

TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU VỚI CHUẨN TỐI ƯU TỔ HỢP R ỨNG DỤNG XÁC LẬP CHẾ ĐỘ CÔNG NGHỆ SẤY THĂNG HOA (STH) TÔM BẠC

Nguyễn Tấn Dũng⁽¹⁾, Lê Xuân Hải⁽²⁾, Trịnh Văn Dũng⁽²⁾

(1) Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM

(2) Trường Đại học Bách Khoa, ĐHQG – HCM

(Bài nhận ngày 07 tháng 01 năm 2010, hoàn chỉnh sửa chữa ngày 29 tháng 05 năm 2010)

TÓM TẮT: Bài báo này trình bày những kết quả nghiên cứu xác lập chế độ công nghệ STH tôm bạc, bằng cách giải bài toán đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp R (hay gọi là phương pháp vùng cấm). Nghiên cứu thực nghiệm đã tiến hành để xây dựng các hàm mục tiêu mô tả sự ảnh hưởng của các yếu tố công nghệ: nhiệt độ môi trường sấy, áp suất môi trường sấy, thời gian sấy đến quá trình STH. Bằng phương pháp vùng cấm đã xác lập chế độ công nghệ tối ưu cho quá trình STH: có chi phí năng lượng tạo ra 1 kg sản phẩm (SP), độ co rút thể tích, tổn thất vitamine C của SP là nhỏ nhất, độ ẩm vật liệu sấy (VLS) nhỏ nhất phải đạt yêu cầu ($2 \div 6$)% và khả năng hút nước và trương nở trở lại của SP là lớn nhất (có nghĩa khả năng không hút nước trở lại của SP là bé nhất).

Từ khóa: Tối ưu hóa đa mục tiêu, tối ưu hóa công nghệ sấy thăng hoa, sấy thăng hoa.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

STH là một kỹ thuật phức tạp, nó gồm 3 giai đoạn nối tiếp nhau, **giai đoạn 1:** là giai đoạn lạnh đông VLS, tối ưu hóa giai đoạn này đã được trình bày [1], **giai đoạn 2 và 3:** là giai đoạn STH và giai đoạn sấy chân không (SCK), đây là 2 giai đoạn quyết định để tạo ra sản phẩm. Bài toán đặt ra ở đây là: làm thế nào để xác lập chế độ công nghệ STH sao cho 1 kg SP tạo ra tiêu tốn chi phí năng lượng là nhỏ nhất và SP có chất lượng tốt nhất. Chất lượng SP STH tốt nhất khi nó thỏa tất cả các tiêu chí sau: độ co rút thể tích, tổn thất vitamine C của SP nhỏ nhất, khả năng hút nước hoàn nguyên trở lại của SP là lớn nhất, độ ẩm cuối cùng của SP phải đạt yêu cầu ($2 \div 6$)%, [2].

Như vậy, trong quá trình nghiên cứu xác lập chế độ công nghệ STH cả 5 tiêu chí: y_1 , [kWh] - chi phí năng lượng/ 1 kg SP; y_2 , [%] - độ ẩm cuối cùng của SP; $y_3 = (1 - IR).100$, [%] - khả năng không hút nước trở lại của SP (trong đó: IR, [%] - khả năng hút nước trương nở trở lại của SP); y_4 , [%] - độ co rút SP sau khi sấy; y_5 , [%] - lượng tổn thất vitamine C của SP, phụ thuộc vào 3 yếu tố công nghệ: nhiệt độ môi trường sấy (Z_1 , [$^{\circ}C$]), áp suất môi trường sấy (Z_2 , [mmHg]), thời gian sấy (Z_3 , [h]) đều mong muốn đạt được kết quả tốt nhất. Vì vậy, đã xuất hiện sự đòi hỏi phải đặt ra và giải quyết một cách chuẩn mực bài toán tối ưu (BTTU) đa mục tiêu. Đây là BTTU thường xuyên xuất hiện trong thực tế và thuộc các lĩnh vực khác nhau. Bài báo này trình bày phương pháp giải

BTTU đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp R(Z) (hay gọi phương pháp vùng cấm), [4, 8]. Kết quả đó kết hợp với việc giải mô hình toán truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện STH [1,3] sẽ xác lập chế độ công nghệ STH của thực phẩm thủy sản nhóm giáp xác đại diện là tôm bạc.

2. TỐI ƯU HÓA ĐA MỤC TIÊU VỚI CHUẨN TỐI ƯU TỔ HỢP R

2.1. Một số khái niệm cơ sở [4, 8]

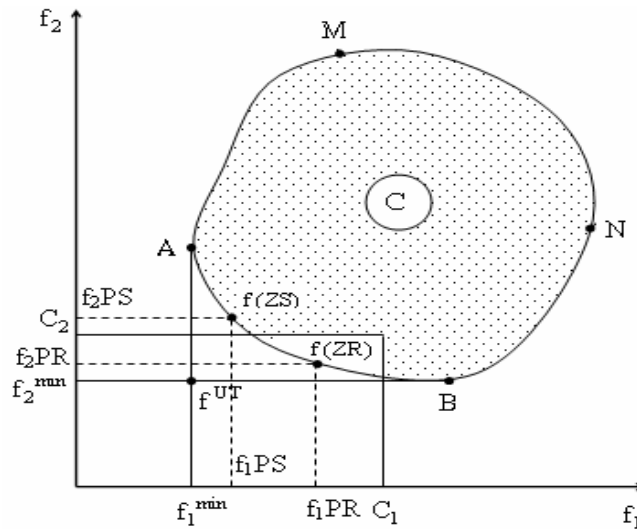
Xét một đối tượng công nghệ gồm m hàm mục tiêu $f_1(Z), f_2(Z), \dots, f_m(Z)$ tạo thành **véc tơ hàm mục tiêu** $f(Z) = \{f_j(Z)\} = \{f_1(Z), f_2(Z), \dots, f_m(Z)\}$, trong đó $j = 1 \div m$, mỗi hàm thành phần $f_j(Z)$ phụ thuộc vào n biến tác động Z_1, Z_2, \dots, Z_n , các biến tác động Z_i ($i = 1 \div n$) sẽ hình thành véc tơ các yếu tố ảnh hưởng hay gọi là **véc tơ biến Z**. Các biến này biến thiên trong **miền giới hạn (miền xác định)** ΩZ và các giá trị của hàm mục tiêu sẽ tạo thành **miền giá trị của hàm mục tiêu** Ωf (miền nằm trong đường cong kín $A - f(ZS) - f(ZR) - B - N - M$, xem hình 1).

Mỗi hàm mục tiêu $f_j(Z)$ cùng với véc tơ biến $Z = \{Z_i\} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) \in \Omega Z$ ($i = 1 \div n$) hình thành một BTTU một mục tiêu. Để đơn giản nhưng không hề làm mất tính tổng quát, thì BTTU m mục tiêu sẽ được trình bày cho trường hợp toàn bộ m BTTU một mục tiêu đều là các bài toán tìm cực tiểu có dạng.

$$f_j^{\min} = f_j(Z_1^{j \text{ opt}}, Z_2^{j \text{ opt}}, \dots, Z_n^{j \text{ opt}}) = \text{Min } f_j(Z_1, Z_2, \dots, Z_n) \quad (1)$$

$$Z = \{Z_i\} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) \in \Omega Z \quad (2)$$

$$j = 1 \div m; i = 1 \div n \quad (3)$$



Hình 1. Không gian hàm mục tiêu của BTTU hai mục tiêu

2.2. Phương án không tương và hiệu quả không tương [4, 8]

Nếu tồn tại vectơ biến $Z^{UT} = \{Z_i^{UT}\} = (Z_1^{UT}, Z_2^{UT}, \dots, Z_n^{UT}) \in \Omega Z$ là nghiệm chung cho tất cả m BTTU một mục tiêu (1) + (2) + (3), nghĩa là $Z_i^{UT} = Z_i^{UT}$ với mọi $i = 1 \div n$, thì Z_i^{UT} được gọi là phương án không tương hoặc nghiệm không tương của BTTU m mục tiêu.

Trong thực tế thường không tồn tại Z_i^{UT} nhưng vì mỗi BTTU một mục tiêu (1) + (2) + (3) vẫn có các f_j^{\min} (với $j = 1 \div m$) tương ứng nên vẫn tồn tại $f^{UT} = (f_1^{\min}, f_2^{\min}, \dots, f_m^{\min})$ và khi đó $f^{UT} = (f_1^{\min}, f_2^{\min}, \dots, f_m^{\min})$ được gọi là hiệu quả không tương hay điểm không tương. Ở hình 1 điểm không tương f^{UT} của BTTU hai mục tiêu tồn tại nhưng nằm ngoài miền xác định Ωf tức là nghiệm không tương không tồn tại.

2.3. Phương án trội và phương án bị trội [4, 8]

Giả sử xét hàm đa mục tiêu, có hai vectơ biến $ZQ = \{ZQ_i\}$ và $ZV = \{ZV_i\}$ với mọi $i = 1 \div n$, sẽ có hai vectơ hàm tương ứng $f(ZQ) = \{f_j(ZQ)\}$ và $f(ZV) = \{f_j(ZV)\}$ với mọi $j = 1 \div m$.

Nếu với mọi j đều có: $f_j(ZQ) < f_j(ZV)$ thì ZQ được gọi là **phương án trội** (hay **nghiệm trội**) so với ZV, ký hiệu: $ZQ > ZV$, còn ZV được gọi là **phương án bị trội** (hay **nghiệm bị trội**), ký hiệu: $ZV < ZQ$. Ngược lại, nếu với mọi j đều có: $f_j(ZQ) > f_j(ZV)$ thì ZV được gọi là **phương án trội** (hay **nghiệm trội**) so với ZQ, ký hiệu: $ZV > ZQ$, còn ZQ được gọi là **phương án bị trội** (hay **nghiệm bị trội**), ký hiệu: $ZQ < ZV$.

2.4. Phương án Pareto tối ưu [4, 8]

Phương án ZP được gọi là **phương án Pareto tối ưu** nếu ZP không thể bị trội bởi bất kỳ phương án nào khác thuộc miền giới hạn ΩZ . Khi đó $f(ZP)$ được gọi là một **hiệu quả Pareto tối ưu** nằm trong **tập hiệu quả Pareto tối ưu** ΩfP .

Ở hình 1 tập hiệu quả Pareto tối ưu ΩfP chính là đường cong $A - f(ZS) - f(ZR) - B$.

2.5. Định lý Pareto tối ưu [4, 8]

Định lý 1: Nếu BTTU đa mục tiêu có nghiệm được gọi là tối ưu theo một cách định nghĩa nào đó thì không phụ thuộc vào cách định nghĩa đã chọn, nghiệm tối ưu đó phải là một phương án Pareto tối ưu.

Thật vậy, nếu nghiệm tối ưu Z của BTTU đa mục tiêu không phải là một phương án Pareto tối ưu thì chắc chắn có thể tìm được ít nhất một phương án trội hơn Z . Điều đó chứng tỏ rằng Z không thể được công nhận là nghiệm tối ưu và dẫn đến mâu thuẫn với giả thiết rằng Z đã là nghiệm tối ưu. Vậy Z phải là một phương án không thể bị trội, tức là phương án Pareto tối ưu.

Như vậy, theo định lý 1, một nghiệm của BTTU đa mục tiêu (1) + (2) + (3) tìm được bằng một phương pháp giải bất kỳ nào đó, muốn được công nhận là tối ưu theo phương pháp giải đã lựa chọn, trước hết phải được chứng minh nghiệm đó phải là một phương án Pareto tối ưu.

2.6. Tối ưu hóa đa mục tiêu với chuẩn tối ưu tổ hợp R [4, 8]

Phương pháp sử dụng chuẩn tối ưu tổ hợp R gọi là phương pháp vùng cấm, khi BTTU đa mục tiêu (1) + (2) + (3) không tồn tại nghiệm không tương, lúc đó đi tìm một điểm nằm trong tập hiệu quả Pareto tối ưu nằm gần điểm không tương mà cách xa vùng cấm nhất.

Trong thực tế nhiều BTTU đa mục tiêu được đặt ra có các điều kiện ràng buộc đối với chính các giá trị của các hàm mục tiêu thành phần $f_j(Z)$, hay nói một cách khác điều kiện ràng buộc đó chính là miền giá trị của các hàm mục tiêu thành phần $f_j(Z)$ mà bài toán công nghệ quy định, khi Z biến thiên trong miền xác định ΩZ .

$$\text{Ký hiệu: } f_j(Z) < C_j, \forall j = 1 \div m \quad (4)$$

Thông thường, đối với bài toán tìm cực tiểu thì C_j là cận trên của hàm mục tiêu thành phần $f_j(Z)$, còn đối với bài toán tìm cực đại thì C_j là cận dưới của hàm mục tiêu thành phần $f_j(Z)$, khi giá trị hàm mục tiêu $f_j(Z)$ nằm ngoài miền giá trị thì gọi là vùng cấm.

Các điều kiện (4) tạo thành vùng cấm:

$$C = \{f_j(Z) < C_j\} \text{ đối với hàm mục tiêu } f_j(Z) \quad (5)$$

Phương pháp vùng cấm, đề xuất giải BTTU m mục tiêu (1) + (2) + (3) với chuẩn tối ưu tổ hợp $R(Z)$ được định nghĩa theo biểu thức sau:

$$R(Z) = r_1(Z) \cdot r_2(Z) \cdot \dots \cdot r_m(Z) = \prod_{j=1}^m f_j(Z) \quad (6)$$

Trong đó:

$$r_j(Z) = \frac{C_j - f_j(Z)}{C_j - f_{j,\min}} \quad \text{khi } f_j(Z) \leq C_j \quad (7)$$

$$r_j(Z) = 0 \quad \text{khi } f_j(Z) > C_j \quad (8)$$

Từ (7) có thể thấy rằng: khi $f_j(Z) \rightarrow f_{j,\min}$ thì $r_j(Z) \rightarrow r_{j,\max} = 1$. Vậy với chuẩn tối ưu tổ hợp $R(Z)$ thì BTTU m mục tiêu được phát biểu lại:

Hãy tìm nghiệm $ZR = (Z_1R, Z_2R, \dots, Z_nR) \in \Omega Z$ sao cho hàm mục tiêu $R(Z)$ đạt giá trị cực đại nằm trong miền giá trị Ωf .

$$R_{\max} = R(ZR) = \max R(Z) = \max [r_1(Z) \cdot r_2(Z) \cdot \dots \cdot r_m(Z)] = \max \left[\prod_{j=1}^m f_j(Z) \right] \quad (9)$$

$$\text{Với: } Z = (Z_1, Z_2, \dots, Z_n) \in \Omega Z$$

Dễ dàng thấy rằng: $0 \leq R(ZR) \leq 1$, trong đó $R(ZR) = 1$ khi nghiệm tối ưu chính là nghiệm không tương Z^{UT} và $R(ZR) = 0$ khi chỉ cần một trong các giá trị $f_j(Z)$ vi phạm bất đẳng thức (5), có nghĩa khi điểm $f(Z)$ rơi vào vùng cấm C (6).

BTTU đa mục tiêu (9) đã đề xuất cho các bài toán công nghệ nhưng chưa chứng minh được rằng nghiệm ZR là một nghiệm Pareto tối ưu.

Định lý 2: Nghiệm ZR của BTTU (9), nếu tồn tại thì nghiệm ZR chính là nghiệm Pareto tối ưu của BTTU m mục tiêu (1) + (2) + (3).

Thật vậy, Giả sử ZR không phải là nghiệm Pareto tối ưu. Khi đó sẽ tìm được một nghiệm ZR^* bị trội hơn ZR . Theo định nghĩa, nghiệm ZR^* nhất định phải có ít nhất một hiệu quả $f_k(ZR^*)$, trong đó $1 \leq k \leq m$, sao cho $f_k(ZR^*) > f_k(ZR)$, $\forall \Omega Z$. Từ đó suy ra $R(ZR^*) > R(ZR)$ và $f_k(ZR^*)$ rơi vào vùng cấm. Điều này mâu thuẫn với giả thiết rằng ZR là nghiệm tối ưu. Vậy không thể tồn tại bất cứ nghiệm nào khác bị trội hơn ZR , do đó ZR phải là một nghiệm Pareto tối ưu.

Ký hiệu: $f(ZR) = fPR = (f_1PR, f_2PR, \dots, f_mPR)$. Với nghiệm tối ưu ZR , hiệu quả Pareto tối ưu $fPR = (f_1PR, f_2PR, \dots, f_mPR)$ đứng cách xa vùng cấm C nhất.

Một cách hoàn toàn tương đương có thể thay chuẩn tối ưu $R(Z)$ bằng chuẩn tối ưu $R^*(Z)$ như sau:

$$R^*(Z) = \sqrt[m]{r_1(Z) \cdot r_2(Z) \cdot \dots \cdot r_m(Z)} = \left[\prod_{j=1}^m f_j(Z) \right]^{\frac{1}{m}} \quad (10)$$

Trên **hình 1** cả hai hiệu quả Paréto tối ưu $f(ZS)$ và $f(ZR)$ đều thuộc tập hợp các hiệu quả Paréto tối ưu Ω_{FP} (đường cong $A - f(ZS) - f(ZR) - B$) nhưng nghiệm Paréto tối ưu ZR cho hiệu quả Paréto tối ưu $f(ZR)$ nằm cách xa vùng cấm nhất. Trong khi đó nghiệm Paréto tối ưu ZS cho hiệu quả Paréto tối ưu $f(ZS)$ nằm gần điểm không tương f^{JT} nhất nhưng lại rơi vào vùng cấm.

3. TỐI ƯU HÓA QUÁ TRÌNH STH [8]

3.1. Nguyên liệu

Vật liệu ẩm là tôm bạc có kích cỡ đại đa số (41÷50) con/1 pound, hệ số phân cỡ $K = 11$, [1]. Chần ở nhiệt độ $70^{\circ}C$ trong khoảng thời gian (15 ÷ 20)s, sau đó bóc vỏ, bỏ đầu.

3.2. Phương pháp nghiên cứu

- Xác định chi phí năng lượng làm ra 1 kg SP (y_1) bằng Watt meter, [kWh], [5].
- Xác định độ ẩm của SP (y_2) bằng cảm biến khối lượng, đo lường bằng máy tính, [5].

$$\text{Với: } y_2 = 100 - \frac{G_{bd}}{G_t} (100 - W_{bd}) \quad (11)$$

- Xác định khả năng không hút nước hoàn nguyên trở lại của SP (y_3) như sau: gọi IR [%]: là khả năng hút nước hoàn nguyên trở lại của SP, thì $y_3 = 100\% - IR$, [2].

$$\text{Với: } IR = \frac{G_1 - G_t}{G_{bd} - G_t} 100\% \quad (12)$$

$$y_3 = 100\% - \frac{G_1 - G_t}{G_{bd} - G_t} 100\% = \frac{G_{bd} - G_1}{G_{bd} - G_t} 100\% \quad (13)$$

Trong đó: G_{bd} [kg]: khối lượng VLS ban đầu, G_t [kg]: khối lượng VLS cuối cùng, G_1 [kg]: khối lượng VLS sau khi sấy ngâm vào nước ở nhiệt phòng $25^{\circ}C$ trong cho đến khi khối lượng không đổi (bão hòa ẩm), W_{bd} [%]: độ ẩm ban đầu của VLS.

SP hoàn nguyên tốt nhất khi lượng ẩm hút trở lại bằng lượng ẩm tách ra trong quá trình sấy, có nghĩa $G_1 = G_{bd}$ và $IR_{max} = 100\%$, $y_{2min} = 0$. Thực tế $y_2 > 0$.

- Xác định độ co thể tích (y_4) như sau: xác định thể tích VLS ban đầu (V_1) và sau khi sấy (V_2), bằng cách lấy dụng cụ đo thể tích cho dầu vào ở thể tích xác định, sau đó cho VLS vào sẽ xác định được thể tích, và hiệu thể tích sau và trước khi cho VLS vào chính là thể tích của VLS. Như vậy xác định được y_4 , [2]:

$$y_4 = \frac{V_1 - V_2}{V_1} 100\% = \frac{\Delta V}{V_1} 100\% \quad (14)$$

SP không nứt nẻ bề mặt, khi SP không bị co ngót, có nghĩa $y_{4min} = 0$. Thực tế $y_4 > 0$.

- Xác định lượng tổn thất vitamine C của SP sau khi sấy, bằng cách xác định hàm lượng vitamine C của SP trước (m_1 [mg%]) và sau (m_2 [mg%]) khi sấy theo phương pháp TCVN 4715 – 89. Như vậy lượng tổn thất vitamine C xác định bởi:

$$y_5 = \frac{m_1 - m_2}{m_1} 100\% = \frac{\Delta m}{m_1} 100\% \quad (15)$$

SP đạt chất lượng tốt khi không có tổn thất vitamine C, có nghĩa $y_{5min} = 0$, thực tế $y_5 > 0$.

- Xác định nhiệt độ bằng cảm biến nhiệt độ (Temperature sensor) đo lường bằng máy tính.
- Xác định áp suất bằng cảm biến áp suất (Pressure sensor) đo lường bằng máy tính.
- Phương pháp qui hoạch thực nghiệm trực giao cấp hai.
- Xác lập và giải BTTU 5 mục tiêu bằng phương pháp điểm không tương.

3.3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận [8]

3.3.1. Xây dựng các hàm mục tiêu thành phần của bài toán đa mục tiêu

Quá trình STH tối ưu có: y_1 - chi phí năng lượng cho 1 kg SP nhỏ nhất, y_2 - độ ẩm VLS phải đạt yêu cầu (2 ÷ 6)%, IR- khả năng hút nước hoàn nguyên trở lại của SP là lớn nhất, có nghĩa: $y_3 = (1 - IR).100$, [%] - khả năng không hút nước của SP là bé nhất, y_4 - độ co rút của SP bé nhất và y_5 - tổn thất vitamine C của SP bé nhất phụ thuộc vào các yếu tố: nhiệt độ môi trường sấy (Z_1), áp suất môi trường sấy (Z_2), thời gian sấy (Z_3). Phương pháp quy hoạch thực nghiệm như sau: xây dựng ma trận thực nghiệm trực giao cấp 2 với $k = 3$, $n_0 = 4$, tiến hành 18 thí nghiệm. Các biến x_1, x_2, x_3 là các biến mã hóa của Z_1, Z_2, Z_3 . Cảnh tay đơn có giá trị $\alpha = 1.414$

Từ việc thiết lập và giải mô hình toán truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện STH để độ ẩm cuối cùng của sản phẩm đạt yêu cầu (2 ÷ 6)%, [1, 3], đã xác định được các điều kiện thí nghiệm như sau, **xem bảng 1**.

Bảng 1. Các mức yếu tố ảnh hưởng

| Yếu tố | Các mức | | | | | Khoảng biến thiên λ |
|--------------|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------------|-----------------------------|
| | $-\alpha$ (-1.414) | Mức dưới, -1 | Mức cơ sở, 0 | Mức trên, +1 | $+\alpha$ (1.414) | |
| Z_1 [°C] | 20.102 | 23 | 30 | 37 | 39.898 | 7 |
| Z_2 [mmHg] | 0.008 | 0.094 | 0.3 | 0.507 | 0.592 | 0.2065 |
| Z_3 [h] | 11.172 | 12 | 14 | 16 | 16.828 | 2 |

Tiến hành thực nghiệm theo các mức yếu tố ảnh hưởng ở **bảng 1** để xác định 5

mục tiêu đã được đặt ra: y_1, y_2, y_3, y_4 và y_5 , kết quả nhận được ở **bảng 2**.

Bảng 2. Ma trận thực nghiệm phương án trực giao bậc 2, $k = 3, n_0 = 4$

| N | x_0 | x_1 | x_2 | x_3 | x_1x_2 | x_1x_3 | x_2x_3 | $x_1^2-0.667$ | $x_2^2-0.667$ | $x_3^2-0.667$ | y_1 | y_2 | y_3 | y_4 | y_5 | |
|--------------|-------|-------|--------|--------|----------|----------|----------|---------------|---------------|---------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|
| TYT 2^k | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 79.42 | 3.68 | 12.38 | 10.872 | 3.198 | |
| | 2 | 1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 81.51 | 4.74 | 9.99 | 8.896 | 2.498 | |
| | 3 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 1 | -1 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 88.92 | 3.54 | 11.68 | 10.754 | 2.161 |
| | 4 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | -1 | -1 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 84.34 | 5.02 | 7.58 | 8.525 | 1.219 |
| | 5 | 1 | 1 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 66.42 | 5.41 | 10.61 | 10.441 | 2.581 |
| | 6 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 65.23 | 5.71 | 7.16 | 8.584 | 2.229 |
| | 7 | 1 | 1 | -1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 65.89 | 5.39 | 9.97 | 8.397 | 1.584 |
| | 8 | 1 | -1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 | 0.333 | 0.333 | 0.333 | 63.97 | 5.89 | 5.84 | 6.187 | 1.198 |
| 2k | 9 | 1 | 1.414 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.333 | -0.667 | -0.667 | 79.89 | 4.11 | 13.17 | 12.895 | 3.356 | |
| | 10 | 1 | -1.414 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.333 | -0.667 | -0.667 | 67.34 | 4.83 | 5.22 | 5.997 | 1.645 | |
| | 11 | 1 | 0 | 1.414 | 0 | 0 | 0 | -0.667 | 1.333 | -0.667 | 68.05 | 4.87 | 8.61 | 11.598 | 2.587 | |
| | 12 | 1 | 0 | -1.414 | 0 | 0 | 0 | -0.667 | 1.333 | -0.667 | 73.28 | 3.98 | 7.39 | 8.143 | 2.387 | |
| | 13 | 1 | 0 | 0 | 1.414 | 0 | 0 | 0 | -0.667 | -0.667 | 1.333 | 96.97 | 3.51 | 12.28 | 10.031 | 2.498 |
| | 14 | 1 | 0 | 0 | -1.414 | 0 | 0 | 0 | -0.667 | -0.667 | 1.333 | 65.45 | 5.03 | 7.33 | 7.459 | 1.713 |
| n_0 | 15 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.667 | -0.667 | -0.667 | 75.41 | 4.39 | 7.11 | 7.621 | 2.176 | |
| | 16 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.667 | -0.667 | -0.667 | 73.34 | 4.19 | 7.15 | 8.109 | 2.089 | |
| | 17 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.667 | -0.667 | -0.667 | 76.71 | 4.25 | 7.19 | 8.321 | 2.314 | |
| | 18 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.667 | -0.667 | -0.667 | 72.29 | 4.09 | 7.68 | 7.523 | 2.012 | |

Sau khi xử lý số liệu thực nghiệm, tính toán các hệ số phương trình hồi quy, kiểm định sự có nghĩa của các hệ số phương trình hồi quy theo chuẩn Student, kiểm tra sự tương thích của

phương trình hồi quy với kết quả thực nghiệm theo chuẩn Fischer đã thu được các phương trình hồi quy:

$$y_1 = f_1(x_1, x_2, x_3) = 74.691 + 1.945x_1 + 9.771x_3 - 2.308(x_2^2 - 2/3) + 2.991(x_3^2 - 2/3) \tag{16}$$

$$y_2 = f_2(x_1, x_2, x_3) = 4.591 - 0.363x_1 - 0.631x_3 - 0.218x_1x_3 + 0.27(x_1^2 - 2/3) + 0.247(x_2^2 - 2/3) + 0.169(x_3^2 - 2/3) \tag{17}$$

$$y_3 = f_3(x_1, x_2, x_3) = 8.797 + 2.109x_1 + 0.566x_2 + 1.254x_3 + 0.801(x_1^2 - 2/3) + 1.108(x_3^2 - 2/3) \tag{18}$$

$$y_4 = f_4(x_1, x_2, x_3) = 8.909 + 1.502x_1 + 0.818x_2 + 0.756x_3 - 0.494x_2x_3 + 0.438(x_1^2 - 2/3) + 0.651(x_2^2 - 2/3) \quad (19)$$

$$y_5 = f_5(x_1, x_2, x_3) = 2.191 + 0.4x_1 + 0.386x_2 + 0.216x_3 - 0.153(x_3^2 - 2/3) \quad (20)$$

3.3.2. Giải các BTTU' một mục tiêu [4, 8]

Các BTTU' một mục tiêu là tìm: $y_{1min} = \min f_1(x_1, x_2, x_3)$; $y_{2min} = \min f_2(x_1, x_2, x_3) \in [2, 6]$; $y_{3min} = \min f_3(x_1, x_2, x_3)$; $y_{4min} = \min f_4(x_1, x_2, x_3)$; $y_{5min} = \min f_5(x_1, x_2, x_3)$, với miền giới hạn: $\Omega x = \{-1.414 \leq x_1, x_2, x_3 \leq 1.414\}$ được giải nhờ sự hỗ trợ của phần mềm Excel – Solver. Kết quả tính toán xác định được các thông số tối ưu cho từng BTTU' một mục tiêu (16), (17), (18), (19) và (20) trong vùng giới hạn nghiên cứu thực nghiệm như sau:

$$y_{1min} = 59.035 \quad \text{với:}$$

$$x_1^{1opt} = -1.414;$$

$$x_2^{1opt} = 1.414;$$

$$x_3^{1opt} = -1.414$$

$$y_{2min} = 3.162 \in [2,6] \quad \text{với:}$$

$$x_1^{2opt} = 1.243;$$

$$x_2^{2opt} = -6.26E-08;$$

$$x_3^{2opt} = 1.414$$

$$y_{3min} = 4.981 \quad \text{với:}$$

$$x_1^{3opt} = -1.316;$$

$$x_2^{3opt} = -1.414;$$

$$x_3^{3opt} = -0.566$$

$$y_{4min} = 4.996 \quad \text{với:}$$

$$x_1^{4opt} = -1.376;$$

$$x_2^{4opt} = -1.165;$$

$$x_4^{4opt} = -1.412$$

$$y_{5min} = 0.594 \quad \text{với:}$$

$$x_1^{5opt} = -1.398;$$

$$x_2^{5opt} = -1.414;$$

$$x_3^{5opt} = -1.387$$

Từ kết quả đó xác định được điểm không tương $y^{UT} = (y_{1min}, y_{2min}, y_{3min}, y_{4min}, y_{5min}) = (59.035, 3.162, 4.981, 4.996, 0.594)$. Rõ ràng từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm ở trên đã xác định được điểm không tương nhưng phương án không tương không tồn tại. Bởi vì:

không tồn tại nghiệm chung của hệ, $(x_1^{jopt}, x_2^{jopt}, x_3^{jopt}) \neq (x_1^{kopt}, x_2^{kopt}, x_3^{kopt}) \forall j, k = 1 \div 5, j \neq k$.

3.3.3. Giải BTTU' đa mục tiêu theo phương pháp vùng cấm [4, 8]

Quá trình STH với 5 mục tiêu đã đề ra được biểu diễn bởi 5 phương trình hồi quy (16), (17), (18), (19) và (20). Vì không thể có nghiệm chung để làm thỏa mãn tất cả các giá trị: $y_{1min}, y_{2min}, y_{3min}, y_{4min}, y_{5min}$, nên BTTU' được đặt ra là tìm nghiệm Pareto tối ưu để hiệu quả Pareto tối ưu $y_{PR} = (f_1PR, f_2PR, f_3PR, f_4PR, f_5PR)$ đứng gần điểm không tương và cách xa vùng cấm nhất.

Thực tế thực nghiệm để xác định chế độ công nghệ STH đã xác định được vùng cấm:

$$y_1 > C_1 = 85.98;$$

$$y_2 > C_2 = 5.98;$$

$$y_3 > C_3 = 12.97;$$

$$y_4 > C_4 = 12.78;$$

$$y_5 > C_5 = 3.2$$

Xây dựng hàm mục tiêu tổ hợp R như sau:

$$\begin{cases} R^*(x_1, x_2, x_3) = \sqrt[5]{\prod_{j=1}^5 r_j(x_1, x_2, x_3)} \rightarrow \max & (21) \\ \Omega x = \{-1.414 \leq x_1, x_2, x_3 \leq 1.414\}; \quad y_2 \in [2,6] \end{cases}$$

Trong đó:

$$r_1(x_1, x_2, x_3) = [(85.98 - y_1)/(85.98 - 59.035)] \text{ khi } y_1 \leq 158.98;$$

$$r_1(x_1, x_2, x_3) = 0 \text{ khi } y_1 > 85.98;$$

$$r_2(x_1, x_2, x_3) = [(5.98 - y_2)/(5.98 - 3.162)] \text{ khi } y_2 \leq 5.98;$$

$$r_2(x_1, x_2, x_3) = 0 \text{ khi } y_2 > 5.98;$$

$$r_3(x_1, x_2, x_3) = [(12.97 - y_3)/(12.97 - 4.981)] \text{ khi } y_3 \leq 12.97;$$

$$r_3(x_1, x_2, x_3) = 0 \text{ khi } y_3 > 12.97;$$

$$r_4(x_1, x_2, x_3) = [(12.78 - y_4)/(12.78 - 4.996)]$$

khi $y_4 \leq 12.78$;

$$r_4(x_1, x_2, x_3) = 0 \quad \text{khi } y_4 > 12.78;$$

$$r_5(x_1, x_2, x_3) = [(3.2 - y_5)/(3.2 - 0.594)]$$

khi $y_5 \leq 3.2$;

$$r_5(x_1, x_2, x_3) = 0 \quad \text{khi } y_5 > 3.2;$$

Nhờ sự hỗ trợ của phần mềm Excel – Solver đã xác định được giá trị cực đại (21):

$$R^*_{\max} = \text{Max } R^*(x_1, x_2, x_3) = 0.987$$

$$\text{Với: } x_1S = 0.578;$$

$$x_2S = -1.41;$$

$$x_3S = -0.37$$

Thay x_1S, x_2S, x_3S vào phương trình (11), (12), (13), (14) và (15) xác định được:

$$y_1PS = 67.566;$$

$$y_2PS = 4.808 \in [2,6];$$

$$y_3PS = 7.901;$$

$$y_4PS = 8.801;$$

$$y_5PS = 1.879;$$

$$IR = 100 - y_3PS = 92.099$$

Biến đổi sang biến thực:

$$Z_1 = 34.05 [^{\circ}\text{C}];$$

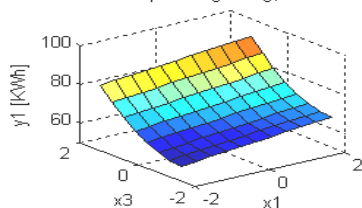
$$Z_2 = 0.009 [\text{mmHg}];$$

$$Z_3 = 13.26 [\text{h}]$$

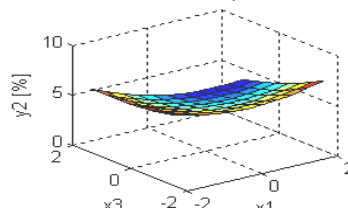
Như vậy, theo tính toán từ các mô hình (16), (17), (18), (19) và (20) thực nghiệm đã xác định chế độ công nghệ STH đảm bảo cho chuẩn tối ưu tổ hợp S đạt cực tiểu ứng với: nhiệt độ môi trường sấy **34.04** [$^{\circ}\text{C}$], áp suất môi trường sấy **0.009** [mmHg], thời gian sấy **13.26**[h]. Khi đó tổng chi phí năng lượng tạo ra 1 kg SP **67.566** [kWh], độ ẩm cuối cùng của SP đạt **4.808** [%], khả năng hút nước và hoàn nguyên trở lại của SP **92.099** [%], độ co rút thể tích của SP **8.801** [%] và lượng tổn thất vitamine C của SP **1.879** [%].

Từ kết quả thực nghiệm đã tiến hành ở **bảng 2** có thể thấy rằng, các kết quả tính toán tối ưu là phù hợp và đáp ứng tốt các mục tiêu đã đặt ra.

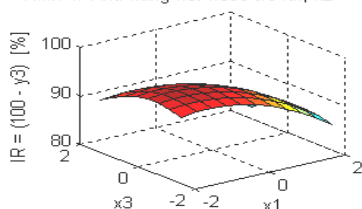
Hình 2. Chi phí năng lượng, $x_2 = -1.41$



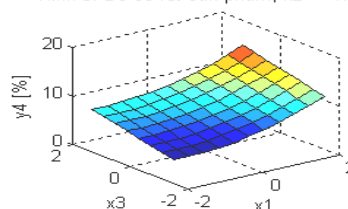
Hình 3. Độ ẩm của sản phẩm, $x_2 = -1.41$



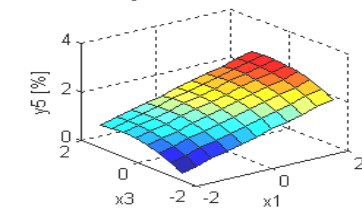
Hình 4. Khả năng hút nước trở lại, $x_2 = -1.41$



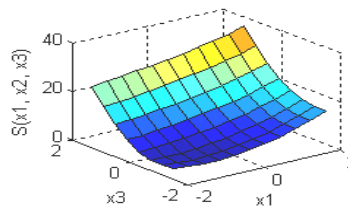
Hình 5. Độ co rút sản phẩm, $x_2 = -1.41$



Hình 6. Lượng tổn thất vitamine C, $x_2 = -1.41$



Hình 7. Hàm tổ hợp S, $x_2 = -1.41$



Khi cố định áp suất môi trường sấy x_2R = -1.41, tương đương với $Z_2 = 0.009$ [mmHg], biểu diễn mối quan hệ giữa y_1, y_2, y_3, y_4, y_5 và hàm tổ hợp R theo hai biến x_1, x_3 trên đồ thị 3D (xem hình 2, 3, 4, 5, 6, 7) sẽ thấy rõ điểm tối ưu của hàm tổ hợp R phù hợp với các hàm mục tiêu thành phần, lý thuyết cũng đã chứng minh ở trên không thể tìm ra một điểm khác với điểm tối ưu nằm trong tập hiệu quả Pareto tối ưu đứng gần điểm không tương hơn và cách xa vùng cấm nhất.

Để khẳng định kết luận này đã tiến hành thực nghiệm kiểm chứng kết quả sẽ được trình bày ở phần dưới đây.

3.4. Thực nghiệm kiểm chứng [4, 8]

Tiến hành quá trình STH tại nhiệt độ môi trường sấy **34.04** [$^{\circ}\text{C}$], áp suất môi trường sấy **0.009** [mmHg], thời gian sấy **13.26** [h] và nhận được kết quả chi phí năng lượng cho quá trình sấy tạo ra 1 kg SP **67.267** [kWh], độ ẩm cuối cùng của SP đạt **4.778** [%], khả năng hút nước và hoàn nguyên trở lại của SP **92.282** [%] (khả năng không hút nước hoàn nguyên trở lại của SP **7.718** [%]), độ co rút thể tích của SP **8.795** [%] và lượng tổn thất vitamine C của SP **1.834** [%].

Có thể thấy rằng kết quả tính toán tối ưu hóa quá trình STH bằng phương pháp vùng cấm cho kết quả hoàn toàn phù hợp với thực nghiệm.



Hình 8. Sản phẩm tôm bạc chân sơ bóc vỏ bỏ đầu STH

3.5. Xác lập chế độ công nghệ STH hoàn chỉnh [4, 8]

Với áp suất môi trường STH $P_{th} = 0.009$ [mmHg] thay vào mô hình toán (3.51) được thiết lập ở [3], xác định được hệ số cấp nhiệt của môi trường STH $\alpha_{bx} = 4.2057$ [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$], thay các thông số nhiệt – vật lý của tôm sú [7], vào mô hình toán truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện STH từ (3.22) đến (3.42) được thiết lập ở [3], xác định được thời gian STH ở giai đoạn 2: $\tau_{th} = 11.403$ [h], thời gian SCK ở giai đoạn 3: $\tau_{ck} = 1.857$ [h] với nhiệt độ thăng hoa

là -24.62 [$^{\circ}\text{C}$], nhiệt độ kết tinh của ẩm trong tôm sú -1.18 [$^{\circ}\text{C}$], [3,7].

Như vậy, chế độ công nghệ STH cho tôm bạc được thiết lập hoàn chỉnh như sau (có thể xem sơ đồ qui trình công nghệ [1,3,5]):

- **Giai đoạn 1:** giai đoạn lạnh đông: nhiệt độ môi trường lạnh đông -45°C , hệ số tỏa nhiệt môi trường lạnh đông 8.514 [$\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$], nhiệt độ bề mặt VLS -33.05 [$^{\circ}\text{C}$], nhiệt độ tâm VLS -11.97 [$^{\circ}\text{C}$], nhiệt độ trung bình VLS -24.62 [$^{\circ}\text{C}$].

- **Giai đoạn 2 (STH) và 3 (SCK):** nhiệt độ thăng hoa -24.62 [$^{\circ}\text{C}$], nhiệt độ môi trường sấy 34.05 [$^{\circ}\text{C}$], áp suất môi trường sấy 0.009

[mmHg], thời gian STH ở giai đoạn 2: 11.403 [h], khi đó nhiệt độ VLS ≥ -1.18 [$^{\circ}\text{C}$], thời gian SCK ở giai đoạn 3: 1.857 [h], tổng thời gian sấy là: 13.26 [h].

Khi STH tẩm bạc với qui trình đã được thiết lập ở trên, sản phẩm nhận được ở **hình 8**, có phí năng lượng và chất lượng sản phẩm như đã khẳng định ở trên.

4. KẾT LUẬN

Quá trình STH được nghiên cứu một cách hệ thống bằng phương pháp toán học kết hợp với các phương pháp nghiên cứu thực nghiệm.

Các phương trình hồi qui (16), (17), (18), (19) và (20) thu được từ thực nghiệm là các mô hình thống kê thực nghiệm mô tả rất tốt sự ảnh hưởng nhiệt độ môi trường sấy, áp suất môi trường sấy, thời gian sấy đến chi phí năng

lượng cho quá trình sấy, độ ẩm cuối cùng của sản phẩm, khả năng hút nước và hoàn nguyên trở lại, độ co rút thể tích của sản phẩm và lượng tổn thất vitamine C của sản phẩm.

Bằng phương pháp chuẩn tối ưu tổ hợp R (phương pháp vùng cấm) đã xác định chế độ công nghệ STH tối ưu, có chi phí quá trình nhỏ nhất và chất lượng sản phẩm được tạo ra tốt nhất.

Việc xác định chế độ công nghệ STH khá phức tạp nó vừa kết hợp giữa hai loại mô hình: truyền nhiệt lạnh đông, tách ẩm và thống kê thực nghiệm để xác định chất lượng sản phẩm tốt nhất, chi phí năng lượng bé nhất, vì vậy đòi hỏi người nghiên cứu phải nắm vững kiến thức STH.

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION WITH OPTIMAL STANDARD COMBINATION OF R APPLIED TO DETERMINE REGIME TECHNOLOGICAL FREEZE DRYING OF *PENAEUS MERGUIENSIS*

Nguyen Tan Dzung⁽¹⁾, Le Xuan Hai⁽²⁾, Trinh Van Dzung⁽²⁾

(1) University of Technical Education, HCM City

(2) University of Technology, VNU-HCM

ABSTRACT: *This article presents research results of determinative regime technological freeze drying of Penaeus Merquiensis by method to solve a multi-Objective optimization problem with optimal standard combination of R. Experimental research was carried out building objective functions to describe influence of technological element (temperature of sublimation environment, pressure of sublimation environment and times of freeze drying) during processing freeze drying.*

By restricted zone (optimal standard combination of R) method determined optimal regime technological freeze drying have minimum energy expenditures/1 kg product, minimum humidity of material, maximum absorbent return of product, minimum contraction of product and minimum loss of vitamine C.

Keywords: *Multi-Objective optimization, Optimization, Freeze drying*

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Tấn Dũng, *Xây dựng và giải mô hình toán truyền nhiệt lạnh đông và truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện sấy thăng hoa*, Chuyên đề 2 chuyên đề tiến sĩ, Đại học Bách Khoa, (2009).

[2]. Ludger O. Figura, Arthur A. Teixeira, Physical properties – Measurement and Applications (in Freeze – Drying), *Journal of Food Engineering*, Germany (2007).

[3]. Nguyễn Tấn Dũng – Trịnh Văn Dũng – Trần Đức Ba, Nghiên cứu thiết lập mô hình toán truyền nhiệt tách ẩm trong điều kiện sấy thăng hoa, *Tạp chí Phát triển*

- Khoa học và Công nghệ ĐHQG Tp.HCM*, Tập 11, số 09, (2009).
- [4]. Lê Xuân Hải, Tối ưu đa mục tiêu ứng dụng trong quá trình chiết tách chất màu anthocyanin, *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ ĐHQG Tp.HCM*, Tập 11, số 09, (2008).
- [5]. Nguyễn Tấn Dũng, Nghiên cứu tính toán thiết kế, chế tạo hệ thống sấy thăng hoa công nghiệp DS-3 phục vụ cho sản xuất các loại thực phẩm cao cấp (Đề tài NCKH cấp bộ), *Tạp chí Giáo dục khoa học kỹ thuật*, số 3(1), (2007).
- [6]. Nguyễn Tấn Dũng - Trịnh Văn Dũng - Trần Đức Ba, Nghiên cứu khảo sát các tính chất nhiệt - vật lý của nhóm giáp xác (tôm sú, tôm bạc và tôm thẻ) ảnh hưởng đến quá trình cấp nhiệt và tách ẩm trong sấy thăng hoa, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ thủy sản*, (2008).
- [7]. Nguyễn Tấn Dũng, *Khảo sát một số tính chất nhiệt vật lý của thủy sản nhóm giáp xác (tôm sú, tôm bạc và tôm thẻ) ảnh hưởng đến quá trình cấp nhiệt tách ẩm trong sấy thăng hoa*, Chuyên đề 1 chuyên đề tiến sĩ, Đại học Bách Khoa, (2008).
- [8]. Nguyễn Tấn Dũng, *Xác lập chế độ công nghệ STH thủy sản: tôm sú, tôm bạc và tôm thẻ*, Chuyên đề 3 chuyên đề tiến sĩ, Đại học Bách Khoa, (2010).
- [9]. Luikov, A.V. Systems of differential equations of heat and mass transfer in capillary-porous bodies, *International Journal of Heat and mass transfer*, (1975).
- [10]. Luikov, A.V. Equations applicable to Sublimation drying, *Journal of Food Engineering*, (1972).
- [11]. Pikal, M.J.; M.L.; Shah, S. Mass and Heat transfer in vial freeze drying of pharmaceuticals: role of the vial. *J. Pharm. Sci, Journal of Food Engineering*, (1984).
- [12]. Liapis, A.I., Bruttini, R. and Pikal, M.J. Research and development needs and opportunities in freeze drying, *Drying Technology, Journal of Food Engineering*, (1996).
- [13]. Haugvalstad.G.H - Skipnes.D - Sivertsvik.M, Food free from preservative, *Journal of Food Engineering*, (2005).