

ỨNG DỤNG QUY HOẠCH THỰC NGHIỆM TRONG NGHIÊN CỨU HỆ THỐNG THIẾT BỊ CÔ ĐẶC MẬT ONG KIỂU CHÂN KHÔNG DẠNG ỐNG CÓ VÀNH DẪN CHẤT LỎNG PHỐI HỢP PHÁ KẾT TINH BẰNG SÓNG SIÊU ÂM CD-1

Đặng Thanh Sơn^{1*}, Trần Như Khuyên², Nguyễn Thanh Hải²

TÓM TẮT

Thiết bị cô đặc mật ong CD-1 đang được nghiên cứu ứng dụng để cô đặc mật ong và một số dung dịch có tính chất lý hóa tương tự. Loại thiết bị cô đặc này có ưu điểm là sử dụng vành dẫn chất lỏng và bộ phận phát sóng siêu âm nhằm tăng khả năng bốc hơi nước và phá kết tinh đường trong mật ong, góp phần nâng cao chất lượng sản phẩm mật ong trong quá trình cô đặc. Áp dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đa yếu tố để nghiên cứu mức độ ảnh hưởng đồng thời của nhiệt độ cô đặc, chiều cao vành dẫn chất lỏng và thời gian phát sóng siêu âm đến điểm tổng hợp chất lượng sản phẩm cô đặc, thời gian cô đặc, thời gian kết tinh trở lại khi tồn trữ và chi phí điện năng riêng. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm đã xác định được giá trị tối ưu của các yếu tố vào: nhiệt độ cô đặc $T_{cd} = 44,8^{\circ}\text{C}$, chiều cao vành dẫn chất lỏng $H_{vd} = 653 \text{ mm}$, thời gian phát sóng siêu âm $\tau_s = 24,4$ phút và giá trị tối ưu của các thông số ra: điểm tổng hợp chất lượng sản phẩm cô đặc $Q_{cd} = 18,96$ điểm, thời gian kết tinh $\tau_{kt} = 216,5$ ngày, thời gian cô đặc $\tau_{cd} = 57,4$ phút, chi phí điện năng riêng $Nr = 1,37 \text{ kWh/kgH}_2\text{O}$. Kết quả nghiên cứu trên là cơ sở quan trọng để hoàn thiện thiết kế và chế tạo các cơ thiết bị cô đặc có năng suất khác nhau phù hợp với quy mô của từng cơ sở sản xuất.

Từ khóa: Hệ thống thiết bị cô đặc mật ong, thời gian cô đặc, thiết bị phát sóng siêu âm, thời gian kết tinh trở lại, chi phí điện năng riêng.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hệ thống thiết bị cô đặc mật ong CD-1 đang được nghiên cứu ứng dụng để cô đặc mật ong và một số dung dịch có tính chất lý hóa tương tự. Loại thiết bị cô đặc này có ưu điểm là sử dụng vành dẫn chất lỏng và bộ phận phát sóng siêu âm nhằm tăng khả năng bốc hơi nước và phá kết tinh đường trong mật ong, góp phần nâng cao chất lượng sản phẩm mật ong trong quá trình cô đặc.

Để nâng cao chất lượng sản phẩm, giảm thời gian cô đặc và chi phí điện năng riêng cho quá trình cô đặc cần phải tìm ra các thông số tối ưu làm cơ sở cho việc hoàn thiện thiết kế để chế tạo các cơ thiết bị cô đặc có công suất khác nhau nhằm triển khai ứng dụng rộng rãi cho các cơ sở sản xuất.

Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu xác định các thông số tối ưu về cấu tạo và chế độ làm việc của hệ thống thiết bị cô đặc mật ong kiểu chân không dạng ống có vành dẫn chất lỏng phối hợp phá kết tinh bằng sóng siêu âm CD-1.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu và thiết bị nghiên cứu

Vật liệu nghiên cứu là mật ong được lấy từ Công ty Cổ phần ong mật Việt Ý, thị xã Chí Linh, tỉnh Hải Dương. Đây là loại mật ong hoa vải, thu hoạch vào tháng 2-3/2019, có độ ẩm 26,2%, khối lượng riêng $1367,8 \text{ kg/m}^3$, sau thời gian bảo quản 2 tháng đã bắt đầu kết tinh. Khối lượng mỗi mẻ cô đặc 16 kg. Mật ong được cô đặc đến độ ẩm an toàn để bảo quản phục vụ cho yêu cầu xuất khẩu là 18%. Kết thúc mỗi thí nghiệm lấy mẫu phân tích hàm lượng HMF, hàm lượng đường, hàm lượng nấm mốc, nấm men, vi sinh vật và thời gian kết tinh trở lại của mật ong sau khi cô đặc trong thời gian tồn trữ [1].

Thiết bị nghiên cứu là hệ thống thiết bị cô đặc mật ong kiểu chân không dạng ống có vành dẫn chất lỏng phối hợp phá kết tinh bằng sóng siêu âm, năng suất 16 kg/mẻ (ký hiệu CD-1), được thiết kế và chế tạo tại Bộ môn Thiết bị bảo quản và Chế biến nông sản, Khoa Cơ điện, Học viện Nông nghiệp Việt Nam [1]. Cấu tạo hệ thống thiết bị gồm 5 bộ phận chính (Hình 1).

¹ Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long

² Học viện Nông nghiệp Việt Nam

*Email: sondt@vnlute.edu.vn



Hình 1. Hệ thống thiết bị cô đặc CD-1

Bộ phận cô đặc dạng ống hình trụ, đặt thẳng đứng. Phần dưới có dạng hình trụ, đáy hình chóp cắt là nơi cấp và tháo liệu, đầu trên có lắp các ống đun sôi, ống tuần hoàn dịch mật được ngăn cách bởi các mặt bích, bao quanh các ống này là nước nóng được gia nhiệt bằng máy so điện trở. Phần giữa là buồng sôi cũng có dạng hình trụ (đường kính nhỏ hơn) là nơi phát triển kích thước hạt bột nhờ nhận thêm hơi nước trong dịch mật. Phần trên cùng là buồng phá bọt (có đường kính bằng đường kính buồng sôi), bên trong buồng này có lắp vành dẫn chất lỏng, đó là tổ hợp của các ống hình trụ đồng tâm có đường kính nhỏ dần nhằm tạo ra các khe hẹp hình vành khăn, phá vỡ hạt bọt để giải phóng hơi nước và khí trong các hạt bọt đồng thời cũng tạo ra nhiều lớp màng mỏng để tăng diện tích bề mặt bốc hơi và tăng tốc độ chuyển động của dịch mật trong các khe hẹp theo hướng từ dưới lên trên nhằm tăng động lực của quá trình thoát hơi nước trong dịch mật.

Bộ phận phân ly hơi thứ dạng vít xoắn được nối với phần trên của bộ phận cô đặc có nhiệm vụ phân riêng hơi thứ và để thu hồi tiếp phần dịch mật bị bay theo hơi thứ tránh gây lãng phí.

Bộ phận ngưng tụ hơi thứ dạng hộp, một đầu được nối với bộ phận phân ly hơi thứ, một đầu được nối với bơm chân không. Bên trong bộ phận phân ly hơi thứ có lắp 2 dàn lạnh song song có nhiệm vụ ngưng tụ hơi thứ thành dạng lỏng nhằm tạo ra không khí khô trước khi vào bơm chân không để vừa giảm

tải cho bơm chân không vừa tránh ngưng tụ nước trong bơm.

Bộ phận phát sóng siêu âm gồm 9 đầu phát sóng có tổng công suất 900 W, tần số 28 kHz được lắp ở phần đáy côn của bộ phận cô đặc, có nhiệm vụ tạo ra sóng siêu âm để tiêu diệt các vi sinh vật gây hại đồng thời phá kết tinh trong quá trình cô đặc và ngăn cản hiện tượng kết tinh trở lại của mật ong trong quá trình tồn trữ.

Bộ phận điều khiển có nhiệm vụ điều khiển các thông số công nghệ trong quá trình cô đặc, bao gồm: điều khiển nhiệt độ nước ở vùng đốt nóng được thực hiện nhờ rơ le nhiệt, điều khiển nhiệt độ sôi của dịch mật được thực hiện nhờ điều chỉnh áp suất chân không thông qua việc thay đổi số vòng quay của bơm chân không bằng biến tần, điều khiển nhiệt độ ngưng tụ hơi thứ ở bộ phận ngưng tụ được thực hiện nhờ điều chỉnh nhiệt độ dàn lạnh.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Áp dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm đa yếu tố để nghiên cứu ảnh hưởng đồng thời của 3 yếu tố vào: nhiệt độ cô đặc T_{cd} , x_1 (°C), chiều cao vành dẫn chất lỏng H_{vd} , x_2 (mm) thời gian phát sóng siêu âm τ_s , x_3 (phút), đến các thông số ra: điểm tổng hợp chất lượng sản phẩm cô đặc Q_{cd} , Y_1 (điểm), thời gian kết tinh trở lại τ_{kt} , Y_2 (ngày), thời gian cô đặc τ_{cd} , Y_3 (phút) và chi phí điện năng riêng N_r , Y_4 (kWh/kgH₂O).

Các thông số nghiên cứu của thiết bị cô đặc được xác định theo Đặng Thanh Sơn và cs, 2020:

Nhiệt độ cô đặc được xác định bằng thiết bị đo nhiệt độ điện tử hiện số mã hiệu CH402 (Trung Quốc), khoảng đo 0°C - 1.300°C, sai số $\pm 0,5^\circ\text{C}$.

Độ ẩm của mật ong được xác định bằng máy đo Brix kế hiện số (hãng ATAGO, Nhật Bản), khoảng đo 0%-93%, sai số $\pm 0,1\%$.

Thời gian kết tinh trở lại τ_{kt} (ngày) được xác định bằng thời gian tồn trữ mật ong từ sau khi cô đặc đến khi bắt đầu xuất hiện tinh thể đường.

Điểm tổng hợp chất lượng sản phẩm cô đặc Q_{cd} được xác định theo phương pháp cho điểm, Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 12401-2018 [9]. Hội đồng đánh giá gồm 7 thành viên, bảng điểm cảm quan được xây dựng 6 bậc theo thang điểm từ 0-5 điểm. Điểm thu nhận là trung bình cộng của 7 thành viên sau khi nhân với hệ số quan trọng của từng chỉ tiêu.

Thời gian cô đặc τ_{cd} (phút) là khoảng thời gian thực hiện một mẻ cô đặc được tính từ lúc bắt đầu cô đặc đến khi sản phẩm đạt được độ ẩm theo yêu cầu công nghệ bảo quản 18% và được xác định bằng đồng hồ đo thời gian thông dụng.

Chi phí điện năng riêng N_r được xác định bằng tỷ số giữa điện năng tiêu thụ với lượng nước cần bốc hơi của mẻ cô đặc và được tính theo công thức:

$$N_r = \frac{N_{ct}}{W}, \text{ kWh/kgH}_2\text{O}$$

Trong đó: N_{ct} là điện năng tiêu thụ trên công tơ cho 01 mẻ cô đặc, kWh; W là lượng nước cần bốc hơi trong 01 mẻ cô đặc, kgH₂O.

Riêng hàm lượng HMF (Hydroxymethylfurfural) là sản phẩm phân hủy của đường fructose [4] chỉ tăng và tăng rất nhanh khi nhiệt độ cô đặc trên 50°C [5] làm ảnh hưởng xấu đến sức khỏe của người sử dụng. Kết quả này cũng được kiểm chứng qua kết quả nghiên cứu thực nghiệm đơn yếu tố của Đặng Thanh Sơn và cs. (2020). Vì vậy, trong nghiên cứu này chỉ nghiên cứu nhiệt độ cô đặc từ ≤49°C nên hàm lượng HMF không phát sinh.

Ma trận thí nghiệm được xây dựng theo phương án qui hoạch thực nghiệm bậc 2 của Box-Wilson. Số lượng thí nghiệm theo phương án này được tính theo công thức:

$$N = 2^m + N_\alpha + N_0 \quad (1)$$

Trong đó: 2^m - số thí nghiệm ở mức trên và dưới; m - số yếu tố ảnh hưởng; N_α - số thí nghiệm ở mức phụ gọi là các điểm “sao”, $N_\alpha = 2m$; N_0 - số thí nghiệm ở mức trung tâm.

Với số yếu tố vào $m = 3$ thì tổng số thí nghiệm là 20 thí nghiệm, bao gồm: 8 thí nghiệm ở mức trên và dưới, 6 thí nghiệm ở mức “sao” và 6 thí nghiệm ở mức cơ sở.

Giá trị thực của các yếu tố được mã hoá theo công thức:

$$x_i = \frac{X_i - X_{io}}{\varepsilon_i} \quad (2)$$

$$\varepsilon_i = \frac{X_{it} - X_{id}}{2} \quad (3)$$

Trong đó: x_i , X_i - giá trị mã hoá và giá trị thực của yếu tố thứ i ($i = 1 - m$); X_{it} , X_{io} , X_{id} - giá trị thực của yếu tố thứ i ở mức trên, mức cơ sở và mức dưới; ε_i - khoảng biến thiên của yếu tố thứ i .

Các giá trị X_{it} , X_{io} , X_{id} có giá trị mã hoá là: +1, 0, -1.

Mức biến thiên, khoảng biến thiên và giá trị mã hoá của các yếu tố được lựa chọn theo kết quả nghiên cứu thực nghiệm đơn yếu tố của Đặng Thanh Sơn và cs. (2020) (Bảng 1).

Bảng 1. Mức biến thiên và giá trị mã hoá của các yếu tố X_i

Các mức mã hoá	Giá trị mã hoá	Các yếu tố ảnh hưởng		
		X_1 (°C)	X_2 (mm)	X_3 (phút)
Mức sao dưới	-1,68	39	410	11
Mức dưới	-1,00	41	480	15
Mức cơ sở	0,00	44	580	20
Mức trên	1,00	47	680	25
Mức sao trên	1,68	49	750	29
Khoảng biến thiên ε_i	1,00	3	100	5

Mô hình toán các hàm Y_j được biểu diễn bằng phương trình hồi quy: [3, 4, 5].

$$Y_j = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i x_i + \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=i+1}^m b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^m b_{ii} x_i^2 \quad (4)$$

Các hệ số hồi quy của phương trình (4) được tính theo các công thức:

$$b_0 = a_1 \sum_{u=1}^N Y_u - a_5 \sum_{i=1}^m \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 Y_u \quad (5)$$

$$b_i = a_2 \sum_{u=1}^N x_{iu} Y_u \quad (6)$$

$$b_{ij} = a_3 \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} Y_u \quad (7)$$

$$b_{ii} = a_4 \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 Y_u - a_5 \sum_{u=1}^N Y_u + a_6 \sum_{i=1}^m \sum_{u=1}^N x_{iu}^2 Y_u \quad (8)$$

Với số yếu tố vào $m = 3$ và số thí nghiệm $N = 20$, các hệ số a_j được tính như sau: $a_1 = 0,16627$; $a_2 =$

0,07322; $a_3 = 0,125$; $a_4 = 0,0625$; $a_5 = 0,05676$; $a_6 = 0,00678$.

Sau khi xác định được các hệ số hồi quy, tiến hành kiểm tra mức ý nghĩa của các hệ số hồi quy theo tiêu chuẩn Student. Đối chiếu theo tiêu chuẩn Student với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$, bậc tự do $f = N_0 - 1$ tra bảng tìm t^b . Các hệ số hồi quy của phương trình có nghĩa khi các hệ số $t_{b0} > t^b$, $t_{bi} > t^b$, $t_{bij} > t^b$, $t_{bii} > t^b$ ngược lại thì không có nghĩa và tiến hành loại bỏ hệ số đó.

Kiểm tra tính thích ứng của mô hình toán theo tiêu chuẩn Fisher. Đối chiếu với tiêu chuẩn Fisher, tra bảng tìm F^b với $\alpha = 0,05$ và bậc tự do $f_1 = N - n - (N_0 - 1)$; $f_2 = N_0 - 1$. Nếu $F < F^b$ thì mô hình bậc 2 thích ứng. Nếu $F > F^b$ thì mô hình bậc 2 không thích ứng, phải chuyển sang phương án bậc cao hơn.

Do các hàm Y_j có cực trị ứng với các giá trị của các yếu tố vào x_i khác nhau, vì vậy cần phải tìm giá trị tối ưu chung của các yếu tố vào x_i cho tất cả các thông số ra Y_j . Áp dụng phương pháp giải bài toán tối ưu tổng quát theo phương pháp lập “hàm mong muốn” của E. C Harrington, gồm các bước sau: [2], [3], [6].

- Lập “hàm mong muốn” thành phần d_j theo công thức:

$$d_j = \exp[-\exp(-Y_j')] \quad (9)$$

$$Y_j' = \frac{Y_j - Y_{j\min(\max)}}{Y_{jo} - Y_{j\min(\max)}} k \quad (10)$$

Trong đó: Y_j - hàm thành phần, ($j=1-p$; p là số lượng hàm thành phần); $Y_{j\min(\max)}$ - giá trị thí nghiệm xấu nhất của hàm các Y_j trong ma trận thí nghiệm. Đối với hàm có mục tiêu cực đại, giá trị thí nghiệm xấu nhất là giá trị nhỏ nhất $Y_{j\min}$, đối với hàm có mục tiêu cực tiểu, giá trị thí nghiệm xấu nhất là giá trị lớn nhất $Y_{j\max}$.

Trong đó: Y_{jo} - giá trị tốt nhất hay “mong muốn nhất” của hàm Y_j ; k - hệ số ưu tiên cho những hàm (hay những chỉ tiêu quan trọng), $k = 3-5$.

- Lập hàm tối ưu tổng quát D theo công thức:

$$D = \sqrt[p]{\prod_{j=1}^p d_j} \quad (11)$$

- Tính toán giá trị hàm tối ưu tổng quát D cho từng thí nghiệm của ma trận. Việc xác định mô hình toán, kiểm tra mức ý nghĩa của các hệ số hồi quy, kiểm tra tính thích ứng và xác định giá trị tối ưu của hàm tối ưu tổng quát D tương tự như đối với các hàm Y_j .

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Tiến hành thí nghiệm cô đặc mật ong theo phương án quy hoạch thực nghiệm bậc 2 Box-Willson với 20 thí nghiệm. Ma trận và kết quả thí nghiệm được thể hiện ở bảng 2.

Bảng 2. Ma trận và kết quả thí nghiệm cô đặc mật ong

TT	Các yếu tố ảnh hưởng			Các hàm thành phần Y_j			
	X_1	X_2	X_3	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	41	480	15	17,94	134	93	2,10
2	47	480	15	15,09	167	78	1,80
3	41	680	15	18,29	158	85	1,94
4	47	680	15	15,89	189	70	1,58
5	41	480	25	17,14	168	77	1,78
6	47	480	25	16,80	199	62	1,45
7	41	680	25	19,43	191	68	1,59
8	47	680	25	18,29	223	54	1,29
9	39	580	20	19,09	153	84	2,16
10	49	580	20	15,20	205	61	1,44
11	44	410	20	16,57	165	82	1,79
12	44	750	20	18,63	203	70	1,55
13	44	580	11	17,26	149	92	2,04
14	44	580	29	18,51	208	65	1,56
15	44	580	20	18,74	196	63	1,53
16	44	580	20	18,74	198	62	1,55
17	44	580	20	18,06	196	65	1,50
18	44	580	20	19,31	199	64	1,48
19	44	580	20	18,63	198	61	1,56
20	44	580	20	19,20	197	64	1,48

Dùng phần mềm lập trình theo ngôn ngữ Turbo Pascal đã tính toán xác định được các hệ số hồi quy dạng mã và hệ số tiêu chuẩn Student ở bảng 3.

Bảng 3. Các hệ số hồi quy dạng mã hóa của hàm Y_j

Hàm Y_1		Hàm Y_2	
Hệ số hồi quy	Hệ số Student	Hệ số hồi quy	Hệ số Student
$b_0 = 18,784^c$	$t_{b0} = 102,918^c$	$b_0 = 197,361^c$	$t_{b0} = 399,601^c$
$b_1 = -0,972^c$	$t_{b1} = 8,024^c$	$b_1 = 15,710^c$	$t_{b1} = 47,918^c$
$b_2 = 0,615^c$	$t_{b2} = 5,076^c$	$b_2 = 11,494^c$	$t_{b2} = 35,060^c$

$b_3 = 0,48^c$	$t_{b3} = 3,962^c$	$b_3 = 17,012^c$	$t_{b3} = 51,888^c$
$b_{12} = -0,044^k$	$t_{b12} = 0,277^k$	$b_{12} = -0,125^k$	$t_{b12} = 0,292^k$
$b_{13} = 0,471^c$	$t_{b13} = 2,978^c$	$b_{13} = -0,125^k$	$t_{b13} = 0,292^k$
$b_{23} = 0,329^k$	$t_{b23} = 2,078^k$	$b_{23} = -0,125^k$	$t_{b23} = 0,292^k$
$b_{11} = -0,602^c$	$t_{b11} = 5,098^c$	$b_{11} = -6,668^c$	$t_{b11} = 20,870^c$
$b_{22} = -0,441^c$	$t_{b22} = 3,732^c$	$b_{22} = -4,897^c$	$t_{b22} = 15,325^c$
$b_{33} = -0,34^c$	$t_{b33} = 2,877^c$	$b_{33} = -6,846^c$	$t_{b33} = 21,424^c$

Hàm Y_3		Hàm Y_4	
Hệ số hồi quy	Hệ số Student	Hệ số hồi quy	Hệ số Student
$b_0 = 63,269^c$	$t_{b0} = 105,398^c$	$b_0 = 1,519^c$	$t_{b0} = 106,372^c$
$b_1 = -7,156^c$	$t_{b1} = 17,958^c$	$b_1 = -0,183^c$	$t_{b1} = 19,320^c$
$b_2 = -3,896^c$	$t_{b2} = 9,777^c$	$b_2 = -0,083^c$	$t_{b2} = 8,759^c$
$b_3 = -8,088^c$	$t_{b3} = 20,297^c$	$b_3 = -0,155^c$	$t_{b3} = 16,359^c$
$b_{12} = 0,125^k$	$t_{b12} = 0,240^k$	$b_{12} = -0,004^k$	$t_{b12} = 0,303^k$
$b_{13} = 0,125^k$	$t_{b13} = 0,240^k$	$b_{13} = 0,004^k$	$t_{b13} = 0,303^k$
$b_{23} = -0,125^k$	$t_{b23} = 0,240^k$	$b_{23} = 0,004^k$	$t_{b23} = 0,303^k$
$b_{11} = 2,655^c$	$t_{b11} = 6,837^c$	$b_{11} = 0,083^c$	$t_{b11} = 9,019^c$
$b_{22} = 3,895^c$	$t_{b22} = 10,030^c$	$b_{22} = 0,037^c$	$t_{b22} = 4,034^c$
$b_{33} = 4,781^c$	$t_{b33} = 12,310^c$	$b_{33} = 0,083^c$	$t_{b33} = 9,019^c$

Chú thích: c- hệ số có nghĩa; k- hệ số không có nghĩa

Tra bảng tiêu chuẩn Student với mức ý nghĩa $\alpha = 0,05$, bậc tự do $f = N_0 - 1 = 5$ tìm được $t^b = 2,57$. Các hệ số hồi quy của phương trình có nghĩa khi các hệ số $t_{b0} > t^b$, $t_{bi} > t^b$, $t_{bij} > t^b$, $t_{bii} > t^b$ ngược lại là không có nghĩa và tiến hành loại bỏ hệ số đó.

Mô hình toán của các hàm thành phần Y_j (sau khi đã loại bỏ những hệ số hồi quy không có nghĩa) dưới dạng mã hóa như sau:

$$Y_1 = 18,784 - 0,972x_1 + 0,615x_2 + 0,48x_3 + 0,471x_1x_3 - 0,602x_1^2 - 0,441x_2^2 - 0,34x_3^2 \quad (12)$$

$$Y_2 = 197,361 + 15,71x_1 + 11,494x_2 + 17,012x_3 - 6,668x_1^2 - 4,897x_2^2 - 6,846x_3^2 \quad (13)$$

$$Y_3 = 63,269 - 7,156x_1 - 3,896x_2 - 8,088x_3 + 2,655x_1^2 + 3,895x_2^2 + 4,781x_3^2 \quad (14)$$

$$Y_4 = 1,519 - 0,183x_1 - 0,083x_2 - 0,155x_3 + 0,083x_1^2 + 0,037x_2^2 + 0,083x_3^2 \quad (15)$$

Chuyển đổi về dạng thực theo công thức (2) nghĩa) xác định được mô hình toán các hàm thành phần Y_j ở dạng thực như sau:

$$Y_1 = -94,5341 + 4,9328T_{cd} + 0,0572H_{vd} - 0,7427\tau_s + 0,0314T_{cd}\tau_s - 0,0668T_{cd}^2 - 0,0001H_{vd}^2 - 0,0136\tau_s^2 \quad (16)$$

$$Y_2 = -1876,47227 + 70,43875T_{cd} + 0,68297H_{vd} + 14,3552\tau_s - 0,7409T_{cd}^2 - 0,0005H_{vd}^2 - 0,2738\tau_s^2 \quad (17)$$

$$Y_3 = 1001,82716 - 28,3457T_{cd} - 0,49079H_{vd} - 9,267047\tau_s + 0,295T_{cd}^2 + 0,0004H_{vd}^2 + 0,191235\tau_s^2 \quad (18)$$

$$Y_4 = 25,8224 - 0,8759T_{cd} - 0,0052H_{vd} - 0,1644\tau_s + 0,0093T_{cd}^2 + 0,00000373H_{vd}^2 + 0,00333\tau_s^2 \quad (19)$$

Bảng 4. Kiểm tra tính thích ứng của mô hình toán

Giá trị F theo tiêu chuẩn Fisher	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
Tính toán F	0,50	0,76	2,77	0,12
Tra bảng F^b	4,00	3,70	3,70	3,70
Kết luận	Mô hình thích ứng	Mô hình thích ứng	Mô hình thích ứng	Mô hình thích ứng

Kết quả tính toán kiểm tra tính thích ứng của mô hình toán theo tiêu chuẩn Fisher được thể hiện ở bảng 4.

Giá trị tính toán F của các hàm Y_1 , Y_2 , Y_3 và Y_4 đều nhỏ hơn giá trị tra bảng F^b . Vì vậy, các mô hình toán trên đều đảm bảo tính thích ứng, nghĩa là mô

hình toán được mô phỏng đều tương thích với giá trị thí nghiệm.

- Xác định các giá trị tối ưu các hàm Y_j bằng cách lấy đạo hàm riêng đối với mỗi yếu tố vào và cho đạo hàm đó bằng 0, được một hệ phương trình tuyến

tính. Giải hệ phương trình này được giá trị tối ưu của các yếu tố vào x_i . Thay các giá trị này vào các hàm Y_j được giá trị tối ưu của thông số ra. Giải mã theo công thức 2, được giá trị thực của mỗi yếu tố x_i và các hàm thành phần Y_j , bảng 5.

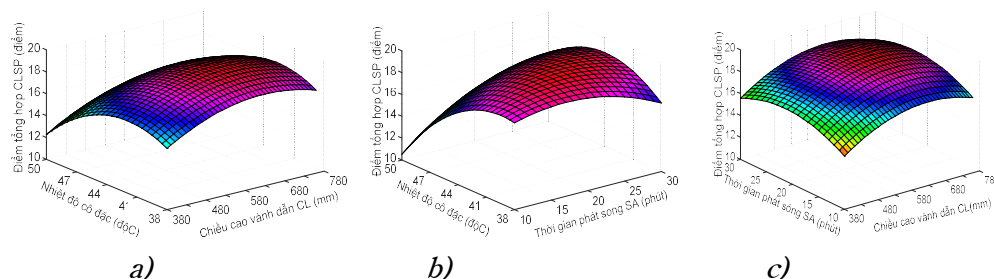
Bảng 5. Giá trị tối ưu của các yếu tố vào x_i và các hàm thành phần Y_j .

	Y_1 (điểm)	Y_2 (ngày)	Y_3 (phút)	Y_4 (kWh/kg H_2O)
Các yếu tố vào				
- Giá trị mã hoá:				
x_1	-0,7289	1,1779	1,3476	1,0991
x_2	0,6977	1,1737	0,5001	1,1139
x_3	0,2009	1,2425	0,8459	0,9306
- Giá trị thực:				
T_{cd} ($^{\circ}C$)	41,81	47,53	48,04	47,30
H_{vd} (mm)	649,77	697,37	630,01	691,30
τ_{cd} (ph)	21,01	26,21	24,23	24,65
Các thông số ra	$Q_{cd}=19,4006$	$\tau_{kt}=223,9274$	$\tau_{cd}=54,0530$	$N_r=1,3003$

Dùng phần mềm Matlab biểu diễn ảnh hưởng của các yếu tố đến các hàm mục tiêu thông qua mô

hình 3D cho hàm các hàm Y_j ($j=1-4$) trên các hình từ 2 đến 5.

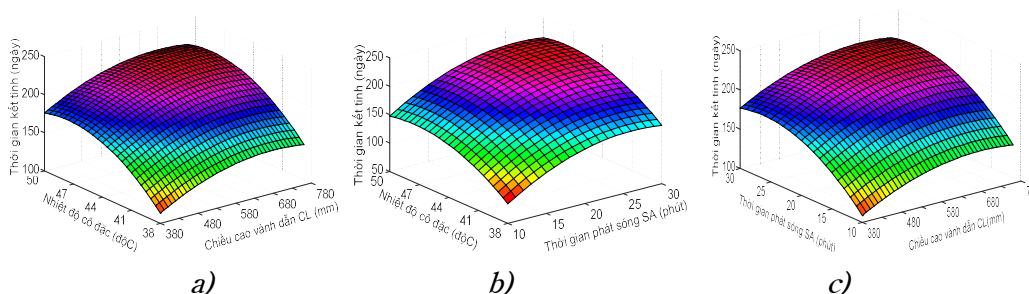
a. Điểm tổng hợp chất lượng sản phẩm cô đặc Y_1 (điểm)



Hình 2. Đồ thị 3D biểu diễn ảnh hưởng của các cặp thông số đối với hàm Y_1

Ghi chú: a) Ảnh hưởng của cặp yếu tố T_{cd} ($^{\circ}C$) và H_{vd} (mm); b) Ảnh hưởng của cặp yếu tố T_{cd} ($^{\circ}C$) và τ_s (phút); c) Ảnh hưởng của cặp yếu tố H_{vd} (mm) và τ_s (phút).

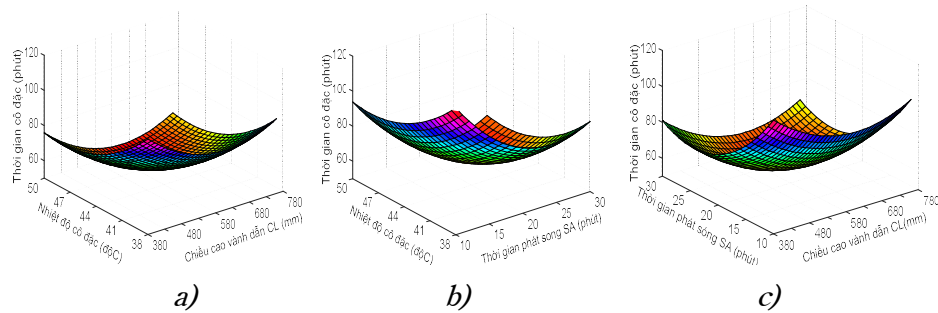
b. Thời gian kết tinh trở lại Y_2 (ngày)



Hình 3. Đồ thị 3D biểu diễn ảnh hưởng của các cặp thông số đối với hàm Y_2

Ghi chú: a) Ảnh hưởng của cặp yếu tố T_{cd} ($^{\circ}C$) và H_{vd} (mm); b) Ảnh hưởng của cặp yếu tố T_{cd} ($^{\circ}C$) và τ_s (phút); c) Ảnh hưởng của cặp yếu tố H_{vd} (mm) và τ_s (phút).

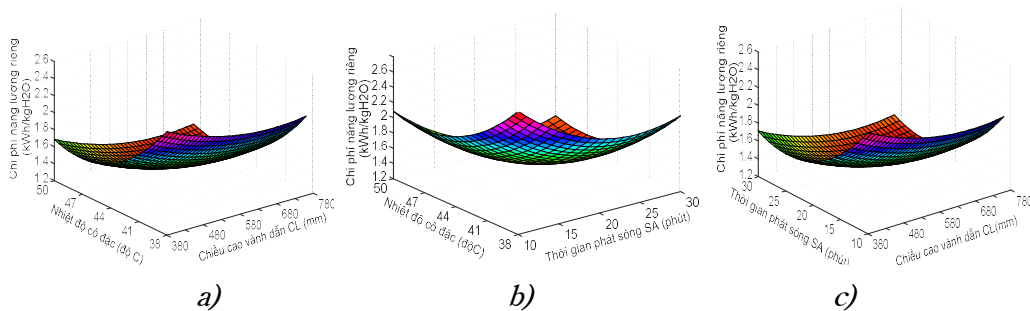
c. Thời gian cô đặc Y_3 (phút)



Hình 4. Đồ thị 3D biểu diễn ảnh hưởng của các cặp thông số đối với hàm Y_3

Ghi chú: a) Ảnh hưởng của cặp yếu tố T_{cd} ($^{\circ}C$) và H_{vd} (mm); b) Ảnh hưởng của cặp yếu tố T_{cd} ($^{\circ}C$) và τ_s (phút); c) Ảnh hưởng của cặp yếu tố H_{vd} (mm) và τ_s (phút).

d. Chi phí năng lượng riêng Y_4 (kWh/kgH₂O)



Hình 5. Đồ thị 3D biểu diễn ảnh hưởng của các cặp thông số đối với hàm Y_4

Ghi chú: a) Ảnh hưởng của cặp yếu tố T_{cd} ($^{\circ}C$) và H_{vd} (mm); b) Ảnh hưởng của cặp yếu tố T_{cd} ($^{\circ}C$) và τ_s (phút); c) Ảnh hưởng của cặp yếu tố H_{vd} (mm) và τ_s (phút).

Từ đồ thị 3D trên hình 2-5 cho thấy, khi nhiệt độ cô đặc x_1 dao động từ $39^{\circ}C$ - $49^{\circ}C$, chiều cao vành dẫn chất lỏng x_2 dao động từ 410 - 750 mm và thời gian phát sóng siêu âm dao động 11-29 phút thì hàm Y_1 , Y_2 là hàm cực đại và Y_3 , Y_4 là hàm cực tiểu, đồng thời tọa độ các điểm tối ưu của các hàm Y_1 , Y_2 , Y_3 , Y_4 đều nằm trong miền nghiên cứu của các yếu tố X_i ($i=1-3$).

Căn cứ vào số liệu thí nghiệm trong bảng 2, chọn các thông số tính toán hàm tối ưu tổng quát D theo các công thức (9-11) như sau:

Hàm Y_1 : Giá trị thí nghiệm nhỏ nhất $Y_{1min} = 15,09$ (điểm), giá trị “mong muốn” $Y_{10} = 19,5$ (điểm);

Hàm Y_2 : Giá trị thí nghiệm nhỏ nhất $Y_{2min} = 134$ (ngày), giá trị “mong muốn” $Y_{20} = 240$ (ngày);

Hàm Y_3 : Giá trị thí nghiệm lớn nhất $Y_{3max} = 93$ (phút), giá trị “mong muốn” $Y_{30} = 50$ (phút);

Hàm Y_4 : Giá trị thí nghiệm lớn nhất $Y_{4max} = 2,16$ (kWh/kgH₂O), giá trị “mong muốn” $Y_{40} = 1,2$ (kWh/kgH₂O).

Kết quả tính toán giá trị hàm tối ưu tổng quát D được ghi trong bảng 6.

Bảng 6. Kết quả tính toán giá trị hàm tối ưu tổng quát D

STT	Các yếu tố ảnh hưởng			Hàm “mong muốn” thành phần d_i				Hàm tối ưu tổng quát D
	x_1	x_2	x_3	d_1	d_2	d_3	d_4	
1	41	480	15	0,866	0,368	0,368	0,436	0,476
2	47	480	15	0,368	0,675	0,704	0,723	0,596
3	41	680	15	0,893	0,602	0,564	0,605	0,655
4	47	680	15	0,560	0,810	0,818	0,849	0,749
5	41	480	25	0,780	0,682	0,721	0,737	0,729
6	47	480	25	0,732	0,853	0,891	0,897	0,840
7	41	680	25	0,949	0,819	0,840	0,845	0,862

8	47	680	25	0,893	0,923	0,936	0,936	0,922
9	39	580	20	0,936	0,558	0,586	0,368	0,579
10	49	580	20	0,395	0,875	0,898	0,900	0,727
11	44	410	20	0,694	0,660	0,629	0,730	0,677
12	44	750	20	0,914	0,868	0,818	0,862	0,865
13	44	580	11	0,796	0,520	0,394	0,503	0,535
14	44	580	29	0,907	0,884	0,868	0,858	0,879
15	44	580	20	0,920	0,841	0,884	0,870	0,878
16	44	580	20	0,920	0,849	0,891	0,862	0,880
17	44	580	20	0,876	0,841	0,868	0,881	0,866
18	44	580	20	0,945	0,853	0,876	0,887	0,890
19	44	580	20	0,914	0,849	0,898	0,858	0,879
20	44	580	20	0,941	0,845	0,876	0,887	0,887

Kết quả tính toán trên máy vi tính đã xác định được mô hình toán của hàm tối ưu tổng quát D như sau:

$$D = 0,87912 + 0,0465113x_1 + 0,0631001x_2 + 0,106715x_3 - 0,009648x_1x_2 - 0,0147568x_2x_3 - 0,0742511x_1^2 - 0,0325677x_2^2 - 0,0552122x_3^2. \quad (20)$$

Tiến hành kiểm tra tính thích ứng của mô hình toán hàm D, có giá trị tính toán $F=0,08$, giá trị tra bảng $F^b=4,4$. Vì $F < F^b$ nên mô hình toán hàm D đảm bảo tính thích ứng.

Trên cơ sở mô hình toán hàm tối ưu tổng quát D đã được xác định ở trên, có thể xác định các thông số tối ưu tổng quát của thiết bị cô đặc bằng cách lấy đạo hàm riêng đối với mỗi yếu tố x_i và cho triệt tiêu, được một hệ phương trình tuyến tính. Giải hệ phương trình này được giá trị tối ưu chung của các yếu tố vào x_i cho tất cả các thông số ra Y_j . Thay các giá trị x_i vào các hàm thành phần Y_j ($j = 1-4$) theo các công thức (12 -15), xác định được giá trị tối ưu tổng quát của thông số ra Y_j . Kết quả tính toán trên máy vi tính đã xác định được:

Giá trị tối ưu của các yếu tố vào:

Giá trị mã hoá	Giá trị thực
$x_1 = 0,266$	$T_{cd} = 44,8^\circ\text{C}$
$x_2 = 0,733$	$H_{vd} = 653 \text{ mm}$
$x_3 = 0,868$	$\tau_s = 24,4 \text{ phút}$

Giá trị tối ưu của các thông số ra:

$Q_{cd} = 18,96 \text{ điểm}$
$\tau_{kt} = 216,5 \text{ ngày}$
$\tau_{cd} = 57,4 \text{ phút}$
$Nr = 1,37 \text{ kWh/kgH}_2\text{O}$

Giá trị cực đại của hàm tối ưu tổng quát $D = 0,95475291$.

Trên cơ sở các thông số tối ưu đã tìm được, tiến hành 3 thí nghiệm lặp lại ở chế độ tối ưu của các yếu tố vào: nhiệt độ cô đặc $T_{cd} = 45^\circ\text{C}$, chiều cao vành dẫn chất lỏng $H_{vd} = 653 \text{ mm}$ và thời gian phát sóng siêu âm $\tau_s = 24,4 \text{ phút}$. Kết quả thí nghiệm xác định các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của thiết bị cô đặc được ghi trong bảng 7.

Bảng 7. Kết quả thí nghiệm xác định các thông số công nghệ khi cô đặc ở chế độ tối ưu

Mẫu sản phẩm cô đặc	Nhiệt độ cô đặc T_{cd} ($^\circ\text{C}$)	Thời gian phát sóng siêu âm τ_s (phút)	Chiều cao vành dẫn chất lỏng H_{vd} (mm)	Điểm tổng hợp chất lượng sản phẩm cô đặc Q_{cd} (điểm)	Thời gian kết tinh trở lại τ_{kt} (ngày)	Thời gian cô đặc τ_{cd} (phút)	Chi phí năng lượng riêng Nr (kWh/kgH ₂ O)
TN1	45	24,4	653	18,92	225	59	1,38
TN2	45	24,4	653	19,30	213	61	1,42
TN3	45	24,4	653	19,20	222	67	1,37
Giá trị trung bình				19,14	220	59	1,39

Bảng 7 cho thấy, sai số giữa thực nghiệm và giá trị tính toán tối ưu từ mô hình đối với các hàm: điểm tổng hợp chất lượng sản phẩm cô đặc Q_{cd} là 0,95%,

thời gian kết tinh τ_{kt} là 2,77%, thời gian cô đặc τ_{cd} là 2,79% và chi phí điện năng riêng Nr là 1,46% đều nhỏ hơn 5%, vì vậy các kết quả nghiên cứu xác định các

thông số công nghệ tối ưu của quá trình cô đặc mật ong đảm bảo độ tin cậy.

Phân tích các chỉ tiêu lý hoá của mẫu sản phẩm cô đặc được thực hiện tại Trung tâm Nghiên cứu và

Phát triển Công nghệ sinh học, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Kết quả xác định một số chỉ tiêu hóa học của mật ong sau khi cô đặc ứng ở chế độ tối ưu của các yếu tố vào được thể hiện ở bảng 8.

Bảng 8. Kết quả thí nghiệm xác định chất lượng sản phẩm mật ong cô đặc ở chế độ tối ưu

Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả			
		TN1	TN2	TN3	Giá trị trung bình
Hàm lượng nước	(%)	18	18	18	18
Hàm lượng Fructoza	(%)	41,7	41,8	41,7	41,73
Hàm lượng Glucoza	(%)	35,3	35,2	35,4	35,3
Hàm lượng Sacaroza	(%)	1,40	1,50	1,45	1,45
Hàm lượng HMF	(mg/kg)	14,6	14,2	14,1	14,3
Hoạt lực diastasa (Schade Unit)	SU	11,1	11,4	11,0	11,23
Vi sinh vật tổng số	(cfu/g)	135	129	132	132
<i>E. coli</i>		0	0	0	0
<i>Vi khuẩn kỵ khí sinh H₂S</i>		0	0	0	0
<i>Salmonella</i>		0	0	0	0
<i>Staphylococcus aureus</i>		0	0	0	0
Hàm lượng chất rắn không tan trong nước	(%)	0,067	0,067	0,068	0,067

(Phân tích mẫu ngày 15/3/2021)

Bảng 8 cho thấy, ứng với hàm lượng nước trong mật ong là 18% thì hàm lượng Fructoza 41,73%, hàm lượng Glucoza 35,3%, hàm lượng Sacaroza 1,45%, hàm lượng HMF 14,3 mg/kg, hoạt lực Diastasa 11,23 SU. Vi sinh vật tổng số 132 cfu/g, trong đó *E. coli*, vi khuẩn kỵ khí sinh H₂S, *Salmonella* và *Staphylococcus aureus* không có, đảm bảo tiêu chuẩn an toàn thực phẩm theo TCVN 5375 – 1991 [8]. Mật ong có mùi thơm tự nhiên, không có mùi lạ, màu vàng nhạt đặc trưng cho mật ong hoa vải.

So với tiêu chuẩn mật ong sản xuất trong nước TCVN 12605: 2019 [7] và tiêu chuẩn mật ong của Việt Nam xuất sang Mỹ, EU và Nhật [10] thì mật ong được cô đặc trên thiết bị CD-1 đảm bảo được tiêu chuẩn quy định về giá trị dinh dưỡng, giá trị cảm quan và tiêu chuẩn vệ sinh an toàn thực phẩm, đáp ứng yêu cầu tiêu dùng trong nước và xuất khẩu

Như vậy, các kết quả nghiên cứu xác định các thông số công nghệ tối ưu của quá trình cô đặc có giá trị khoa học và ứng dụng trong sản xuất.

4. KẾT LUẬN

Áp dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm kết hợp với phương pháp nghiên cứu tối ưu tổng quát Harrington E. C. đã xác định được giá trị tối ưu của các yếu tố vào: nhiệt độ cô đặc $T_{cd} = 44,8^{\circ}\text{C}$, chiều cao vành dẫn chất lỏng $H_{vd} = 653 \text{ mm}$, thời gian phát sóng

siêu âm $\tau_s = 24,4$ phút và giá trị tối ưu của các thông số ra: điểm tổng hợp chất lượng sản phẩm cô đặc $Q_{cd} = 18,96$ điểm, thời gian kết tinh trở lại $\tau_{kt} = 216,5$ ngày, thời gian cô đặc $\tau_{cd} = 57,4$ phút và chi phí điện năng riêng $N_r = 1,37 \text{ kWh/kgH}_2\text{O}$.

Kết quả nghiên cứu trên là cơ sở quan trọng để hoàn thiện thiết kế và chế tạo các cơ thiết bị cô đặc mật ong có năng suất khác nhau phù hợp với quy mô của từng cơ sở sản xuất.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Đặng Thanh Sơn, Trần Như Khuyên, Nguyễn Thanh Hải (2020). *Nghiên cứu một số thông số của thiết bị cô đặc mật ong kiểu chân không có vành dẫn chất lỏng phối hợp phá kết tinh bằng sóng siêu âm*. Tạp chí Khoa học Nông nghiệp Việt Nam, số 12-2020, trang 1182-1191.
2. Lê Công Huỳnh, Trần Như Khuyên (1995). *Tối ưu tổng quát trong nghiên cứu thực nghiệm máy và ứng dụng trong máy đánh bóng hạt nông sản*. Thông báo khoa học của các trường đại học.
3. Trần Như Khuyên (1997). *Nghiên cứu một số thông số về cấu tạo và chế độ làm việc của máy đánh bóng hạt nông sản*. Luận án PTS Khoa học kỹ thuật, Trường Đại học Nông nghiệp - Hà Nội.

4. Ajlouni S. & Sujirapinyokul P. (2009). *Hydroxymethylfurfuraldehyde and amylase contents in Australian honey*. Food Chemistry, 119: 1000-1005.
5. Dimins F., Kuka F., Kuka M. & Cakste I. (2006). *The Criteria of Honey and its Changes during Storage and Thermal Treatment*, LLU Raksti, 16: 73-78.
6. Harrington E. C (1975). *The desirability function*. Industrial quality control, Pag,149-498.
7. *Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 12605: 2019-Mật ong*: Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, Bộ Khoa học và Công nghệ. (<https://thuvienphapluat.vn/TCVN/Cong-nghe-Thuc-pham/TCVN-12605-2019-Mat-ong-918267.aspx>).
8. *Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 5375 - 1991. Sản phẩm mật ong, yêu cầu vi sinh và phương pháp kiểm tra*. Cục Chăn nuôi và Thú y, Bộ Nông nghiệp và Công nghiệp thực phẩm. (<https://thuvienphapluat.vn/TCVN/Cong-nghe-Thuc-pham/TCVN-5375-1991-san-pham-ong-yeu-cau-vi-sinh-va-phuong-phap-kiem-tra-902602.aspx>).
9. *Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 12401-2018. Mật ong, phân tích cảm quan*. Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng, Bộ Khoa học và Công nghệ. (<https://thuvienphapluat.vn/TCVN/Cong-nghe-Thuc-pham/TCVN-12401-2018-Mat-ong-Phan-tich-cam-quan-918227.aspx>).
10. *Tiêu chuẩn chung cho mật ong xuất đi Mỹ, EU, Nhật*. (<https://oginbee.com/tieu-chuan-chung-cho-mat-ong-xuat-di-my-eu-nhat/>), 15/7/2019).

APPLYING EXPERIMENTAL PROGRAMING METHO STUDYING ON THE DESIGN OF THE TUBE-TYPE VACUUM HONEY CONCENTRATOR WITH LIQUID RING PARTS AND ULTRASONIC DEVICE COMBINATION TO PREVENT THE CRYSTALLIZATION

Dang Thanh Son, Tran Nhu Khuyen, Nguyen Thanh Hai

Email: sondt@vlute.edu.vn

Summary

The CD-1 honey concentrator is being studied and applied to concentrate honey and some solutions that have similar physical and chemical properties. The advantage of this honey concentrator is using a liquid ring and ultrasonic equipment to increase the evaporation ability and crystallization in honey, contributing to the quality of honey products during the condensed process. Multi-factor experimental method has been applied to research the influence of concentration temperature, height of liquid ring, and ultrasonication broadcasting time to the synthesis point of concentrated product quality, concentration time, recrystallization time when storing and specific cost of electricity. The results of the experimental research have determined the optimal values of the input elements: concentration temperature $T_{cd} = 44.8^{\circ}\text{C}$, the height of liquid ring $H_{vd} = 653$ mm, ultrasonication broadcasting time $\tau_s = 24.4$ mins and optimal values of parameters: synthesis point of concentrated product quality $Q_{cd} = 18.96$ points, crystallization time $\tau_{kt} = 216.5$ days, concentration time $\tau_{cd} = 57.4$ minutes, and specific cost of electricity $Nr = 1.37$ kWh/kgH₂O. The above research results are important basis to complete the design and manufacture different sizes of concentrator equipment that have different capacities, which suit the size of the production facilities.

Keywords: *Honey concentrator, ultrasonic equipment, specific cost of electricity.*

Người phản biện: PGS.TS. Đỗ Văn Chương

Ngày nhận bài: 15/10/2021

Ngày thông qua phản biện: 16/11/2021

Ngày duyệt đăng: 23/11/2021