

DOI: 10.58490/ctjump.2026i94.4125

**TỐI ƯU HÓA ĐIỀU KIỆN PHUN SÁY DỊCH CHIẾT HÀ THỦ Ô ĐỎ
(*FALLOPIA MULTIFLORA* (THUNB.)) Ở QUY MÔ PHÒNG THÍ NGHIỆM**

Nguyễn Thị Hồng Thanh*

Trường Đại học Y khoa Vinh

*Email: hongthanh@vnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 22/7/2025

Ngày phản biện: 13/01/2026

Ngày duyệt đăng: 25/01/2026

TÓM TẮT

Đặt vấn đề: Hà thủ ô đỏ (*Fallopia multiflora* (Thunb.)) được sử dụng lâu đời trong Y học cổ truyền các nước châu Á. Dược liệu này chứa nhiều hợp chất polyphenol có hoạt tính sinh học cao nhưng cũng tiềm ẩn nguy cơ gây độc gan. Quá trình bào chế có thể góp phần làm giảm độc tính và tạo cao khô ổn định, an toàn. **Mục tiêu nghiên cứu:** Ứng dụng quy hoạch thực nghiệm để tối ưu hóa các điều kiện phun sấy bào chế cao khô Hà thủ ô đỏ chế ở quy mô phòng thí nghiệm. **Đối tượng và phương pháp nghiên cứu:** Tối ưu hóa điều kiện phun sấy bằng phần mềm Modde Pro 12 với các biến độc lập gồm: tỉ lệ maltodextrin:aerosil 200 (X1, từ 0–40%), nhiệt độ khí sấy vào (X2, từ 100–130°C), tốc độ cấp dịch (X3, từ 1,5–2,5 ml/phút). Các biến phụ thuộc bao gồm tính chất cao khô, hiệu suất thu cao khô và hiệu suất thu polyphenol toàn phần (TPC). **Kết quả:** Theo hàm mong muốn, điều kiện tối ưu bao gồm: cao chiết 3:1; tá dược aerosil 200; hàm lượng chất rắn trong dịch phun 2%; áp suất khí nén 2 bar; tốc độ cấp dịch 1,5 ml/phút; nhiệt độ khí vào $100 \pm 2^\circ\text{C}$; sử dụng thiết bị Mini Spray-Dryer B-191 (Thụy Sĩ). Ở điều kiện này, cao khô thu được có các đặc tính phù hợp, hiệu suất thu cao khô và TPC lần lượt đạt 63,99% và 52,26% (quy mô 100g cao lỏng/mẻ), phù hợp với giá trị dự đoán của mô hình. **Kết luận:** Kỹ thuật quy hoạch thực nghiệm là công cụ hiệu quả trong khảo sát và tối ưu hóa điều kiện phun sấy cao khô Hà thủ ô đỏ ở quy mô phòng thí nghiệm.

Từ khóa: Cao khô, Hà thủ ô đỏ, phun sấy, tối ưu hóa.

ABSTRACT**OPTIMIZATION OF SPRAY DRYING CONDITIONS FOR RED FO-TI
(*FALLOPIA MULTIFLORA* (THUNB.)) EXTRACT AT LABORATORY SCALE**

Nguyễn Thị Hồng Thanh*

Vinh Medical University

Background: *Fallopia multiflora* (Thunb.) is a traditional medicinal herb widely used in Asian countries. It contains abundant polyphenolic compounds with significant biological activities but also poses a potential risk of hepatotoxicity. Appropriate processing can help reduce toxicity and produce a stable and safe dry extract. **Objective:** To prepare a spray-dried powder extract from the roots of *Fallopia multiflora* with optimized characteristics. **Materials and methods:** Spray-drying conditions were optimized using Modde Pro 12 software. Independent variables included the maltodextrin: Aerosil 200 ratio (X1, 0–40%), inlet air temperature (X2, 100–130°C), and feed flow rate (X3, 1.5–2.5 mL/min). Dependent variables were powder properties, dry extract yield, and total polyphenol content (TPC) recovery. **Results:** Based on the desirability function, the optimal conditions were: extract concentration 3:1; Aerosil 200 as excipient; solid content of the feed solution 2%; atomizing air pressure 2 bar; feed flow rate 1.5 mL/min; inlet temperature $100 \pm 2^\circ\text{C}$; using a Mini Spray-Dryer B-191 (Switzerland). Under these conditions, the obtained dry extract exhibited suitable properties, with a yield of 63.99% and TPC recovery of 52.26% (at 100 g liquid extract per batch), consistent with the predicted values.

Conclusion: *Experimental design methodology is an effective tool for investigating and optimizing spray-drying conditions of Fallopia multiflora extract at laboratory scale.*

Keywords: *Dried extract, Fallopia multiflora, spray-drying, optimization.*

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hà thủ ô đỏ (*Fallopia multiflora* Thunb.) là dược liệu được sử dụng lâu đời trong y học cổ truyền châu Á. Rễ Hà thủ ô đỏ (FM) chứa nhiều polyphenol như flavonoid, anthraquinon, stilben, tanin [1]. Tuy nhiên, đã có báo cáo về nguy cơ gây tổn thương gan, trong đó stilben glucosid và anthraquinon được xem là các thành phần chính liên quan đến độc tính. Quá trình chế biến giúp giảm đáng kể độc tính của FM dạng thô, vì vậy sản phẩm từ FM chế được coi là tương đối an toàn [2], [3].

Phun sấy là kỹ thuật sấy dung dịch, hỗn dịch hoặc bột nhão bằng cách phân tán thành các giọt nhỏ vào dòng khí nóng, giúp bay hơi nhanh và thu được bột khô. Phương pháp này được ứng dụng rộng rãi trong bào chế cao khô dược liệu nhờ hiệu suất cao, thời gian sấy ngắn, ít ảnh hưởng đến hoạt chất và tạo sản phẩm dễ hòa tan [4]. Từ đó, nghiên cứu được thực hiện với mục tiêu: Ứng dụng kỹ thuật quy hoạch thực nghiệm kết hợp phân tích bề mặt đáp ứng để khảo sát mối quan hệ giữa các biến đầu vào và đầu ra trong quá trình phun sấy, từ đó xác định và tối ưu hóa các điều kiện công nghệ cho quy trình bào chế cao khô Hà thủ ô đỏ chế ở quy mô phòng thí nghiệm.

II. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

- **Nguyên liệu:** Rễ Hà thủ ô đỏ thu hái tại Kỳ Sơn (Nghệ An), rửa sạch, thái lát dày 2-3 mm, sấy ở 60°C đến độ ẩm < 12%. Mẫu được đóng túi polyetylen, hút chân không và bảo quản ở nhiệt độ phòng để sử dụng.

- **Hóa chất:** Các hóa chất, thuốc thử acid gallic, folin ciocalteu (Sigma-Aldrich-Mỹ); ethanol 95%, nước tinh khiết, natri carbonat (Việt Nam); aerosil 200, maltodextrin (Trung Quốc); gạo tẻ, đậu đen (Việt Nam).

- **Thiết bị:** Bể siêu âm Ultrasonic LC60H (Đức), máy cô quay chân không Buchi R-210/215 và máy phun sấy Buchi Mini Spray-Dryer B-191 (Thụy Sĩ), máy khuấy từ Wisestir (Đức), máy đo độ ẩm Ohaus MB25 (Mỹ), cân phân tích Satorius TE214S (Đức), máy đo quang phổ UV-VIS Hitachi U-5100 (Nhật Bản) cùng các dụng cụ thí nghiệm thông thường.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp bào chế

- **Chế biến và chiết xuất:** FM được ngâm nước cám gạo 24 giờ, sau đó hầm với nước đậu đen (1:1) trong 12 giờ. Dịch nước đậu đen dùng để tẩm dược liệu, sấy ở 40°C và lặp lại cho đến khi hết dịch, thu được FM chế [5]. Bột FM chế (1 mm) được chiết bằng ethanol 95% (11/1 ml/g): ngâm 60 phút ở nhiệt độ phòng, sau đó chiết siêu âm 2 lần ở 53°C trong 52 phút thu được 2 dịch chiết [6]. Gộp dịch chiết, lọc và cô đặc đến hàm lượng chất rắn khoảng 2% (kl/kl).

- **Phun sấy tạo cao khô FM chế:** Xác định hàm lượng chất rắn trong dịch chiết bằng phương pháp mất khối lượng do làm khô. Phân tán aerosil 200 và maltodextrin (MD) vào dịch chiết với tỉ lệ tổng tá dược/chất rắn 1:1, trong đó tỉ lệ MD được khảo sát. Khuấy liên tục 200 vòng/phút trong suốt quá trình. Phun sấy với áp suất khí nén 2 bar, công suất hút

90%, khảo sát lưu lượng bơm dịch và nhiệt độ khí sấy. Quy mô ban đầu 10 g dịch chiết/mẻ, sau đó nâng cấp khi xác định được điều kiện tối ưu.

2.2.2. Thiết kế thí nghiệm và tối ưu hóa điều kiện phun sấy

Tiến hành thiết kế thí nghiệm và phân tích kết quả bằng phần mềm Modde Pro12.

Bảng 1. Khoảng biến thiên và loại kỳ vọng của các biến đầu ra được chọn trong nghiên cứu

Tên biến đầu ra	Ký hiệu	Đơn vị	Khoảng biến thiên	Loại kỳ vọng
Tính chất cao	Y1	Điểm	1 – 5	Max (càng cao càng tốt)
Hiệu suất thu cao khô	Y2	%	0 – 100	Max (càng cao càng tốt)
Hiệu suất thu TPC	Y3	%	0 – 100	Max (càng cao càng tốt)

Chỉ tiêu đánh giá

- **Tính chất cao:** Đánh giá bằng phương pháp cảm quan theo thang điểm dựa trên màu sắc, độ khô toi và độ ẩm của sản phẩm; đồng thời quan sát hình thái bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) ở độ phóng đại 50–2000 lần.

Bảng 2. Thang điểm đánh giá tính chất bột cao khô

Điểm	Màu sắc	Hình thái (SEM)	Độ khô toi	Độ ẩm
1	Vàng nâu đậm, không đều	Hạt biến dạng, kết tụ, cấu trúc kém	Bết dính, bám nhiều trên cyclon, khó thu hồi	> 5%
2	Vàng nâu đậm, không đều	Hạt kết tụ, bề mặt không đồng nhất	Bết dính, bám nhiều trên cyclon, khó thu hồi	> 5%
3	Vàng nâu đậm, đều màu	Hạt chưa đồng đều, còn dính kết	Hạt khô, kém toi, hơi dính nhau, còn bám cyclon, khó lấy	> 5%
4	Đỏ nâu, đều màu	Hạt gần cầu, bề mặt nhẵn nhéo, ít kết tụ	Hạt khô toi, rời nhau, vẫn còn dính trên cyclon, dễ lấy	< 5%
5	Đỏ nâu, đều màu	Hạt gần cầu, bề mặt nhẵn nhéo, không kết tụ	Hạt khô toi, rời nhau, không dính trên cyclon, dễ thu hồi	< 5%

- **Hiệu suất thu cao:** Hiệu suất thu cao khô được tính theo công thức:

$$H1 = \frac{m_{\text{sau}} - m_{\text{trước}}}{m_{\text{dịch chiết}} * HL + m_{\text{tá dược độn}}} * 100$$

Trong đó: H1: hiệu suất thu cao (%), m_{sau} và $m_{\text{trước}}$: khối lượng cốc đựng cao sau và trước phun sấy (g), $m_{\text{dịch chiết}}$: khối lượng dịch chiết (g), HL: hàm lượng chất (%), $m_{\text{tá dược độn}}$: tổng khối lượng aerosil 200 và MD.

- **Hiệu suất thu TPC:** Xác định hàm lượng TPC bằng phương pháp UV-Vis [7]. Tính khối lượng TPC trong mẫu dịch chiết và mẫu cao. Hiệu suất thu TPC là:

$$H2 = \frac{m_{\text{TPC trong cao}}}{m_{\text{TPC trong dịch chiết phun sấy}}} * 100$$

Trong đó: H2: hiệu suất thu TPC (%), $m_{\text{TPC trong cao}}$, $m_{\text{TPC trong dịch chiết phun sấy}}$: khối lượng TPC trong cao thu được và trong lượng dịch chiết dùng để phun sấy (g).

III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

3.1. Lựa chọn biến đầu vào và biến đầu ra

Khảo sát sơ bộ cho thấy các biến đầu vào ảnh hưởng đáng kể gồm tỉ lệ MD trong hỗn hợp tá dược, nhiệt độ sấy và lưu lượng dịch phun.

Bảng 3. Biến đầu vào và biến đầu ra được lựa chọn để khảo sát

STT	Tên biến	Ký hiệu	Đơn vị	Loại biến	Khoảng biến thiên
Tên biến đầu vào					
1	Tỉ lệ MD	X1	%	Định lượng	0–40

STT	Tên biến	Ký hiệu	Đơn vị	Loại biến	Khoảng biến thiên
2	Nhiệt độ sấy	X2	độ C	Định lượng	100–130
3	Lưu lượng phun dịch	X3	ml/phút	Định lượng	1,5–2,5
Tên biến đầu ra					
1	Tính chất cao	Y ₁	Điểm	Càng cao càng tốt	1-5
2	Hiệu suất thu cao	Y ₂	%	Càng cao càng tốt	0-100
3	Hiệu suất thu TPC	Y ₃	%	Càng cao càng tốt	0-100

3.2. Thiết kế và tiến hành thực nghiệm

Với ba biến đầu vào và ba biến đầu ra đã chọn, tiến hành thiết kế thí nghiệm để tìm điều kiện thực nghiệm tối ưu, sử dụng phần mềm Modde Pro 12, chọn kiểu thiết kế CCF với 15 thí nghiệm, mỗi thí nghiệm được tiến hành 1 lần, thí nghiệm tại tâm được tiến hành 3 lần (là 17 thí nghiệm). Phun sấy tạo cao khô FM chế với các điều kiện đã thiết kế và đánh giá các đặc tính của cao thu được.

Bảng 4. Các công thức thiết kế trong quy hoạch thực nghiệm và kết quả giá trị thực nghiệm

STT	Tên thí nghiệm	X1	X2	X3	Y1	Y2	Y3
1	N1	0	100	1,5	5	63,20	47,33
2	N2	0	130	1,5	5	19,30	16,13
3	N3	0	100	2,5	4	53,78	27,78
4	N4	0	130	2,5	5	51,19	30,87
5	N5	40	100	1,5	3	61,74	58,87
6	N6	40	130	1,5	4	18,56	20,82
7	N7	40	100	2,5	3	46,53	57,61
8	N8	40	130	2,5	4	44,34	45,62
9	N9	20	100	2	5	59,00	37,75
10	N10	20	130	2	5	55,13	44,74
11	N11	20	115	1,5	5	48,96	42,38
12	N12	20	115	2,5	4	64,44	54,80
13	N13	0	115	2	5	52,31	43,27
14	N14	40	115	2	3	58,89	52,80
15	N15	20	115	2	4	66,53	59,11
16	N16	20	115	2	4	53,56	53,61
17	N17	20	115	2	4	45,97	47,39

3.3. Mối quan hệ giữa biến đầu vào và biến đầu ra

Phần mềm Modde Pro 12 giúp xây dựng các phương trình hồi quy bậc không quá 2 mô tả mối quan hệ giữa từng biến đầu ra và 3 biến đầu vào.

Bảng 5. Kết quả phân tích phương sai các phương trình hồi quy tìm được

Phương trình	P1	P2	P3
Biến đầu ra	Y1	Y2	Y3
p _{hồi quy}	0,004	0,007	0,034
p _{khuyết}	-	0,702	0,252
R ²	0,694	0,664	0,554
R ² _{hiệu chỉnh}	0,592	0,553	0,405
Q ²	0,534	0,240	0,130

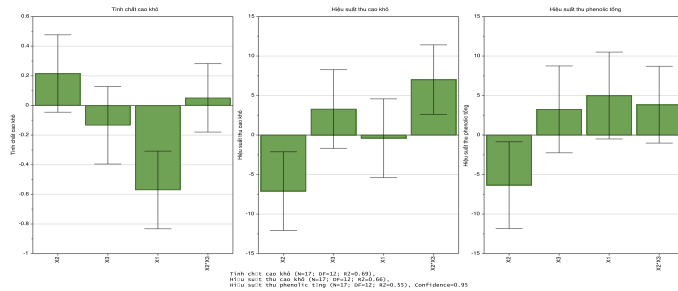
Nhận xét: Các phương trình hồi quy tìm được đều có ý nghĩa thống kê (p_{hồi quy} < 0,05), mô tả khá tốt các kết quả đã thực hiện (R² khá cao), sai số của các thí nghiệm để đánh giá Y2 và Y3 là đồng nhất (p_{khuyết} > 0,05). Phương trình P1 dự đoán khá tốt giá trị của các

biến đầu ra tương ứng là Y1 (Q² khá cao) trong khi phương trình P2 và P3 có giá trị Q² tương đối thấp.

Bảng 6. Các hệ số của các phương trình hồi quy tìm được

Hệ số của biến đầu vào	Phương trình		
	P1	P2	P3
X1	<u>-0,570349*</u>	-0,394264	5,00439
X2	0,215527	<u>-7,09037*</u>	<u>-6,33622*</u>
X3	-0,133877	3,30085	3,25829
X2*X3	0,0513982	<u>7,01965*</u>	3,83743
Hằng số	<u>4,23529*</u>	<u>50,79*</u>	<u>43,5812*</u>

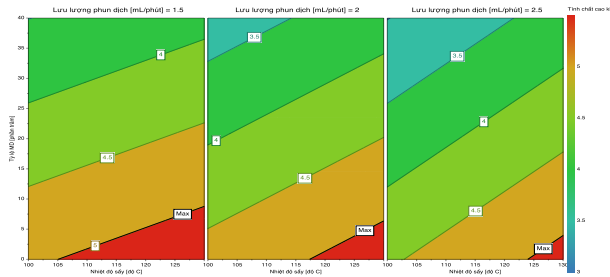
Ghi chú: * Các hệ số có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).



Hình 1. Đồ thị biểu diễn hệ số của các biến trong các phương trình hồi quy

Nhận xét: Tỷ lệ MD trong hỗn hợp tá dược độn (biến X1) ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê tới tính chất cao. Nhiệt độ sấy (X2) và tương tác giữa nhiệt độ sấy và lưu lượng phun dịch (X2.X3) ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến hiệu suất thu cao. Nhiệt độ sấy (X2) ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê đến hiệu suất thu TPC.

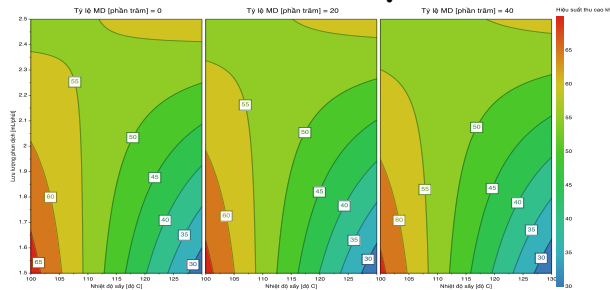
- Ảnh hưởng của các biến đầu vào đến tính chất cao



Hình 2. Ảnh hưởng của các biến đầu vào đến tính chất cao thu được

Nhận xét: Trong các biến đầu vào, tỉ lệ MD trong hỗn hợp tá dược độn là biến ảnh hưởng có ý nghĩa đến tính chất cao, khi tỉ lệ MD tăng, điểm tính chất của cao giảm.

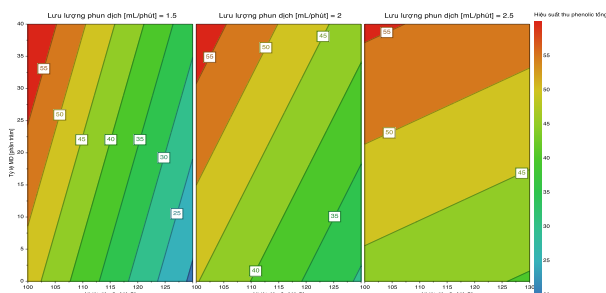
- Ảnh hưởng của các biến đầu vào đến hiệu suất thu cao



Hình 3. Ảnh hưởng của các biến đầu vào đến hiệu suất thu cao

Nhận xét: Tỷ lệ MD không ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu suất thu cao. Nhiệt độ sấy và lưu lượng phun dịch ảnh hưởng có ý nghĩa đến hiệu suất thu cao. Ảnh hưởng của 2 biến này có tương tác chặt chẽ với nhau, cụ thể khi nhiệt độ sấy ở mức thấp, tăng lưu lượng phun dịch làm giảm hiệu suất thu cao. Ngược lại, khi nhiệt độ sấy ở mức cao, tăng lưu lượng phun dịch có xu hướng làm tăng hiệu suất thu cao.

- Ảnh hưởng của các biến đầu vào đến hiệu suất thu TPC

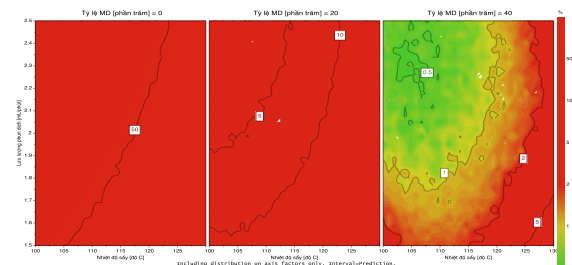


Hình 4. Ảnh hưởng của các biến đầu vào đến hiệu suất thu TPC

Nhận xét: Hiệu suất thu TPC bị ảnh hưởng có ý nghĩa bởi nhiệt độ sấy, tăng nhiệt độ làm giảm hiệu suất.

- Không gian thiết kế:

Việc xác định không gian thiết kế thay cho xác định điểm (chỉ một điều kiện bào chế) mang lại tính linh hoạt trong việc cải tiến và nâng cấp quy trình bào chế ở các bước nghiên cứu tiếp theo.



Hình 5. Biểu diễn không gian thiết kế vẽ gộp cho cả 3 biến đầu ra

3.4. Đánh giá điều kiện tối ưu tìm được

Sau khi xác định được quy luật sự phụ thuộc của các biến đầu ra theo các biến đầu vào, tìm kiếm công thức tối ưu bằng phần mềm Modde Pro 12 với mục tiêu của các biến đầu ra là đạt giá trị cao nhất có thể. Công thức tối ưu được chọn là công thức có giá trị log(D) thấp nhất và tỉ lệ thất bại nhỏ nhất.

Bảng 7. Giá trị các biến đầu vào và biến đầu ra của công thức tối ưu

Giá trị tối ưu của các biến đầu vào		Giá trị tương ứng của các biến đầu ra	
Tỉ lệ MD trong hỗn hợp tá dược (%)	3,6	Tính chất cao (điểm)	4,8
Nhiệt độ sấy (°C)	100	Hiệu suất thu cao (%)	67,22
Lưu lượng phun dịch ml/phút)	1,5	Hiệu suất thu TPC (%)	48,43

Nhận xét: Kết quả dự đoán từ công thức tối ưu không cho thấy sự cải thiện đáng kể so với điều kiện thực nghiệm N1, với các giá trị tương ứng là tính chất cao 4,8, hiệu suất thu cao 67,22% và hiệu suất thu TPC 48,43% (so với N1: 5 điểm, 62,3% và 47,33%). Như vậy, công thức N1 đạt hiệu năng tương đương trên các chỉ tiêu đánh giá. Do đó, công thức

N1 (100% Aerosil 200, nhiệt độ sấy 100°C, lưu lượng phun dịch 1,5 mL/phút) được ưu tiên lựa chọn do đảm bảo tính khả thi, quy trình đơn giản và thuận lợi cho triển khai thực tiễn.

3.5. Kết quả nâng quy mô bào chế

Phun sấy dịch chiết FM chế ở quy mô khảo sát là 10,0 g dịch chiết/mẻ, sau đó nâng lên mức trung gian 50,0 g dịch chiết/mẻ để đánh giá sơ bộ và mức 100,0 g dịch chiết/mẻ.

Bảng 8. Kết quả các biến đầu ra khi nâng quy mô phun sấy

STT	Chỉ tiêu chất lượng	Mẻ 10,0 g	Mẻ 50,0 g	Mẻ 100,0 g (n=3)
1	Tính chất cao (điểm)	5	5	5
2	Hiệu suất thu cao (%)	63,20	67,77	63,99 ± 5,11
3	Hiệu suất thu TPC (%)	47,33	-	52,26 ± 6,70

Nhận xét: Cao khô thu được màu nâu đỏ, đồng đều, dạng hạt nhỏ khô toì, ít bám cyclon, dễ thu hồi, độ ẩm thấp hơn 5%. Hình ảnh SEM cho thấy hạt gần hình cầu, bề mặt nhẵn, không kết tụ. Hiệu suất thu cao ổn định (>60%), hiệu suất thu TPC không thay đổi đáng kể khi nâng cấp quy mô, cho thấy quy trình cơ bản ổn định.

IV. BÀN LUẬN

Mặc dù các mô hình hồi quy có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) và R^2 ở mức chấp nhận được, giá trị Q^2 còn thấp, đặc biệt với Y2 và Y3, cho thấy khả năng dự đoán ngoài phạm vi thí nghiệm còn hạn chế. Do đó, mô hình chỉ có ý nghĩa trong phạm vi thiết kế thực nghiệm đã khảo sát và chủ yếu mang tính định hướng, không khái quát cho các điều kiện phun sấy khác.

Bên cạnh đó, số lần lặp trong thiết kế CCF còn hạn chế, chủ yếu tập trung tại điểm tâm, có thể ảnh hưởng đến độ chính xác trong ước lượng sai số và làm giảm độ tin cậy của các chỉ số dự đoán, đặc biệt là Q^2 . Vì vậy, các kết quả tối ưu hóa cần được kiểm chứng thêm bằng các thí nghiệm lặp độc lập hoặc thiết kế mở rộng để nâng cao độ tin cậy của mô hình.

Tỉ lệ MD trong tá dược ảnh hưởng rõ đến tính chất cao. Khi tăng MD, điểm tính chất giảm do MD thân nước, tạo liên kết Hydro với nước, làm quá trình sấy chậm hơn và cao dễ hút ẩm, kém khô toì. Ngược lại, tăng nhiệt độ sấy và giảm lưu lượng phun dịch giúp tăng điểm tính chất do tăng khả năng bay hơi dung môi và kéo dài thời gian sấy trong buồng. Hạn chế của nghiên cứu là đánh giá tính chất cao chủ yếu dựa trên cảm quan và SEM, mang tính chủ quan, khó định lượng và chưa phản ánh đầy đủ các tính chất công nghệ của bột. Do đó, cần bổ sung các chỉ tiêu định lượng như kích thước tiểu phân, độ chảy hoặc độ ẩm để tăng độ tin cậy của kết quả.

Tỉ lệ MD không ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu suất thu. Ngược lại, nhiệt độ sấy và lưu lượng phun dịch ảnh hưởng đáng kể và có tương tác chặt chẽ. Ở nhiệt độ thấp, tăng lưu lượng phun làm tiểu phân chưa kịp khô hoàn toàn, còn ẩm và dễ bám dính trong hệ thống, dẫn đến giảm hiệu suất thu. Ngược lại, ở nhiệt độ cao, lưu lượng phun thấp có thể làm tiểu phân quá khô và bị cuốn theo khí thải; tăng lưu lượng phun giúp các tiểu phân chia sẻ nhiệt, đạt độ khô phù hợp và tăng khả năng thu hồi.

Hiệu suất thu TPC giảm khi nhiệt độ sấy tăng, có thể do polyphenol kém bền và dễ bị oxy hóa ở nhiệt độ cao. Lưu lượng phun dịch tăng giúp hiệu suất TPC tăng nhẹ do giảm nhiệt tác động trên mỗi giọt, góp phần bảo vệ hoạt chất. Tỉ lệ MD tăng cũng làm tăng hiệu suất TPC, nhờ vai trò chất mang, giúp ổn định và bảo vệ polyphenol trong quá trình phun sấy.

Nghiên cứu của Nguyễn Phước Minh (2019) chủ yếu khảo sát từng yếu tố riêng lẻ, chưa sử dụng thiết kế thí nghiệm để đánh giá đồng thời tương quan và tương tác giữa các biến, nên khả năng mô hình hóa và dự đoán còn hạn chế [8]. Nghiên cứu của Nguyễn Văn

Bạch (2016) phát triển quy trình với FM thô kết hợp dược liệu khác, phạm vi áp dụng cho FM chưa cao và cũng chưa áp dụng tối ưu hóa bằng mô hình thống kê [9]. So với các công bố này, nghiên cứu hiện tại có điểm mới là sử dụng thiết kế thí nghiệm kết hợp phân tích mặt đáp ứng để mô hình hóa mối quan hệ đa biến và tối ưu hóa đa mục tiêu, qua đó làm rõ tương tác các yếu tố và hỗ trợ dự đoán, mở rộng quy mô.

V. KẾT LUẬN

Kỹ thuật quy hoạch thực nghiệm được áp dụng để lựa chọn các thông số phù hợp cho quy trình phun sấy cao khô từ FM chế. Điều kiện tối ưu gồm: cao chiết FM chế 3:1; tá dược Aerosil 200; hàm lượng chất rắn trong dịch phun 2%; áp suất khí nén 2 bar; tốc độ cấp dịch 1,5 ml/phút; nhiệt độ khí vào $100 \pm 2^\circ\text{C}$; thiết bị Mini Spray-Dryer B-191 (Thụy Sĩ). Quy trình vận hành ổn định ở quy mô phòng thí nghiệm, nhưng cần nghiên cứu thêm để đánh giá khả năng mở rộng quy mô và độ ổn định dài hạn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Qian, Jin, *et al.* A review on the extraction, purification, detection, and pharmacological effects of 2, 3, 5, 4'-tetrahydroxystilbene-2-O- β -D-glucoside from *Polygonum multiflorum*. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2020. 124 (2020), 109923. [https://doi: 10.1016/j.biopha.2020.109923](https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.109923).
2. Li, Ruo-Lan, *et al.* 2020. Effects of different processed products of *Polygonum multiflorum* on the liver. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2020. 1(2020), 5235271. [https://doi: 10.1155/2020/5235271](https://doi.org/10.1155/2020/5235271).
3. Bui, Thi Thuong, *et al.* Developing a Process of Preparing *Fallopia multiflora* Thunb. and Proposing Basic Standards for the Product. *VNU Journal of Science: Medical and Pharmaceutical Sciences*. 2021. 37.4. <https://doi.org/10.25073/2588-1132/vnumps.4305>.
4. Machado *et al.* Optimization of the drying process of standardized extracts from leaves of *Spondias mombin* L. using Box–Behnken design and response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation* 2021. 45.7, e15595. <http://doi:10.1111/jfpp.15595>
5. Thanh, Nguyen Thi Hong, *et al.* Study on the effect of processing methods on the total polyphenol, 2, 3, 5, 4'-tetrahydroxystilben-2-O- β -D-glucoside, and physcion contents in *Fallopia multiflora* Thunb. Haraldson root. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* . 2023. 59, e21570. <https://doi.org/10.1590/s2175-97902023e21570>
6. Thanh, Nguyen Thi Hong, *et al.* Optimizing extraction of polyphenols from red *Fallopia multiflora* Thunb. root in raw and processed form by response surface method: A comparison. *Pharmaceutical Sciences Asia*. 2023. 50.1. <http://doi:10.29090/psa.2023.01.22.320>.
7. Singleton V.L., Rosa R.O., Raventos M.L. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Meth. Enzymol.* 1999, 299, 152-178. [http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1).
8. Nguyen P.M, Nguyen P.T.N. Microencapsulation of *Fallopia multiflora* for Spray Drying of Instant Herbal Tea. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2019. 11(4), 1406-1409.
9. Nguyễn Văn Bạch và cộng sự. Nghiên cứu bào chế chế phẩm có tác dụng hạ lipid trong máu từ ba dược liệu Táo mèo, Hà thủ ô đỏ, Cốt khí củ ở vùng Tây Bắc. 125-140. Chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp nhà nước giai đoạn 2013-2018: Khoa học và công nghệ phục vụ phát triển bền vững vùng Tây bắc. 2016. Mã số chương trình: KHCN-TB/13-18.