

# TỐI ƯU HÓA ĐIỀU KIỆN TRÍCH LY HOẠT CHẤT SINH HỌC VÀ KHẢ NĂNG CHỐNG OXY HÓA TỪ RỄ CÂY ĐAN SÂM (*SALVIA MILTIORRHIZA* BUNGE)

OPTIMIZATION OF EXTRACTION CONDITIONS FOR PHYTOCHEMICAL COMPOUNDS AND ANTIOXIDANT CAPACITY FROM DAN SAM ROOT (*SALVIA MILTIORRHIZA*)

Trần Thanh Giang<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Hòa<sup>2</sup>,  
Nguyễn Văn Tặng<sup>1,\*</sup>

DOI: <https://doi.org/10.57001/huic5804.2026.071>

## TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu này là xác định điều kiện trích ly tối ưu cho hoạt chất sinh học (saponin và phenolic tổng số) và khả năng chống oxy hóa từ rễ cây Đan sâm (*Salvia miltiorrhiza* Bunge). Bốn yếu tố ảnh hưởng chính được khảo sát bằng thực nghiệm là nồng độ ethanol (60 - 80%, v/v), nhiệt độ trích ly (40 - 60°C), thời gian trích ly (10 - 30 phút) và tỉ lệ dung môi/nguyên liệu (60 - 100mL/g). Hàm mục tiêu chính là hàm lượng saponin tổng số (TSC) và hiệu suất trích ly saponin (SEE), ngoài ra còn hàm lượng phenolic tổng số (TPC), khả năng khử gốc tự do ABTS (ARSC) và khả năng khử sắt (FRAP). Phương pháp bề mặt đáp ứng với mô hình Box-Behnken được sử dụng để thiết kế thí nghiệm. Điều kiện trích ly tối ưu được dự đoán từ mô hình thực nghiệm là nồng độ dung môi ethanol 80% (v/v), nhiệt độ trích ly 40°C, thời gian trích ly 27 phút và tỉ lệ dung môi/nguyên liệu 88 (mL/g). Ở điều kiện tối ưu này, dịch chiết thu được có TSC đạt 65,38mg escin (EE)/g chất khô (CK), SEE đạt 89,26%, TPC đạt 42,19mg gallic acid (GAE)/g CK, ARSC và FRAP đạt tương ứng 91,24 và 85,67mg trolox (TE)/g CK.

**Từ khóa:** Box-Behnken, Đan sâm, bề mặt đáp ứng, tối ưu hóa, trích ly hỗ trợ siêu âm.

## ABSTRACT

The objective of the study was to determine the optimal extraction conditions for phytochemical compounds (total saponins and phenolics) and antioxidant capacity from Dan sam root (*Salvia miltiorrhiza*). Four major influencing factors were experimentally investigated: ethanol concentration (60 - 80%, v/v), extraction temperature (40 - 60°C), extraction time (10 - 30 minutes), and solvent to raw material ratio (60 - 100mL/g). The primary target functions were total saponin content (TSC) and saponin extraction efficiency (SEE), in addition to total phenolic content (TPC), ABTS free radical scavenging capacity (ARSC) and ferric reducing antioxidant power (FRAP). Response surface methodology with the Box-Behnken model was used to design the experiments. The optimal extraction conditions predicted from the experimental model were ethanol solvent concentration 80% (v/v), extraction temperature 40°C, extraction time 27 min, and solvent to raw material ratio 88 (mL/g). Under these optimal conditions, TSC, SEE, TPC, ARSC and FRAP of the extract were obtained to be 65.38mg escin equivalents (EE)/g dry matter (DM), 89.26%, 42.19mg gallic acid equivalents (GAE)/g DM, 91.24 and 85.67mg trolox equivalents (TE)/g DM, respectively.

**Keywords:** *Salvia miltiorrhiza*, response surface methodology, optimization, ultrasound-assisted extraction.

<sup>1</sup>Khoa Công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Nha Trang

<sup>2</sup>Trung tâm Thí nghiệm Thực hành, Trường Đại học Nha Trang

\*Email: tangnv@ntu.edu.vn

Ngày nhận bài: 20/10/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/01/2026

Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2026

## 1. GIỚI THIỆU

Đan sâm (*Salvia miltiorrhiza* Bunge) đã xuất hiện nhiều năm trước ở Trung Quốc (Tứ Xuyên, An Huy, Sơn Tây, Hà

Bắc...) và Nhật Bản, sau đó di thực vào Việt Nam. Cây ít xuất hiện trong tự nhiên mà chủ yếu được trồng ở vùng núi (Tam Đảo, Sa Pa) và đồng bằng (Văn Điển, Hà Nội), các

tỉnh ở Tây Bắc (Lào Cai, Hà Giang), Lai Châu... [1]. Theo y học cổ truyền, Đan sâm thường được dùng chữa đau thắt ngực, nguyệt rối loạn kinh nguyệt, đau bụng hành kinh, băng huyết và một số chứng bệnh phụ khoa [2]. Theo nhiều nghiên cứu hiện đại, các thành phần trong Đan sâm có tác dụng chống oxy hóa [3], chống viêm nhiễm, ung thư [4], xơ hóa, tiểu đường [5], có tác dụng tốt đối với hệ tim mạch [3, 6-8]. Theo báo cáo tổng quan của Mei và cộng sự [9], đến năm 2019 đã có 201 hợp chất hóa học trong Đan sâm được báo cáo. Trong đó có 81 hợp chất thuộc nhóm ưa béo (diterpenoid và các dẫn xuất quinone có liên quan) và 43 hợp chất thuộc nhóm ưa nước (acid phenolic) và 77 hợp chất khác.

Trích ly là quá trình quan trọng trong quy trình phân tách các hợp chất có hoạt tính sinh học ra khỏi nguyên liệu [10]. Các kỹ thuật trích ly truyền thống mặc dù được sử dụng phổ biến nhưng có một số nhược điểm như tốn thời gian, nhân lực, sử dụng dung môi không phân cực độc hại, gây thất thoát các hợp chất... [11]. Hơn nữa, ảnh hưởng của các điều kiện trích ly mới chỉ được nghiên cứu một cách riêng rẽ, chưa chú trọng đến sự tương tác và tính đa chiều của chúng [10]. Do đó, những năm gần đây đã có nhiều phương pháp thay thế đầy hứa hẹn như trích ly bằng chất lỏng siêu tới hạn (SFE), trích ly hỗ trợ enzyme (AEE), trích ly hỗ trợ vi sóng (MAE) và trích ly hỗ trợ siêu âm (UAE) [12]. Trong đó, UAE sử dụng sóng siêu âm để tạo ra sự xâm thực và phá vỡ cơ học tế bào thực vật, tăng cường khả năng thẩm thấu dung môi và chuyển khối. UAE nổi bật với khả năng hoạt động ở nhiệt độ thấp hơn, bảo vệ các hợp chất nhạy nhiệt, cùng với khả năng mở rộng và hiệu quả năng lượng khiến nó phù hợp cho các ứng dụng công nghiệp. Hơn nữa, UAE thường có năng suất cao hơn đối với các hợp chất phenolic và flavonoid do sự phá vỡ hiệu quả thành tế bào và tăng cường tương tác dung môi [13]. Các nhà nghiên cứu đã áp dụng thành công kỹ thuật UAE để tăng cường khả năng thu hồi các hợp chất có hoạt tính sinh học từ các nguồn khác nhau, như vỏ nho [14], hạt nho [15], nấm linh chi đen [16], vỏ quả chanh dây [17]... Tuy nhiên, nghiên cứu về quá trình trích ly và tối ưu hóa điều kiện trích ly lại chưa được thực hiện đối với nguyên liệu rễ Đan sâm. Do đó, trong nghiên cứu này, chúng tôi thực hiện tối ưu hóa quá trình trích ly có hỗ trợ sóng siêu âm rễ cây Đan sâm bằng phương pháp bề mặt đáp ứng (RSM) theo mô hình Box-Behnken. Đây là phương pháp tối ưu được sử dụng rộng rãi để tối ưu hóa quá trình trích ly các hợp chất thiên nhiên có hoạt tính sinh học [18]. Bốn yếu tố ảnh hưởng là nồng độ ethanol (60 - 80%, v/v), nhiệt độ trích ly (40 - 60°C), thời gian trích ly (10 - 30 phút) và tỉ lệ dung môi/nguyên liệu (60 -

100mL/g). Hàm mục tiêu chính là hàm lượng saponin tổng số (TSC) và hiệu suất trích ly saponin (SEE), ngoài ra cũng xem xét ảnh hưởng của các điều kiện trên đến hàm lượng phenolic tổng số (TPC), khả năng chống oxy hóa thông qua khử gốc tự do ABTS (ARSC) và khả năng khử sắt (FRAP).

## 2. NGUYÊN VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Nguyên liệu, hóa chất

Rễ Đan sâm (*Salvia miltiorrhiza* Bunge) được thu mua tại huyện Sìn Hồ, tỉnh Lai Châu (vĩ độ 22,359586°B, kinh độ 103,250646°Đ) ngày 18/02/2024. Độ tuổi thu hoạch rễ là 1 - 2 tuổi, phù hợp để làm dược liệu. Nguyên liệu được định danh bởi Viện nghiên cứu Công nghệ Sinh học và Môi trường, Trường Đại học Nông lâm Thành phố Hồ Chí Minh. Mẫu được cắt nhỏ, sấy vi sóng ở công suất 720W, trong thời gian 18 phút, đạt độ ẩm  $6,89 \pm 1,21\%$ . Sau đó xay nhỏ, rây thu bột có kích thước dưới 1mm và bảo quản trong bao bì PA hàn mí kín ở  $-20 \pm 2^\circ\text{C}$  đến khi sử dụng.

Các hóa chất phân tích có độ tinh khiết 99%, dùng được trong phân tích hóa học, bao gồm: Folin-Ciocalteu (Merck); acid gallic, escin (Shanghai Zhanyun Chemical Com., Ltd.); 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchromane-2-carboxylic acid (Trolox) (TCl); 2,2'-azino-bis (3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS), 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) (AK Scientific); Sodium carbonate khan, vanillin, acid sulfuric, acid hydrochloride, potassium persulfate (Xilong Chemical Co., Ltd.); glacial acetic acid, ferric chloride, ethanol, methanol (Guangdong Guanghua Sci-Tech Co., Ltd.).

### 2.2. Trích ly hỗ trợ sóng siêu âm

Cân 1,0g bột rễ Đan sâm cho vào cốc thủy tinh. Phương pháp trích ly siêu âm được lựa chọn dựa trên kết quả khảo sát sơ bộ cho thấy hiệu quả trích ly cao hơn và thời gian trích ly ngắn hơn so với các phương pháp truyền thống (ngâm kiệt). Sau đó, bổ sung dung môi ethanol (nồng độ 60 - 80%, v/v) với tỉ lệ dung môi/nguyên liệu từ 60 - 100mL/g, đậy kín và tiến hành trích ly trong bể siêu âm ở nhiệt độ 40 - 60°C trong khoảng 10 - 30 phút. Các khoảng biến thiên của nồng độ ethanol, tỉ lệ dung môi/nguyên liệu, nhiệt độ và thời gian trích ly đã được khảo sát sơ bộ trong giai đoạn nghiên cứu ban đầu nhằm xác định miền giá trị phù hợp cho quá trình tối ưu hóa. Sau quá trình trích ly, hỗn hợp được ly tâm ở 5.000 vòng/phút trong 15 phút để thu dịch chiết. Dịch chiết được định mức về thể tích ban đầu bằng dung môi trích ly tương ứng và bảo quản ở  $-20^\circ\text{C}$  cho đến khi tiến hành các phân tích tiếp theo.

**2.3. Tối ưu hóa quá trình trích ly**

Quy trình trích ly có hỗ trợ siêu âm bột rễ Đan sâm được tối ưu hóa bằng phương pháp bề mặt đáp ứng nhằm đánh giá ảnh hưởng đồng thời của bốn yếu tố bao gồm nồng độ ethanol (X<sub>1</sub>, %); nhiệt độ trích ly (X<sub>2</sub>, °C); thời gian trích ly (X<sub>3</sub>, phút); và tỉ lệ dung môi/nguyên liệu (X<sub>4</sub>, mL/g). Các yếu tố này được mã hóa và có các mức nghiên cứu như trong bảng 1.

Ma trận thực nghiệm được thiết kế theo mô hình Box-Behnken, gồm 27 thí nghiệm, trong đó có 3 thí nghiệm ở tâm (bảng 2). Hàm mục tiêu chính gồm hàm lượng saponin tổng số (TSC - Y<sub>1</sub>), hiệu suất trích ly saponin (SEE - Y<sub>2</sub>). Ngoài ra chúng tôi cũng xem xét hàm mục tiêu khác bao gồm hàm lượng phenolic tổng số (TPC - Y<sub>3</sub>), khả năng chống oxy hóa qua khả năng quét gốc tự do ABTS (ARSC - Y<sub>4</sub>) và phương pháp khử sắt (FRAP - Y<sub>5</sub>).

Bảng 1. Bảng mã hóa các biến độc lập

Biến thực	Biến mã hóa	Đơn vị	Mức nghiên cứu		
			-1	0	1
Nồng độ ethanol	X <sub>1</sub>	%	60	70	80
Nhiệt độ trích ly	X <sub>2</sub>	°C	40	50	60
Thời gian trích ly	X <sub>3</sub>	phút	10	20	30
Tỉ lệ dung môi/nguyên liệu	X <sub>4</sub>	mL/g	60	80	100

Mô hình toán học mô tả ảnh hưởng của các biến độc lập đối với biến phụ thuộc có dạng hàm đa thức bậc hai có dạng tổng quát như sau:

$$Y = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \beta_{12}X_1X_2 + \beta_{13}X_1X_3 + \beta_{23}X_2X_3 + \beta_{11}X_1^2 + \beta_{22}X_2^2 + \beta_{33}X_3^2 \tag{1}$$

Trong đó:

Y: hàm mục tiêu

X<sub>i,j</sub>: biến mã hóa

β<sub>0</sub>, β<sub>i</sub>, β<sub>j</sub>: hệ số hồi quy

**2.4. Phương pháp phân tích**

**2.4.1. Xác định hiệu suất trích ly saponin (SEE)**

Hiệu suất trích ly saponins được xác định theo nghiên cứu của Vương Q. V và cộng sự [19] với một số hiệu chỉnh. Thực hiện trích ly kiệt (4 - 5 lần) mẫu bột và đo hàm lượng saponins tổng số, từ đó xác định hiệu suất trích ly saponins theo phương trình:

$$SEE = \frac{SCE}{SCC} \times 100 \tag{2}$$

Trong đó:

SEE: hiệu suất trích ly saponin (%)

SCE: hàm lượng saponin trích ly trong mỗi thí nghiệm (mg EE/g CK)

SCC: hàm lượng saponin trong mẫu được trích ly kiệt (mg EE/g CK)

**2.4.2. Xác định hàm lượng saponin tổng số (TSC)**

TSC được xác định dựa vào nghiên cứu của Hai và cộng sự có một số điều chỉnh [20]. Lấy 0,5mL dịch trích ly trộn chung với 0,5mL dung dịch vanillin 8% (w/v) trong methanol. Sau đó bổ sung 5,0mL dung dịch H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% (v/v), lắc đều và ủ trong bể ổn nhiệt 70°C trong 10 phút, sau đó làm nguội nhanh trong bể nước đá. Đo độ hấp thụ ở 600nm bằng máy đo UV-VIS. Escin được dùng làm chất chuẩn. Kết quả TSC được thể hiện tương đương milligram escin trên gram chất khô (mg EE/g CK).

**2.4.3. Hàm lượng phenolic tổng số (TPC)**

TPC được xác định dựa trên các nghiên cứu trước đây có một số điều chỉnh [21]. Lấy 0,5mL dịch trích ly trộn với 2,5mL dung dịch thuốc thử Folin-Ciocalteu 10% (v/v) trong nước cất. Sau khi để ổn định 6 phút, bổ sung 2mL dung dịch Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 7,5% (w/v) và ủ tối 1 tiếng ở nhiệt độ phòng. Đo độ hấp thụ ở bước sóng 760nm bằng máy đo UV-VIS. Sử dụng chất chuẩn là acid gallic. Kết quả TPC được thể hiện tương đương milligram acid gallic trên gram chất khô (mg GAE/g CK)

**2.4.4. Khả năng quét gốc tự do ABTS (ARSC)**

ARSC được xác định dựa trên nghiên cứu trước đây có một vài điều chỉnh [22]. Trộn đều hai thể tích bằng nhau dung dịch ABTS 7,4mM và K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub> 2,6mM, ủ tối ở nhiệt độ phòng trong 12 - 15 giờ để tạo dung dịch gốc và giữ ở -20°C cho đến khi dùng. Tiếp theo, pha loãng 1mL dung dịch gốc với khoảng 60mL methanol để tạo dung dịch phản ứng có độ hấp thụ 1,1 ± 0,02 ở bước sóng 745nm. Sau đó, lấy 0,2mL dịch chiết trộn với 3,8mL dung dịch phản ứng và giữ 120 phút trong bóng tối ở nhiệt độ phòng. Đo độ hấp thụ của hỗn hợp ở bước sóng 745nm bằng máy đo UV-VIS. Trolox được dùng làm chất chuẩn. Kết quả ARSC được thể hiện tương đương milligram trolox trên gram chất khô (mg TE/g CK).

**2.4.5. Khả năng chống oxy hóa bằng cách khử sắt (FRAP)**

FRAP được đánh giá theo phương pháp báo cáo trong nghiên cứu trước đây có một vài điều chỉnh [22, 23]. Chuẩn bị 3 loại thuốc thử, bao gồm: Thuốc thử A: đệm acetate (300mM, pH 3,6); Thuốc thử B: 2,4,6-Tris(2-pyridyl)-s-triazine 10mM; Thuốc thử C: FeCl<sub>3</sub>.6H<sub>2</sub>O 20mM. Trộn 3 thuốc thử A:B:C với tỉ lệ 10:1:1 theo thể tích để tạo dung dịch phản ứng. Sau đó, trộn 0,2mL dịch chiết với 3,8mL dung dịch phản ứng và để ở 37°C trong bóng tối trong 30 phút. Đo độ hấp thụ của hỗn hợp ở bước sóng

597nm bằng máy đo UV-VIS. Trolox được dùng làm chất chuẩn. Kết quả FRAP được thể hiện tương đương milligram trolox trên gram chất khô (mg TE/g CK).

**2.5. Phương pháp xử lý số liệu thực nghiệm**

Tất cả thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Số liệu được thể hiện dưới dạng giá trị trung bình của 3 lần lặp ± độ lệch chuẩn (n = 3). Sử dụng phần mềm IBM SPSS Statistics 22 để xử lý số liệu số liệu với mức ý nghĩa nhỏ hơn 0,05 (p < 0,05). Sự khác biệt giữa các thí nghiệm được xác định bằng phân tích phương sai một yếu tố (ANOVA) và kiểm định Duncan. Thiết kế và xử lý kết quả tối ưu hóa bằng phần mềm JMP18 ở mức ý nghĩa thống kê là p ≤ 0,05.

**3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN**

**3.1. Đánh giá sự tương thích của mô hình**

Bảng 2 trình bày số liệu thực nghiệm thu được khi tối ưu quá trình trích ly rễ Đan sâm. Trong 27 thí nghiệm thực hiện, TSC biến đổi từ 25,55 đến 62,21 mg EE/g CK; SEE biến đổi từ 34,88 đến 84,93%; TPC biến đổi từ 23,86 đến 56,92mg GAE/g CK; ARSC biến đổi từ 48,33 đến 115,72mg TE/g CK; FRAP biến đổi từ 42,07 đến 101,74mg TE/g CK.

Bảng 2. Thiết kế thí nghiệm theo mô hình Box-Behnken và kết quả thu được

TT	Mẫu	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>
1	0-+0	70	40	30	80	57,21	78,11	54,46	108,93	97,91
2	0+++	70	60	30	80	43,08	58,82	53,86	106,14	100,93
3	---00	60	40	20	80	44,61	60,91	<b>56,92</b>	111,20	78,80
4	0000	70	50	20	80	53,73	73,35	44,43	85,31	77,35
5	+0+0	80	50	30	80	57,24	78,15	43,06	85,04	81,10
6	-00-	60	50	20	60	27,52	37,57	35,11	73,91	57,39
7	00++	70	50	30	100	44,97	61,40	50,56	98,54	87,55
8	-00+	60	50	20	100	40,31	55,03	56,87	105,87	98,90
9	0+0-	70	60	20	60	33,77	46,11	40,95	79,30	81,63
10	00+-	70	50	30	60	36,77	50,20	46,43	88,01	76,16
11	00--	70	50	10	60	32,79	44,77	28,47	57,94	54,80
12	+00+	80	50	20	100	52,13	71,18	42,28	80,05	75,13
13	+++0	80	60	20	80	57,71	78,80	37,24	80,11	81,04
14	-0-0	60	50	10	80	<b>25,55</b>	<b>34,88</b>	29,87	63,53	49,87
15	-+00	60	60	20	80	37,35	51,00	45,85	90,10	82,07
16	0000	70	50	20	80	50,72	69,25	49,12	97,37	84,71
17	0+0+	70	60	20	100	41,95	57,28	49,40	93,14	85,58
18	-0+0	60	50	30	80	36,30	49,55	48,81	104,70	86,83

19	+00-	80	50	20	60	36,01	49,16	<b>23,86</b>	<b>48,33</b>	<b>42,07</b>
20	+0-0	80	50	10	80	38,36	52,38	25,74	51,06	50,61
21	+--00	80	40	20	80	<b>62,21</b>	<b>84,93</b>	40,48	89,95	81,47
22	0000	70	50	20	80	45,71	62,41	50,56	98,30	93,74
23	0-0+	70	40	20	100	54,04	73,78	54,22	<b>115,72</b>	<b>101,74</b>
24	0-0-	70	40	20	60	47,61	65,01	43,64	86,17	79,57
25	0--0	70	40	10	80	42,04	57,40	40,76	80,06	71,66
26	00-+	70	50	10	100	38,80	52,98	52,32	99,50	98,07
27	0+-0	70	60	10	80	40,18	54,86	36,50	67,83	85,67

Bảng 3 thể hiện kết quả phân tích phương sai (ANOVA) của kết quả thí nghiệm đối với mô hình bậc 2 và các hệ số của phương trình hồi quy thu được.

Kết quả phân tích ANOVA cho thấy phương trình hồi quy bậc hai phù hợp với dữ liệu thực nghiệm thể hiện qua hệ số tương quan R<sup>2</sup> cao. Theo Andrich và cộng sự [24], mô hình được cho là phù hợp với các giá trị thực nghiệm khi R<sup>2</sup> lớn hơn 0,75. Trong nghiên cứu này, R<sup>2</sup> của TSC, SEE, TPC, ARSC và FRAP lần lượt là 0,91; 0,91; 0,91; 0,92 và 0,82, chứng tỏ 91%, 91%, 91%, 92% và 82% số liệu thực nghiệm tương thích với số liệu dự đoán từ mô hình. Mặc dù giá trị R<sup>2</sup> của mô hình FRAP thấp hơn so với các mô hình khác, nhưng vẫn vượt ngưỡng chấp nhận đối với các mô hình hồi quy bậc hai trong hệ sinh học. Sự khác biệt này có thể do bản chất phép đo FRAP phản ánh tổng khả năng khử của mẫu, chịu ảnh hưởng đồng thời của nhiều hợp chất chống oxy hóa với cơ chế phản ứng khác nhau, dẫn đến độ phân tán dữ liệu cao hơn so với các chỉ tiêu hóa học định lượng. Do đó, giá trị R<sup>2</sup> ở mức 0,82 vẫn được xem là phù hợp và không ảnh hưởng đáng kể đến độ tin cậy chung của mô hình.

Theo Zolgharnein [25], sự khác biệt giữa R<sup>2</sup> dự đoán và R<sup>2</sup> hiệu chỉnh nên nằm trong khoảng 0,20. Do đó, R<sup>2</sup> dự đoán trong nghiên cứu này phù hợp với R<sup>2</sup> hiệu chỉnh. Ngoài ra, các mô hình TSC, SEE, TPC, ARSC và FRAP đều có giá trị p < 0,05, chứng tỏ các mô hình này đạt độ tin cậy để mô tả ảnh hưởng của các biến. Đồng thời, giá trị p of lack of fit của các mô hình TSC, SEE, TPC, ARSC và FRAP đều không có ý nghĩa thống kê so với dữ liệu quan sát, điều này cho thấy các mô hình thực nghiệm được thiết lập là phù hợp để mô tả mối quan hệ giữa các biến.

Tính quan trọng của hệ số trong phương trình đối với từng hàm mục tiêu được xác định bằng giá trị p. Nếu p < 0,05 thì hệ số hồi quy có ảnh hưởng có ý nghĩa đến phương trình hồi quy thu được. Hơn nữa, giá trị p càng

Bảng 3. Các hệ số của phương trình hồi quy và kết quả phân tích phương sai

Hệ số hồi quy	TSC (Y <sub>1</sub> )		SEE (Y <sub>2</sub> )		TPC (Y <sub>3</sub> )		ARSC (Y <sub>4</sub> )		FRAP (Y <sub>5</sub> )	
	Dự đoán	p - values	Dự đoán	p - values	Dự đoán	p - values	Dự đoán	p - values	Dự đoán	p - values
β <sub>0</sub>	<b>50,05</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>68,33</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>48,03</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>93,66</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>85,26</b>	<b>&lt;0,0001</b>
β <sub>1</sub>	<b>7,66</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>10,47</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>-5,06</b>	<b>0,0014</b>	<b>-9,54</b>	<b>0,0010</b>	-3,53	0,2489
β <sub>2</sub>	<b>-4,47</b>	<b>0,0032</b>	<b>-6,10</b>	<b>0,0032</b>	-2,22	0,947	<b>-6,28</b>	<b>0,0148</b>	0,48	0,8719
β <sub>3</sub>	<b>4,82</b>	<b>0,0019</b>	<b>6,58</b>	<b>0,0019</b>	<b>6,96</b>	<b>0,0001</b>	<b>14,28</b>	<b>0,0001</b>	<b>9,98</b>	<b>0,0051</b>
β <sub>4</sub>	<b>4,81</b>	<b>0,0020</b>	<b>6,56</b>	<b>0,0019</b>	<b>7,26</b>	<b>0,0001</b>	<b>13,26</b>	<b>0,0001</b>	<b>12,94</b>	<b>0,0008</b>
β <sub>12</sub>	0,69	0,7497	0,945	0,7489	1,95	0,3745	2,81	0,4761	-0,92	0,8579
β <sub>13</sub>	2,03	0,3551	2,77	0,3551	-0,40	0,8518	-1,79	0,6470	-1,61	0,7545
β <sub>23</sub>	-3,06	0,1723	-4,18	0,1723	0,91	0,6740	2,36	0,5490	-2,74	0,5967
β <sub>14</sub>	0,83	0,7005	1,14	0,6997	-0,83	0,7009	-0,06	0,9877	-2,11	0,6834
β <sub>24</sub>	0,43	0,8395	0,6	0,8387	-0,53	0,8061	-3,92	0,3250	-4,55	0,3852
β <sub>34</sub>	0,54	0,8000	0,74	0,8000	<b>-4,93</b>	<b>0,0386</b>	-7,75	0,0655	-7,97	0,1408
β <sub>11</sub>	-3,46	0,0824	-4,73	0,0823	<b>-6,49</b>	<b>0,0041</b>	<b>-9,89</b>	<b>0,0114</b>	<b>-13,07</b>	<b>0,0113</b>
β <sub>22</sub>	2,33	0,2255	3,19	0,2249	2,03	0,2908	5,70	0,1109	7,26	0,1227
β <sub>33</sub>	<b>-6,22</b>	<b>0,0053</b>	<b>-8,49</b>	<b>0,0053</b>	-3,39	0,0892	-6,46	0,0748	-3,59	0,4276
β <sub>44</sub>	<b>-7,04</b>	<b>0,0023</b>	<b>-9,62</b>	<b>0,0023</b>	-1,74	0,3623	-4,56	0,1934	-3,91	0,3886
R <sup>2</sup>	0,91		0,91		0,91		0,92		0,82	
R <sup>2</sup> adjust	0,80		0,80		0,80		0,82		0,61	
p - values	0,0003		0,0003		0,0004		0,0002		0,0120	
p - values lack of fit	0,5644		0,5638		0,3931		0,5547		0,4413	

Ghi chú: Chữ in đậm thể hiện sự ảnh hưởng đáng kể của các biến (p < 0,05).

nhỏ thì hệ số tương ứng càng quan trọng. Từ đó, phương các trình mô tả tác động của các thông số UAE đối với TSC, SEE, TPC, ARSC và FRAP của mẫu bột rễ Đan sâm như sau:

$$Y_1 = 50,05 + 7,66X_1 - 4,47X_2 + 4,82X_3 + 4,81X_4 + 0,69X_1X_2 + 2,03X_1X_3 - 3,06X_2X_3 + 0,83X_1X_4 + 0,43X_2X_4 + 0,54X_3X_4 - 3,46X_1^2 + 2,33X_2^2 - 6,22X_3^2 - 7,04X_4^2 \quad (3)$$

$$Y_2 = 68,33 + 10,47X_1 - 6,1X_2 + 6,58X_3 + 6,56X_4 + 0,94X_1X_2 + 2,77X_1X_3 - 4,18X_2X_3 + 1,14X_1X_4 + 0,6X_2X_4 + 0,74X_3X_4 - 4,73X_1^2 + 3,19X_2^2 - 8,49X_3^2 - 9,62X_4^2 \quad (4)$$

$$Y_3 = 48,03 - 5,06X_1 - 2,22X_2 + 6,96X_3 + 7,26X_4 + 1,95X_1X_2 - 0,40X_1X_3 + 0,91X_2X_3 - 0,83X_1X_4 - 0,53X_2X_4 - 4,93X_3X_4 - 6,49X_1^2 + 2,03X_2^2 - 3,39X_3^2 - 1,74X_4^2 \quad (5)$$

$$Y_4 = 93,66 - 9,56X_1 - 6,28X_2 + 14,28X_3 + 13,26X_4 + 2,81X_1X_2 - 1,79X_1X_3 + 2,36X_2X_3 - 0,66X_1X_4 - 3,92X_2X_4 - 7,75X_3X_4 - 9,89X_1^2 + 5,70X_2^2 - 6,46X_3^2 - 4,56X_4^2 \quad (6)$$

$$Y_5 = 85,26 - 3,53X_1 + 0,48X_2 + 9,98X_3 + 12,94X_4 - 0,92X_1X_2 - 1,61X_1X_3 - 2,74X_2X_3 - 2,11X_1X_4 - 4,55X_2X_4 - 7,97X_3X_4 - 13,07X_1^2 + 7,26X_2^2 - 3,59X_3^2 - 3,91X_4^2 \quad (7)$$

### 3.2. Phân tích bề mặt đáp ứng

Chiều hướng tác động của các yếu tố khảo sát đến các hàm mục tiêu được thể hiện ở hình 1. Các yếu tố khảo sát đều ảnh hưởng đến các hàm mục tiêu theo đường cong, thể hiện sự phù hợp với các phương trình 3, 4, 5, 6, 7 đều là hàm bậc hai.

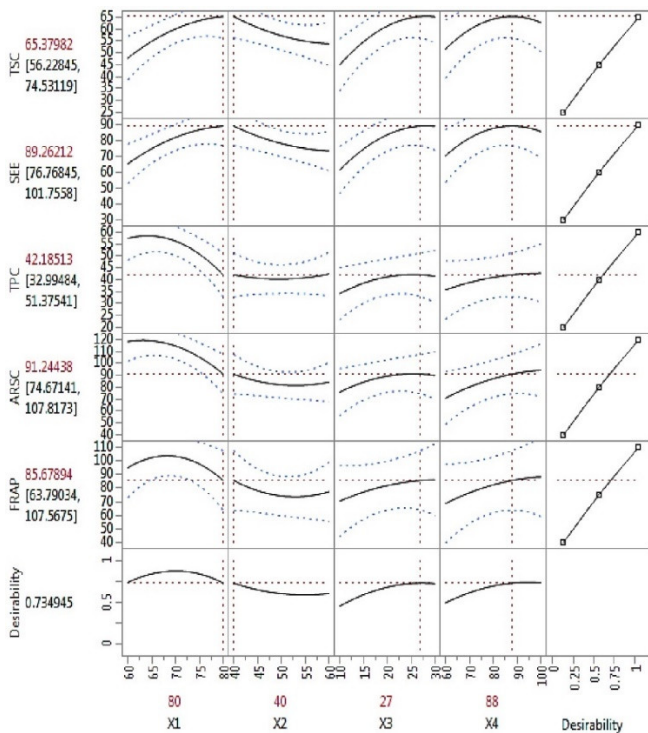
Khi nồng độ dung môi tăng dần thì TSC và SEE cũng tăng dần. Điều này có thể do nồng độ ethanol thấp không đủ để trích ly các saponin ra ngoài dung môi. Tuy nhiên, TPC giảm khi nồng độ ethanol tăng, điều này có thể do polyphenol có nhiều nhóm ưa nước, nên ít hòa tan vào dung môi nồng độ cao hơn. Giá trị ARSC cũng giảm khi nồng độ dung môi ethanol tăng, còn FRAP có xu hướng tăng lên cực đại rồi giảm dần.

Khi nhiệt độ tăng, nhìn chung các hàm mục tiêu đều có xu hướng giảm. Nguyên nhân do nhiệt độ càng cao trong trích ly hỗ trợ sóng siêu âm làm tăng áp suất hơi của dung môi, làm giảm lực vỡ bọt khí và dẫn đến ảnh hưởng đến quá trình trích ly [26]. Ngoài ra, có thể do tính nhạy

cảm với nhiệt độ cao của các hoạt chất. Từ đó, ảnh hưởng đến hoạt tính chống oxy hóa do các hoạt chất này phụ thuộc vào hàm lượng các hoạt chất được trích ly [27].

Khi thời gian tăng thì hiệu quả trích ly càng tốt vì tạo điều kiện để dung môi có thời gian xâm nhập giúp làm mềm mô thực vật, làm yếu cấu trúc thành tế bào, và phân hủy nhiều liên kết giữa các hợp chất, cũng như tăng cường tính hòa tan của các hoạt chất vào dung môi [28].

Các hàm mục tiêu đều tăng khi tăng tỉ lệ dung môi/nguyên liệu và sau đó giảm nhẹ. Điều này hoàn toàn phù hợp với lý thuyết truyền khối cho rằng sự chênh lệch nồng độ giữa pha rắn và dung môi chính là động lực của quá trình truyền khối. Từ đó, tỉ lệ dung môi/nguyên liệu càng lớn càng thúc đẩy quá trình khuếch tán vật chất từ trong nguyên liệu vào dung môi. Tuy nhiên, việc kéo dài thời gian để đạt trạng thái cân bằng sẽ tiêu tốn dung môi nhiều hơn [29].

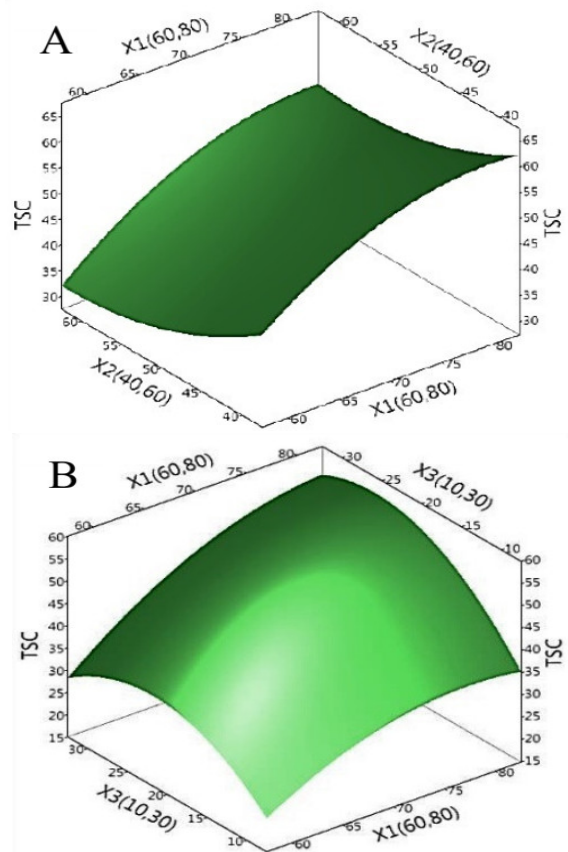


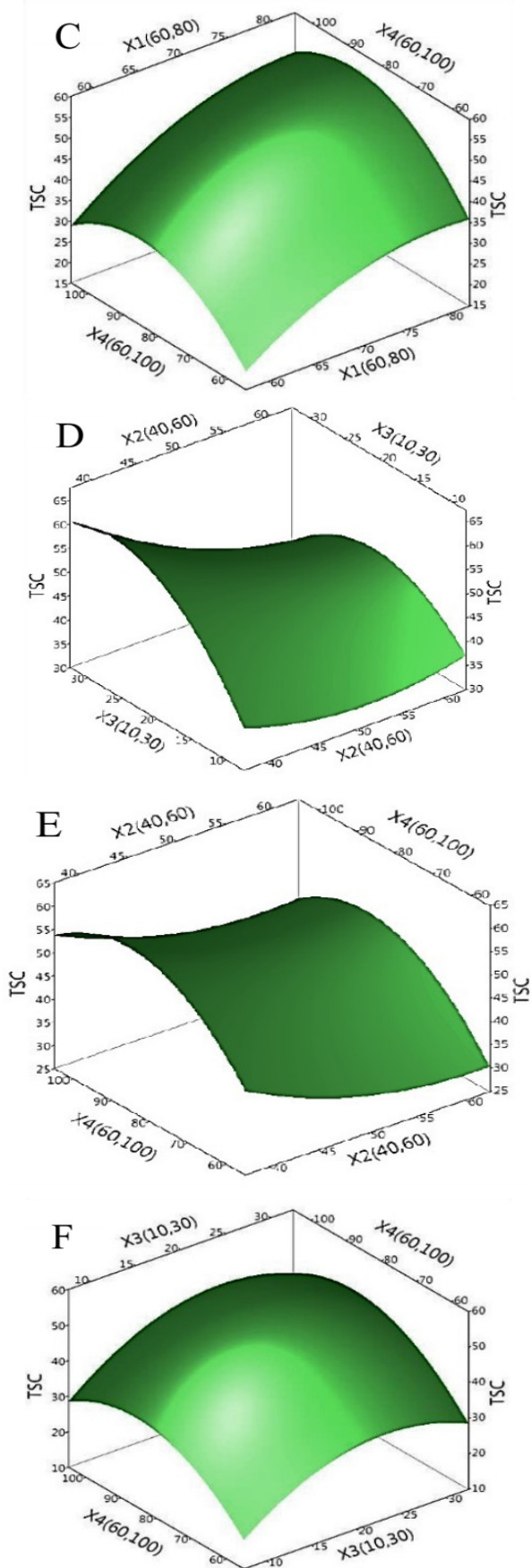
Hình 1. Mô hình bề mặt đáp ứng thể hiện sự ảnh hưởng của từng yếu tố tới TSC, SEE, TPC, ARSC và FRAP của dịch trích ly rễ Đan sâm

Dựa vào mô hình đa thức bậc 2 thực nghiệm, dữ liệu thực nghiệm được phân tích bằng phương pháp bề mặt đáp ứng sử dụng phần mềm JMP18. Các trục X và Y của bề mặt đáp ứng ba chiều đại diện cho hai yếu tố, hai yếu tố còn lại giữ cố định, trục Z là chỉ tiêu đánh giá. Trong hai hàm mục tiêu chính, giá trị SEE được tính từ giá trị TSC tương ứng so với TSC chiết kiệt (hằng số) (phương trình 2), vì vậy các bề mặt đáp ứng của SEE theo từng cặp yếu tố sẽ tương tự như TSC. Do đó, nghiên cứu này chủ yếu trình

bày các bề mặt đáp ứng được xây dựng cho hàm mục tiêu chính là TSC (hình 2).

Hình 2A cho thấy nồng độ ethanol dung môi càng tăng và nhiệt độ càng giảm thì TSC càng tăng, chứng tỏ chiều hướng tương tác của hai yếu tố này tương tự như phân tích vai trò của từng yếu tố đã nói ở trên. Hình 2B và 2C cho thấy sự tương đồng của xu hướng tác động đồng thời của hai cặp yếu tố nồng độ dung môi ethanol-thời gian trích ly và nồng độ dung môi ethanol-tỉ lệ dung môi/nguyên liệu. Ở nồng độ dung môi ethanol thấp, tương tác của hai cặp yếu tố này đến TSC tuân theo hình parabol ngược (tăng rồi giảm), tuy nhiên, khi nồng độ dung môi tăng dần, cùng với sự tăng thời gian trích ly và tỉ lệ dung môi/nguyên liệu thì TSC cũng tăng dần, đạt giá trị TSC cao nhất tại thời gian trích ly 27 phút, nồng độ dung môi 80% (v/v) và tỉ lệ dung môi/nguyên liệu là 88 mL/g. Hình 2D và 2E cho thấy khi càng giảm thời gian trích ly và tỉ lệ dung môi/nguyên liệu thì TSC càng giảm cho dù nhiệt độ trích ly cao hay thấp. Hình 2F chỉ ra rằng, khi thời gian trích ly tăng dần thì TSC tăng dần rồi sau đó lại giảm dần khi tỉ lệ dung môi/nguyên liệu giảm dần. Tóm lại, điều kiện tối ưu thu được từ mô hình bề mặt đáp ứng là nồng độ dung môi ethanol 80% (v/v), nhiệt độ trích ly 40°C, thời gian trích ly 27 phút, tỉ lệ dung môi/nguyên liệu 88 (mL/g).





Hình 2. Bề mặt đáp ứng 3D thể hiện sự ảnh hưởng của từng cặp yếu tố tới TSC

### 3.3. Tối ưu hóa quá trình trích ly

Quá trình trích ly có hỗ trợ sóng siêu âm nhằm thu được TSC và SEE cao nhất. Kết quả tối ưu hóa cho thấy giá trị các hàm mục tiêu dự đoán như trong bảng 4. Tiến hành thực nghiệm lặp lại ba lần ở các điều kiện tối ưu thu được kết quả TSC, SEE, TPC, ARSC, FRAP thực nghiệm như ở bảng 4. Kết quả cho thấy không có sự khác biệt có ý nghĩa giữa giá trị thực nghiệm và giá trị dự đoán thu được từ phương trình hồi quy. Điều này chứng tỏ mô hình tối ưu thu được tương thích tốt với thực nghiệm và có thể sử dụng để tối ưu hóa điều kiện trích ly rễ cây Đan sâm.

Bảng 4. Kết quả hàm lượng tổng số hoạt chất, hiệu suất trích ly và khả năng chống oxy hóa dự đoán và thực nghiệm

Hàm mục tiêu	Giá trị dự đoán	Giá trị thực nghiệm
TSC (mg EE/g CK)	65,38 <sup>a</sup>	66,02 ± 1,02 <sup>a</sup>
SEE (%)	89,26 <sup>b</sup>	88,86 ± 1,24 <sup>b</sup>
TPC (mg GAE/g CK)	42,19 <sup>c</sup>	42,92 ± 0,04 <sup>c</sup>
ARSC (mg TE/g CK)	91,24 <sup>d</sup>	90,31 ± 0,09 <sup>d</sup>
FRAP (mg TE/g CK)	85,67 <sup>e</sup>	84,18 ± 0,03 <sup>e</sup>

So sánh kết quả tối ưu hóa cho thấy sự tương đồng về điều kiện trích ly với một số nghiên cứu trên đối tượng khác. Nghiên cứu của Sayem [10] tối ưu hóa trích ly siêu âm từ vỏ và hạt quả cóc cho thấy nhiệt độ tối ưu là 59,82°C, trong thời gian 41,08 phút với nồng độ ethanol là 76,64%. Nghiên cứu của Khoang và cộng sự [30] cho thấy điều kiện trích ly hỗ trợ siêu âm tối ưu để thu saponins tổng số và năng suất trích ly cao nhất từ rễ đing lăng là dung môi ethanol 70%, công suất 185W, nhiệt độ 60°C trong 65 phút. Nghiên cứu tối ưu điều kiện trích ly hỗ trợ sóng siêu âm trên đối tượng quả táo tàu chua [31] cho thấy dung môi ethanol có hiệu suất thu hồi TFC và TPC tốt hơn, còn dung môi methanol cho hiệu suất thu TSC cao hơn. Nghiên cứu trích ly siêu âm [32] đối với rễ Hoàng tinh đỏ cũng cho thấy ở điều kiện nồng độ ethanol 85%, thời gian trích ly 75 phút, nhiệt độ trích ly 50°C và tỉ lệ 1:10mL/g thu được hoạt chất saponin trong rễ cây cao nhất.

### 4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Kết quả nghiên cứu cho thấy, điều kiện trích ly hỗ trợ siêu âm tối ưu cho hoạt chất sinh học và khả năng chống oxy hóa từ rễ cây Đan sâm là nồng độ dung môi ethanol 80% (v/v), nhiệt độ trích ly 40°C, thời gian trích ly 27 phút, tỉ lệ dung môi/nguyên liệu 88 (mL/g). Ở điều kiện tối ưu này, dịch chiết thu được có TSC là 65,38mg EE/g CK, SEE là 89,26%, TPC là 42,19mg GAE/g CK, ARSC là 91,24mg TE/g CK và FRAP là 85,67mg TE/g CK.

Phương pháp trích ly siêu âm cho thấy tiềm năng ứng dụng nhờ thời gian trích ly ngắn, nhiệt độ vận hành thấp và hiệu quả thu hồi cao. Tuy nhiên, để nghiên cứu toàn diện hơn cần tiếp tục nghiên cứu đánh giá về hiệu quả sử dụng năng lượng và khả năng mở rộng quy mô trong các công trình tiếp theo.

### LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn sự hỗ trợ về nguyên vật liệu, hóa chất và trang thiết bị từ Nhóm Nghiên cứu và phát triển Thực phẩm chức năng và Trung tâm Thí nghiệm và Thực hành, Trường Đại học Nha Trang; sự hỗ trợ về tài chính của Quỹ Đổi mới Sáng tạo Vingroup (VINIF).

### TÀI TRỢ

[Tran Thanh Giang] được tài trợ bởi Chương trình Học bổng Tiến sĩ của Quỹ Đổi mới Sáng tạo Vingroup (VINIF), mã số [VINIF.2022.TS.154].

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Đỗ Tất Lợi, *Những cây thuốc và vị thuốc Việt Nam*. NXB Y học Hà Nội, 2004.

[2]. Bộ Y tế, *Dược điển Việt Nam - Tập 5*. NXB Y học Hà Nội, 2017.

[3]. Ho J. H. C., Hong C. Y., "Salvanolic acids: small compounds with multiple mechanisms for cardiovascular protection," *Journal of Biomedical Science*, 18, 1-5, 2011.

[4]. Wu C. F., Bohnert S., Thines E., Efferth T., "Cytotoxicity of *Salvia miltiorrhiza* against multidrug-resistant cancer cells," *The American Journal of Chinese Medicine*, 44, 871-894, 2016.

[5]. Huang M., Xie Y., Chen L., Chu K., Wu S., Lu J., Chen X., Wang Y., Lai X., "Antidiabetic effect of the total polyphenolic acids fraction from *Salvia miltiorrhiza* Bunge in diabetic rats," *Phytotherapy Research*, 26, 944-948, 2012.

[6]. Chen Z., Xu H., "Anti-inflammatory and immunomodulatory mechanism of tanshinone IIA for atherosclerosis," *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2014, 2014.

[7]. Lin Z., Liu Y., Li F., Wu J., Zhang G., Wang Y., Lu L., Liu Z., "Anti-lung cancer effects of Polyphyllin VI and VII potentially correlate with apoptosis *in vitro* and *in vivo*," *Phytotherapy Research*, 29, 1568-1576, 2015.

[8]. Ran X., Zhao W., Li W., Shi J., Chen X., "Cryptotanshinone inhibits TNF- $\alpha$ -induced LOX-1 expression by suppressing reactive oxygen species (ROS) formation in endothelial cells," *The Korean Journal of Physiology & Pharmacology*, 20, 347, 2016.

[9]. Mei X. D., Yan-Feng C., Yan-Yun C., Jing L., Shang Z. P., Wen-Jing Z., Yan-Jiang Q., Zhang J. Y., "Danshen: a phytochemical and pharmacological overview," *Chinese Journal of Natural Medicines*, 17, 59-80, 2019.

[10]. Sayem A., Ahmed T., Mithun M. U. K., Rashid M., Rana M. R., "Optimising ultrasound-assisted extraction conditions for maximising phenolic, flavonoid content and antioxidant activity in hog plum peel and seed: A response surface methodology approach," *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101312, 2024.

[11]. Alara O. R., Abdurahman N. H., Ukaegbu C. I., "Extraction of phenolic compounds: A review," *Current Research in Food Science*, 4, 200-214, 2021.

[12]. Osorio-Tobón J. F., "Recent advances and comparisons of conventional and alternative extraction techniques of phenolic compounds," *Journal of Food Science and Technology*, 57, 4299-4315, 2020.

[13]. Chemat F., Rombaut N., Sicaire A. G., Meullemiestre A., Fabiano-Tixier A. S., Abert-Vian M., "Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review," *Ultrasonics sonochemistry*, 34, 540-560, 2017.

[14]. Cho Y. J., Hong J. Y., Chun H. S., Lee S. K., Min H. Y., "Ultrasonication-assisted extraction of resveratrol from grapes," *Journal of Food Engineering*, 77, 725-730, 2006.

[15]. Ghafoor K., Choi Y. H., Jeon J. Y., Jo I. H., "Optimization of ultrasound-assisted extraction of phenolic compounds, antioxidants, and anthocyanins from grape (*Vitis vinifera*) seeds," *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57, 4988-4994, 2009.

[16]. Thành N. T., Minh N. T., Hào Đ. T. K., Diên N. Đ., "Nghiên cứu xác định một số thành phần dinh dưỡng và điều kiện tối ưu trích ly siêu âm saponin triterpenoid và tổng phenolic từ nấm Linh chi đen (*Ganoderma atrum*) ở Nghệ An," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam Bản B*, 64, 2022.

[17]. Le M. K., Le N. L., "Optimization of ultrasound-assisted extraction of crude polysaccharides and polyphenols from passion fruit peels," *Journal of Science and Technology Development*, 27, 3475-3481, 2024.

[18]. Thành N. T., Trang P. M., Thăng T. C., Quý P. T., Thoa P. T. H., Vy N. T. Q., Dũng Đ. M., "Tối ưu hóa điều kiện trích ly saponin triterpenoid và flavonoid từ cây cà gai leo (*Solanum trilobatum* Linn) Ở Nghệ An," *Tạp chí phân tích Hóa, Lý và Sinh học*, 27, 211-217, 2022.

[19]. Vuong Q. V., Hirun S., Roach P. D., Bowyer M. C., Phillips P. A., Scarlett C. J., "Effect of extraction conditions on total phenolic compounds and antioxidant activities of *Carica papaya* leaf aqueous extracts," *Journal of Herbal Medicine*, 3, 104-111, 2013.

[20]. Hiài S., Oura H., Nakajima T., "Color reaction of some saponins and saponins with vanillin and sulfuric acid," *Planta Medica*, 29, 116-122, 1976.

[21]. Singleton V. L., Rossi J. A., "Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents," *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158, 1965.

[22]. Thaipong K., Boonprakob U., Crosby K., Cisneros-Zevallos L., Byrne D. H., "Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts," *Journal of Food Composition and Analysis*, 19, 669-675, 2006.

[23]. Benzie I. F. F., Strain J. J., "Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified

version for simultaneous measurement of total antioxidant power and ascorbic acid concentration," *Methods in enzymology*, 299, 15-27, 1999.

[24]. Andrich G., Balzini S., Zinnai A., De Vitis V., Silvestri S., Venturi F., Fiorentini R., "Supercritical fluid extraction in sunflower seed technology," *European journal of lipid science and technology*, 103, 151-157, 2001.

[25]. Zolgharnein J., Shahmoradi A., Ghasemi J. B., "Comparative study of Box-Behnken, central composite, and Doehlert matrix for multivariate optimization of Pb (II) adsorption onto Robinia tree leaves," *Journal of Chemometrics*, 27, 12-20, 2013.

[26]. Santos F. F., Rodrigues S., Fernandes F. A., "Optimization of the production of biodiesel from soybean oil by ultrasound assisted methanolysis," *Fuel processing technology*, 90, 312-316, 2009.

[27]. Thi T. N., Tai H. P., "Microwave assisted extraction of custard apple (*Annona squamosa* L.) peel," *Carpathian Journal of Food science and Technology*, 15, 220-231, 2023.

[28]. Zhu Z., He J., Liu G., Barba F. J., Koubaa M., Ding L., Bals O., Grimi N., Vorobiev E., "Recent insights for the green recovery of inulin from plant food materials using non-conventional extraction technologies: A review," *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 1-9, 2016.

[29]. Tan P., Tan C., Ho C., "Antioxidant properties: Effects of solid-to-solvent ratio on antioxidant compounds and capacities of Pegaga (*Centella asiatica*)," *International Food Research Journal*, 18, 2011.

[30]. Khoang L. T., Huyen H. T. T., Chung H. V., Duy L. X., Toan T. Q., Bich H. T., Minh P. T. H., Pham D. T. N., Hien T. T., "Optimization of total saponin extraction from polyscias fruticosa roots using the ultrasonic-assisted method and response surface methodology," *Processes*, 10, 2034, 2022.

[31]. Wang Y., Zhao W., Li Y., Zhao H., Ye X., Li T., Wang Z., Huang L., "Optimization of ultrasound-assisted extraction method for phytochemical compounds and antioxidant activities of sour jujube extracts," *Food Science & Nutrition*, 10, 3736-3748, 2022.

[32]. He S., Wang X., Chen J., Li X., Gu W., Zhang F., Cao G., Yu J., "Optimization of the ultrasonic-assisted extraction technology of steroidal saponins from *Polygonatum kingianum* Collett & Hemsl and evaluating its quality planted in different areas," *Molecules*, 27, 1463, 2022.

---

#### AUTHORS INFORMATION

**Tran Thanh Giang<sup>1</sup>, Nguyen Van Hoa<sup>2</sup>, Nguyen Van Tang<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Food Technology, Nha Trang University, Vietnam

<sup>2</sup>Practical Experiment Center, Nha Trang University, Vietnam