

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN CHIẾT XUẤT VÀ NHIỆT ĐỘ CÔ ĐẶC CHÂN KHÔNG ĐẾN QUÁ TRÌNH THU NHẬN HỢP CHẤT PHENOL TỪ HẠT ĐẬU ĐỎ NẤY MẦM (*Vigna angularis*)

Võ Văn Quốc Bảo¹, Nguyễn Thị Thanh Tịnh², Đỗ Thị Diễm Thúy³, Hồ Quang Đạo⁴,
Đỗ Hoàng Anh Toàn¹, Nguyễn Văn Hoài Linh¹, Phan Thị Bé^{1*}

¹ Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

² Trường Đại học Đà Lạt, Lâm Đồng, Việt Nam

³ Trường Đại học Quy Nhơn, Gia Lai, Việt Nam

⁴ Trường Trung học Phổ thông Trần Hưng Đạo, Đắk Lắk, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Phan Thị Bé <phanthibe@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 28-03-2026; Hoàn thành phản biện: 14-05-2025; Ngày chấp nhận đăng: 21-05-2026)

Tóm tắt. Nghiên cứu này khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình thu nhận dịch chiết giàu hợp chất phenol từ hạt đậu đỏ nảy mầm bằng phương pháp chiết có hỗ trợ siêu âm, đồng thời đánh giá hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết thu được. Các yếu tố khảo sát bao gồm nồng độ ethanol (60–80%), thời gian chiết (30–60 phút), tỷ lệ nguyên liệu/dung môi (1:5–1:20, w/v) và nhiệt độ cô đặc chân không (55–75 °C). Kết quả cho thấy điều kiện chiết thích hợp là sử dụng ethanol 70% và 50 phút với tỷ lệ nguyên liệu/dung môi 1:15 (w/v). Ở điều kiện này, hàm lượng polyphenol tổng số đạt 13,76 mg GAE/g DW; hàm lượng flavonoid tổng số đạt 2,38 mg CAE/g DW; hoạt tính chống oxy hóa đạt 34,18 $\mu\text{mol TE/g DW}$ theo phương pháp DPPH và 39,52 $\mu\text{mol TE/g DW}$ theo phương pháp ABTS. Quá trình cô đặc chân không ở 60 °C giúp duy trì tốt hàm lượng hợp chất phenol và hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc khai thác hạt đậu đỏ nảy mầm như một nguồn nguyên liệu giàu hợp chất chống oxy hóa trong lĩnh vực thực phẩm và thực phẩm chức năng.

Từ khóa: chống oxy hóa, cô đặc chân không, flavonoid, hạt đậu đỏ nảy mầm, polyphenol, *Vigna angularis*

Effect of extraction conditions and vacuum evaporation temperature on recovering phenolic compounds from germinated adzuki beans (*Vigna angularis*)

Vo Van Quoc Bao¹, Nguyen Thi Thanh Tinh², Do Thi Diem Thuy³, Ho Quang Dao⁴,
Do Hoang Anh Toan¹, Nguyen Van Hoai Linh¹, Phan Thi Be^{1*}

¹ University of Agriculture and Forestry, Hue University, Hue, Vietnam

² Da Lat University, Lam Dong, Vietnam

³ Quy Nhon University, Gia Lai, Vietnam

⁴ Tran Hung Dao High School, Dak Lak, Vietnam

* Correspondence to Phan Thi Be <phanthibe@hueuni.edu.vn>

(Received: 28 March 2026; Revised: 14 May 2026; Accepted: 21 May 2026)

Abstract. This study investigates the factors affecting the extraction of polyphenolic compounds from germinated adzuki beans (*Vigna angularis*) via ultrasound-assisted extraction and to evaluate the antioxidant activity of the quality of obtained extracts. The parameters included ethanol concentration (60–80%), extraction time (30–60 min), solid-to-solvent ratio (1:5–1:20, w/v), and vacuum evaporation temperature (55–75 °C). The results indicate that the most suitable extraction conditions were 70% ethanol and 50 min extraction with a solid-to-solvent ratio of 1:15 (w/v). Under these conditions, the total phenolic content reached 13.76 mg GAE/g DW, and the total flavonoid content reached 2.38 mg CAE/g DW. In addition, the antioxidant activity of the extract reached 34.18 $\mu\text{mol TE/g DW}$ as determined with the DPPH assay and 39.52 $\mu\text{mol TE/g DW}$ with the ABTS assay. The vacuum evaporation at 60 °C effectively preserved both the phenolic compounds and the antioxidant activity of the extract. The findings of this study provide a scientific basis for utilising germinated adzuki beans as a promising source of natural antioxidant compounds in food and functional food applications.

Keywords: antioxidant, flavonoids, germinated adzuki beans, polyphenol, vacuum evaporation, *Vigna angularis*

1 Mở đầu

Đậu đỏ (*Vigna angularis*) là một trong những loại hạt họ đậu quan trọng, được đánh giá cao không chỉ nhờ giá trị dinh dưỡng dồi dào mà còn nhờ sự hiện diện của các hợp chất thứ cấp có hoạt tính sinh học mạnh mẽ, đặc biệt là nhóm polyphenol và flavonoid [1]. Trong xu hướng phát triển thực phẩm chức năng hiện nay, việc khai thác các nguồn nguyên liệu thực vật có khả năng kháng oxy hóa tự nhiên đang nhận được nhiều quan tâm do có tiềm năng góp phần bảo vệ cơ thể trước stress oxy hóa và các bệnh mạn tính liên quan như bệnh tim mạch, tiểu đường và một số bệnh thoái hóa [2–4].

Trong những năm gần đây, nảy mầm được xem là một biện pháp tiền xử lý sinh học hiệu quả nhằm nâng cao giá trị dinh dưỡng và hoạt tính sinh học của hạt họ đậu. Quá trình này có thể làm gia tăng hàm lượng hợp chất phenol, flavonoid và hoạt tính chống oxy hóa nhờ thúc đẩy các biến đổi sinh hóa và giải phóng các cấu tử ở dạng dễ trích ly hơn. Các nghiên cứu gần đây cho thấy sự gia tăng này phụ thuộc vào loại hạt và điều kiện nảy mầm, nhưng nhìn chung đây là hướng tiếp cận giàu tiềm năng để nâng cao giá trị chức năng của nguyên liệu họ đậu [5, 6]. Những nghiên cứu gần đây cho thấy đậu đỏ là nguồn nguyên liệu giàu hợp chất phenol và quá trình ngâm – nảy mầm có thể cải thiện các đặc tính sinh học của hạt [7–10].

Tuy nhiên, hiệu suất thu hồi các hợp chất này chịu ảnh hưởng mạnh của các thông số kỹ thuật trong quá trình chiết xuất. Hệ dung môi ethanol – nước được ưu tiên sử dụng nhờ tính an toàn và khả năng điều chỉnh hằng số điện môi linh hoạt, giúp tối ưu hóa việc hòa tan các cấu tử có độ phân cực khác nhau. Bên cạnh đó, việc ứng dụng các kỹ thuật hỗ trợ chuyển khối hiện đại như chiết xuất hỗ trợ siêu âm giúp rút ngắn thời gian xử lý và bảo tồn tốt hơn các hợp chất nhạy cảm với nhiệt [11].

Sau quá trình trích ly, công đoạn cô đặc dịch chiết đóng vai trò quyết định đến độ ổn định của sản phẩm. Các hợp chất polyphenol vốn kém bền dưới tác động của nhiệt và phản ứng oxy hóa kéo dài. Vì vậy, cô đặc chân không được xem là một giải pháp phù hợp để loại bỏ dung môi ở nhiệt độ thấp hơn, qua đó góp phần duy trì hoạt tính sinh học của dịch chiết [12]. Việc xác định điểm cân bằng giữa hiệu suất bay hơi và tỷ lệ lưu giữ hoạt chất sinh học là bài toán công nghệ cần thiết để tiêu chuẩn hóa quy trình sản xuất cao chiết [13].

Mặc dù nhóm nghiên cứu đã có công bố về ảnh hưởng của quá trình ngâm và nảy mầm đến một số tính chất của hạt đậu đỏ [10], việc khai thác dịch chiết giàu polyphenol từ hạt đậu đỏ nảy mầm, bao gồm lựa chọn điều kiện chiết xuất thích hợp và đánh giá ảnh hưởng của cô đặc chân

không đến khả năng bảo toàn hoạt chất, vẫn chưa được trình bày như một nghiên cứu độc lập trong hệ thống thí nghiệm hiện tại. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của nồng độ ethanol, thời gian chiết và tỷ lệ nguyên liệu/dung môi đến khả năng thu hồi polyphenol và hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết hạt đậu đỏ nảy mầm; đồng thời xác định nhiệt độ cô đặc chân không phù hợp để bảo toàn tốt nhất các hợp chất hoạt tính sinh học trong dịch chiết.

2 Vật liệu và phương pháp

2.1 Vật liệu

Nguyên liệu sử dụng trong nghiên cứu là hạt đậu đỏ (*Vigna angularis*) thu nhận tại Thôn Phú Ổ, Phường Hương Chữ, Thành phố Huế. Hạt có kích thước đồng đều, không tạp chất, không sâu bệnh và tổn thương cơ học.

2.2 Phương pháp

Chuẩn bị mầm hạt đậu đỏ

Hạt đậu đỏ sau khi rửa sạch được ngâm trong bể ổn nhiệt ở 35 °C trong 6 giờ. Sau đó, hạt được vớt ra, để ráo và ủ nảy mầm trong khăn vải ẩm ở 25 °C trong 68 giờ. Sau khi nảy mầm, hạt được nghiền đồng nhất và bảo quản ở -20 °C trước khi tiến hành trích ly [10]. Hàm lượng chất khô của mẫu được xác định thông qua độ ẩm theo TCVN 4295:2009 [14].

Khảo sát ảnh hưởng của nồng độ ethanol và thời gian chiết

Nguyên liệu được chiết xuất trong dung dịch ethanol với tỷ lệ nguyên liệu/dung môi là 1:10 (w/v) dưới hỗ trợ của sóng siêu âm ở tần số 40 kHz, công suất 180 W và nhiệt độ 40 °C. Thí nghiệm được bố trí nhằm khảo sát đồng thời hai yếu tố công nghệ, gồm nồng độ ethanol (60, 65, 70, 75 và 80%) và thời gian chiết (30, 40, 50 và 60

phút). Sau khi chiết, dịch được ly tâm với tốc độ 5000 vòng/phút trong 20 phút ở 4 °C. Phần dịch nổi được thu nhận và lọc qua màng 0,45 µm trước khi tiến hành các phân tích hóa sinh.

Khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ nguyên liệu/dung môi

Sau khi xác định được nồng độ ethanol và thời gian chiết phù hợp, thí nghiệm tiếp theo được bố trí để khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ nguyên liệu/dung môi ở các mức khác nhau (1:5, 1:10, 1:15 và 1:20 w/v). Điều kiện chiết còn lại được giữ cố định như ở mục 2.2.2. Quá trình chiết và phân tích các chỉ tiêu hóa sinh được tiến hành tương tự như thí nghiệm trước.

Khảo sát ảnh hưởng của chế độ cô đặc chân không

Dịch chiết thu được từ điều kiện tối ưu được cô đặc đến nồng độ chất khô 4% Brix và được sử dụng để phân tích các chỉ tiêu hóa sinh. Thí nghiệm bố trí ở 5 chế độ nhiệt độ: 55, 60, 65, 70 và 75 °C. Quá trình cô đặc và phân tích các chỉ tiêu hóa sinh được thực hiện tương tự giữa các nghiệm thức.

Phương pháp phân tích

Xác định hàm lượng polyphenol tổng số

Hàm lượng polyphenol tổng số (Total Phenolic Content, TPC) được xác định theo phương pháp Folin-Ciocalteu cải tiến theo Singleton và cộng sự [15]. Cụ thể, 0,5 mL dịch chiết được trộn với 2,5 mL thuốc thử Folin-Ciocalteu (pha loãng 1:10, v/v). Sau 5 phút, bổ sung 2,0 mL dung dịch Na₂CO₃ 7,5% (w/v) và ủ trong tối 30 phút ở nhiệt độ phòng. Độ hấp thụ quang được đo tại 765 nm bằng máy quang phổ UV-Vis. Hàm lượng TPC được tính theo đường chuẩn acid gallic và biểu thị dưới dạng mg acid gallic tương đương trên gam chất khô (mg GAE/g DW).

Xác định hàm lượng flavonoid tổng số

Hàm lượng flavonoid tổng số (Total Flavonoid Content, TFC) được xác định theo phương pháp tạo phức với AlCl_3 . Theo Zhishen và cộng sự [16], 0,5 mL dịch chiết được trộn với 0,3 mL NaNO_2 5%, sau 5 phút bổ sung 0,3 mL AlCl_3 10% và ủ tiếp 6 phút. Sau đó thêm 2,0 mL NaOH 1 M và 2,4 mL nước cất, lắc đều và đo độ hấp thụ quang tại 510 nm. Hàm lượng TFC được xác định theo đường chuẩn catechin và biểu thị dưới dạng mg catechin tương đương trên gam chất khô (mg CAE/g DW).

Xác định hoạt tính chống oxy hóa

Hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết được đánh giá bằng phương pháp DPPH và ABTS.

Phương pháp DPPH: Hoạt tính bắt gốc tự do DPPH được xác định theo Brand-Williams và cộng sự [17]. 0,1 mL dịch chiết được trộn với 3,9 mL dung dịch DPPH 0,1 mM trong methanol, ủ trong tối 30 phút ở nhiệt độ phòng, sau đó đo độ hấp thụ quang tại 517 nm.

Phương pháp ABTS: Hoạt tính chống oxy hóa theo phương pháp ABTS được xác định theo Re và cộng sự [18]. Gốc tự do $\text{ABTS}^{\bullet+}$ được tạo bằng phản ứng giữa ABTS 7 mM và $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 2,45 mM, ủ trong tối 12–16 giờ. Dung dịch được pha loãng đến khi độ hấp thụ đạt $0,70 \pm 0,02$ tại 734 nm. 0,1 mL dịch chiết được trộn với 3,9 mL dung dịch $\text{ABTS}^{\bullet+}$, sau 6 phút đo độ hấp thụ tại 734 nm.

Hoạt tính chống oxy hóa được tính dựa trên đường chuẩn Trolox và biểu thị dưới dạng μmol Trolox tương đương trên gam chất khô ($\mu\text{mol TE/g DW}$).

Xử lý số liệu

Số liệu được xử lý bằng phân tích phương sai (ANOVA) một nhân tố hoặc hai nhân tố tùy theo bố trí thí nghiệm. Các giá trị trung bình được

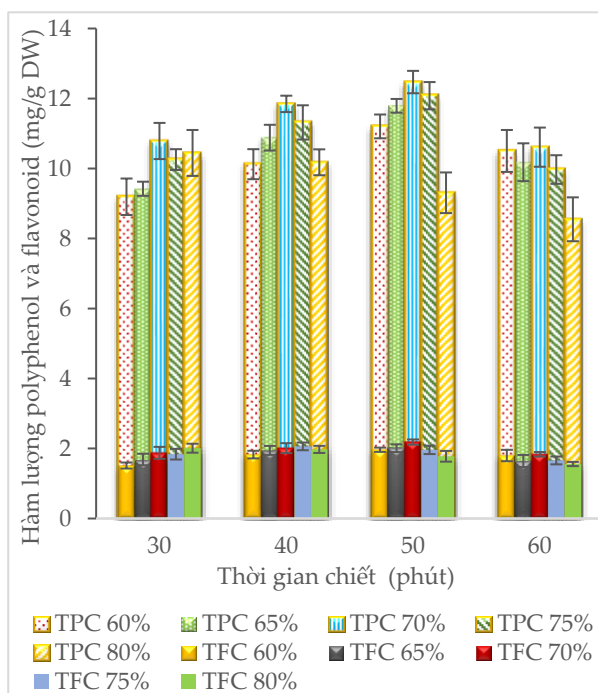
so sánh bằng kiểm định Tukey HSD ở mức ý nghĩa ($p < 0,05$). Số liệu được trình bày dưới dạng trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn của ba lần lặp độc lập.

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Ảnh hưởng của nồng độ ethanol và thời gian chiết

Ảnh hưởng của nồng độ ethanol và thời gian chiết có siêu âm đến hàm lượng polyphenol và flavonoid

Kết quả khảo sát ảnh hưởng đồng thời của nồng độ ethanol (60–80%) và thời gian chiết (30–60 phút) dưới sự hỗ trợ siêu âm đến hàm lượng polyphenol tổng số (TPC) và flavonoid tổng số (TFC) của dịch chiết mầm hạt đậu đỏ được trình bày trên Hình 1. Có thể thấy cả nồng độ ethanol và thời gian chiết đều ảnh hưởng rõ rệt đến khả năng thu hồi các hợp chất phenol từ nguyên liệu.



Hình 1. Ảnh hưởng của nồng độ ethanol và thời gian chiết lên hàm lượng polyphenol và flavonoid

Nhìn chung, TPC tăng khi nồng độ ethanol tăng từ 60 lên 70%, sau đó giảm ở 75–80%. Đối với TFC, xu hướng tối ưu tại 70% thể hiện rõ nhất ở thời gian chiết 50 phút; tuy nhiên, ở một số thời

điểm ngắn hơn (30–40 phút), sự khác nhau của giá trị TFC giữa các mức 70–80% không có ý nghĩa thống kê. Cụ thể, tại điều kiện 70% ethanol và 50 phút, TPC đạt $12,47 \pm 0,32$ mg GAE/g DW và TFC đạt $2,18 \pm 0,08$ mg CAE/g DW. Đây là giá trị cao nhất trong toàn bộ các nghiệm thức khảo sát. Kết quả này cho thấy hỗn hợp ethanol – nước ở nồng độ 70% là môi trường chiết phù hợp nhất đối với hệ hoạt chất trong hạt đậu đỏ nảy mầm. Về bản chất, các hợp chất phenol trong nguyên liệu thực vật, đặc biệt là acid phenolic và flavonoid, thường có độ phân cực từ trung bình đến khá cao; do đó, hệ dung môi ethanol – nước ở nồng độ trung bình thường tạo điều kiện thuận lợi để vừa làm trương nở nguyên liệu, vừa tăng khả năng hòa tan và khuếch tán hoạt chất vào môi trường chiết. Ngược lại, khi nồng độ ethanol quá cao, độ phân cực của dung môi giảm, làm hạn chế khả năng hòa tan của một số hợp chất phenol phân cực, từ đó làm giảm hiệu suất chiết. Xu hướng này phù hợp với nhiều nghiên cứu trước đây khi cho rằng ethanol 60–70% thường là vùng dung môi thích hợp để chiết xuất polyphenol từ nguyên liệu thực vật, đặc biệt là các loại hạt và nguyên liệu đã qua xử lý sinh học như nảy mầm [7, 19]. Theo Antony và cộng sự, nhiệt độ và bản chất dung môi có ảnh hưởng mạnh đến trạng thái tồn tại của polyphenol, trong đó hệ ethanol – nước ở mức trung gian thường có khả năng hòa tan đồng thời cả các cấu tử phân cực và bán phân cực tốt hơn so với ethanol tuyệt đối hoặc ethanol ở nồng độ quá cao [20].

Thời gian chiết cũng là yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng TPC và TFC. Trong phạm vi khảo sát, khi tăng thời gian chiết từ 30 lên 50 phút, cả hai chỉ tiêu đều tăng rõ rệt ở hầu hết các mức nồng độ ethanol. Điều này cho thấy quá trình khuếch tán hoạt chất từ nền nguyên liệu sang dung môi được tăng cường khi thời gian tiếp xúc kéo dài, đặc biệt trong điều kiện có hỗ trợ siêu âm. Sóng siêu âm tạo ra hiện tượng xâm thực, làm phá vỡ một phần cấu trúc thành tế bào cellulose,

tăng diện tích tiếp xúc giữa nguyên liệu và dung môi, đồng thời thúc đẩy quá trình khuếch tán nội bào và giải phóng các hợp chất phenol vào pha lỏng. Kết quả này phù hợp với nhận định của Hà và cộng sự khi cho rằng siêu âm giúp rút ngắn thời gian chiết so với phương pháp ngâm truyền thống nhưng vẫn duy trì hiệu quả thu hồi polyphenol cao [21].

Tuy nhiên, khi thời gian chiết kéo dài đến 60 phút, hàm lượng TPC và TFC có xu hướng giảm ở hầu hết các nghiệm thức. Hiện tượng này cho thấy việc kéo dài thời gian chiết quá mức không làm tăng thêm hiệu quả thu hồi hoạt chất mà ngược lại có thể gây bất lợi cho độ bền của các hợp chất phenol. Khi kéo dài thời gian siêu âm, một phần polyphenol và flavonoid có thể bị oxy hóa, biến đổi cấu trúc hoặc suy giảm khả năng phản ứng với thuốc thử phân tích, làm cho hàm lượng xác định được giảm xuống. Xu hướng tương tự cũng đã được ghi nhận trong các nghiên cứu chiết polyphenol bằng siêu âm từ nguyên liệu thực vật; thời gian chiết quá dài có thể làm tăng nguy cơ phân hủy hoặc tái hấp phụ hoạt chất lên nền mẫu [1]. Chinmayi và cộng sự cũng cho rằng tiếp xúc kéo dài với năng lượng siêu âm có thể thúc đẩy các biến đổi oxy hóa hoặc nhiệt cục bộ, làm suy giảm một phần các nhóm hydroxyl hoạt động trên cấu trúc phenol [12].

Dựa trên sự phân tích tổng hợp có thể thấy rằng điều kiện chiết bằng ethanol 70% trong 50 phút dưới sự hỗ trợ của siêu âm là phù hợp nhất để thu nhận dịch chiết hạt đậu đỏ nảy mầm giàu polyphenol và flavonoid. Điều kiện này được lựa chọn cho các thí nghiệm tiếp theo do đồng thời cho giá trị TPC và TFC cao nhất trong toàn bộ các nghiệm thức khảo sát.

Ảnh hưởng của nồng độ ethanol và thời gian chiết đến hoạt tính chống oxy hóa

Hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết hạt đậu đỏ nảy mầm được đánh giá thông qua khả năng khử các gốc tự do DPPH và ABTS. Kết quả

được trình bày cụ thể tại Bảng 1. Phân tích phương sai cho thấy nồng độ ethanol và thời gian chiết đều ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$)

đến năng lực kháng oxy hóa tổng thể của dịch chiết.

Bảng 1. Ảnh hưởng của nồng độ ethanol và thời gian chiết đến hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết hạt đậu đỏ nảy mầm

Chỉ tiêu	Nồng độ ethanol (%)	Thời gian chiết (phút)			
		30	40	50	60
DPPH ($\mu\text{mol TE/g DW}$)	60	24,36 ^e $\pm$ 1,61	27,03 ^{cd} $\pm$ 2,32	28,49 ^{bcd} $\pm$ 1,14	26,83 ^{de} $\pm$ 1,52
	65	26,41 ^{cde} $\pm$ 2,28	28,68 ^{bcd} $\pm$ 1,41	30,34 ^b $\pm$ 0,52	29,12 ^{bc} $\pm$ 1,35
	70	28,81 ^{bcd} $\pm$ 1,03	29,78 ^{bc} $\pm$ 0,57	31,61 ^a $\pm$ 0,76	29,81 ^{bc} $\pm$ 1,21
	75	27,83 ^c $\pm$ 0,66	30,27 ^b $\pm$ 0,51	29,43 ^{bc} $\pm$ 1,36	29,06 ^{bc} $\pm$ 1,37
	80	24,85 ^e $\pm$ 0,51	26,93 ^{cde} $\pm$ 1,47	27,26 ^c $\pm$ 0,82	26,14 ^{de} $\pm$ 0,94
ABTS ($\mu\text{mol TE/g DW}$)	60	31,21 ^{de} $\pm$ 1,15	33,25 ^{cd} $\pm$ 2,31	34,26 ^{bcd} $\pm$ 2,42	34,91 ^{bcd} $\pm$ 3,21
	65	33,18 ^{cde} $\pm$ 2,04	33,96 ^{cd} $\pm$ 2,31	35,45 ^{bc} $\pm$ 1,68	36,16 ^{ab} $\pm$ 1,17
	70	34,27 ^{bc} $\pm$ 1,58	35,74 ^b $\pm$ 1,74	37,28 ^a $\pm$ 1,06	37,08 ^a $\pm$ 2,07
	75	34,54 ^{bc} $\pm$ 1,81	36,72 ^{ab} $\pm$ 2,34	36,68 ^{ab} $\pm$ 3,22	36,16 ^{ab} $\pm$ 3,13
	80	35,68 ^{abc} $\pm$ 3,26	33,59 ^{bcd} $\pm$ 3,23	35,11 ^{abc} $\pm$ 2,53	30,84 ^e $\pm$ 2,11

Ghi chú: Số liệu trình bày dưới dạng trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn ($n = 3$). Trong cùng một chỉ tiêu (DPPH hoặc ABTS), các giá trị mang chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các tổ hợp xử lý trong cùng cột ($p < 0,05$), kiểm định Tukey HSD sau ANOVA hai nhân tố.

Nhìn chung, hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết có xu hướng tăng khi nồng độ ethanol tăng từ 60 đến 70%, đặc biệt thể hiện rõ đối với chỉ tiêu DPPH và ở các nghiệm thức có thời gian chiết 50–60 phút. Đối với ABTS, xu hướng biến động giữa các mức ethanol không hoàn toàn đồng nhất ở mọi thời điểm, nhưng xét về tổng thể thì nghiệm thức 70% ethanol và 50 phút cho giá trị cao nhất. Cụ thể, tại điều kiện này, hoạt tính DPPH đạt 31,61 $\mu\text{mol TE/g DW}$ và ABTS đạt 37,28 $\mu\text{mol TE/g DW}$. Sự phù hợp của hệ dung môi ethanol 70% có thể là do sự cân bằng thích hợp về độ phân cực, khả năng thẩm ướt nguyên liệu và khả năng hòa tan của các hợp chất phenol với mức độ phân cực khác nhau. Theo Antony và cộng sự, hoạt tính chống oxy hóa phụ thuộc mật thiết vào cấu trúc và số lượng các nhóm hydroxyl ($-\text{OH}$) tự do trên vòng thơm [20]. Việc sử dụng ethanol ở nồng độ thích hợp giúp tăng hiệu suất

giải phóng các cấu tử chống oxy hóa vào pha lỏng, từ đó nâng cao khả năng bắt gốc tự do của dịch chiết. Ở các mức ethanol cao hơn 70%, đặc biệt đối với DPPH, hoạt tính chống oxy hóa có xu hướng giảm; trong khi với ABTS, mức độ biến động ít nhất quán hơn giữa các thời điểm chiết. Điều này cho thấy đáp ứng của các nhóm chất chống oxy hóa khác nhau đối với hệ dung môi là không hoàn toàn giống nhau [7].

Xu hướng biến đổi này tương đồng với sự thay đổi của hàm lượng polyphenol tổng số và flavonoid tổng số đã trình bày ở mục 3.1.1. Điều này cho thấy các hợp chất phenol và flavonoid đóng vai trò quan trọng trong khả năng chống oxy hóa của dịch chiết hạt mầm đậu đỏ. Các hợp chất này có khả năng cho điện tử hoặc nguyên tử hydro để trung hòa các gốc tự do, làm giảm cường độ hấp thụ của các gốc DPPH $\bullet$ và ABTS $\bullet^+$ trong quá trình phân tích.

Bên cạnh đó, thời gian chiết cũng ảnh hưởng rõ rệt đến hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết. Khi thời gian chiết tăng từ 30 lên 50 phút, hoạt tính chống oxy hóa tăng đáng kể ở hầu hết các mức nồng độ ethanol. Điều này cho thấy sự kéo dài thời gian tiếp xúc giữa nguyên liệu và dung môi dưới tác động của sóng siêu âm đã thúc đẩy quá trình giải phóng các hợp chất chống oxy hóa từ nguyên liệu vào pha lỏng. Sóng siêu âm ở tần số 40 kHz tạo ra hiện tượng xâm thực, góp phần phá vỡ cấu trúc thành tế bào, tăng diện tích tiếp xúc và tăng cường quá trình chuyển khối giữa nguyên liệu và dung môi. Kết quả này phù hợp với nhận định của Hà và cộng sự khi cho rằng siêu âm giúp nâng cao hiệu quả trích ly và cải thiện hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết thực vật thông qua việc tăng cường khuếch tán hoạt chất [21]. Tuy nhiên, khi kéo dài thời gian đến 60 phút, hoạt tính chống oxy hóa có xu hướng bão hòa hoặc suy giảm nhẹ. Cụ thể, tại nồng độ 70% ethanol, giá trị DPPH giảm từ 31,61 xuống 29,81 $\mu\text{mol TE/g DW}$; trong khi đó, đối với ABTS, giá trị 37,28 và 37,08 $\mu\text{mol TE/g DW}$ không khác biệt có ý nghĩa về mặt thống kê. Hiện tượng suy giảm này liên quan đến sự oxy hóa các nhóm chức nhạy cảm hoặc sự phân hủy cấu trúc vòng

thơm dưới tác động kéo dài của năng lượng siêu âm và nhiệt cục bộ trong thiết bị chiết [11, 12]. Hiện tượng này cũng phù hợp với kết quả suy giảm TPC và TFC ở phần trước, cho thấy mối liên hệ chặt chẽ giữa hàm lượng hoạt chất phenol và hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết.

Tóm lại, dựa trên phân tích đa chỉ tiêu (TPC, TFC, DPPH và ABTS), điều kiện chiết bằng ethanol 70% và 50 phút được xác định là thông số tối ưu để thu nhận dịch chiết hạt đậu đỏ nảy mầm với hoạt tính sinh học cao nhất, làm cơ sở cho việc lựa chọn điều kiện chiết thích hợp trong các nghiên cứu tiếp theo.

3.2 Ảnh hưởng của tỷ lệ nguyên liệu/dung môi

Sau khi xác định được điều kiện chiết phù hợp ở bước trước là ethanol 70% và 50 phút dưới hỗ trợ siêu âm, chúng tôi tiếp tục khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ nguyên liệu/dung môi (NL/DM) ở các mức 1:5, 1:10, 1:15 và 1:20 (w/v) nhằm lựa chọn điều kiện thích hợp cho quá trình thu nhận dịch chiết hạt đậu đỏ nảy mầm giàu polyphenol và có hoạt tính chống oxy hóa cao. Kết quả thực nghiệm được trình bày ở Bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của tỷ lệ nguyên liệu/dung môi đến hàm lượng polyphenol, flavonoid và hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết hạt đậu đỏ nảy mầm

NL/DM (w/v)	TPC (mg GAE/g DW)	TFC (mg CAE/g DW)	DPPH ($\mu\text{mol TE/g DW}$)	ABTS ($\mu\text{mol TE/g DW}$)
1:5	10.22 ^d $\pm$ 0.55	1.75 ^c $\pm$ 0.13	27.74 ^c $\pm$ 2.91	30.42 ^c $\pm$ 1.78
1:10	12.39 ^{bc} $\pm$ 0.41	2.23 ^b $\pm$ 0.06	31.70 ^b $\pm$ 1.02	37.09 ^b $\pm$ 2.42
1:15	13.76 ^a $\pm$ 0.47	2.38 ^a $\pm$ 0.08	34.18 ^a $\pm$ 1.08	39.52 ^a $\pm$ 1.34
1:20	12.82 ^b $\pm$ 0.32	2.17 ^b $\pm$ 0.08	33.06 ^a $\pm$ 2.11	39.53 ^a $\pm$ 3.37

Ghi chú: Số liệu trình bày dưới dạng trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn ($n = 3$). Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ($p < 0,05$), kiểm định Tukey HSD sau ANOVA.

Bảng 2 cho thấy tỷ lệ NL/DM tác động trực tiếp và rõ rệt đến hàm lượng polyphenol tổng số, flavonoid tổng số và hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết. Khi tăng lượng dung môi từ 1:5 lên 1:15 (w/v), tất cả các chỉ tiêu phân tích đều có xu

hướng tăng. Cụ thể, hàm lượng TPC tăng từ 10,22 lên 13,76 mg GAE/g DW và TFC tăng từ 1,75 lên 2,38 mg CAE/g DW. Tương tự, hoạt tính chống oxy hóa theo phương pháp DPPH tăng từ 27,74 lên 34,18 $\mu\text{mol TE/g DW}$, còn ABTS tăng từ 30,42

lên 39,52 $\mu\text{mol TE/g DW}$. Xu hướng này cho thấy việc tăng lượng dung môi đến một ngưỡng thích hợp đã cải thiện rõ khả năng trích ly các hợp chất có hoạt tính sinh học từ hạt đậu đỏ nảy mầm. Về cơ chế, khi tỷ lệ dung môi tăng, chênh lệch nồng độ giữa pha rắn và pha lỏng được duy trì tốt hơn, độ nhớt hệ giảm, khả năng thẩm ướt nguyên liệu tăng và quá trình khuếch tán các hợp chất phenol vào dung môi diễn ra thuận lợi hơn [22, 23]. Trong điều kiện có hỗ trợ siêu âm, lượng dung môi đủ lớn còn giúp tăng hiệu quả tiếp xúc giữa sóng siêu âm và hệ mẫu, từ đó nâng cao hiệu quả phá vỡ cấu trúc mô và giải phóng hoạt chất.

Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng tỷ lệ NL/DM lên 1:20 (w/v), hiệu quả chiết không còn được cải thiện tương ứng. Hàm lượng TPC giảm xuống (12,82 mg GAE/g DW), trong khi TFC giảm còn 2,17 mg CAE/g DW. Đối với hoạt tính chống oxy hóa, giá trị DPPH giảm nhẹ từ 34,18 xuống 33,06 $\mu\text{mol TE/g DW}$, còn ABTS hầu như không thay đổi (39,52 so với 39,53 $\mu\text{mol TE/g DW}$). DPPH và ABTS ở tỷ lệ NL/DM 1:20 (w/v) không khác biệt có ý nghĩa thống kê so với nghiệm thức 1:15. Kết quả này cho thấy sau khi đạt đến một ngưỡng dung môi thích hợp, việc tăng thêm lượng dung môi không còn mang lại lợi ích rõ rệt đối với hiệu quả thu hồi hoạt chất. Điều này có thể là do quá trình chiết đã tiến gần đến trạng thái cân bằng khi phần lớn các hợp chất phenol dễ chiết đã đi vào dung môi [24]. Trong trường hợp này, việc bổ sung thêm dung môi không làm tăng đáng kể hiệu suất chiết, mà còn làm tăng thể tích dịch chiết cần xử lý, kéo theo tăng chi phí thu hồi dung môi và thời gian cho các công đoạn tiếp theo [25]. Ngoài ra, khi dung môi quá dư thừa, mật độ năng lượng siêu âm phân bố trên đơn vị thể tích hệ chiết có thể bị suy giảm đáng kể, làm hạn chế hiệu quả tăng cường chuyển khối [26].

Xu hướng biến đổi của hoạt tính chống oxy hóa (DPPH và ABTS) cũng tương đồng với sự thay đổi của hàm lượng TPC và TFC, cho thấy mối liên hệ chặt chẽ giữa hàm lượng hợp chất

phenol và khả năng khử gốc tự do của dịch chiết. Các hợp chất phenol và flavonoid có khả năng cho điện tử hoặc nguyên tử hydro để trung hòa các gốc tự do, từ đó làm giảm cường độ hấp thụ của các gốc DPPH• và ABTS•+ trong quá trình phân tích [7, 25]. Sự gia tăng đồng thời của TPC, TFC, DPPH và ABTS khi tăng tỷ lệ dung môi từ 1:5 lên 1:15 cho thấy việc cải thiện hiệu quả trích ly đã góp phần trực tiếp nâng cao hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết.

Đáng chú ý là nghiệm thức 1:15 cho giá trị TPC và TFC cao nhất, đồng thời DPPH và ABTS cũng đạt mức cao và không khác biệt có ý nghĩa thống kê so với nghiệm thức 1:20. Do đó, xét tổng thể về hiệu suất chiết, hoạt tính sinh học và hiệu quả sử dụng dung môi, tỷ lệ NL/DM 1:15 (w/v) được xem là điều kiện phù hợp nhất trong phạm vi khảo sát và được lựa chọn cho các thí nghiệm tiếp theo.

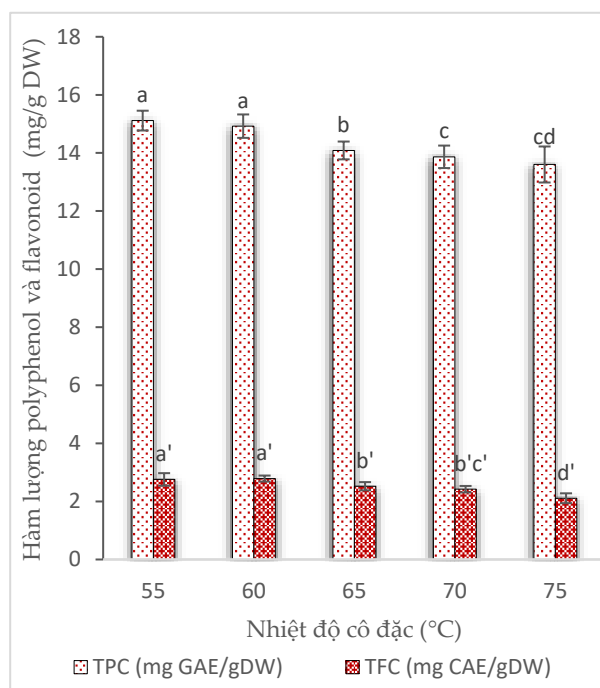
3.3 Ảnh hưởng của nhiệt độ cô đặc chân không

Sau khi xác định được điều kiện chiết thích hợp ở các thí nghiệm trước, dịch chiết hạt đậu đỏ nảy mầm được cô đặc chân không nhằm loại bỏ dung môi và thu nhận dịch chiết đậm đặc giàu hợp chất hoạt tính sinh học. Việc khảo sát dải nhiệt độ từ 55 đến 75 °C dưới áp suất chân không tương ứng được thực hiện nhằm đánh giá đồng thời khả năng bảo toàn các hợp chất phenol, hoạt tính chống oxy hóa và hiệu quả công nghệ của quá trình cô đặc.

Ảnh hưởng của nhiệt độ cô đặc chân không đến hàm lượng polyphenol và flavonoid

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ cô đặc chân không lên hàm lượng polyphenol tổng số và flavonoid tổng số của dịch chiết hạt đậu đỏ nảy mầm được trình bày trên Hình 2. Dữ liệu cho thấy TPC có xu hướng giảm dần khi nhiệt độ cô đặc tăng từ 55 đến 75 °C; trong khi đó, TFC tăng nhẹ và đạt giá trị cao nhất tại 60 °C, sau đó giảm

dần ở các mức nhiệt độ cao hơn. Khi nhiệt độ tăng từ 55 lên 75 °C, hàm lượng TPC giảm từ 15,11 xuống 13,60 mg GAE/g DW (giảm khoảng 10,0%), trong khi TFC từ 2,76 tăng lên 2,79 (ở 60 °C) sau đó giảm mạnh xuống 2,11 mg CAE/g DW. Sự sụt giảm này phản ánh ảnh hưởng bất lợi của nhiệt đến độ bền của các hợp chất phenol trong dịch chiết.



Hình 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ cô đặc chân không đến hàm lượng polyphenol và flavonoid

Ghi chú: Số liệu được trình bày dưới dạng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn (n = 3). Các chữ cái khác nhau (a, b, c, d đối với TPC và a', b', c', d' đối với TFC) trên các cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Sự suy giảm hàm lượng phenol ở nhiệt độ cao hơn có thể liên quan đến quá trình oxy hóa nhiệt, biến đổi cấu trúc của các nhóm hydroxyl phenol và thay đổi khả năng phản ứng của các hợp chất này với thuốc thử phân tích. Theo Antony và Farid, nhiệt độ cao thúc đẩy việc bẻ gãy các liên kết glycoside và kích hoạt các phản ứng biến đổi hóa học như trùng hợp hoặc phản ứng Maillard, làm giảm khả năng phản ứng của polyphenol với thuốc thử Folin-Ciocalteu [20]. Điều đáng chú ý là việc sử dụng áp suất giảm đã giúp hạ thấp điểm sôi đáng kể so với áp suất khí

quyển. Tuy nhiên, ở các mức nhiệt độ cao hơn, một số flavonoid nhạy nhiệt vẫn có thể bị biến đổi hoặc suy giảm, làm giảm hàm lượng TFC đo được. Kết quả này tương đồng với nhận định của Quirós và cộng sự về sự thay đổi thành phần polyphenol do áp lực nhiệt trong quá trình cô đặc phụ phẩm blackberry [27].

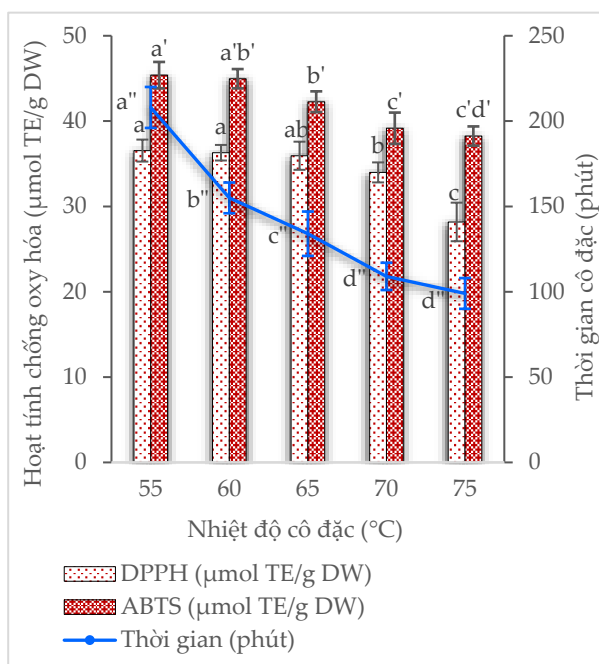
Xét tổng thể trên cả hai chỉ tiêu TPC và TFC, vùng nhiệt độ 55–60 °C được xem là phù hợp nhất để duy trì hàm lượng hoạt chất trong dịch chiết. Mặc dù 55 °C và 60 °C không sai khác có ý nghĩa thống kê về TPC và TFC, 60 °C vẫn được lựa chọn do giúp rút ngắn đáng kể thời gian cô đặc trong khi vẫn duy trì tốt hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết.

Ảnh hưởng của nhiệt độ cô đặc chân không đến hoạt tính chống oxy hóa

Hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết cô đặc (Hình 3) cho thấy sự tương quan thuận chặt chẽ với biến động của hàm lượng TPC và TFC. Khả năng bắt gốc tự do có xu hướng giảm khi nhiệt độ tăng. Cụ thể, giá trị DPPH giảm từ 36,55 xuống 28,18 $\mu\text{mol TE/g DW}$ khi nhiệt độ cô đặc tăng từ 55 lên 75 °C. Tương tự, giá trị ABTS giảm từ 45,38 xuống 38,25 $\mu\text{mol TE/g DW}$ trong cùng khoảng nhiệt độ khảo sát. Xu hướng này cho thấy nhiệt độ cao hơn trong quá trình cô đặc có thể làm suy giảm một phần hoạt tính sinh học của dịch chiết.

Tại 60 °C, hoạt tính DPPH đạt 36,30 $\mu\text{mol TE/g DW}$ và ABTS đạt 44,97 $\mu\text{mol TE/g DW}$, không khác biệt có ý nghĩa thống kê so với mức 55 °C nếu xét theo kết quả phân nhóm thống kê trên Hình 3. Điều này cho thấy ở dải nhiệt độ 55–60 °C, các hợp chất chống oxy hóa trong dịch chiết vẫn được duy trì tương đối tốt. Đồng thời, thời gian cô đặc giảm từ 208 phút ở 55 °C xuống còn 155 phút ở 60 °C, cho thấy hiệu quả công nghệ được cải thiện rõ rệt khi tăng nhẹ nhiệt độ cô đặc. Tuy nhiên, tại ngưỡng 75 °C, hoạt tính chống oxy hóa suy giảm rõ hơn, đặc biệt đối với DPPH. Hiện tượng này có thể

liên quan đến sự oxy hóa, biến đổi cấu trúc hoặc suy giảm khả năng cho proton/điện tử của một phần hợp chất phenol dưới tác động của nhiệt độ cao hơn trong quá trình cô đặc [12, 28]. Xu hướng này phù hợp với sự suy giảm của TPC và TFC đã trình bày ở mục trên, cho thấy mối liên hệ tương đối chặt chẽ giữa hàm lượng hợp chất phenol và hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết.



Hình 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ cô đặc chân không đến hoạt tính chống oxy hóa và thời gian cô đặc của dịch chiết hạt đậu đỏ nảy mầm

Ghi chú: Trong cùng một chỉ tiêu, các cột mang chữ cái khác nhau biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức $p < 0,05$; a, b, c áp dụng cho DPPH và a', b', c' cho ABTS; a'', b'', c'' cho thời gian cô đặc

Một quan sát nhất quán là giá trị ABTS luôn cao hơn DPPH ở tất cả các nghiệm thức. Sự khác biệt này có thể liên quan đến cơ chế phản ứng và phạm vi đáp ứng khác nhau giữa hai phương pháp thử, trong đó ABTS thường phản ánh tốt hơn khả năng khử của cả các chất chống oxy hóa ưa nước lẫn một số cấu tử bán phân cực. Do đó, việc sử dụng đồng thời hai phương pháp thử DPPH và ABTS giúp đánh giá toàn diện hơn hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết sau cô đặc. Kết quả này và nghiên cứu của Mai và Mười cho thấy rằng việc kiểm soát nhiệt độ cô quay chân không dưới

ngưỡng bão hòa là điều kiện tiên quyết để bảo vệ giá trị sinh học của cao chiết [13].

Tổng hợp các chỉ tiêu về TPC, TFC, DPPH, ABTS và thời gian cô đặc cho thấy 60 °C là điều kiện cô đặc chân không phù hợp nhất trong phạm vi khảo sát. Ở mức nhiệt này, dịch chiết vẫn duy trì hoạt tính chống oxy hóa cao, trong khi thời gian xử lý được rút ngắn đáng kể so với 55 °C.

4 Kết luận

Trong phạm vi khảo sát, điều kiện chiết phù hợp là ethanol 70% và 50 phút với tỷ lệ nguyên liệu/dung môi 1:15 (w/v) cho hàm lượng polyphenol tổng số đạt 13,76 mg GAE/g DW, flavonoid tổng số đạt 2,38 mg CAE/g DW, đồng thời hoạt tính chống oxy hóa đạt 34,18 μmol TE/g DW theo phương pháp DPPH và 39,52 μmol TE/g DW theo phương pháp ABTS. Trong giai đoạn cô đặc, nhiệt độ dịch chiết 60 °C là phù hợp hơn do vẫn duy trì tốt hàm lượng hợp chất phenol và hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết, đồng thời rút ngắn thời gian xử lý. Kết quả này là cơ sở khoa học cho việc sử dụng hạt đậu đỏ nảy mầm làm nguồn nguyên liệu tiềm năng trong sản xuất thực phẩm chức năng và các sản phẩm giàu hợp chất chống oxy hóa

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện với một phần hỗ trợ tài chính từ Đề tài Đại học Huế mã số DHH2025-02-191.

Tài liệu tham khảo

1. Singh B, Singh JP, Kaur A, Singh N. Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. Food Research International. 2017;101:1-16.
2. Hernández-Ruiz RG, Olivares-Ochoa XC, Salinas-Varela Y, Guajardo-Espinoza D, Roldán-Flores LG, Rivera-Leon EA, et al. Phenolic Compounds and Anthocyanins in Legumes and Their Impact on

- Inflammation, Oxidative Stress, and Metabolism: Comprehensive Review. *Molecules*. 2025;30(1):174.
3. Rudrapal M, Khairnar SJ, Khan J, Dukhyil AB, Ansari MA, Alomary MN, et al. Dietary Polyphenols and Their Role in Oxidative Stress-Induced Human Diseases: Insights Into Protective Effects, Antioxidant Potentials and Mechanism(s) of Action. *Frontiers in Pharmacology*. 2022;13:806470.
 4. Ninh PĐA. Khảo sát tác dụng chống oxy hóa của một số cây họ Fabaceae. *Tạp chí Y Dược thực hành*. 2019;175(20):1-16.
 5. Johnson JB, Neupane P, Bhattarai SP, Trotter T, Naiker M. Phenolic profiles and acetylcholinesterase inhibitory activity in Australian adzuki bean. *Food Chemistry Advances*. 2023;3:100361.
 6. Günel-Köroğlu D, Esatbeyoglu T, Capanoglu E. Effect of germination on the phenolic compounds: Content, bioavailability, food applications, and health benefits. *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2025;19(11):8144-8164.
 7. Li H, Zou L, Li X, Wu D, Liu H, Li H, et al. Adzuki bean (*Vigna angularis*): Chemical compositions, physicochemical properties, health benefits, and food applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2022;21(3):2335-2362.
 8. Rizvi QUEH, Guiné RPF, Ahmed N, Sheikh MA, Sharma P, Sheikh I, et al. Effects of soaking and germination treatments on the nutritional, anti-nutritional, and bioactive characteristics of adzuki beans (*Vigna angularis* L.) and lima beans (*Phaseolus lunatus* L.). *Foods*. 2024;13(9):1422.
 9. Johnson JB, Neupane P, Bhattarai SP, Trotter T, Naiker M. Phenolic profiles and acetylcholinesterase inhibitory activity in Australian adzuki bean. *Food Chemistry Advances*. 2023;3:100361.
 10. Bé PT, Thuý ĐTB, Bảo VVQ, Đức NV, Linh NVH, Tuấn ĐLM, et al. Nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình ngâm và nảy mầm đến một số tính chất của hạt đậu đỏ (*Vigna angularis*). *Tạp chí Khoa học Đại học Huế: Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn*. 2025;134(3C):119-136.
 11. Melini V, Melini F, Luziatelli F, Ruzzi M. Development of an ultrasound-assisted extraction procedure for the simultaneous determination of anthocyanins and phenolic acids in black beans. *Foods*. 2023;12(19):3566.
 12. Chinmayi AS, Suresha GJ, Rosemary MX, Sadananda GK, Venugopalan R, Vasudeva KR, et al. Process optimization of vacuum concentration of Karonda fruit juice using response surface methodology: effects on antioxidant activity, iron content and GCMS profile. *Discover Food*. 2024;4(1).
 13. Mai TNP, Mười NV. Ảnh hưởng của điều kiện trích ly và cô quay chân không đến đặc tính của cao chiết từ vỏ bưởi Da Xanh. *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ*. 2021;57(CĐ Công nghệ thực phẩm):21-31.
 14. Bộ Khoa học và Công nghệ. TCVN 4295:2009: Đậu hạt - Phương pháp thử. Hà Nội: Bộ Khoa học và Công nghệ; 2009.
 15. Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. Analysis of total phenols and other oxidation substrates by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. 1999;299:152-178.
 16. Zhishen J, Mengcheng T, Jianming W. The determination of flavonoid contents in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*. 1999;64(4):555-559.
 17. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*. 1995;28(1):25-30.
 18. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. 1999;26(9-10):1231-1237.
 19. Luo J, Cai W, Wu T, Xu B. Phytochemical distribution in hull and cotyledon of adzuki bean (*Vigna angularis* L.) and mung bean (*Vigna radiate* L.), and their contribution to antioxidant, anti-inflammatory and anti-diabetic activities. *Food Chemistry*. 2016;201:350-360.
 20. Antony A, Farid M. Effect of Temperatures on Polyphenols during Extraction. *Applied Sciences*. 2022;12(4):2107.
 21. Hà TTN, Linh LTT, Quân THĐ, Lộc NB, Thanh NH. Đánh giá ảnh hưởng của các phương pháp cô đặc đến sự biến động của các hợp chất hoạt tính sinh học trong dịch trích thanh long ruột đỏ (*Hylocereus polyrhizus*). *Tạp chí Dinh dưỡng và Thực phẩm*. 2024;20(2):10-22
 22. Vũ AT, Phan PM, Nguyễn PTD, Nguyễn Hữu Phúc PNH, Võ VTT. Tối ưu hoá điều kiện trích ly

- flavonoids từ lá diếp cá. Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển. 2021;20(2):51-61.
23. Liên DTP, Toàn HT, Trâm TB. Ảnh hưởng quá trình trích ly đến hàm lượng polyphenol và khả năng chống oxy hóa từ đậu nành. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ. 2014(CĐ Nông nghiệp):8-15.
24. Anggarani MA, Salsabilla A, Ansyaddad DZ, Wuryaningrum R. Evaluation of the Impact of PGRs in Bean Sprouts Extract on Vegetative Growth, Total Phenolics, and Antioxidant Activity of Chili Peppers, Soybeans, and Potatoes. Communications in Science and Technology. 2025;10(2):431-438.
25. Borges-Martínez E, Gallardo-Velázquez T, Cardador-Martínez A, Moguel-Concha D, Osorio-Revilla G, Ruiz-Ruiz JC, et al. Phenolic compounds profile and antioxidant activity of pea (*Pisum sativum* L.) and black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) sprouts. Food Science and Technology. 2022;42.
26. Gülhan MF. Effect of solvent concentrations on antioxidant activity and biochemical parameters of adzuki bean (*Vigna angularis*) sprouts at different germination times. Journal of Balıkesir University Institute of Science and Technology. 2022;24(2):791-805.
27. Quirós AM, Acosta OG, Thompson E, Soto M. Effect of ethanolic extraction, thermal vacuum concentration, ultrafiltration, and spray drying on polyphenolic compounds of tropical highland blackberry (*Rubus adenotrichos* Schltdl.) by-product. Journal of Food Process Engineering. 2019;42(4).
28. Hiền TX, Hương LH, Thành NT. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian cô đặc chân không đến hàm lượng Polyphenol và khả năng chống oxy hóa dịch quả Lêkima (*Pouteria campechiana*) cô đặc. Nông nghiệp và Phát triển nông thôn. 2021;1:99-103.