quá trình sấy

3.2. Phương pháp lấy số liệu

3.2.1. Xác định độ ẩm vật liệu sấy



Hình 3. Thiết bị xác định độ ẩm PM600



Hình 4. Thiết bị xác định độ ẩm TK-25G



Hình 5. Thiết bị xác định độ ẩm Kett F511

Độ ẩm của vật liệu sấy được đo bằng máy phân tích ẩm PM600 (Hình 3), hoặc máy đo TK-25G (Hình 4), hoặc máy đo Kett F511 (Hình 5). Độ ẩm được đo sau mỗi giờ cho đến khi kết thúc quá trình sấy.

3.2.2. Xác định tỷ lệ nảy mầm hạt thóc

Tỷ lệ nảy mầm của vật liệu sấy (thóc giống nếp N97)

được xác định bằng tủ nảy mầm Burrows (có tại phòng thí nghiệm giống cây trồng, Viện Cây lương thực và Cây thực phẩm) với thời gian khoảng từ 6 – 7 ngày.

3.2.3. Xác định nhiệt độ tác nhân sấy

Nhiệt độ tác nhân sấy được xác định bằng cảm biến nhiệt độ như: cặp nhiệt điện (Hình 6), nhiệt điện trở (Hình 7).



Hình 6. Cặp nhiệt điện xác định nhiệt độ tác nhân sấy



Hình 7. Nhiệt điện trở xác định nhiệt độ tác nhân sấy

3.3. Thiết kế thí nghiệm xác định chế độ sấy theo quy hoạch thực nghiệm [8], [9]

3.3.1. Ma trận quy hoạch thực nghiệm

Từ Hình 2, khoảng biến thiên của các nhân tố được chọn như sau:

Các nhân tố ảnh hưởng đầu vào gồm 3 biến:

Z₁: Độ ẩm không khí, từ 30 – 50%.

Z₂: Tốc độ gió, từ 3,5 – 8,5 m/s.

Z₃: Nhiệt độ sấy, từ 30 – 40°C

Các nhân tố ảnh hưởng đầu ra (hay còn gọi là hàm mục tiêu) gồm 3 biến:

Y₁: Thời gian sấy (giờ).

Y₂: Độ ẩm của vật liệu sấy (%).

Y₃: Tỷ lệ nảy mầm (%).

Mục tiêu của bài toán tối ưu là Y₁→ min. Y₂ và Y₃ đạt yêu cầu của tiêu chuẩn QCVN 01 – 54:2011/BNNPTNT (Y₂ ≤ 13,5%, Y₃ → >80%).

Điều kiện thí nghiệm được chọn như trong Bảng 1.

Bảng 1. Điều kiện thí nghiệm

Các mức	Các yếu tố ảnh hưởng		
	Z ₁ , %	Z ₂ , m/s	Z ₃ , °C
Mức trên (+1)	50	8,5	40
Mức cơ sở (0)	40	6	35
Mức dưới (-1)	30	3,5	30
Khoảng biến thiên	10	2,5	5

Từ hệ tọa độ Z₁, Z₂, Z₃ chuyển sang hệ tọa độ mới không thứ nguyên X₁, X₂, X₃ theo công thức:

$$X_i = \frac{Z_i - Z_i^0}{\Delta Z_i}, \forall i = \overline{1,3}$$
(1)

Để tính được các hệ số trong phương trình (1) cần xác định ma trận quy hoạch thực nghiệm trên biến ảo và biến thực như trong Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 2. Ma trận quy hoạch thực nghiệm trên biến ảo

Số TN	x ₁	x ₂	x ₃	x ₁₂	x ₁₃	x ₂₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃
1.	+	-	-	-	-	+			
2.	-	-	-	+	+	+			
3.	+	+	-	+	-	-			
4.	-	+	-	-	+	-			
5.	+	-	+	+	+	-			
6.	-	-	+	-	-	-			
7.	+	+	+	+	+	+			
8.	-	+	+	-	-	+			

Bảng 3. Ma trận quy hoạch thực nghiệm trên biến thực

Số TN	Z ₁ (%)	Z ₂ (m/s)	Z ₃ (°C)	Y ₁ (giờ)	Y ₂ (%)	Y ₃ (%)
1.	30	3,5	30			
2.	50	3,5	30			
3.	30	8,5	30			
4.	50	8,5	30			
5.	30	3,5	40			
6.	50	3,5	40			
7.	30	8,5	40			
8.	50	8,5	40			

Để kiểm định cần thực hiện các thí nghiệm ở tâm phương án như trong Bảng 4.

Bảng 4. Thí nghiệm tại tâm phương án

Số TN	Z ₁ (%)	Z ₂ (m/s)	Z ₃ (°C)	Y ₁ (giờ)	Y ₂ (%)	Y ₃ (%)
9, 10, 11						

3.3.2. Tối ưu hóa thực nghiệm theo phương pháp “leo dốc” của Box-Willson

Bước 1: Chọn điểm xuất phát $X^{(0)} (x_1^{(0)}, \dots, x_n^{(0)})$
Chọn các giá trị $\varepsilon_y > 0$ và $\varepsilon_x > 0$

Xác định $y(X^{(0)})$
Bước 2: Xác định vec-tơ gradient tại điểm $X^{(0)}$
Bước 3: Chọn số λ dương; Từ điểm $X^{(0)}$ xác định $X^{(1)}$:

$$x_1^{(1)} = x_1^{(0)} \pm \lambda \frac{\lambda y}{\lambda x_1} \bigg|_{X=X^{(0)}}$$
$$x_2^{(1)} = x_2^{(0)} \pm \lambda \frac{\lambda y}{\lambda x_2} \bigg|_{X=X^{(0)}}$$

.....

$$x_n^{(1)} = x_n^{(0)} \pm \lambda \frac{\lambda y}{\lambda x_n} \bigg|_{X=X^{(0)}}$$

trong đó: dấu “+” khi tìm max, dấu “-” khi tìm min
Xác định $y(X^{(1)})$
Bước 4: So sánh $y(X^{(1)})$ với $y(X^{(0)})$. Nếu $y(X^{(1)})$ tốt hơn $y(X^{(0)})$ thì tiếp tục lặp lại Bước 3 để leo dốc tới $X^{(2)}, X^{(3)}, \dots, X^{(k)}$
Nếu $y(X^{(k)})$ xấu hơn $y(X^{(k-1)})$ thì thực hiện phép gán $X^{(1)} = X^{(k-1)}$ và $y^{(1)} = y(X^{(k-1)})$, sau đó chuyển sang Bước 5
Bước 5: Kiểm tra điều kiện dừng:

$$|y^{(1)} - y^{(0)}| \leq \varepsilon_y \text{ hoặc/và}$$
$$\sqrt{(x_1^{(1)} - x_1^{(0)})^2 + \dots + (x_n^{(1)} - x_n^{(0)})^2} \leq \varepsilon_x$$

Nếu không thỏa mãn điều kiện trên thì chọn $X^{(1)}$ làm điểm xuất phát mới (tức là thực hiện phép gán $X^{(0)} = X^{(1)}$ và $y^{(0)} = y^{(1)}$) và quay lại Bước 2. Ngược lại nếu thỏa mãn thì kết luận y đạt giá trị tối ưu tại $X^{(1)}$.

Phương pháp bố trí thí nghiệm tối ưu hóa theo phương pháp “leo dốc” của BoxWillson được thể hiện trong Bảng 5.

Bảng 5. Bố trí thí nghiệm tối ưu hóa theo phương pháp “leo dốc” của BoxWillson

Tên biến	Độ ẩm không khí (%) Z ₁	Vận tốc tác nhân sấy (m/s) Z ₂	Nhiệt độ sấy (°C) Z ₃	Thời gian sấy (giờ) Y ₁	Độ ẩm (%) Y ₂	Tỷ lệ nảy mầm (%) Y ₃
Mức cơ sở	40	6	35			
Bước biến thiên Δ _j	10	2,5	5			
Giá trị nhỏ nhất	30	3,5	30			
Giá trị lớn nhất	50	8,5	40			
Hệ số hồi quy b _j	b ₁	b ₂	b ₃			
b _j Δ _j	b ₁ Δ ₁	b ₂ Δ ₂	b ₃ Δ ₃			
Bước chuyển động λ _j	λ ₁	λ ₂	λ ₃			
Thí nghiệm thứ 10						
Thí nghiệm thứ 11						
Thí nghiệm thứ 12						
Thí nghiệm thứ 13						
Thí nghiệm thứ 14						

3.3.3. Phương pháp xử lý số liệu
Các thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Tiến hành xử lý số liệu theo phần mềm SPSS17.0. SPSS (Statistical Product and Services Solutions) là một hệ thống quản lý dữ liệu và khả năng phân tích thống kê với giao diện thân thiện cho người dùng.

4. Kết quả và thảo luận
4.1. Tính toán, xác định chế độ sấy tối ưu theo quy hoạch thực nghiệm

4.1.1. Xác định thời gian sấy theo mô hình hồi quy
Thời gian sấy nhanh hay chậm phụ thuộc vào các điều kiện điện công nghệ như nhiệt độ buồng sấy, vận tốc tác nhân sấy, độ ẩm của vật liệu sấy. Ở nhiệt độ sấy càng cao, thời gian sấy càng ngắn, ngược lại, độ ẩm không khí buồng sấy càng lớn thì tốc độ thoát ẩm chậm, dẫn đến thời gian sấy kéo dài. Trong điều kiện vận tốc tác nhân sấy càng cao, quá trình trao đổi ẩm diễn ra mạnh, nước ở bề mặt nguyên liệu thoát nhanh làm tăng chênh lệch độ ẩm giữa các lớp nguyên liệu.

Sau khi tiến hành thí nghiệm theo các ma trận thực nghiệm, kết quả được trình bày trong Bảng 6:

Bảng 6. Kết quả thí nghiệm theo ma trận quy hoạch thực nghiệm

Số TN	Z ₁ (%)	Z ₂ (m/s)	Z ₃ (°C)	Y ₁ (giờ)	Y ₂ (%)	Y ₃ (%)
1.	30	3,5	30	25,5	13,0	88,3
2.	50	3,5	30	27,5	13,5	87,3
3.	30	8,5	30	20,5	13,1	86,3
4.	50	8,5	30	25,5	13,4	88,3
5.	30	3,5	40	20	13,3	87,3
6.	50	3,5	40	26,5	13,4	86,7
7.	30	8,5	40	18,5	13,2	87,0
8.	50	8,5	40	23,5	13,3	87,3
9.	40	6,0	35	21,5	13,5	87,7
10.	40	6,0	35	22,5	13,2	88,0
11.	40	6,0	35	23,5	13,4	87,7

Sau khi xử lý thống kê bằng phần mềm SPSS17.0, đã xác định được phương trình hồi quy để tính toán thời gian sấy như sau:

$$Y_1 = 23,182 + 2,321x_1 - 1,437x_2 - 1,313x_3 \quad (2)$$

Từ phương trình (2), ta thấy độ ẩm không khí đưa vào thùng sấy ($b_1 = 2,321$) có quan hệ tỷ lệ thuận với thời gian sấy. Ngược lại, vận tốc tác nhân sấy ($b_2 = -1,437$) và nhiệt độ sấy ($b_3 = -1,313$) có quan hệ tỷ lệ nghịch với thời gian sấy. Điều này có nghĩa là, khi tăng độ ẩm không khí sấy thì thời gian sấy tăng lên, khi tăng vận tốc tác nhân sấy và tăng nhiệt độ sấy thì thời gian sấy được rút ngắn. Trong ba yếu tố nghiên cứu, độ ẩm không khí có sức ảnh hưởng đến thời gian sấy lớn nhất, tiếp theo là vận tốc tác nhân sấy, cuối cùng là nhiệt độ sấy.

4.1.2. Tối ưu hóa theo phương pháp “leo dốc” của Box-Willson

Trong ba hàm mục tiêu nghiên cứu: Y_1 , Y_2 và Y_3 thì $Y_1 \rightarrow \min$, $Y_2 \rightarrow \leq 13,5\%$, $Y_3 \rightarrow \max (>80\%)$. Để thực hiện quá trình tối ưu hoá theo phương pháp “leo dốc” của Box-Willson ta cần phải tính được các giá trị $|b_i \Delta_i|$. Trong đó, b_i là giá trị hệ số hồi quy thứ i và Δ_i là khoảng biến đổi của các biến số tương ứng.

Theo thiết kế thí nghiệm ta có:

$$\Delta_1 = \frac{X_{1\max} - X_{1\min}}{2} = \frac{50 - 30}{2} = 10$$

$$\Delta_2 = \frac{X_{2\max} - X_{2\min}}{2} = \frac{8,5 - 3,5}{2} = 2,5$$

$$\Delta_3 = \frac{X_{3\max} - X_{3\min}}{2} = \frac{40 - 30}{2} = 5$$

Do đó:

$$|b_1 \Delta_1| = |2,332 \times 10| = 23,32$$

$$|b_2 \Delta_2| = |1,437 \times 2,5| = 3,59$$

$$|b_3 \Delta_3| = |1,313 \times 5| = 6,56$$

Như vậy, $\max |b_i \Delta_i| = |b_1 \Delta_1|$ và chọn x_1 làm biến cơ sở. Chọn bước nhảy cơ sở của yếu tố x_1 là λ_{cs} , ta có [9]:

$$\lambda_i = \frac{b_i \Delta_i}{b_{cs} \Delta_{cs}} \lambda_{cs} \quad (3)$$

Trong đó,

λ_i : là bước nhảy của yếu tố thứ i ,

b_i, b_{cs} : là hệ số hồi quy của các yếu tố tương quan,

Δ_i, Δ_{cs} : là khoảng biến thiên của từng yếu tố tương ứng,

λ_{cs} : là bước nhảy cơ sở (trong nghiên cứu này xem xét với $\lambda_{cs} = -2$ [9]).

Do đó ta có:

$$\lambda_2 = \frac{b_2 \Delta_2}{b_{cs} \Delta_{cs}} \lambda_{cs} = \frac{-1,447 \times 2,5}{2,321 \times 10} \times (-2) = 0,30$$

$$\lambda_3 = \frac{b_3 \Delta_3}{b_{cs} \Delta_{cs}} \lambda_{cs} = \frac{-1,313 \times 5}{2,321 \times 10} \times (-2) = 0,62$$

Các kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 7.

Bảng 7. Kết quả thí nghiệm tối ưu hóa theo phương pháp “leo dốc” của Box-Willson

Tên biến	Độ ẩm không khí (%) Z ₁	Vận tốc tác nhân sấy (m/s) Z ₂	Nhiệt độ sấy (°C) Z ₃	Thời gian sấy (giờ) Y ₁	Độ ẩm (%) Y ₂	Tỷ lệ này mầm (%) Y ₃
Mức cơ sở	40	6	35			
Bước biến thiên Δ_i	10	2,5	5			
Giá trị nhỏ nhất	30	3,5	30			
Giá trị lớn nhất	50	8,5	40			
Hệ số hồi quy b_i	b_1	b_2	b_3			
$b_i \Delta_i$	23,32	3,59	6,56			
Bước chuyển động δ_i	-2,0	0,3	0,62			
Bước làm tròn	-2,0	0,3	1,0			
Thí nghiệm thứ 10	38	6,3	36	20,0	13,5	90,7
Thí nghiệm thứ 11	36	6,6	37	19,0	13,3	90,0
Thí nghiệm thứ 12	34	6,9	38	19,0	13,4	89,0
Thí nghiệm thứ 13	32	7,2	39	18,5	13,5	87,7
Thí nghiệm thứ 14	30	7,5	40	18,5	13,0	87,7

Nhận xét:

Kết quả Bảng 7 cho thấy, khi thực hiện các bước nhảy thì giá trị thời gian sấy giảm dần và tiến về điểm tối ưu. Ở thí nghiệm thứ 10, với $Z_1 = 38\%$, $Z_2 = 6,3\text{m/s}$, $Z_3 = 36^\circ\text{C}$ thì $Y_1 = 20$ giờ, $Y_2 = 13,5\%$, $Y_3 = 90,7\%$. Tại thí nghiệm thứ 11, sau 19 giờ sấy thì $Y_2 = 13,3\%$, $Y_3 = 90,0\%$. Các thí nghiệm được xử lý số liệu bằng phần mềm SPSS 17.0 cho thấy ở thí nghiệm 11 có sự khác biệt nhiều về thời gian sấy so với thí nghiệm 13 và 14 ($\alpha = 0,05\%$). Thí nghiệm 10 và 12 không có sự khác biệt nhiều. Ở các thí nghiệm thứ 13 và 14, tuy thời gian sấy tiếp tục giảm (giảm chậm), nhưng đồng thời tỷ lệ này mầm có xu hướng giảm. Điều này có thể là do khi tăng nhiệt độ buồng sấy, hiện tượng nóng cục bộ có thể diễn ra tại một số vị trí. Chính vì vậy, trong

nguyên cứu này xem xét và lựa chọn thí nghiệm thứ 11 là thí nghiệm tối ưu về thời gian sấy. Các thông số được chọn là độ ẩm không khí 36%, vận tốc tác nhân sấy 6,6m/s, nhiệt độ sấy 37°C.

4.2. Đánh giá chất lượng hạt giống bằng máy sấy thùng quay kết hợp bơm nhiệt

Sau khi xác định được chế độ sấy tối ưu của thóc giống nếp N97 theo quy hoạch thực nghiệm, cụ thể là: độ ẩm không khí 36%, vận tốc tác nhân sấy 6,6m/s, nhiệt độ sấy 37°C, tiến hành sấy 3 mẻ, 270 kg/mẻ. Hai thông số sẽ được đánh giá sau mỗi mẻ sấy là độ ẩm (% khối lượng), được xác định bằng máy phân tích ẩm PM600 và tỷ lệ nảy mầm (% số hạt), được xác định bằng tủ nảy mầm Burrows. Hai thông số trên được đánh giá tại Phòng Thử nghiệm Giống cây trồng – Viện Cây lương thực và Cây thực phẩm, tỉnh Hải Dương. Kết quả được thể hiện trong Bảng 8.

Bảng 8. Kết quả kiểm nghiệm độ ẩm và tỷ lệ nảy mầm của thóc giống nếp N97

Số thí nghiệm	Độ ẩm không khí (%) Z_1	Vận tốc tác nhân sấy (m/s) Z_2	Nhiệt độ sấy (°C) Z_3	Thời gian sấy (giờ) Y_1	Độ ẩm (% khối lượng) Y_2	Tỷ lệ nảy mầm (% số hạt) Y_3
Lần 1	36	6,6	37	19	13,3	90
Lần 2	36	6,6	37	19	13,1	89
Lần 3	36	6,6	37	19	13,1	89
Trung bình					13,2	89,3
QCVN 01-54:2011/BNNPTNT					≤ 13,5	≥ 80

Nhận xét:

Các kết quả trong Bảng 8 là hoàn toàn phù hợp với quy chuẩn kỹ thuật số QCVN 01-54:2011/BNNPTNT.

5. Kết luận

Mô hình máy sấy thùng quay kết hợp bơm nhiệt để xử lý nhiệt ẩm tác nhân sấy đã được nghiên cứu tính toán, thiết kế, chế tạo và đưa vào thực nghiệm, đáp ứng được các yêu cầu đặt ra và cho kết quả đáng tin cậy.

Qua kết quả thực nghiệm với giống lúa nếp N97 ở chế độ sấy: nhiệt độ sấy 37°C, vận tốc tác nhân sấy 6,6 m/s, số vòng quay 2,5 vòng/phút, khối lượng sấy ban đầu 270 kg, độ ẩm của vật liệu sấy ban đầu 29,44% thì hệ thống sấy đạt

hiệu suất tách ẩm cao, làm việc ổn định và hiệu quả. Sản phẩm sau khi sấy có độ ẩm trung bình 13,2%, tỷ lệ nảy mầm 89,3% với thời gian sấy 19 giờ. Kết quả này phù hợp với các kết quả trong Bảng 8, và cũng hoàn toàn phù hợp với quy chuẩn kỹ thuật số QCVN 01-54:2011/BNNPTNT.

Các công việc tiếp theo của chúng tôi sẽ thực hiện ứng dụng sấy các loại nông sản - thực phẩm có giá trị cao, các loại được liệu quý hiếm,... ở quy mô công nghiệp, thực nghiệm với tốc độ quay của thùng sấy khác nhau và đánh giá hiệu quả năng lượng trong quá trình sấy.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới TS. Ngô Doãn Tài, Trưởng Phòng Thử nghiệm Giống cây trồng – Viện Cây lương thực và Cây thực phẩm, tỉnh Hải Dương đã hỗ trợ lấy mẫu và kiểm nghiệm chất lượng hạt giống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Xuân Thủy, *Nghiên cứu quy trình và thiết bị sấy sạch rau quả bằng bơm nhiệt*, Báo cáo tổng kết khoa học và kỹ thuật, Viện Cơ điện Nông nghiệp và Công nghệ sau thu hoạch, trang 10-35, 2003.
- [2] Võ Mạnh Duy, Lê Chí Hiệp, “Nghiên cứu sấy cà rốt bằng máy sấy bơm nhiệt kiểu thùng quay”, *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*, Số 20b, 2011, trang 209 - 216.
- [3] Phạm Văn Tuy, Vũ Huy Khuê, Nguyễn Đắc Tuyên, “Nghiên cứu hút ẩm và sấy lạnh rau củ thực phẩm bằng bơm nhiệt máy nén”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt*, Số tháng 9/2003, 2003, trang 10 – 12.
- [4] Hoàng Ngọc Đồng, Lê Minh Trí, “Nghiên cứu xây dựng mô hình thực nghiệm thiết bị sấy bằng bơm nhiệt”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, Số 4(27), 2008.
- [5] Lê Minh Trí, *Nghiên cứu, xây dựng mô hình sấy nóng- lạnh để sấy được liệu sử dụng hệ thống lạnh và van đảo chiều*, Đề tài cấp Bộ, năm 2013.
- [6] Phạm Văn Tuy, “Hiệu quả sử dụng bơm nhiệt sấy lạnh ở Công ty Bánh kẹo Hải Hà (HAIHACO)”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nhiệt*, Số 2, tháng 3/1999.
- [7] Nguyễn Tấn Dũng và cộng sự, *Hệ thống máy sấy lạnh*, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM, Số 6/2016, trang 33.
- [8] D.Eriksson, E.Johansson, N.Kettaneh-Wold, C.Wikstrom, and S.Wold, *Design of Experiments - Principles and Applications*, UMETRICS AB, 2008.
- [9] Nguyễn Cảnh, *Quy hoạch thực nghiệm*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 1993.

(BBT nhận bài: 02/10/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 24/10/2017)