

THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ CHÍNH CỦA QUÁ TRÌNH SẤY MÀNG ĐỎ HẠT GẮC THEO PHƯƠNG PHÁP SẤY BƠM NHIỆT

EXPERIMENTS OF THE MAIN TECHNOLOGICAL PARAMETERS DETERMINATION FOR GAC FRUIT ARIL DRYING ON THE HEAT PUMP

Nguyễn Trung Kiên, Bùi Trung Thành

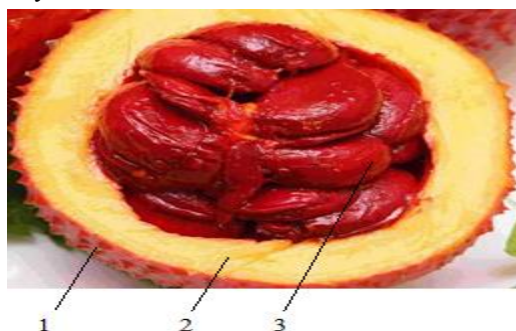
Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh; buitrongthanh@iuh.edu.vn

Tóm tắt - Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm sấy màng đỏ hạt gấc bằng phương pháp sấy bơm nhiệt. Để xác định các thông số tối ưu cho quá trình sấy, các thí nghiệm được bố trí theo quy hoạch thực nghiệm trực giao cấp 2 và được tối ưu hóa đa mục tiêu theo phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM). Theo kết quả nghiên cứu thực nghiệm, các thông số công nghệ tối ưu đã xác định nhiệt độ sấy $t_g = 44,16^\circ\text{C}$, nhiệt độ ngưng tụ hơi nước tại dàn lạnh $t_t = 14,30^\circ\text{C}$ và vận tốc tác nhân sấy $v_g = 2,6 \text{ m/s}$. Tương ứng với chế độ tối ưu này, các hàm mục tiêu đạt giá trị tối ưu gồm thời gian sấy $\tau = 11,27$ giờ, điện năng tiêu thụ tính cho 1 kg ẩm bay hơi $N_e = 4,363 \text{ kWh/kg}$ ẩm, phần trăm hàm lượng beta carotene thất thoát trong sản phẩm sau sấy $B = 4,394\%$.

Từ khóa - bơm nhiệt; gấc; sấy màng đỏ hạt gấc; sấy lạnh; thực nghiệm đa yếu tố

1. Mở đầu

Gấc (*Momordica cochinchinensis* Spreng) là loại trái cây phổ biến ở Việt Nam và Đông Nam Á, có hàm lượng beta-carotene và lycopene rất cao, các hoạt chất này chủ yếu tập trung ở màng đỏ bao quanh hạt [1]. Beta-carotene và lycopene là các hoạt chất tự nhiên có khả năng chống oxy hoá tốt và là nguồn cung cấp vitamin A, cũng như khả năng chống ung thư. Các nghiên cứu đã chỉ ra hàm lượng beta-carotene của gấc cao gấp 10 lần so với cà rốt và 68 lần so với cà chua [2]. Vì màng đỏ bao quanh hạt có tác dụng tốt đối với sức khỏe, nhưng khả năng bảo quản sau thu hoạch còn thấp và chất lượng không đồng đều, do phương pháp sấy còn nhiều hạn chế.



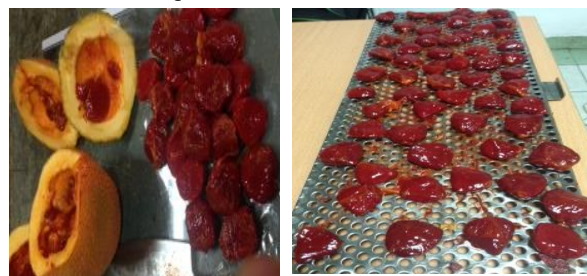
Hình 1. Quả gấc (không cần) 1- Vỏ quả gấc; 2 - Lớp màu vàng; 3 - Màng đỏ hạt gấc

Các hoạt chất quan trọng có trong quả gấc rất nhạy cảm với nhiệt độ cao, khi nhiệt độ tác nhân sấy $t_g > 60^\circ\text{C}$, thời gian sấy kéo dài trên 16 giờ, sẽ khiến các hoạt chất này phân hủy nhanh chóng [4, 8], các chất phân hủy này chính là nguyên nhân gây sẫm màu sản phẩm, do đó làm giảm

Abstract - The paper presents the results of experimental research to determine the technological parameters of Gac fruit aril drying process in the heat pump dryer. The experiments are carried out according to the level 2 orthogonal experimental plan, combined with multiple response optimization according to Response Surface method (RSM) to determine the optimal parameters (temperature of air drying, temperature of moisture condensation, air velocity) in the Gac aril drying process. As a result, the optimal parameters are determined as follows: Temperature of air drying is $t_g = 44.16^\circ\text{C}$, temperature of moisture condensation is $t_t = 14.03^\circ\text{C}$, air velocity is $v_g = 2.6 \text{ m/s}$. Corresponding to these optimal parameters, the objective functions reach the minimum value, including the drying time τ of 11.27 hours, the specific energy consumption N of 4.363 kWh/kg vapor and the loss of beta-carotene in Gac aril of the finished product B of 4.394%.

Key words - heat pump; gac fruit; gac fruit aril drying; cold drying; multiple factor experiment

giá trị dinh dưỡng và màu sắc của sản phẩm. Phương pháp bảo quản đông lạnh có thể duy trì chất lượng và màu sắc của sản phẩm nhưng năng lượng và chi phí vận chuyển cao hơn, phương pháp sấy chân không hoặc sấy thăng hoa cũng cho sản phẩm chất lượng tốt nhưng cũng gây tốn kém không cần thiết. Gấc hầu như không bị ảnh hưởng ở nhiệt độ dưới $t_g < 60^\circ\text{C}$, do đó sấy bơm nhiệt có thể thích hợp, ít tốn kém và hiệu quả cao hơn [3].



Hình 2. Màng đỏ hạt gấc chuẩn bị cho quá trình sấy

Đã có một số công bố về sấy khô màng đỏ hạt gấc như: Kha Chân Tuyên [4], sấy bột vỏ gấc bằng phương pháp sấy phun ở nhiệt độ 120°C cho sản phẩm chất lượng tốt, nhưng phải xay nhỏ nguyên liệu và thêm phụ gia maltodextrin 10% để bảo vệ các hoạt chất sinh học trong vật liệu. Phương pháp sấy này làm giảm tính năng tự nhiên của sản phẩm và không phù hợp với yêu cầu đã sử dụng chất phụ gia trong chế biến. Nguyễn Tấn Dũng [3], đã tối ưu hoá chế độ sấy lạnh màng đỏ hạt gấc ở nhiệt độ $37,18^\circ\text{C}$, thời gian sấy $t_g = 16,257$ giờ, vận tốc tác nhân sấy $v_g = 9,38 \text{ m/s}$, cho kết quả năng lượng tiêu thụ là $66,98 \text{ kWh/kg}$, hàm lượng beta-carotene bị mất là $5,04\%$, hàm lượng ẩm sản phẩm đạt được là $7,45\%$. Năng lượng điện cho chế độ sấy này là quá cao,

việc tiêu thụ điện năng cao có thể do vận tốc tác nhân sấy quá lớn. Việc sấy ở nhiệt độ thấp cũng làm tăng thời gian sấy, làm tăng lượng điện năng tiêu thụ. Kubola J. và các cộng sự [5] đã công bố ảnh hưởng của hàm lượng lycopene và beta-carotene trong dầu gấc trong 3 phương pháp sấy khác nhau gồm: sấy bằng khí nóng (HA), sấy bằng không khí có độ ẩm tương đối thấp (LRH) và sấy bằng bức xạ hồng ngoại (FIR) tại nhiệt độ tác nhân $t_g = 50^\circ\text{C}$, vận tốc $v_g = 1,5 \text{ m/s}$. Hawlader M. N. A. và các cộng sự (2006) đã công bố nghiên cứu sấy táo, ôi và khoai tây với tác nhân sấy là khí N_2 hoặc CO_2 ở nhiệt độ là 45°C , độ ẩm tác nhân sấy 10% cho sản phẩm có đặc tính vật lý (độ xốp, khả năng bù nước, màu sắc) tốt nhất, tương tự như sấy chân không và sấy thăng hoa. Auisakchaiyoung và các cộng sự [7], sấy khô màng đồ hạt gấc bằng cách nghiền nhỏ nguyên liệu rồi tạo bột bằng cách thêm 1,5% methylcellulose, thời gian ổn định bột là 25 phút sau đó cho vào khay dàn mỏng để sấy khô, kết quả cho thấy hàm lượng beta-carotene và lycopene cao nhất, màu sắc tốt nhất ở chế độ sấy 70°C trong thời gian 1 giờ và độ dày bột vật liệu là 1 mm. Do đó, khi sấy vật liệu là màng gấc ở nhiệt độ cao hơn 60°C , để bảo vệ được màu sắc và hoạt tính sinh học của gấc, cần phải xử lý nguyên liệu bằng phương pháp cơ học và hoá học. Bài báo này, tác giả trình bày nhằm công bố chế độ sấy màng đồ hạt gấc bằng phương pháp sấy bơm nhiệt mà không sử dụng hoá chất, đồng thời tiết kiệm điện năng tiêu thụ. Các hàm mục tiêu cần được tối ưu hoá gồm: Thời gian sấy (τ) đơn vị thứ nguyên (phút) được mã hóa Y_1 ; Tiêu hao năng lượng điện riêng N_e đơn vị thứ nguyên (kWh/kg), được mã hóa Y_2 ; Hàm lượng beta-caroten bị mất trong sản phẩm sau khi sấy có đơn vị thứ nguyên (%) được mã hóa Y_3 đạt giá trị thấp nhất, các giá trị trên phụ thuộc vào các thông số công nghệ gồm: Nhiệt độ không khí trong buồng sấy (t_g), đơn vị ($^\circ\text{C}$), được mã hóa X_1 ; Nhiệt độ ngưng tụ của hơi ẩm trong dàn lạnh (t_f), đơn vị ($^\circ\text{C}$), được mã hóa X_2 ; Vận tốc tác nhân sấy (V_g) được mã hóa X_3 (m/s).

2. Vật liệu và phương pháp

2.1. Vật liệu

Gấc nguyên liệu sử dụng để thí nghiệm được lựa chọn

Bảng 1. Dụng cụ đo và thiết bị thí nghiệm

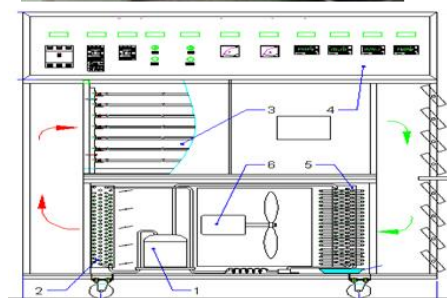
TT	Tên dụng cụ đo	Mã	Xuất xứ	Thông số và độ chính xác
1	Máy đo vận tốc gió Tenmars	TM 4001	Taiwan	Độ chính xác $\pm 3\%$
2	Đầu dò đo nhiệt độ và độ ẩm	Fox 300A	Korea	Nhiệt độ chính xác $\pm 1\%$ Độ ẩm ẩm chính xác $\pm 3\%$
3	Thiết bị đo cường độ bức xạ mặt trời	TM206	Taiwan	Độ chính xác $\pm 5\%$
4	Cân điện tử	CAS SW -1WD	Korea	Độ chính xác $\pm 2\text{g}$
5	Cân xác định độ ẩm Axis	AGS100	Poland	Độ chính xác $\pm 0,05\%$
5	Đồng hồ đo điện vạn năng	CHY-88A	Japan	Digital multimeter DC Điện áp: 500V , $\pm 1,0\%$ AC Điện áp: 500V , $\pm 1,2\%$
6	Máy sấy lạnh	S01DHCN	Việt Nam	Chế tạo tại Khoa Công nghệ Nhiệt Lạnh, Trường Đại học Công nghệ TP. Hồ Chí Minh

Các phương pháp xác định hàm mục tiêu trong quá trình thực nghiệm.

- Thời gian sấy được tính từ lúc bắt đầu sấy cho đến khi sản phẩm sấy đạt độ ẩm là 7,45%, được xác định bằng đồng hồ, được mã hóa Y_1 , đơn vị đo bằng phút.

tại Thành phố Hồ Chí Minh, chọn trái vừa chín tới, trọng lượng mỗi trái khoảng $1,2 \text{ kg} \div 1,3 \text{ kg}$, hàm lượng ẩm của gấc nguyên liệu xác định bằng máy đo độ ẩm Axis – AGS100 là 75%, sản phẩm gấc sấy khô có hàm lượng ẩm là 7,45%.

2.2. Dụng cụ đo và thiết bị



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý máy sấy bơm nhiệt S01DHCN;
1-Máy nén; 2-Dàn ngưng tụ; 3-Buồng sấy; 4-Tủ điện;
5-Dàn bay hơi; 6-Quạt

Các thí nghiệm được thực hiện trên máy sấy bơm nhiệt S01DHCN của Trường Đại học Công nghiệp Tp. Hồ Chí Minh, nhiệt độ và vận tốc tác nhân sấy được hiển thị và kiểm soát trong suốt quá trình sấy. Nhiệt độ tác nhân sấy có thể điều chỉnh từ $30 - 50^\circ\text{C}$ bằng cách điều chỉnh van tiết lưu nhiệt và lưu lượng môi chất qua dàn nóng phụ. Khối lượng mẫu được theo dõi trong quá trình sấy bằng cân điện tử Ohaus, nhiệt độ và độ ẩm trong quá trình sấy đo bằng bộ điều khiển nhiệt độ Fox, vận tốc không khí được xác định bằng máy đo vận tốc gió Extech, hàm lượng beta-carotene được xác định bằng phương pháp sắc ký lỏng HPLC thực hiện trong phòng thí nghiệm.

- Chi phí năng lượng riêng được mã hóa Y_2 , đơn vị kWh/kg được tính theo:

$$N_e = \frac{N}{W} = \frac{U.I.\cos\varphi.\tau}{G_1 - G_2} \quad (1)$$

Trong đó: G_1 - lượng nước ban đầu có trong vật liệu (kg);
 G_2 - lượng nước còn lại trong sản phẩm cuối cùng (kg).

Hàm lượng beta-carotene được xác định bằng phần trăm hàm lượng beta-carotene thất thoát trong sản phẩm [8], được mã hóa Y_3 , đơn vị % trong sản phẩm sau khi sấy xong bằng phương pháp HPLC theo TCVN 4715-90. Mẫu được bảo quản trong túi nhựa kín hút chân không theo yêu cầu của nhà phân tích, được gửi mẫu để xác định tại Trung tâm Dịch vụ Phân tích Thí nghiệm TP. Hồ Chí Minh - CASE.

$$Y_3 = \frac{m_s - m_f}{m_s} 100\%$$

(2)

Trong đó: m_s và m_f là hàm lượng beta-carotene trong màng đỏ hạt gấc trước và sau khi sấy (mg).

3. Kết quả và thảo luận

Bài toán xác định các hàm mục tiêu được thực hiện như sau:

3.1. Thiết lập các hàm mục tiêu để tối ưu hóa [9]

3.2. Số thí nghiệm cần tiến hành

$$N = n_k + n^* + n_0 = 2^k + 2k + n_0 = 19$$

Với: $k = 3$; $n_k = 2k = 8$; $n^* = 2.k = 2.3 = 6$; chọn số thí nghiệm ở tâm $n_0 = 5$.

Giá trị của điểm sao:

$$\alpha = \sqrt{\sqrt{N.2^{(k-2)}} - 2^{(k-1)}} = \sqrt{\sqrt{19.2^{(3-2)}} - 2^{(3-1)}} = 1,471$$

Miền thực nghiệm được xây dựng thông qua quy hoạch trực giao cấp 2 bằng phần mềm Statgraphics. Sau khi tiến hành 19 thí nghiệm, ta thu được kết quả thời gian sấy, tiêu hao điện năng riêng và độ giảm hàm lượng beta-carotene trong sản phẩm sấy.

Bảng 2. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

N		Biến thực			Biến được mã hóa				Giá trị hàm mục tiêu		
		t _g	t _f	v ₃	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃
2 ^k	1	47	22	3,5	+1	+1	+1	+1	680	6,56	5,156
	2	47	22	1,5	+1	+1	+1	-1	793	3,49	9,95
	3	47	14	3,5	+1	+1	-1	+1	620	6,31	4,45
	4	47	14	1,5	+1	+1	-1	-1	730	3,97	8,896
	5	37	22	3,5	+1	-1	+1	+1	755	5,1	8,15
	6	37	22	1,5	+1	-1	+1	-1	830	3,15	13,462
	7	37	14	3,5	+1	-1	-1	+1	725	5,32	6,096
	8	37	14	1,5	+1	-1	-1	-1	777	3,61	8,028
2k	9	49,36	18	2,5	+1	+1,471	0	0	660	4,82	5,025
	10	34,64	18	2,5	+1	-1,471	0	0	784	3,55	9,141
	11	42	23,88	2,5	+1	0	+1,471	0	772	3,59	8,004
	12	42	12,11	2,5	+1	0	-1,471	0	680	4,56	5,372
	13	42	18	3,97	+1	0	0	+1,471	690	7,155	3,863
	14	42	18	1,03	+1	0	0	-1,471	815	3,306	10,881
n ₀	15	42	18	2,5	+1	0	0	0	740	3,98	4,977
	16	42	18	2,5	+1	0	0	0	715	3,76	4,242
	17	42	18	2,5	+1	0	0	0	731	3,81	4,289
	18	42	18	2,5	+1	0	0	0	710	3,51	4,635
	19	42	18	2,5	+1	0	0	0	721	3,62	4,79

3.3. Thiết lập mô hình toán của thời gian sấy

Với kết quả thí nghiệm thu được, các hệ số hồi quy được xác định theo (3):

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^N X_{ji} Y_i}{\sum_{i=1}^N X_{ji}^2}; \quad b_{ji} = \frac{\sum_{i=1}^N (X_j X_i) Y_i}{\sum_{i=1}^N (X_j X_i)^2}; \quad b_{jj} = \frac{\sum_{i=1}^N X'_{ji} Y_i}{\sum_{i=1}^N (X'_{ji})^2} \quad (3)$$

Trong đó::

$$\sum_{i=1}^{19} X_{ji}^2 = 12,329; \quad \sum_{i=1}^{19} (X_j X_i)^2 = 8;$$

$$\sum_{i=1}^{19} (X'_{ji})^2 = 9,369$$

Trong nghiên cứu này, 5 thí nghiệm tại tâm được thực hiện với kết quả sau:

Bảng 3. Kết quả 5 chế độ thí nghiệm ở tâm

TN	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃
9	0	0	0	740	3,98	4,977
10	0	0	0	715	3,76	4,242
11	0	0	0	731	3,81	4,289
12	0	0	0	710	3,51	4,635
13	0	0	0	721	3,62	4,79

Phương sai tái hiện tính từ kết quả trên:

$$s_{th}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{n_0} (Y_u^0 - \bar{Y}^0)^2}{n_0 - 1} = \frac{589,2}{5 - 1} = 147,3$$

và sai số tái hiện $s_{th} = \sqrt{s_{th}^2} = \sqrt{147,3} = 12,136$

* Kiểm tra mức ý nghĩa của các hệ số

Giá trị của các hệ số hồi quy b_j , t_{bj} s_{bj} trình bày ở Bảng 4 với mức ý nghĩa $p = 0,05$, bậc tự do $f = n_0 - 1 = 4$, tra bảng ta được $f_{0,05} = 2,78$ [10]. Tiến hành so sánh t_{bj} với t_α , nếu: $|t_{bj}| > t_\alpha$ lấy $\beta_j = b_j$, lấy hệ số hồi quy có ý nghĩa từ bảng thống kê.

Bảng 4. Kết quả tính toán các hệ số b_j , s_{bj} , t_{bj} cho hàm Y_1

TT	b_j	s_{bj}	t_{bj}
1	$b'_0 = 733,053$	$s_{b'_0} = 2,784$	$t_{b'_0} = 263,276$
2	$b_1 = -36,210$	$s_{b1} = 3,457$	$t_{b1} = 10,476$
3	$b_2 = 27,687$	$s_{b2} = 3,457$	$t_{b2} = 8,010$
4	$b_3 = -43,305$	$s_{b3} = 3,457$	$t_{b3} = 12,528$
6	$b_{12} = 5,000$	$s_{b12} = 4,291$	$t_{b12} = 1,165$
7	$b_{23} = -3,250$	$s_{b23} = 4,291$	$t_{b23} = 0,757$
9	$b_{13} = -12,000$	$s_{b13} = 4,291$	$t_{b13} = 2,797$
10	$b_{11} = -0,242$	$s_{b11} = 3,965$	$t_{b11} = 0,061$
11	$b_{22} = 1,606$	$s_{b22} = 3,965$	$t_{b22} = 0,405$
12	$b_{33} = 13,850$	$s_{b33} = 3,965$	$t_{b33} = 3,493$

Từ kết quả trên cho thấy, hệ số hồi quy có ý nghĩa gồm b'_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_{13} , b_{33} và giá trị b_0 , s_{b0} và t_0 được tính từ các phương trình trong [10], có được các giá trị $b_0 = 724,066$, $s_{b0} = 7,793$ và $t_0 = 92,91$.

Vậy, mô hình hồi quy thực nghiệm cho Y_1 được thiết lập:

$$Y_1 = 724,066 - 36,210X_1 + 27,687X_2 - 43,305X_3 - 12X_1X_3 + 13,850X_3^2 \quad (4)$$

* Kiểm định sự phù hợp của mô hình

Phương sai dư: với $N = 19$, $k = 6$ và kết quả tính toán $(Y_i - \hat{Y})^2$

Phương sai dư của mô hình tính được:

$$s_{du}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{19} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N - L} = \frac{1277,07}{19 - 6} = 98,236$$

Xét tỷ số:

$$F = \frac{s_{du}^2}{s_{th}^2} = \frac{98,236}{147,3} = 0,6667$$

Tra bảng Fisher với mức ý nghĩa $p = 0,05$; $f_1 = 19 - 6 = 13$ và $f_2 = 5 - 1 = 4$, ta có $F_{0,05}(13, 4) = 5,89$ [10].

So sánh $F < F_{0,05}(f_1, f_2)$ cho thấy mô hình phù hợp.

3.4. Thiết lập mô hình toán cho năng lượng tiêu thụ

Phương sai tái hiện: $s_{th}^2 = \frac{0,01301}{5 - 1} = 0,0325$ và

$$s_{th} = \sqrt{0,0325} = 0,1803$$

* Kiểm định tính ý nghĩa của các hệ số

Tương tự như cách tính cho hàm mục tiêu Y_1 , các hệ số của hàm mục tiêu Y_2 được xác định trong Bảng 5. Giá trị của các hệ số hồi quy b_j , t_{bj} s_{bj} tính được trong Bảng 5. So sánh, $t_{bj} > t_p(f) = 2,78$ các hệ số hồi quy có ý nghĩa.

Bảng 5. Kết quả tính toán hệ số b_j , s_{bj} , t_{bj} của hàm Y_2

TT	b_j	s_{bj}	t_{bj}
1	$b'_0 = 4,377$	$s_{b'_0} = 0,041$	$t_{b'_0} = 105,78$
2	$b_1 = 0,407$	$s_{b1} = 0,051$	$t_{b1} = 7,924$
3	$b_2 = -0,190$	$s_{b2} = 0,051$	$t_{b2} = 3,690$
4	$b_3 = 1,195$	$s_{b3} = 0,051$	$t_{b3} = 23,26$
6	$b_{12} = 0,056$	$s_{b12} = 0,064$	$t_{b12} = 0,882$
7	$b_{23} = 0,121$	$s_{b23} = 0,064$	$t_{b23} = 1,901$
9	$b_{13} = 0,219$	$s_{b13} = 0,064$	$t_{b13} = 3,430$
10	$b_{11} = 0,177$	$s_{b11} = 0,059$	$t_{b11} = 3,002$
11	$b_{22} = 0,126$	$s_{b22} = 0,059$	$t_{b22} = 2,140$
12	$b_{33} = 0,660$	$s_{b33} = 0,059$	$t_{b33} = 11,20$

Từ kết quả trên cho thấy, hệ số hồi quy có ý nghĩa gồm b'_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_{13} , b_{11} và b_{33} , và giá trị b_0 , s_{b0} và t_0 được tính theo [10], $b_0 = 3,834$, $s_{b0} = 7,793$ và $t_0 = 92,91$.

Mô hình hồi quy thực nghiệm Y_2 được thiết lập:

$$Y_2 = 3,834 + 0,407X_1 - 0,190X_2 + 1,195X_3 + 0,219X_1X_3 + 0,177X_1^2 + 0,660X_3^2 \quad (5)$$

* Kiểm tra ý nghĩa của hàm hồi quy:

Với phương sai dư ($N = 19$, $L = 6$):

$$s_{du}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{19} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N - L} = \frac{0,694}{19 - 7} = 0,058$$

Giá trị Fisher của mô hình là:

$$F = \frac{s_{re}^2}{s_{th}^2} = \frac{0,058}{0,0325} = 1,778$$

Tra bảng giá trị Fisher [10] với $p = 0,05$; $f_1 = 12$ và $f_2 = 4$, suy ra $F_{0,05}(12, 4) = 5,91 > F$. Kết luận, mô hình phù hợp.

3.5. Thiết lập mô hình toán về sự giảm hàm lượng beta-carotene trong sản phẩm

Tương tự như tính toán đối với hàm Y_1 và Y_2 , hệ số của hàm hồi quy Y_3 được trình bày ở Bảng 6.

Phương sai tái hiện:

$$s_{th}^2 = \frac{0,404}{5 - 1} = 0,101 \text{ và } s_{th} = \sqrt{0,101} = 0,317$$

Bảng 6. Kết quả tính toán hệ số b_j , s_{bj} , t_{bj} cho hàm Y_3

TT	b_j	s_{bj}	t_{bj}
1	$b'_0 = 6,811$	$s_{b'_0} = 0,073$	$t_{b'_0} = 93,481$
2	$b_1 = -1,082$	$s_{b1} = 0,090$	$t_{b1} = 11,962$
3	$b_2 = 1,064$	$s_{b2} = 0,090$	$t_{b2} = 11,766$
4	$b_3 = -2,174$	$s_{b3} = 0,090$	$t_{b3} = 24,041$
6	$b_{12} = -0,716$	$s_{b12} = 0,112$	$t_{b12} = 6,377$
7	$b_{23} = -0,466$	$s_{b23} = 0,112$	$t_{b23} = 4,150$
9	$b_{13} = -0,250$	$s_{b13} = 0,112$	$t_{b13} = 2,222$
10	$b_{11} = 1,161$	$s_{b11} = 0,104$	$t_{b11} = 11,191$
11	$b_{22} = 0,979$	$s_{b22} = 0,104$	$t_{b22} = 9,432$
12	$b_{33} = 1,295$	$s_{b33} = 0,059$	$t_{b33} = 11,200$

* Kiểm định ý nghĩa của các hệ số

Giá trị hồi quy b_j , t_{bj} s_{bj} được thể hiện trong Bảng 6. So sánh $t_{bj} > t_p(f) = 2,78$ [10] cho thấy các hệ số hồi quy có nghĩa.

Từ kết quả trên cho thấy, hệ số hồi quy có ý nghĩa gồm b'_0 , b_1 , b_2 , b_3 , b_{12} , b_{23} , b_{11} , b_{22} và b_{33} , và giá trị b_0 , s_{b0} và t_0 được

tính theo [10] có giá trị $b_0 = 4,582$, $s_{b0} = 0,204$ và $t_0 = 22,472$.

Mô hình hồi quy thực nghiệm Y_3 là:

$$Y_3 = 4,582 - 1,082X_1 + 1,064X_2 - 2,174X_3 - 0,716X_1X_2 - 0,466X_2X_3 + 1,161X_1^2 + 0,979X_2^2 + 1,295X_3^2 \quad (6)$$

* Kiểm định sự phù hợp của mô hình

Phương sai dư ($N = 19$, $L = 9$)

$$s_{du}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{19} (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{N - L} = \frac{3,210}{19 - 9} = 0,321$$

Giá trị Fisher của mô hình: $F = \frac{s_{du}^2}{s_{th}^2} = \frac{0,321}{0,101} = 3,183$

Tra bảng Fisher [3] với $p = 0,05$; $f_1 = 19 - 9 = 10$ và $f_2 = 5 - 1 = 4$ ta có $F_{0,05}(10, 4) = 5,964$. Ta thấy $F < F_{0,05}$.

Kết luận mô hình phù hợp.

* Tối ưu hóa các thông số công nghệ

Mục đích của tối ưu hóa các thông số công nghệ là xác định giá trị các thông số đầu vào để các hàm mục tiêu đạt giá trị thấp nhất. Để tối ưu hóa quá trình sấy màng đỏ hạt gấc bằng phương pháp sấy bơm nhiệt là tìm ra giá trị các yếu tố đầu vào X_1 , X_2 , và X_3 trong khoảng $-1,471 < X_1, X_2, X_3 < 1,471$ để các hàm mục tiêu Y_1 , Y_2 , và Y_3 đạt giá trị nhỏ nhất. Trong nghiên cứu này, phương pháp đáp ứng bề mặt (RSM) được sử dụng để tối ưu hóa cho quá trình sấy. Các thông số đầu vào (X_1 , X_2 , X_3) của quá trình sấy bơm nhiệt màng đỏ hạt gấc có ảnh hưởng đồng thời đến các hàm mục tiêu (Y_1 , Y_2 , Y_3), với miền xác định là $D(X) = \{-1,471 \leq X_1, X_2, X_3 \leq 1,471\}$.

Do đó, bài toán tối ưu hóa 3 mục tiêu xác định chế độ sấy màng đỏ hạt gấc bằng bơm nhiệt được thiết lập có dạng như sau:

$$X = (X_1^{opt}, X_2^{opt}, X_3^{opt}) \in D(X) \quad [10]$$

$$\begin{cases} Y_1 = f_{1min}(X_1^{opt}, X_2^{opt}, X_3^{opt}) = \min f_1(X_1, X_2, X_3) \\ Y_2 = f_{2min}(X_1^{opt}, X_2^{opt}, X_3^{opt}) = \min f_2(X_1, X_2, X_3) \\ Y_3 = f_{3min}(X_1^{opt}, X_2^{opt}, X_3^{opt}) = \min f_3(X_1, X_2, X_3) \\ \forall X = (X_1, X_2, X_3) \in \{-1,471 \leq X_1, X_2, X_3 \leq 1,471\} \end{cases} \quad (7)$$

Sử dụng phần mềm Statgraphics với phương pháp đáp ứng bề mặt để tính toán tối ưu hóa cho kết quả các biến dạng mã: $X_1^{opt} = 0,432$; $X_2^{opt} = -0,993$; $X_3^{opt} = 0,097$.

Tương ứng giá trị hàm mục tiêu là: $Y_1^{min} = 676,34$ phút;

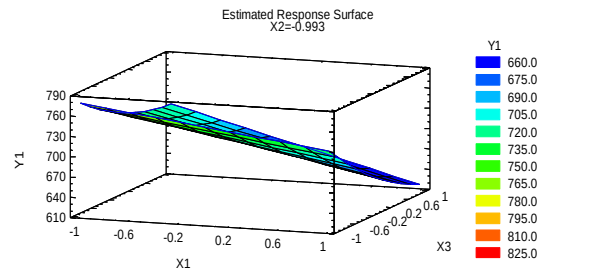
$$Y_2^{min} = 4,363 \text{ kWh/kg}; \quad Y_3^{min} = 4,394\%.$$

Chuyển đổi qua biến thực:

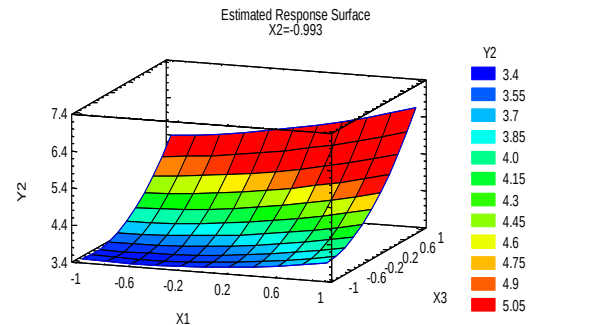
$$t_g^{opt} = 44,16^\circ \text{C}; \quad t_f^{opt} = 14,03^\circ \text{C}; \quad V_g^{opt} = 2,6 \text{ m/s}$$



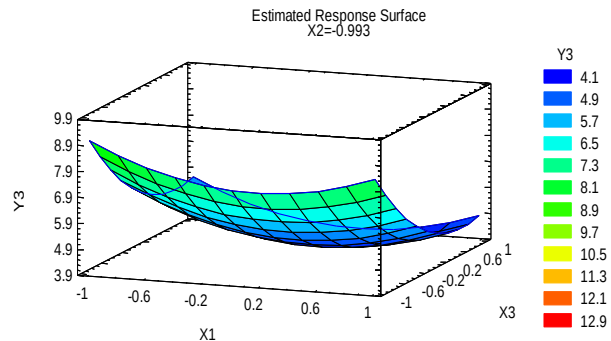
Hình 4. Màng đỏ hạt gấc sau khi sấy bơm nhiệt



Hình 5. Thời gian sấy theo $X_2 = -0,993$



Hình 6. Năng lượng tiêu thụ theo $X_2 = -0,993$



Hình 7. Hàm lượng beta-carotene theo $X_3 = -0,993$

4. Kết luận

Kết quả tối ưu hóa đa mục tiêu quá trình sấy màng đỏ hạt gấc bằng phương pháp sấy bơm nhiệt từ thực nghiệm cho thấy nhiệt độ tác nhân sấy trong buồng sấy là $44,16^\circ \text{C}$, nhiệt độ ngưng tụ hơi ẩm tại dàn lạnh là 14°C , vận tốc tác nhân sấy là $2,6 \text{ m/s}$, chế độ này phù hợp với báo cáo của Vasile (2016). Thời gian sấy là $11,27$ giờ và mức tiêu thụ năng lượng riêng N_e là $4,363 \text{ kWh/kg}$ ẩm so với kết quả nghiên cứu trước đó là $16,257$ giờ và $66,77 \text{ kWh/kg}$ ẩm [7]. Trong khi độ giảm hàm lượng beta-carotene của sản phẩm sau khi sấy so với gấc tươi vẫn thấp hơn thì hàm lượng beta-carotene bị mất không đáng kể, thu được sản phẩm đáp ứng được yêu cầu về chất lượng dinh dưỡng và màu sắc, năng lượng tiêu thụ giảm một cách đáng kể. Do vậy có thể áp dụng chế độ công nghệ vào trong sản xuất công nghiệp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] T. Kha, T. C., Nguyen, M. H., Roach, P. D., Parks, S. E., & Stathopoulos, C., "Gac fruit: Nutrient and phytochemical composition, and options for processing", *Food Reviews International*, 29(1), 2013, pp. 92-106.
- [2] Vuong, L. T., Franke, A. A., Custer, L. J., & Murphy, S. P., "Momordica cochinchinensis Spreng. (gac) fruit carotenoids reevaluated", *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6),

- 2006, pp. 664-668.
- [3] Nguyen Tan Dung, "Application of Multi-Objective Optimization by The Restricted Area Method to Determining the Cold Drying Mode of Gac", *Canadian Journal on Chemical Engineering & Technology*, 2(7), 2011, pp. 136-143.
- [4] Tuyen, C. K., Nguyen, M. H., & Roach, P. D., "Effects of spray drying conditions on the physicochemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder", *Journal of Food Engineering*, 98(3), 2010, pp. 385-392.
- [5] Kubola, J., Meeso, N., & Siriamornpun, S., "Lycopene and beta carotene concentration in aril oil of gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng) as influenced by aril-drying process and solvents extraction", *Food Research International*, 50(2), 2013, pp. 664-669.
- [6] Hawlader, M. N. A., Perera, C. O., & Tian, M., "Properties of modified atmosphere heat pump dried foods", *Journal of Food Engineering*, 74(3), 2006, pp. 392-401.
- [7] Auisakchaiyoung, T., & Rojanakorn, T., "Effect of foam-mat drying conditions on quality of dried Gac fruit", *International Food Research Journal*, 22(5), 2015.
- [8] Cao-Hoang, L., Phan-Thi, H., Osorio-Puentes, F. J., & Waché, Y., "Stability of carotenoid extracts of gac (*Momordica cochinchinensis*) towards cooxidation - Protective effect of lycopene on β -carotene", *Food Research International*, 44(7), 2011, pp. 2252-2257.
- [9] Box, G. E., Hunter, J. S., & Hunter, W. G., *Statistics for experimenters: Design, innovation, and discovery (Vol. 2)*, New York: Wiley-Interscience.
- [10] Canh N, *Planning experiments (Book)*, Published by VNU HCMC, 3th ed., Vietnam, 2004, pp. 120.
- [11] Vasile Minea, *Advances in Heat Pump-Assisted Drying Technology*, CRC Press, 2016, pp. 286.

(BBT nhận bài: 06/9/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 26/9/2017)