

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐIỀU KIỆN TRÍCH LY HỖ TRỢ ENZYME ĐẾN HIỆU SUẤT VÀ ĐẶC TÍNH CHỨC NĂNG CỦA DẦU HẠT CHANH DÂY (*Passiflora edulis* Sims)

Lê Duy Nghĩa¹, Phan Thị Thanh Quế^{1,*}

¹ Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Đại học Cần Thơ

*Email: pttque@ctu.edu.vn

TÓM TẮT

Hạt chanh dây là phụ phẩm của quá trình chế biến, có tiềm năng khai thác giá trị gia tăng nhờ chứa các hợp chất có hoạt tính sinh học và axit béo thiết yếu. Nghiên cứu này tập trung đánh giá hiệu quả trích ly dầu hạt chanh dây bằng công nghệ có hỗ trợ enzyme Viscozyme L. Các điều kiện khảo sát bao gồm: Tỷ lệ enzyme (1,0; 1,5; 2,0; 2,5 % v/w) và thời gian trích ly (2, 3, 4, 5 giờ), với các chỉ tiêu đánh giá là hiệu suất thu hồi dầu, đặc tính hóa lý và hoạt tính sinh học của dầu. Kết quả cho thấy, trích ly sử dụng 2,0% enzyme trong 4 giờ cho hiệu suất thu hồi dầu cao (77,13%). Dầu thu được có chất lượng tốt, thể hiện qua các chỉ số peroxid và axit nằm trong giới hạn cho phép đối với dầu ăn, cùng màu sắc vàng nhạt đặc trưng. Đặc biệt, dầu hạt chanh dây giàu vitamin E (2.445,83 mg/kg) và axit béo chưa bão hòa (87,89%), trong đó axit linoleic chiếm ưu thế (72,39%); đồng thời hàm lượng polyphenol tổng số và khả năng loại gốc tự do DPPH cũng cao, lần lượt là 201,93 µg GAE/g và 85,2%. Những kết quả này cho thấy, trích ly dầu từ hạt chanh dây hỗ trợ enzyme là giải pháp công nghệ hiệu quả và thân thiện môi trường, góp phần nâng cao giá trị sử dụng phụ phẩm.

Từ khóa: Axit béo, chống oxy hóa, dầu hạt chanh dây, trích ly.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Chanh dây (*Passiflora edulis* Sims) là loại cây ăn quả nhiệt đới được trồng phổ biến tại nhiều quốc gia châu Á, châu Mỹ và châu Phi nhờ khả năng thích nghi rộng và giá trị kinh tế cao. Ở Việt Nam, tỉnh Lâm Đồng là địa phương có sản lượng chanh dây lớn với năng suất từ 45 - 80 tấn/ha [1]. Quả chanh dây được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp thực phẩm để sản xuất nước giải khát, dịch quả cô đặc và các sản phẩm chế biến khác nhờ hàm lượng vitamin (A, C), khoáng chất và các hợp chất có hoạt tính sinh học dồi dào. Trong quá trình sản xuất, vỏ và hạt của quả chanh dây thường bị loại bỏ như các phụ phẩm nông nghiệp. Theo Liang và cs (2021) [2], thịt quả chanh dây chỉ chiếm khoảng 23%, trong khi phần hạt chiếm 4 - 12%. Việt Nam là một trong những nước xuất khẩu chanh dây lớn nhất thế giới, vì vậy việc tận dụng nguồn phụ phẩm cần được quan tâm nhiều hơn. Việc tận dụng hiệu quả phụ phẩm hạt chanh dây không chỉ góp phần nâng cao giá trị kinh tế của chuỗi sản xuất mà còn phù hợp với định hướng phát triển bền vững và kinh tế tuần hoàn trong ngành công nghiệp thực phẩm. Trong những năm gần đây, dầu hạt chanh

dây đang được quan tâm nghiên cứu do sự hiện diện của các hợp chất có hoạt tính sinh học. Dầu hạt chanh dây có chứa 85,25% axit béo chưa bão hòa, trong đó 71,91% là axit linoleic và 11,85% axit oleic [3]. Kết quả nghiên cứu của Chen và cs (2025) [4] cho thấy, dầu hạt chanh dây có hoạt tính hạ lipid máu đáng kể. Thử nghiệm trên dòng tế bào 3T3-L1 chứng minh rằng, dầu hạt chanh dây làm giảm sự tích lũy lipid nội bào, đồng thời làm giảm hàm lượng triglycerid, cholesterol toàn phần và cholesterol lipoprotein tỷ trọng thấp (LDL-C), trong khi làm tăng hàm lượng cholesterol lipoprotein tỷ trọng cao (HDL-C). Bên cạnh các tác dụng sinh học, dầu hạt chanh dây còn được ứng dụng trong phát triển vật liệu bao gói thực phẩm. Nghiên cứu của Araújo và cs (2024) [5] báo cáo rằng, màng bao ăn được từ chitosan - gum arabic bổ sung dầu hạt chanh dây có khả năng kéo dài thời gian bảo quản dầu tây lên đến 6 ngày ở 25°C và 12 ngày ở 4°C.

Dầu từ hạt có thể thu được bằng nhiều phương pháp khác nhau như: Ép, trích ly bằng dung môi, trích ly hỗ trợ enzyme... Trong phương pháp trích ly bằng dung môi thì hexan và ethanol là hai dung môi được sử dụng rất phổ

biến. Tuy nhiên, phương pháp này kém thuận lợi hơn trong việc chiết xuất dầu tự nhiên vì tiêu thụ nhiều dung môi, nhiệt độ và năng lượng cũng như thời gian kéo dài dẫn đến phân hủy các hợp chất hoạt tính sinh học và giảm chất lượng dinh dưỡng. Đồng thời, việc sử dụng dung môi sẽ dẫn đến vấn đề như ô nhiễm không khí, môi trường và có thể gây ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Bên cạnh đó, phần hạt sau khi tách béo bằng dung môi không thể tận dụng làm nguồn thức ăn chăn nuôi do việc loại bỏ hoàn toàn dung môi đã được chứng minh là không khả thi [6]. Những hạn chế của các phương pháp trích ly truyền thống đặt ra yêu cầu cần thiết phải nghiên cứu các giải pháp trích ly an toàn và thân thiện với môi trường. Phương pháp trích ly dầu hỗ trợ enzyme trong nước đang được quan tâm như một hướng tiếp cận công nghệ bền vững nhờ tính an toàn, tiết kiệm năng lượng và giảm thiểu tác động đến môi trường [7]. Phương pháp này đã được ứng dụng trên nhiều loại hạt như: Bí ngô [8], lựu [9], thanh long [10], dầu thu được có các thông số lý hóa và thành phần dinh dưỡng vượt trội hơn so với phương pháp ép hoặc sử dụng dung môi [11]. Tuy nhiên, việc ứng dụng phương pháp này đối với hạt chanh dây vẫn còn rất hạn chế. Đến nay, chưa có nghiên cứu nào công bố việc trích ly dầu hạt chanh dây bằng phương pháp trích ly enzyme trong nước. Nghiên cứu của Oliveira và cs (2022) [12] sử dụng enzyme lipase kết hợp với dung môi hữu cơ nhằm tăng cường quá trình trích ly, tuy nhiên hiệu suất thu hồi lại thấp hơn so với quá trình trích ly sử dụng dung môi thông thường. Trong quá trình trích ly dầu từ hạt thì các enzyme thường được sử dụng là cellulase, hemicellulase, pectinase, lipase và protease [13]. Thành tế bào chanh dây dày, cứng và có cấu trúc phức tạp [14], do đó việc sử dụng hỗn hợp của hai hoặc nhiều loại enzyme có tác dụng hiệp đồng có thể làm gia tăng hiệu quả của quá trình trích ly. Viscozyme L chứa hoạt tính của các enzyme như: Xylanase, arabanase, β -glucanase, hemicellulose và cellulase [15], là một hỗn hợp enzyme đáp ứng được yêu cầu trích ly dầu từ hạt. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá và xác định các thông số cho quá trình trích ly dầu có sự hỗ trợ của enzyme Viscozyme L đến hiệu quả thu hồi dầu hạt chanh dây, qua đó góp phần nâng cao giá trị sử dụng phụ phẩm và định hướng ứng dụng dầu

hạt chanh dây như một thành phần chức năng trong thực phẩm.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên, vật liệu

Hạt chanh dây thu gom trong ngày từ Công ty Chế biến Nước chanh dây cô đặc tại xã Phụng Hiệp, thành phố Cần Thơ, được vận chuyển về đến phòng thí nghiệm. Hạt chanh dây được rửa sạch, sấy khô ở nhiệt độ 25 - 27°C trong thời gian 24 giờ, độ ẩm đạt khoảng 5% và bảo quản ở nhiệt độ -20°C để sử dụng trong các thí nghiệm [3]. Hạt chanh dây sau khi sấy khô được phân tích xác định tỷ lệ chất khô, chất béo tổng số để làm cơ sở cho việc trích ly và đánh giá chất lượng dầu thu hồi. Chế phẩm enzyme sử dụng trong nghiên cứu là enzyme Viscozyme L dạng dung dịch có màu nâu, được sản xuất từ nấm *Aspergillus aculeatus* với hoạt tính enzyme là 100 FBG (Fungal Beta-Glucanase unit)/g (Novozyme, Đan Mạch).

2.2. Phương pháp bố trí thí nghiệm

2.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ enzyme bổ sung đến chất lượng dầu hạt chanh dây

Hạt chanh dây khô được nghiền mịn bằng máy xay đến kích thước hạt < 1 mm. Phôi trộn hạt chanh dây đã được nghiền mịn với nước ở tỷ lệ 1: 3 [10] và điều chỉnh pH đạt 4,5 bằng NaOH 1M và HCl 1M. Bổ sung enzyme Viscozyme L với các tỷ lệ 1, 0; 1, 5; 2,0; 2,5 %v/w. Hỗn hợp được ủ ở nhiệt độ 45°C trong thời gian 3 giờ. Sau thời gian ủ, hỗn hợp được nâng nhiệt lên 90°C, trong 5 phút (để vô hoạt enzyme) và làm nguội. Ly tâm hỗn hợp với tốc độ 10.000 vòng/phút trong 5 phút. Tiến hành thu lớp dầu trên cùng, lọc chân không và sấy ở nhiệt độ 70°C trong thời gian 3 giờ. Xác định hiệu suất thu hồi dầu hạt chanh dây và phân tích các chỉ tiêu chất lượng bao gồm hàm lượng polyphenol tổng số (TPC) và khả năng loại gốc tự do DPPH.

2.2.2. Khảo sát ảnh hưởng thời gian trích ly đến chất lượng dầu hạt chanh dây

Hỗn hợp hạt chanh dây sau khi được chuẩn bị và bổ sung enzyme với tỷ lệ xác định ở mục 2.2.1 được tiến hành thủy phân ở các mốc thời gian 2, 3, 4, 5 giờ. Các công đoạn trích ly tiếp theo và chỉ tiêu phân tích được thực hiện tương tự như mục 2.2.1.

2.2.3. Xác định đặc tính hóa lý và các thành phần có hoạt tính sinh học trong dầu hạt chanh dây

Dầu hạt chanh dây được trích ly ở điều kiện xác định từ mục 2.2.1 và 2.2.2 được tiến hành phân tích chỉ số axit, peroxit, màu sắc (L^* , a^* , b^*), TPC, khả năng loại gốc tự do DPPH, vitamin E và thành phần các axit béo.

2.3. Phương pháp phân tích

Hàm lượng chất khô tổng số được xác định bằng phương pháp sấy ở 105°C đến khối lượng không đổi theo TCVN 8949:2011 [16]. Hàm lượng chất béo tổng số được xác định bằng phương pháp Soxhlet theo TCVN 8948:2011 [17].

Hiệu suất thu hồi được tính theo công thức:

$$\frac{m_d}{m_{cb}} \cdot 100$$

Trong đó: m_d là khối lượng dầu thu được; m_{cb} là khối lượng chất béo có trong nguyên liệu.

Màu sắc (L^* , a^* , b^*) được đo trực tiếp bằng máy đo màu Konica Minolta CR-410. TPC được xác định dựa trên phản ứng khử của thuốc thử Folin-Ciocalteu, hấp thụ cực đại ở bước sóng 765 nm [18]. Khả năng loại gốc tự do DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) được xác định bằng phản ứng giữa DPPH và các chất chống oxy hóa, trong đó DPPH sẽ nhận hydro và bị khử làm chuyển màu dung dịch từ màu tím sang màu vàng sáng, độ hấp thụ được đo ở bước sóng 517 nm [19]. Hàm lượng vitamin E được xác định dựa trên khả năng khử Fe^{3+} thành Fe^{2+} của vitamin E; ion Fe^{2+} phản ứng với 2,2-dipyridin (hoặc o-phenantrolin), tạo một phức chất có màu đỏ hấp thụ cực đại ở bước sóng 520 nm [20]. Chỉ số axit được xác định theo TCVN 6127:2010 [21]. Chỉ số peroxit được xác định theo TCVN 6121:2018 [22].

Thành phần axit béo trong dầu hạt chanh dây được xác định dưới dạng FAME (Fatty acid methyl esters) bằng phương pháp sắc ký khí ghép khối phổ (GC-MS) [23, 24], bao gồm 2 bước:

Bước 1: Methyl ester hóa các triacylglycerol (TAG). Hòa tan 250 mg (cân chính xác đến 0,1 mg) trong 9 mL n-hexane và cho phản ứng với 1 mL dung dịch KOH 2N trong methanol. Hỗn hợp được lắc khoảng 30 giây, sau đó để ổn định. Lấy 1 mL lớp n-hexane phía trên cho vào lọ vial GC.

Bước 2: Xác định thành phần hỗn hợp methyl ester. Thành phần methyl ester của các axit béo được phân tích bằng máy sắc ký khí 8860 với đầu dò khối phổ MSD 5977B của hãng Agilent Technologies (Hoa Kỳ), với cột mao quản HP-5ms thành phần pha tĩnh 5% phenylmethylsiloxan ($30\text{ m} \times 0,25\text{ mm} \times 0,25\text{ }\mu\text{m}$). Heli được sử dụng làm khí mang với tốc độ dòng 1 mL/phút, lượng mẫu bơm vào cột là 1 μL , tỷ lệ chia dòng 5: 1. Chương trình nhiệt độ như sau: Nhiệt độ đầu 60°C , tốc độ gia nhiệt 4°C/phút đến 250°C . FAME được xác định thông qua các đỉnh của phổ đồ tương ứng với khối lượng phân tử có trong thư viện phổ NIST 20 đi kèm với hệ thống GC-MS. Thành phần FAME (%) được xác định bằng cách lấy diện tích mỗi đỉnh so với tổng diện tích của tất cả các đỉnh được xác định trong sắc ký đồ.

2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Kết quả được xử lý theo phương pháp phân tích phương sai (ANOVA) và kiểm định LSD (Least Significant Difference) để kết luận về sự sai khác giữa trung bình các nghiệm thức bằng chương trình Statgraphics XV.I. Kết quả nghiên cứu được trình bày dưới dạng giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn (mean $\pm$ SD).

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thành phần hạt chanh dây

Phân tích đặc điểm cơ bản của nguyên liệu là một trong những bước cơ bản và quan trọng giúp đánh giá được chất lượng nguyên liệu cũng như định hướng nghiên cứu. Kết quả phân tích được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Thành phần đặc tính cơ bản trong nguyên liệu hạt chanh dây

Chỉ tiêu phân tích	Kết quả ¹
Chất khô tổng số (%)	$94,30 \pm 0,10$
Chất béo tổng số (%)	$23,09 \pm 0,62$

Ghi chú: ¹: Kết quả trung bình của 3 lần lặp lại.

Hàm lượng chất khô và chất béo tổng số trong hạt chanh dây lần lượt là 94,30% và 23,09%. Kết quả này cho thấy, hạt chanh dây có chứa hàm lượng chất béo cao, có tiềm năng để sử dụng trích ly dầu. Hàm lượng chất béo tổng số trong hạt chanh dây từ nghiên cứu này tương đương với kết quả nghiên cứu của Giuffrè (2007) [25], nhưng thấp hơn kết quả nghiên cứu của Cung Thị Tố Quỳnh và cs (2018) [1] (24,3 -

25,1%); Cui và cs (2024) [3] (26,75%). Sự khác biệt về hàm lượng chất béo có thể là do các đặc tính di truyền giống, khí hậu và địa lý canh tác chanh dây.

3.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ enzyme trong nước đến chất lượng dầu

Bảng 2. Ảnh hưởng tỷ lệ enzyme bổ sung đến hiệu suất thu hồi dầu, TPC, khả năng loại bỏ gốc tự do DPPH

Tỷ lệ enzyme (%v/w)	Hiệu suất thu hồi (%)	TPC ($\mu\text{g GAE/g}$)	DPPH (%)
1,0	56,25 $\pm$ 2,50 ^c	207,04 $\pm$ 0,82 ^c	60,02 $\pm$ 1,70 ^c
1,5	59,25 $\pm$ 2,50 ^b	232,60 $\pm$ 0,35 ^b	67,85 $\pm$ 1,20 ^a
2,0	66,00 $\pm$ 4,50 ^a	329,01 $\pm$ 0,23 ^a	67,99 $\pm$ 1,00 ^a
2,5	65,75 $\pm$ 4,25 ^a	330,07 $\pm$ 0,70 ^a	61,57 $\pm$ 2,60 ^b

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau (a, b, c) trong cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với độ tin cậy 95%.

Ảnh hưởng của tỷ lệ enzyme Viscozyme L đến chất lượng dầu được trình bày ở bảng 2. Kết quả cho thấy, khi tăng tỷ lệ enzyme thì hiệu suất thu hồi dầu cũng tăng theo, khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Hiệu suất thu hồi dầu tăng từ 56,25 - 66,00% khi tỷ lệ enzyme bổ sung tăng từ 1,0 - 2,0%. Tuy nhiên, khi tỷ lệ enzyme tiếp tục tăng đến 2,5% thì hiệu suất thu hồi không tăng thêm. Tỷ lệ enzyme ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi dầu thông qua tương tác giữa hạt có dầu và enzyme. Enzyme thúc đẩy quá trình giải phóng dầu và các hợp chất hoạt tính sinh học thông qua cơ chế thủy phân cấu trúc thành tế bào. Dầu trong hạt thực vật chủ yếu được tích lũy trong các túi dầu, được bao bọc bởi màng phospholipid-protein và nằm sâu trong tế bào có thành giàu cellulose, hemicellulose và pectin [26]. Viscozyme cắt đứt các liên kết β -1,4-glycosidic của cellulose và hemicellulose; đồng thời phân hủy pectin, thành phần đóng vai trò như chất kết dính giữa các sợi cellulose. Quá trình này làm suy yếu cấu trúc thành tế bào, tăng độ xốp của mô, từ đó giúp dầu thoát ra dễ dàng dẫn đến nâng cao hiệu suất thu hồi dầu. Tỷ lệ enzyme càng cao thì tương tác

càng mạnh, thúc đẩy quá trình phân hủy thành tế bào và giải phóng dầu. Vận tốc phản ứng tăng theo tỷ lệ enzyme, tuy nhiên khi enzyme đạt trạng thái bão hòa với cơ chất, việc tiếp tục tăng lượng enzyme không làm gia tăng vận tốc phản ứng. Ngoài ra, tỷ lệ enzyme cao có thể chiết xuất các thành phần không mong muốn (như đường hòa tan), từ đó hạn chế giải phóng dầu. Đồng thời, quá trình thủy phân protein, polysaccharides cũng có thể diễn ra làm ảnh hưởng đến mùi và gây vị đắng cho dầu [13]. Kết quả này tương đồng với kết quả nghiên cứu Mai Cát Duyên và cs (2025) [10] trên dầu hạt thanh long ruột đỏ.

Kết quả ở bảng 2 cũng cho thấy, TPC trong dầu hạt chanh dây tăng khi tỷ lệ enzyme bổ sung tăng, khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các tỷ lệ enzyme ($p < 0,05$). Hàm lượng TPC gia tăng là hệ quả của nhiều cơ chế xảy ra trong quá trình xử lý enzyme [27]. Khi enzyme tiếp xúc với cơ chất sự phân giải lignin tạo điều kiện giải phóng các dẫn xuất axit phenolic và có thể hình thành thêm các hợp chất phenolic mới. Thành tế bào bị thủy phân, dẫn đến giải phóng các hợp chất phenolic ở dạng liên kết và chuyển hóa các phenolic không hòa tan sang dạng hòa tan. Đồng thời, sự phá vỡ cấu trúc tế bào còn làm giảm độ nhớt của hệ và nâng cao khả năng hòa tan, qua đó thúc đẩy quá trình giải phóng các hợp chất có hoạt tính sinh học [28]. Dầu hạt chanh dây chứa hàm lượng hợp chất phenolic tương đương với kết quả nghiên cứu của Ramaiya và cs (2019) [29], cho thấy đây là nguồn cung cấp hợp chất phenolic tốt, tương tự như dầu hạt lựu [9].

Dầu hạt chanh dây cũng có tiềm năng chống oxy hóa cao. Bảng 2 cho thấy khả năng loại gốc tự do DPPH trong dầu hạt chanh dây cũng tăng khi tăng tỷ lệ enzyme, khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$), đạt giá trị cao nhất (67,99%) khi tỷ lệ enzyme bổ sung là 2,0%. Sự gia tăng TPC là nguyên nhân dẫn đến sự gia tăng khả năng loại bỏ gốc tự do DPPH của dầu hạt chanh dây. Kết quả nghiên cứu này cao hơn so với dầu hạt mè (34,68%), hạt lanh (47,78%) và dầu hạt bí ngô (52,21%) được chiết xuất bằng phương pháp ép lạnh theo kết quả nghiên cứu của Górnas và cs (2014) [30].

Từ các kết quả trên cho thấy, dầu hạt chanh dây được trích ly hỗ trợ enzyme Viscozyme L. với tỷ lệ 2% đạt được hiệu suất trích ly cao

(66%). Bên cạnh đó, TPC và khả năng loại gốc tự do DPPH cao, lần lượt là 329,01 μg GAE/g và 67,99%.

3.3. Ảnh hưởng của thời gian trích ly đến hiệu suất trích ly và chất lượng dầu

Thời gian trích ly là một trong những yếu tố quan trọng trong quá trình xử lý bằng enzyme, đặc biệt là khả năng chịu nhiệt của enzyme. Kết quả ảnh hưởng của thời gian trích ly đến một số chỉ tiêu chất lượng dầu hạt chanh dây được trình bày ở bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng thời gian trích ly đến hiệu suất thu, TPC, khả năng loại bỏ gốc tự do DPPH của dầu hạt chanh dây

Thời gian trích ly (giờ)	Hiệu suất thu hồi (%)	TPC (μg GAE/g)	DPPH (%)
2	34,83 $\pm$ 0,20 ^d	182,58 $\pm$ 0,09 ^d	71,41 $\pm$ 0,17 ^d
3	56,65 $\pm$ 1,45 ^c	196,09 $\pm$ 0,02 ^c	78,40 $\pm$ 0,30 ^b
4	77,13 $\pm$ 1,75 ^a	201,93 $\pm$ 0,01 ^a	85,20 $\pm$ 1,40 ^a
5	70,30 $\pm$ 1,65 ^b	197,55 $\pm$ 0,01 ^b	76,80 $\pm$ 1,00 ^c

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau (a, b, c, d) trong cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê với độ tin cậy 95%.

Thời gian trích ly có ảnh hưởng đến hiệu suất thu hồi dầu, khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Hiệu suất thu hồi dầu tăng từ 34,83 - 77,13% khi thời gian trích ly tăng từ 2 - 4 giờ. Sự phân hủy của thành tế bào sẽ tăng lên trong thời gian xử lý bằng enzyme sẽ tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình trích ly dầu. Tuy nhiên, khi tiếp tục kéo dài thời gian trích ly đến 5 giờ thì hiệu suất thu hồi dầu lại có xu hướng giảm còn 70,3%, nguyên nhân có thể là do hoạt tính của enzyme bị suy giảm theo thời gian từ đó ảnh hưởng đến hiệu quả trích ly. Bên cạnh đó, quá trình xử lý bằng enzyme có thể giải phóng một số peptit và polysaccharides từ thành tế bào có hoạt tính nhũ hóa. Các chất nhũ hóa này ổn định nhũ tương kem dầu trong nước làm giảm hàm lượng dầu mặc dù thành tế bào thủy phân nhiều hơn [31]. Ngoài ra, thời gian trích ly quá dài tiêu thụ năng lượng cao không cần thiết và tạo ra một số sản phẩm không mong muốn [7].

Thời gian trích ly có ảnh hưởng đến TPC trong dầu hạt chanh dây, khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Thời gian trích ly dài tạo điều kiện cho quá trình thủy phân diễn ra hoàn toàn từ đó giải phóng nhiều các hợp chất phenolic. Tuy nhiên, khi tiếp tục kéo dài thời gian trích ly thì sẽ xảy ra sự phân hủy nhiệt hoặc sự polyme hoá làm giảm hàm lượng polyphenol [32]. Sự khác biệt về TPC dẫn đến sự khác biệt về khả năng loại gốc tự do DPPH ($p < 0,05$). Dầu được trích ly trong thời gian 4 giờ có khả năng loại gốc tự do DPPH cao nhất đạt 85,20% và giảm khi tiếp tục tăng thời gian trích ly đến 5 giờ. Thời gian trích ly dài tạo điều kiện giải phóng nhiều hơn các hợp chất có hoạt tính sinh học, từ đó gia tăng khả năng chống oxy hóa của dầu. Tuy nhiên, thời gian dài có thể dẫn đến quá trình thủy phân hoàn toàn các peptit, được xem là một thành phần cũng có hoạt tính sinh học [11].

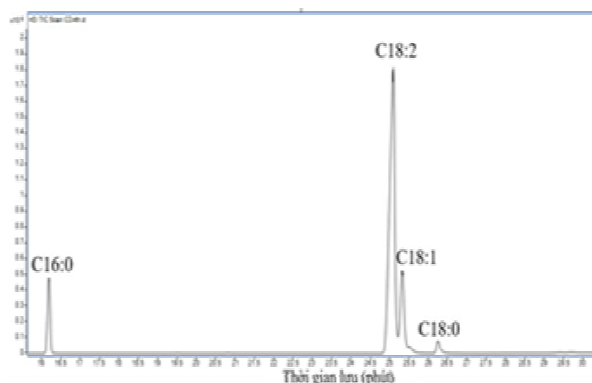
Từ các kết quả trên cho thấy, trích ly dầu hạt chanh dây trong thời gian 4 giờ cho hiệu suất thu hồi và các hợp chất có hoạt tính sinh học trong dầu cao nhất.

3.4. Xác định đặc tính hóa lý và các thành phần có hoạt tính sinh học trong dầu hạt chanh dây

Thành phần axit béo là một thông số chất lượng quan trọng đối với dầu. Giá trị dinh dưỡng của dầu cũng được đánh giá thông qua hàm lượng vitamin E. Đồng thời, để đánh giá nhanh và tương đối về chất lượng của dầu thì các chỉ số hóa lý của dầu thường được lựa chọn; đây cũng là cơ sở cho việc phân loại và bảo quản sản phẩm. Kết quả sắc ký đồ thành phần axit béo của dầu hạt chanh dây được trình bày ở hình 1; các đặc tính chất lượng và thành phần axit béo được trình bày ở bảng 4. Kết quả cho thấy, dầu hạt chanh dây thu hồi có hàm lượng axit béo chưa bão hòa chiếm 87,89%, trong đó axit linoleic và axit oleic là hai thành phần chiếm tỷ lệ cao nhất, lần lượt đạt 72,39% và 15,50%. Kết quả này tương đồng với kết quả nghiên cứu của Cui và cs (2024) [3], nhưng cao hơn so với kết quả nghiên cứu của Antoniassi và cs (2022) [33], trong đó tổng hàm lượng axit béo chưa bão hòa đạt 85,68% và axit linoleic chiếm 68,91%. Axit oleic là một axit béo không no đơn phổ biến trong dầu thực vật giúp cải thiện lipid máu, giảm viêm và tăng độ nhạy insulin. Hàm lượng axit oleic cao góp phần nâng

cao độ ổn định oxy hóa của dầu, phù hợp cho các quá trình chế biến ở nhiệt độ cao [34]. Trong khi đó, axit linoleic có giá trị ứng dụng rộng rãi, đặc biệt trong ngành mỹ phẩm nhờ vai trò hỗ trợ quá trình phục hồi và tái tạo hàng rào bảo vệ da. Đáng

chú ý, hàm lượng axit linoleic trong dầu hạt chanh dây cao hơn so với dầu nụ tầm xuân, một nguyên liệu phổ biến dùng trong mỹ phẩm, chỉ chứa khoảng 44,4% axit linoleic [35].



Hình 1. Sắc ký đồ thành phần axit béo dầu hạt chanh dây

Bảng 4. Một số chỉ tiêu chất lượng của dầu hạt chanh dây

Các chỉ tiêu phân tích	Giá trị
<i>Thành phần axit béo (%)</i>	
Axit palmitic (C16:0)	9,89
Axit stearic (C18:0)	2,22
Axit oleic (C18:1)	15,50
Axit linoleic (C18:2)	72,39
Tổng axit béo chưa bão hòa	87,89
Tổng axit béo bão hòa	12,11
Vitamin E (mg/kg)	2.445,83 ± 167,20
TPC (µg GAE/g)	201,93 ± 0,01
DPPH (%)	85,20 ± 1,40
Chỉ số axit (mg KOH/g)	3,91 ± 0,78
Chỉ số peroxit (mEqO ₂ /kg)	7,90 ± 1,40
<i>Màu sắc</i>	
L*	47,24 ± 0,27
a*	0,62 ± 0,29
b*	16,28 ± 0,19

Hoạt tính chống oxy hóa của dầu thực vật chủ yếu bắt nguồn từ các hợp chất phenolic, carotenoid và vitamin E; trong đó, hàm lượng vitamin E cao có thể đóng vai trò chính trong khả năng chống oxy hóa của dầu hạt chanh dây.

Hàm lượng vitamin E trong dầu hạt chanh dây thu được bằng phương pháp trích ly có hỗ trợ enzyme trong nghiên cứu này cao hơn so với kết quả nghiên cứu của Chen và cs (2025) [4]. Đồng thời, hàm lượng vitamin E cũng vượt trội so với nhiều loại dầu thực vật phổ biến như dầu olive, dầu đậu phộng, dầu đậu nành và dầu hướng dương [36]. Quá trình thủy phân thành tế bào bằng enzyme có thể góp phần giải phóng vitamin E, đồng thời thúc đẩy sự phân chia pha dầu thông qua sự tạo phức với polysaccharide, từ đó làm gia tăng hàm lượng các hợp chất hoạt tính sinh học trong dầu [37].

Hàm lượng TPC của dầu hạt chanh dây đạt 201,93 µg GAE/g, tương đương với giá trị đã được báo cáo đối với dầu hạt điều [38]. Đồng thời, khả năng loại gốc tự do DPPH của dầu đạt 85,20%, cao hơn đáng kể so với dầu hạt bí ngô chiết xuất bằng phương pháp ép lạnh [31]. Hoạt tính chống oxy hóa cao của dầu hạt chanh dây có thể liên quan đến sự hiện diện đồng thời của polyphenol và vitamin E, với tác động hiệp đồng đã được ghi nhận trong kết quả nghiên cứu của Zhang và cs (2007) [39].

Chỉ số axit của dầu hạt chanh dây đạt 3,91 mgKOH/g, cao hơn so với dầu hạt thanh long ruột trắng và ruột đỏ [19]. Đồng thời, chỉ số peroxit tương đối cao (7,9 mEqO₂/kg), cho thấy dầu có thể đã chịu tác động oxy hóa trong quá trình xử lý nguyên liệu và trích ly. Kết quả này cao hơn so với kết quả nghiên cứu của Chen và cs

(2025) [4] khi trích ly dầu hạt chanh dây bằng phương pháp trích ly chuyển pha liên tục ở nhiệt độ thấp. Dù vậy, các chỉ tiêu này vẫn nằm trong giới hạn cho phép theo TCVN 7597:2018 đối với dầu chưa qua tinh luyện [35]. Dầu thu được vẫn duy trì màu vàng sáng đặc trưng (Hình 2), với các giá trị L^* và b^* lần lượt là 47,24 và 16,28. Nhìn chung, chất lượng dầu chịu ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố như: Giống cây trồng, điều kiện sinh thái, đất canh tác cũng như phương pháp và điều kiện trích ly; do đó, cần tiếp tục các nghiên cứu chuyên sâu nhằm tối ưu hóa chất lượng dầu hạt chanh dây.

4. KẾT LUẬN

Công nghệ trích ly hỗ trợ enzyme Viscozyme L. trong nước mang lại hiệu quả cao trong thu hồi dầu hạt chanh dây và cải thiện các đặc tính chất lượng của dầu. Quá trình trích ly được thực hiện cố định ở nhiệt độ 45°C, pH dịch trích là 4,5. Điều kiện trích ly được xác định là sử dụng 2,0% enzyme Viscozyme L. trong 4 giờ, cho hiệu suất thu hồi dầu cao nhất đạt 77,13%. Dầu hạt chanh dây thu được có chất lượng tốt với chỉ số axit và chỉ số peroxit nằm trong giới hạn cho phép, màu sắc vàng nhạt đặc trưng. Đặc biệt, dầu giàu axit béo chưa bão hòa (87,89%), trong đó axit linoleic chiếm ưu thế (72,39%), đồng thời chứa hàm lượng polyphenol, vitamin E cao, thể hiện khả năng chống oxy hóa mạnh. Kết quả nghiên cứu khẳng định phương pháp trích ly hỗ trợ enzyme trong nước là giải pháp công nghệ hiệu quả, mở ra tiềm năng tận dụng phụ phẩm và ứng dụng dầu hạt chanh dây như một thành phần chức năng trong các sản phẩm thực phẩm.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn Công ty Cổ phần Tập đoàn Tiến Thịnh đã cung cấp nguyên liệu hạt chanh dây phục vụ cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Cung Thị Tố Quỳnh, Nghiêm Xuân Sơn & Bùi Quang Thuật (2018). Nghiên cứu sơ bộ thu nhận và đánh giá chất lượng dầu từ hạt chanh leo. *Tạp chí Dinh dưỡng và Thực phẩm*, 14(5): 60 - 65.

[2]. Liang, D., Yousef, A. F., Wei, X., Ali, M. M., Yu, W., Yang, L., Oelmüller, R. & Chen, F. (2021). Increasing the performance of passion

fruit (*Passiflora edulis*) seedlings by LED light regimes. *Scientific Reports*, 11, 20967. <http://doi.org/10.1038/s41598-02100103-1>.

[3]. Cui, J., Li, T., Zhou, Y., Wang, L., Li, T. & Zhang, W. (2024). Comparative lipidomics analysis of seed oils from nine tropical fruits: Emphasizing the fatty acid and lipid molecule profiles. *Food Research International*, 198, 115334. <http://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115334>.

[4]. Chen, P., Zhang, X., Yang, Q., Li, L., Cao, Y., Zhong, R. & Miao, J. (2025). Extraction and characterization of passion fruit seed oil and investigation of its hypolipidemic activity. *Journal of Agriculture and Food Research*, 19, 101672. <http://doi.org/10.1016/j.jafr.2025.101672>.

[5]. Araújo, A. S., Lima, G. S. d., Nunes, I. d. S., Aguiar, J. C. R. d. O. F. d., Navarro, D. M. d. A. F., Melo, N. F. C. B., Magalhães, N. S. S., França, R., Carvalho, R. d. S. F. & Stamford, T. C. M. (2024). Chitosan hydrochloride-gum Arabic-passion fruit seed oil nanoparticle edible coating to control fungal infection and maintain quality parameters of strawberries. *Food Control*, 161, 110360. <http://doi.org/10.1016/j.foodcont.2024.110360>.

[6]. Kaufmann, B. & Christen, P. (2002). Recent extraction techniques for natural products: microwave-assisted extraction and pressurised solvent extraction. *Phytochemical analysis*, 13(2): 105 - 113. <http://doi.org/10.1002/pca.631>.

[7]. Yusoff, M. M., Gordon, M. H. & Niranjana, K. (2015). Aqueous enzyme assisted oil extraction from oilseeds and emulsion de-emulsifying methods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 41(1): 60 - 82. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.003>.

[8]. Li, X. J., Li, Z. G., Wang, X., Han, J. Y., Zhang, B., Fu, Y. J. & Zhao, C. J. (2016). Application of cavitation system to accelerate aqueous enzymatic extraction of seed oil from *Cucurbita pepo* L. and evaluation of hypoglycemic effect. *Food Chemistry*, 212, 403 - 410. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.185>.

[9]. Goula, A. M., Papatheodorou, A., Karasavva, S. & Kaderides, K. (2016). Ultrasound-assisted aqueous enzymatic extraction

of oil from pomegranate seeds. *Waste and Biomass Valorization*, 9(1): 1 - 11. <http://doi.org/10.1007/s12649-016-9740-9>.

[10]. Mai Cát Duyên, Võ Huỳnh Như, Lê Duy Nghĩa, Dương Kim Thanh & Phan Thị Thanh Quế (2025). Ảnh hưởng của điều kiện trích ly bằng enzyme đến chất lượng dầu hạt thanh long ruột đỏ (*Hylocereus polyrhizus*). *Tạp chí Nông nghiệp và Môi trường*. Số đặc biệt: Sinh học thực phẩm và Đồ uống, 164 - 174.

[11]. Díaz-Suárez, P., Rosales-Quintero, A., Fernandez-Lafuente, R., Pola-Sánchez, E., Hernández-Cruz, M. C., Ovando-Chacón, S. L., Rodrigues, R. C. & Tacias-Pascacio, V. G. (2021). Aqueous enzymatic extraction of Ricinus communis seeds oil using Viscozyme L. *Industrial Crops and Products*, 170, 113811. <http://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113811>.

[12] Oliveira, V. V., Rosalém, M. d. J. C., Aranha, A. C. R., Sipoli, C. C., Andrade, M. M., Tonin, L. T. D., Defendi, R. O. & Suzuki, R. M. (2022). Modeling and experimental assessment of chemical and enzymatic extraction of bioactive components from passion fruit seed oil. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46, 17106. <http://doi.org/10.1111/jfpp.17106>.

[13] Gao, Y., Ding, Z., Liu, Y. & Xu, Y.-J. (2024). Aqueous enzymatic extraction: A green, environmentally friendly and sustainable oil extraction technology. *Trends in Food Science & Technology*, 144, 104315. <http://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104315>.

[14] Waseem, M., Majeed, Y., Nadeem, T., Naqvi, L. H., Khalid, M. A., Sajjad, M. M., Sultan, M., Khan, M. U., Khayrullin, M., Shariati, M. A. & Lorenzo, J. M. (2023). Conventional and advanced extraction methods of some bioactive compounds with health benefits of food and plant waste: A comprehensive review. *Food Frontiers*, 4(4), 1681-1701. <http://doi.org/10.1002/fft2.296>.

[15]. Arroyo, B. Y. N., Chacón, S. L. O., Tacias-Pascacio, V. G., Chacón, G. E. O., Canseco, C. V., Gordillo, R. M. & Quintero, A. R. (2019). Aqueous enzymatic extraction of oil from microwave-pretreated Jicaro seeds. *Current Biochemical Engineering*, 5(1): 42 - 49. <http://doi.org/10.2174/2212711906666190131150922>.

[16]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 8949:2011. Hạt có dầu - Xác định độ ẩm và hàm lượng chất bay hơi.

[17]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 8948:2011. Hạt có dầu - Xác định hàm lượng dầu (phương pháp chuẩn).

[18]. Feduraev, P., Chupakhina, G., Maslennikov, P., Tacenko, N. & Skrypnik, L. (2019). Variation in phenolic compounds content and antioxidant activity of different plant organs from *Rumex crispus* L. and *Rumex obtusifolius* L. at different growth stages. *Antioxidants (Basel)*, 8(7), 237. <http://doi.org/10.3390/antiox8070237>.

[19]. Mensor, L. L., Menezes, F. S., Leitao, G. G., Reis, A. S., dos Santos, T. C., Coube, C. S. & Leitao, S. G. (2001). Screening of Brazilian plant extracts for antioxidant activity by the use of DPPH free radical method. *Phytotherapy Research*, 15(2), 127-130. <http://doi.org/10.1002/ptr.687>.

[20]. Ishaq, G. M., Saidu, Y., Bilbis, L. S., Muhammad, S. A., Jinjir, N. & Shehu, B. B. (2013). Effects of alpha-tocopherol and ascorbic acid in the severity and management of traumatic brain injury in albino rats. *Journal of Neurosciences in Rural Practice*, 4(3): 292 - 297. <http://doi.org/10.4103/0976-3147.118784>.

[21]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 6127:2010. Dầu mỡ động vật và thực vật - Xác định trị số axit và độ axit.

[22]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 6121:2018. Dầu mỡ động vật và thực vật - Xác định trị số peroxit - Phương pháp xác định điểm kết thúc chuẩn độ iôt (quan sát bằng mắt).

[23]. Liaotrakoon, W., De Clercq, N., Van Hoed, V. & Dewettinck, K. (2012). Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) seed oils: Their characterization and stability under storage conditions. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 90(2): 207 - 215. <http://doi.org/10.1007/s11746-012-2151-6>

[24]. Phan Thị Thanh Quế, Nguyễn Thị Thu Thủy & Tống Thị Ánh Ngọc (2018). Khảo sát đặc tính và sự ổn định của dầu hạt thanh long (*Hylocereus* spp.) ở các điều kiện bảo quản khác nhau. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ*, 54(7): 192 - 201. <http://doi.org/10.22144/ctu.jsi.2018.082>.

- [25]. Giuffrè, A. M. (2007). Chemical composition of purple passion fruit (*Passiflora edulis* Sims var. *edulis*) seed oil. *Rivista Italiana Delle Sostanze Grasse*, 84(2): 87 - 93.
- [26]. Valsalan, A., Sivaranjana, P., Rajini, N. & Arumugaprabu, V. (2024). Enzymes for the recovery of oil from edible seeds. In S. A. Bhawani, A. Khan, A. A. S. A. Husaini, & M. R. Asaruddin (Eds.), *Enzymes in Oil Processing: Recent developments and applications* (pp. 33-53): Elsevier Inc.
- [27]. Sharma, H. P., Patel, H. & Sugandha. (2017). Enzymatic added extraction and clarification of fruit juices - A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(6): 1215 - 1227. <http://doi.org/10.1080/10408398.2014.977434>.
- [28]. Sharma, B., Dangi, A. K. & Shukla, P. (2018). Contemporary enzyme based technologies for bioremediation: A review. *Journal of Environmental Management*, 210, 10 - 22. <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.12.075>.
- [29]. Ramaiya, S. D., Bujang, J. S. & Zakaria, M. H. (2019). Physicochemical, fatty acid and antioxidant properties of passion fruit (*Passiflora* species) seed oil. *Pakistan Journal of Nutrition*, 18(5): 421 - 429. <http://doi.org/10.3923/pjn.2019.421-429>.
- [30]. Górnaś, P., Siger, A., Juhņeviča, K., Lācis, G., Šnē, E. & Segliņa, D. (2014). Cold - pressed Japanese quince (*Chaenomeles japonica* (Thunb.) Lindl. ex Spach) seed oil as a rich source of α - tocopherol, carotenoids and phenolics: A comparison of the composition and antioxidant activity with nine other plant oils. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116(5): 563 - 570. <http://doi.org/10.1002/ejlt.201300425>.
- [31]. Lubek-Nguyen, A., Ziemichód, W. & Olech, M. (2022). Application of enzyme-assisted extraction for the recovery of natural bioactive compounds for nutraceutical and pharmaceutical applications. *Applied Sciences*, 12(7), 3232. <http://doi.org/10.3390/app12073232>
- [32]. Spigno, G., Tramelli, L. & De Faveri, D. M. (2007). Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. *Journal of Food Engineering*, 81(1): 200 - 208. <http://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.021>.
- [33]. Antoniassi, R., Wilhelm, A. E., Reis, S. L. R., Regis, S. A., Faria-Machado, A. F., Bizzo, H. R. & Cenci, S. A. (2022). Expeller pressing of passion fruit seed oil: Pressing efficiency and quality of oil. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25, e2021168. <http://doi.org/10.1590/1981-6723.16821>.
- [34]. Nagy, K., Iacob, B. C., Bodoki, E. & Oprean, R. (2024). Investigating the thermal stability of omega fatty acid-enriched vegetable oils. *Foods*, 13(18), 2961. <http://doi.org/10.3390/foods13182961>.
- [35]. Grajzer, M., Prescha, A., Korzonek, K., Wojakowska, A., Dziadas, M., Kulma, A. & Grajeta, H. (2015). Characteristics of rose hip (*Rosa canina* L.) cold-pressed oil and its oxidative stability studied by the differential scanning calorimetry method. *Food Chemistry*, 188, 459 - 466. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.034>.
- [36]. Gliszczynska-Swiglo, A., Sikorska, E., Khmelinskii, I. & Sikorski, M. (2007). Tocopherol content in edible plant oils. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 57(4A): 157 - 161.
- [37]. Latif, S. & Anwar, F. (2009). Effect of aqueous enzymatic rocesses on sunflower oil quality. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 86(4): 393 - 400. <http://doi.org/10.1007/s11746-009-1357-8>.
- [38]. Dang, T. Q. & Nguyen, T. K. K. (2019). Impact of extraction method on the oil yield, physicochemical properties, fatty acid composition and stability of cashew nut (*Anacardium occidentale* L.) oil. *EC Nutrition*, 14(2): 165 - 171.
- [39]. Zhang, Y., Wang, X., Zeng, Q., Deng, Y., Xie, P., Zhang, C. & Huang, L. (2023). A new insight into synergistic effects between endogenous phenolic compounds additive and alpha-tocopherol for the stability of olive oil. *Food Chemistry*, 427, 136667. <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136667>.
- [40]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 7597:2018. Dầu thực vật.

EFFECTS OF ENZYME-ASSISTED EXTRACTION CONDITIONS ON THE YIELD AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF PASSION FRUIT (*Passiflora edulis* Sims) SEED OIL

Le Duy Nghia¹, Phan Thi Thanh Que¹

¹*Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University*

Abstract

Passion fruit seeds are by-products generated during processing and possess significant potential for value addition due to their contents of bioactive compounds and essential fatty acids. This study aimed to evaluate the effectiveness of enzyme-assisted extraction technology for recovering oil from passion fruit seeds. The extraction conditions investigated included Viscozyme L concentration (1.0, 1.5, 2.0, 2.5% v/w) and extraction time (2, 3, 4, 5 h), while the evaluated parameters comprised oil recovery yield, physicochemical properties, and biological activity of the extracted oil. The results showed that oil extraction using 2.0% Viscozyme L for 4 h achieved a high oil recovery yield (77.13%). The obtained oil exhibited good quality, as indicated by peroxide and acid values within the permissible limits for edible oils, along with a characteristic light yellow color. Notably, passion fruit seed oil was rich in vitamin E (2,445.83 mg/kg) and unsaturated fatty acids (87.89%), with linoleic acid being the predominant component (72.39%). In addition, the oil showed high total polyphenol content and strong DPPH free radical scavenging activity, reaching 201.93 µg GAE/g and 85.2%, respectively. These findings demonstrate that enzyme-assisted extraction of passion fruit seed oil is an efficient and environmentally friendly technological approach, contributing to the valorization of by-products and highlighting the potential application of passion fruit seed oil as a functional ingredient in food products.

Keywords: *Antioxidant, extraction, fatty acid, passion fruit seed oil.*

Ngày nhận bài: 15/01/2026

Ngày chuyển phản biện: 29/01/2026

Ngày thông qua phản biện: 26/02/2026

Ngày duyệt đăng: 8/5/2026