



DOI: 10.22144/ctujos.2025.038

ẢNH HƯỞNG CỦA TIỀN XỬ LÝ ĐẾN MÀU SẮC VÀ HIỆU QUẢ VÔ HOẠT ENZYME POLYPHENOL OXIDASE TRONG XƠ CỦA QUẢ MÍT THÁI GIỐNG CHANGAI (*Artocarpus heterophyllus* L.) Ở CẦN THƠ

Nguyễn Công Kha^{1,2}, Phạm Thảo Như Ý¹ và Trần Thanh Trúc^{1*}

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

²Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh An Giang, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): tttruc@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 20/08/2024

Sửa bài (Revised): 12/09/2024

Duyệt đăng (Accepted): 06/12/2024

Title: Effect of pretreatment on color and polyphenol oxidase enzyme inactivation efficiency in rags of Thai jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) Changai variation from Can Tho city

Author(s): Nguyen Cong Kha^{1,2}, Pham Thao Nhu Y¹ and Tran Thanh Truc^{1*}

Affiliation(s): ¹Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University, Viet Nam; ²Department of Science and Technology of An Giang province, Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm khảo sát ảnh hưởng của quá trình tiền xử lý nhiệt và sử dụng ascorbic acid đến màu sắc và hoạt tính enzyme polyphenol oxidase trong xơ của quả mít Thái giống Changai ở Cần Thơ. Trong đó, ảnh hưởng của tiền xử lý nhiệt đến hoạt tính của enzyme polyphenol oxidase được đánh giá theo phân tích động học. Kết quả nghiên cứu cho thấy, động học vô hoạt enzyme polyphenol oxidase tuân theo phương trình bậc nhất với hằng số phân hủy trong khoảng 0,1204 đến 2,9405 phút⁻¹. Với nhiệt độ chuẩn 90 °C và 100 °C, thời gian bán hủy tương ứng là 0,87 và 0,24 phút với mức năng lượng hoạt hóa là 117,00 kJ/mol. Ở nhiệt độ 90 °C trong thời gian 2,88 phút và ở nhiệt độ 100 °C trong 0,78 phút thì hoạt tính enzyme polyphenol oxidase trong xơ mít đã bị vô hoạt đến 90% và màu sắc của xơ mít là phù hợp. Bên cạnh đó, việc tiền xử lý xơ mít bằng acid ascorbic ở nồng độ 0,3% cũng có thể vô hoạt một phần enzyme polyphenol oxidase (xấp xỉ 45%) và cho kết quả tích cực về màu sắc.

Từ khóa: Ascorbic acid, động học vô hoạt, nhiệt độ, thời gian, xơ của quả mít

ABSTRACT

This study was conducted to examine the influence of heat pretreatment and ascorbic acid application on the color and polyphenol oxidase enzyme activity of Changai jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* L.) rags cultivated in Can Tho, with a focus on their effects. In particular, the effect of heat pre-treatment on polyphenol oxidase activity was evaluated using kinetic analysis. The results indicated that the inactivation kinetics of polyphenol oxidase enzymes followed a first-order equation with a rate constant ranging from 0.1204 to 2.9405 min⁻¹. With blanching temperatures of 90 °C and 100 °C, the half-lives are 0.87 and 0.24 minutes, respectively, with an activation energy of 117.00 kJ/mol. Blanching the jackfruit rags at 90 °C for 2.88 minutes or 100 °C for 0.78 minutes effectively achieved the desired color and inactivated polyphenol oxidase enzyme activity up to 90%. Additionally, pretreatment of jackfruit rags with 0.3% ascorbic acid partially inactivated the polyphenol oxidase enzyme (approximately 45%) and improved color.

Keywords: Acid ascorbic, inactivation kinetics, jackfruit rags, temperature, time

1. GIỚI THIỆU

Cây mít (*Artocarpus heterophyllus* L.) là một loài có tiềm năng sử dụng ngày càng rộng rãi do mít là nguồn cung cấp dồi dào về dinh dưỡng và năng lượng. Cây mít đem lại hiệu quả kinh tế cao tại một số vùng nông nghiệp, đã chứng minh có giá trị khi được phổ biến và phát triển rộng rãi ở các nơi khác nhau trên thế giới (Pham & Nguyen, 2019). Tuy nhiên, với sản lượng dồi dào và thời gian tồn trữ ngắn, việc chế biến các sản phẩm từ các thành phần của quả mít xuất hiện ngày càng nhiều nhằm hạn chế tình trạng hư hỏng trong quá trình bảo quản mít tươi (Tong & Nguyen, 2019; Shraddha et al., 2021; Nansereko et al., 2022). Bên cạnh phần thịt quả mít thì xơ mít là một trong những thành phần phụ giàu chất xơ và đang được quan tâm để phát triển các sản phẩm giá trị gia tăng khác như giấm vang, nước quả lên men, syrup glucose hay bổ sung vào sản phẩm thịt như một phụ gia cải thiện cấu trúc, sử dụng để trích ly enzyme hay là thành phần kháng khuẩn (Brahma & Ray, 2022).

Tuy nhiên, một trong những biến đổi cần quan tâm đối với xơ mít là sự sậm màu, nguyên nhân chủ yếu là do hoạt động của enzyme polyphenol oxidase (PPO) (Geetha et al., 2014). Hiện tượng hóa nâu là hiện tượng quan trọng nhất xảy ra ở thực phẩm trong quá trình chế biến và bảo quản, kết quả hóa nâu do enzyme là mất đi chức năng, dinh dưỡng và cảm quan như làm mềm, sẫm màu và thay đổi mùi vị (Silva & Sulaiman, 2019). Một trong những phương pháp phổ biến để ức chế hoạt động của enzyme PPO là xử lý nhiệt độ cao hay sử dụng các phụ gia có hoạt tính chống oxy hóa như acid ascorbic, acid citric, muối sulfite (Jiang et al., 2016). Nghiên cứu của Geetha Rani et al. (2014) cũng cho thấy, enzyme PPO trong xơ mít có phổ nhiệt độ hoạt động từ 10 đến 70°C, ổn định ở 20-40°C. Đây chính là cơ sở cho nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình tiền xử lý nhiệt, sử dụng ascorbic acid đến màu sắc và hoạt tính enzyme polyphenol oxidase trong xơ của quả mít Thái giống Changai ở Cần Thơ.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Quả mít Thái giống Changai (*Artocarpus heterophyllus* L.) được mua trực tiếp tại các vườn trồng mít thuộc quận Ô Môn, thành phố Cần Thơ. Mít được thu hái ở độ tuổi thu hoạch, tương ứng với độ tuổi khoảng 105 ngày tính từ thời điểm đậu trái. Quả mít được mua tại vườn có khối lượng từ 7 đến 10 kg tùy theo từng đợt. Khi thu mua, quả mít không

bị xơ đen, sâu bệnh, tổn thương cơ học và vật lý, sau đó được chuyển về phòng thí nghiệm trong thời gian từ 30 phút đến 1 giờ.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Chuẩn bị mẫu

Quả mít sau khi mang về phòng thí nghiệm được xử lý sơ bộ bằng cách rửa qua bằng nước để loại bỏ tạp chất bám trên bề mặt vỏ quả, đồng thời góp phần làm giảm mật số vi sinh vật và sau đó để ráo tự nhiên. Quả mít được xé đôi bằng dao theo chiều dọc, tách bỏ phần lõi quả, sau đó tách riêng múi mít và thu phần xơ để tiến hành thí nghiệm (Duong et al., 2023). Các phần khác của mít được sử dụng cho việc nghiên cứu và phát triển các sản phẩm khác.

Phương pháp xử lý mẫu:

+ Mẫu xơ của quả mít Changai ở Cần Thơ (xơ mít Changai ở Cần Thơ, ký hiệu là: XMC) được sử dụng cho nghiên cứu.

+ Chuẩn bị mẫu đối chứng: Mẫu XMC sau khi tách ra từ quả mít được đo màu và tiến hành trích ly dịch enzyme polyphenol oxidase. Quang phổ được đo để xác định hoạt tính enzyme polyphenol oxidase trong mẫu XMC.

+ Chuẩn bị mẫu XMC cho quá trình chần: Mẫu XMC được đem đi chần ở nhiệt độ và thời gian khảo sát, sau khi chần xong phải làm nguội nhanh với nước đá.

+ Chuẩn bị mẫu XMC cho quá trình xử lý bằng dung dịch acid ascorbic: Mẫu XMC được ngâm trong dung dịch acid ascorbic ở các nồng độ được khảo sát của thí nghiệm.

2.2.2. Phương pháp phân tích

- Màu sắc: sử dụng máy đo màu King Well JZ-600 (Trung Quốc) với hệ màu Lab sử dụng đèn D65. Màu của nguyên liệu được xác định dựa vào hệ thống màu L*, a*, b* (Balamaze et al., 2019):

+ Độ màu L*: biểu thị cho độ sáng, có giá trị từ 0 đến 100 thể hiện sự thay đổi màu từ đen đến trắng.

+ Độ màu a*: có giá trị từ -a đến +a biểu thị màu từ xanh lá cây đến màu đỏ.

+ Độ màu b*: có giá trị từ -b đến +b biểu thị màu từ xanh da trời đến màu vàng.

Trích ly PPO được tiến hành dựa trên phương pháp của Chikezie (2006). Mẫu được xử lý trong dung dịch sodium sulfite (10 g/L) với tỷ lệ mẫu: dịch ngâm là 1:2 (w/v) giữ lạnh trong thời gian 20 phút, rửa lại bằng nước cất. Mẫu được nghiền và bổ sung

dung dịch đậm phosphate pH=7 cũng với tỷ lệ mẫu: dung dịch đậm là 1: 2 (w/v), đồng nhất mẫu sau đó giữ lạnh mẫu trong thời gian 3 phút. Mẫu được lọc bằng thiết bị lọc chân không. Dịch lọc được ly tâm với tốc độ 1.500 rpm trong thời gian 10 phút ở nhiệt độ 4°C, thu dịch lọc chứa enzyme PPO thô.

– Hoạt tính của enzyme PPO (U/g) được xác định theo nghiên cứu của Atrooz et al. (2020) và có sự điều chỉnh. Trước tiên, chuẩn bị dung dịch catechol có nồng độ 0,05 M. Tiếp theo, mỗi ống nghiệm được cho vào lần lượt 2 mL dung dịch catechol, 0,9 mL dung dịch đậm (pH = 7) và 0,1 mL dịch trích enzyme PPO. Hỗn hợp này được đo quang phổ hấp thụ ở bước sóng 410 nm sau 120 giây. Một đơn vị enzyme (U) là lượng enzyme cần thiết cho phản ứng oxy hóa quinine để cường độ hấp thụ benzoquinone tăng lên 0,001 đơn vị trong 1 giây ứng với khối lượng mẫu thử.

+ Hoạt tính enzyme PPO được tính dựa trên một đơn vị enzyme dựa trên khối lượng chất khô của mẫu thử (U/g) chất khô nguyên liệu:

$$PPO\left(\frac{U}{g}CKNL\right) = \frac{(\Delta Abs_2 - \Delta Abs_0) \times V_2 \times 100}{(0,001 \times V_1 \times \Delta t) \times m \times (100 - X)} \quad (1)$$

Trong đó: PPO là hoạt tính của enzyme polyphenol oxidase; ΔAbs_2 là độ hấp phụ OD ở thời gian 2 phút, ΔAbs_0 là độ hấp phụ OD ở thời gian 0 phút, V_1 (mL) là thể tích enzyme đem phản ứng (0,1 mL), V_2 (mL) là thể tích dịch thu được ứng với khối lượng m (g) mẫu purée mít, Δt (phút) là thời gian phản ứng (2 phút), m (g) là khối lượng mẫu trong khảo sát và X (%) là độ ẩm của mẫu trong khảo sát; CKNL: chất khô nguyên liệu.

+ Hoạt tính tương đối của enzyme PPO là tỷ số (%) giữa hoạt tính enzyme PPO của mẫu khảo sát (ký hiệu E) với hoạt tính enzyme PPO của mẫu tươi (E_0) (Liu et al., 2001) được trình bày theo công thức:

$$\text{Hoạt tính tương đối PPO (\%)} = \frac{E \times 100}{E_0} \quad (2)$$

2.2.3. Bố trí thí nghiệm

a. *Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian chần đến màu sắc và khả năng thích hợp để vô hoạt enzyme polyphenol oxidase của xơ mít*

Thí nghiệm được thực hiện với mục đích xác định chế độ xử lý nhiệt và thời gian chần thích hợp để vô hoạt enzyme hóa nâu PPO. Nguyên liệu được chuẩn bị và được chần ở các mức nhiệt độ là 70°C, 80°C, 90°C trong thời gian lần lượt là 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 và 360 giây,

ở nhiệt độ 100°C trong thời gian 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 và 120 giây. XMC sau khi được làm nguội tiến hành xác định ghi nhận giá trị màu sắc (độ sáng L^* , độ màu a^* , độ màu b^*) và trích ly enzyme PPO của mỗi mẫu XMC thực nghiệm và xác định hoạt tính enzyme PPO. Phân tích động học vô hoạt enzyme PPO của XMC.

b. *Khảo sát nồng độ acid ascorbic đến khả năng vô hoạt enzyme polyphenol oxidase của xơ mít*

Mỗi mẫu 50 g XMC được ngâm vào dung dịch acid ascorbic với các nồng độ là 0,1%, 0,3%, 0,5% và 0,7%, sau đó vớt ra để ráo. Giá trị màu sắc được ghi nhận (độ sáng L^* , độ màu a^* , độ màu b^*). Enzyme PPO của mỗi mẫu XMC thực nghiệm được trích ly và xác định hoạt tính enzyme PPO.

2.2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Thí nghiệm được bố trí với 3 lần lặp lại. Các kết quả được thể hiện dưới dạng trung bình của 3 lần lặp lại \pm độ lệch chuẩn và vẽ đồ thị từ chương trình Microsoft Excel 2016. Kết quả được thống kê, phân tích phương sai, kiểm định LSD ở mức ý nghĩa 5% bằng chương trình Statgraphics Centurion 16.1.

2.2.5. Phân tích động học sự suy giảm hoạt tính enzyme

Các nghiên cứu phân tích dữ liệu về động học vô hoạt nhiệt của các enzyme cho thấy quá trình này thường được mô tả bằng mô hình động học bậc một (Lee et al., 2009; Liu et al., 2021). Khi đó, mô hình động học vô hoạt enzyme được biểu diễn như sau:

$$\ln\left(\frac{E}{E_0}\right) = -k.t \quad (3)$$

Với A là hoạt tính enzyme ở thời điểm t, A_0 là hoạt tính enzyme ở thời điểm ban đầu, t là thời gian xử lý nhiệt (phút), k là hằng số tốc độ vô hoạt (phút⁻¹) được xác định từ đồ thị theo phương trình (3).

Sự phụ thuộc vào nhiệt độ hằng số tốc độ vô hoạt (k_T) được biểu diễn bằng định luật Arrhenius:

$$\ln k = -\frac{E_a}{RT} + k_0 \quad (4)$$

Trong đó: k_0 là hằng số Arrhenius (phút⁻¹), k là hằng số tốc độ vô hoạt ở nhiệt độ T (phút⁻¹), E_a là năng lượng hoạt hóa (kJ/mol), R là hằng số khí lý tưởng ($R = 8,314 \text{ J/Kmol}$), T là nhiệt độ, tính theo nhiệt độ tuyệt đối (K).

Thời gian bán hủy $t_{1/2}$ được tính theo công thức:

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k} = \frac{0,693}{k} \quad (5)$$

Năng lượng hoạt hóa E_a thường sử dụng để chỉ sự phụ thuộc của hằng số tốc độ phản ứng vào nhiệt độ. Năng lượng hoạt hóa còn có thể xác định theo phương pháp đồ thị giữa logarithm tự nhiên của hằng số tốc độ vô hoạt $\ln(k)$ và nghịch đảo nhiệt độ tuyệt đối ($1/T$), khi đó hệ số góc được sử dụng để tính năng lượng hoạt hóa ($Slope = -E_a/R$).

Giá trị D hay thời gian giảm nhiệt thập phân (D) là thời gian cần thiết tại một nhiệt độ xác định để vô hoạt 90% hoạt tính enzyme PPO ban đầu (Nhan et al., 2017; Balamaze et al., 2019; Atrooz et al., 2020) được đưa ra bởi phương trình:

$$D = \frac{\ln 10}{k} \quad (6)$$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian chần đến màu sắc và khả năng vô hoạt enzyme polyphenol oxidase của xơ mít

3.1.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian chần đến sự thay đổi màu sắc của XMC

Mục đích chính của quá trình chần là tiêu diệt các mầm bệnh không mong muốn cũng như ức chế hoạt tính các enzyme hóa nâu, điển hình như PPO có ảnh hưởng chất lượng sản phẩm trong quá trình bảo quản, dẫn đến việc tạo màu, mùi hoặc vị không mong muốn (Gonçalves et al., 2010). Ngoài ra, chần giúp ngăn chặn các quá trình sinh hóa của nguyên liệu để cải thiện được màu sắc (Silva & Sulaiman, 2019; Gonçalves et al., 2010). Rau quả có thể bị sẫm màu do nguyên liệu có các hợp chất phenol (tanin) tiếp xúc và phản ứng với enzyme PPO nội bào (Nhan et al., 2017).

Màu sắc của XMC sau khi chần ở nhiệt độ 70, 80, 90 và 100°C ở các mốc thời gian được tổng hợp ở Bảng 1.

Kết quả cho thấy, các tham số màu sắc của xơ mít chịu tác động bởi quá trình xử lý nhiệt so với

mẫu tươi (mẫu không chần). Tăng nhiệt độ và kéo dài thời gian xử lý nhiệt dẫn đến các tham số màu sắc thay đổi cùng quy luật, theo đó độ sáng L^* giảm và độ màu b^* tăng khi so sánh với mẫu tươi. Riêng sự biến đổi độ màu a^* không theo quy luật biến thiên nhiệt độ, có xu hướng tăng ở mức nhiệt độ xử lý nhiệt thấp (70°C) và giảm ở các mức nhiệt độ xử lý cao hơn ($\geq 80^\circ\text{C}$). Độ màu L^* giảm nhanh ngay 30 giây xử lý nhiệt đầu tiên đối với khoảng nhiệt độ 70, 80 và 90°C và đều khác biệt có ý nghĩa thống kê so với mẫu đối chứng ($80,41 \pm 0,97$). Mức giảm ở 100°C là lớn nhất, độ sáng L^* sau 15 giây giảm còn $58,36 \pm 2,07$ và sau 30 giây là $59,27 \pm 1,62$; trong khi độ sáng L^* sau 30 giây đối với mức gia nhiệt 70, 80 và 90°C lần lượt là $78,94 \pm 1,57$, $74,23 \pm 1,38$ và $75,31 \pm 0,86$. Trên thực tế khi xét về mặt cảm quan, việc kéo dài thời gian xử lý ở mức nhiệt $\geq 80^\circ\text{C}$ các mẫu XMC trở nên sẫm màu hơn, có thể lý giải việc thay đổi màu sắc này dựa trên tác động của nhiệt độ chần kết hợp thời gian xử lý kéo dài làm phá hủy sắc tố carotenoid (Bao & Chang, 1994). Đồng thời, sự sẫm màu của XMC được thể hiện thông qua sự khác màu ΔE kết quả đo đạc và tính toán cho thấy, độ lệch màu tăng khi tăng nhiệt độ, tuy nhiên không có sự khác biệt ở điều kiện nhiệt độ xử lý 80 và 90°C. Sự thay đổi về màu sắc nguyên liệu trong quá trình chần có thể được xác định do sự phân hủy sắc tố, quá trình oxy hóa acid ascorbic, hóa nâu do enzyme hoặc hóa nâu không do enzyme (Ling et al., 2015). Tuy nhiên, việc đánh giá độc lập một trong những tham số màu sắc không cung cấp đầy đủ về đặc tính cũng như sự tương quan màu sắc của nguyên liệu. Trong nghiên cứu trước đây, Deylami et al. (2016) đã báo cáo về việc đánh giá kết hợp sự thay đổi màu sắc thông qua giá trị sự khác màu ΔE và các thuộc tính có liên quan khác nhau để có đầy đủ cơ sở hơn trong việc xác định chế độ xử lý phù hợp cho nguyên liệu. Chính vì vậy, việc đánh giá tác động của nhiệt độ và thời gian xử lý đến hoạt động của enzyme PPO cần được quan tâm.

Bảng 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian chần đến sự thay đổi màu sắc của xơ mít

Nhiệt độ (°C)	Thời gian (giây)	Độ sáng L^*	Độ màu a^*	Độ màu b^*	Độ lệch màu (ΔE)	
Mẫu không chần	0	$80,41 \pm 0,97^x$	$5,40 \pm 0,61^{ghij}$	$37,58 \pm 0,71^a$	$0,00 \pm 0,00^a$	
	30	$78,94 \pm 1,57^w$	$6,14 \pm 0,43^{jklmn}$	$45,81 \pm 0,60^b$	$8,54 \pm 0,29^b$	
	60	$74,74 \pm 1,16^{tu}$	$7,66 \pm 0,14^{rs}$	$50,60 \pm 1,37^c$	$14,39 \pm 1,62^c$	
	90	$76,83 \pm 0,83^v$	$7,67 \pm 0,29^{rs}$	$58,56 \pm 2,49^{ef}$	$21,44 \pm 2,26^{ef}$	
	70	120	$69,88 \pm 1,40^{pqr}$	$6,30 \pm 0,80^{klmno}$	$56,98 \pm 1,53^{de}$	$22,14 \pm 1,58^{efg}$
		150	$74,37 \pm 0,15^t$	$6,95 \pm 0,10^{nopqr}$	$57,11 \pm 1,12^{de}$	$20,50 \pm 1,04^{de}$
		180	$68,67 \pm 1,39^{op}$	$6,91 \pm 0,93^{nopqr}$	$56,17 \pm 1,33^d$	$22,10 \pm 1,06^{efg}$
210		$67,03 \pm 1,46^{mn}$	$7,60 \pm 0,74^{qrs}$	$63,06 \pm 0,40^g$	$28,90 \pm 0,66^{hi}$	

Nhiệt độ (°C)	Thời gian (giây)	Độ sáng L*	Độ màu a*	Độ màu b*	Độ lệch màu (ΔE)
80	240	62,64 ± 0,64 ^{fg}	7,67 ± 0,28 ^{rs}	73,61 ± 5,03 ^{nop}	40,33 ± 4,21 ^{nop}
	270	62,54 ± 0,09 ^{fg}	7,88 ± 0,06 ^s	80,18 ± 0,72 ^t	46,26 ± 0,68 ^{rs}
	300	64,07 ± 0,38 ^{hi}	7,73 ± 0,10 ^{rs}	65,50 ± 1,39 ^h	32,44 ± 1,01 ^{jk}
	330	62,70 ± 1,73 ^{fg}	7,60 ± 0,73 ^{qrs}	65,86 ± 5,23 ^h	33,66 ± 3,71 ^{kl}
	360	65,45 ± 2,22 ^{kl}	6,26 ± 0,45 ^{klmno}	63,40 ± 2,24 ^g	29,98 ± 1,05 ⁱ
	30	74,23 ± 1,38 ^t	3,23 ± 0,67 ^{ab}	59,22 ± 0,75 ^f	22,66 ± 0,78 ^{fg}
	60	70,89 ± 0,15 ^{rs}	4,26 ± 0,73 ^{cdef}	66,68 ± 0,48 ^{hi}	30,64 ± 0,45 ^{ij}
	90	70,49 ± 1,55 ^{qrs}	3,67 ± 0,18 ^{abc}	77,82 ± 0,49 ^s	41,50 ± 0,79 ^{pq}
	120	69,46 ± 0,74 ^{opq}	4,05 ± 0,49 ^{bcd}	69,42 ± 1,29 ^{ijkl}	33,70 ± 1,39 ^{kl}
	150	74,46 ± 0,86 ^t	2,91 ± 0,14 ^a	60,23 ± 1,25 ^f	23,57 ± 0,97 ^g
	180	71,15 ± 0,73 ^{rs}	4,67 ± 0,96 ^{defg}	65,04 ± 0,72 ^{gh}	29,01 ± 0,65 ^{hi}
	210	76,02 ± 0,60 ^{uv}	3,51 ± 0,47 ^{abc}	70,63 ± 1,54 ^{klm}	33,40 ± 1,48 ^{kl}
	240	68,28 ± 1,42 ^{no}	5,91 ± 0,56 ^{hijkl}	72,35 ± 1,99 ^{mno}	36,87 ± 1,66 ^m
	270	69,38 ± 0,18 ^{opq}	4,26 ± 0,06 ^{cdef}	74,72 ± 0,88 ^{pq}	38,76 ± 0,83 ⁿ
	300	66,69 ± 0,38 ^{lm}	8,04 ± 0,38 ^s	83,45 ± 4,88 ^{uvw}	47,96 ± 4,78 st
	330	67,23 ± 1,10 ^{mn}	3,97 ± 0,29 ^{bcd}	85,68 ± 0,86 ^x	49,91 ± 0,93 ^u
360	64,63 ± 0,39 ^{hij}	6,27 ± 0,77 ^{klmno}	77,50 ± 0,82 ^{rs}	42,94 ± 0,63 ^q	
90	30	75,31 ± 0,86 ^{tu}	6,19 ± 0,22 ^{ijkl}	55,95 ± 1,93 ^d	19,11 ± 1,72 ^d
	60	71,70 ± 2,54 ^s	5,26 ± 0,62 ^{hijk}	63,24 ± 3,06 ^g	27,18 ± 3,33 ^h
	90	70,70 ± 0,50 ^{qrs}	5,33 ± 0,04 ^{ghij}	71,28 ± 0,26 ^{lm}	35,07 ± 0,22 ^{lm}
	120	70,84 ± 1,50 ^{rs}	4,08 ± 0,87 ^{defg}	68,97 ± 1,22 ^{jk}	32,87 ± 1,00 ^k
	150	68,10 ± 1,77 ^{no}	5,63 ± 0,54 ^{klmno}	76,71 ± 2,74 ^{qrs}	41,10 ± 2,14 ^{pq}
	180	64,50 ± 2,54 ^{hij}	7,71 ± 0,51 ^{pqrs}	83,57 ± 3,79 ^{uvw}	48,77 ± 3,86 ^{tu}
	210	57,72 ± 0,28 ^{cd}	6,60 ± 0,25 ^{klmno}	82,24 ± 1,72 ^{tu}	50,11 ± 1,42 ^{uv}
	240	66,00 ± 1,25 ^{klm}	6,36 ± 0,11 ^{klmno}	85,18 ± 2,52 ^{wx}	49,74 ± 2,72 ^{tu}
	270	65,25 ± 1,43 ^{ijk}	6,65 ± 0,07 ^{lmnop}	83,10 ± 0,67 ^{uv}	48,01 ± 0,27 st
	300	64,70 ± 1,74 ^{ijk}	6,64 ± 0,44 ^{klmno}	83,96 ± 2,95 ^{uvw}	48,99 ± 3,16 ^{tu}
330	63,26 ± 0,66 ^{gh}	5,44 ± 0,44 ^{hijk}	75,54 ± 0,88 ^{pqr}	41,66 ± 0,76 ^{pq}	
360	61,77 ± 3,39 ^f	4,43 ± 0,51 ^{fgh}	73,93 ± 2,27 ^{op}	40,89 ± 3,46 ^{op}	
100	15	58,36 ± 2,07 ^{de}	5,17 ± 2,74 ^{defg}	71,86 ± 2,98 ^{mn}	40,95 ± 1,61 ^{op}
	30	59,27 ± 1,62 ^e	6,81 ± 1,41 ^{opqr}	78,04 ± 1,92 ^s	45,73 ± 1,61 ^r
	45	57,32 ± 1,48 ^{bcd}	4,21 ± 0,32 ^{cde}	77,35 ± 1,86 ^{rs}	46,03 ± 1,61 ^r
	60	56,35 ± 0,99 ^{ab}	8,48 ± 1,28 ^{mnpq}	85,07 ± 5,06 ^{vwx}	53,35 ± 4,04 ^w
	75	55,85 ± 0,41 ^a	6,66 ± 1,46 ^{ijklm}	83,18 ± 1,77 ^{uvw}	51,82 ± 1,42 ^{vw}
	90	50,60 ± 4,19 ^{de}	2,86 ± 2,47 ^{efg}	85,82 ± 1,68 ^x	53,11 ± 2,5 ^w
	105	56,66 ± 1,06 ^{abc}	7,36 ± 2,36 ^{ghi}	77,74 ± 1,11 ^s	46,71 ± 1,44 ^{rs}
	120	56,11 ± 0,91 ^{ab}	3,37 ± 1,01 ^{cde}	68,28 ± 1,01 ^{ij}	39,19 ± 0,55 ^{no}

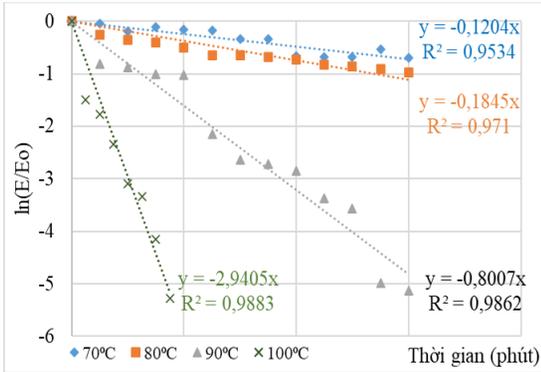
Giá trị được biểu thị bằng trung bình ± độ lệch chuẩn của phép đo 3 lần. Trong cùng một cột và cùng loại mẫu, các giá trị có chữ cái theo sau giống nhau thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê ở p<0,05.

3.1.2. Động học vô hoạt nhiệt enzyme polyphenol oxidase của xơ mít

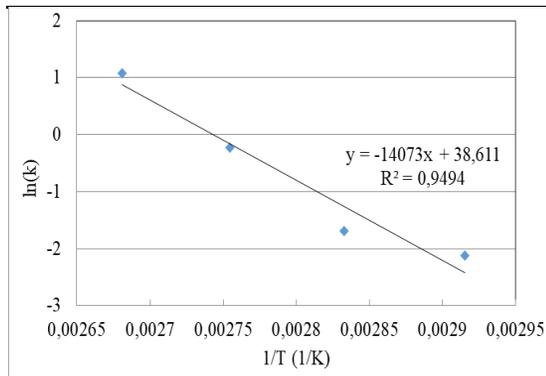
Phương trình động học bậc một được sử dụng để biểu thị sự thay đổi hoạt tính của enzyme PPO theo các mức thời gian xử lý nhiệt. Sự ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian đến khả năng vô hoạt enzyme PPO của XMC được biểu diễn ở Hình 1. Trong điều kiện khảo sát, sự suy giảm hoạt tính enzyme PPO của XMC tuân theo phương trình động học bậc một, mức độ suy giảm hoạt tính enzyme tăng nhanh theo sự gia tăng nhiệt độ. Qua đồ thị biểu diễn động học nhiệt độ và thời gian chần đến khả năng vô hoạt enzyme PPO của XMC (Hình 1). Việc tác động

nhiệt lên xơ mít ở 4 mức nhiệt độ từ 70÷100°C thì hoạt tính enzyme PPO đều có sự suy giảm, trong đó ở nhiệt độ 90÷100°C, hoạt tính enzyme PPO có sự giảm mạnh. Không tìm thấy nghiên cứu về động học vô hoạt enzyme PPO trên xơ mít, tuy nhiên các nghiên cứu về động học vô hoạt nhiệt của enzyme PPO trên các nguyên liệu khác như khóm (Lee et al., 2009) hay rễ sắn dây (Kudzu root, *Pueraria lobata*) (Liu et al., 2021) đều cho kết quả tương đồng. Đối với khóm, PPO bị vô hoạt sau quá trình chần ở nhiệt độ 85°C, 6 phút hay 95°C trong thời gian 3 phút, đồng thời nghiên cứu của Lee et al. (2009) cũng khẳng định sự vô hoạt enzyme PPO trong khóm tuân theo động học bậc một. Kết quả nghiên cứu vô hoạt

PPO trong mẫu rễ sắn dây cũng cho thấy, hoạt tính PPO còn lại thấp hơn khi chân mẫu ở nhiệt độ cao hơn và thời gian dài hơn (Liu et al., 2021).



Hình 1. Đồ thị động học nhiệt độ và thời gian chân đến khả năng vô hoạt enzyme PPO của XMC



Hình 2. Sự phụ thuộc nhiệt độ của hằng số tốc độ k đến khả năng vô hoạt enzyme PPO của XMC

Bảng 2. Các thông số động học được tính toán dựa trên phương trình động học bậc một của sự thay đổi hoạt tính enzyme polyphenol oxidase của xơ mít

Nhiệt độ (°C)	k (phút ⁻¹)	Thời gian bán hủy t _{1/2} (phút)	ln(k)	Giá trị D (phút)	log (D)
70	0,1204	5,76	-2,1169	19,13	1,2817
80	0,1845	3,76	-1,6901	12,48	1,0963
90	0,8007	0,87	-0,2223	2,88	0,4588
100	2,9405	0,24	1,0786	0,78	-0,1061

Năng lượng hoạt hóa E_a = 117,00 kJ/mol

Kết quả ở các nghiên cứu về động học biến đổi enzyme PPO trong một số loại nguyên liệu cho thấy, các thông số động học này thay đổi phụ thuộc rất nhiều vào loại nguyên liệu. Nghiên cứu trên bắp cải tím cho thấy hằng số tốc độ vô hoạt k tăng dần từ 0,238 phút⁻¹ đến 1,751 phút⁻¹ khi mẫu được chân ở nhiệt độ 80 đến 95°C (Li et al., 2018). Theo kết quả tổng hợp của Lee et al. (2009), khi vô hoạt enzyme

PPO của nước khóm, theo sự gia tăng nhiệt độ, hằng số tốc độ vô hoạt k tăng dần và giá trị D giúp ước đoán thời gian cần thiết tại một nhiệt độ xác định để vô hoạt 90% hoạt tính enzyme PPO ban đầu giảm dần. Ở khoảng nhiệt độ khảo sát là 75 đến 95°C, giá trị D của PPO trong nước khóm giảm dần từ 10,42 còn 2,62 phút.

Kết quả các thông số động học (bao gồm hằng số tốc độ k, năng lượng hoạt hóa E_a, giá trị D và thời gian bán hủy t_{1/2}) của sự thay đổi hoạt tính của enzyme PPO trong XMC theo các mức thời gian xử lý nhiệt khác nhau được thể hiện ở Bảng 2. Kết quả từ Bảng 2 cho thấy thời gian bán hủy (t_{1/2}) giảm từ 5,76 phút đến 0,24 phút khi nhiệt độ xử lý tăng từ 70 đến 100°C. Đồng thời, với nhiệt độ chân từ 70°C đến 100°C thì thời gian chết nhiệt thập phân D cũng có xu hướng giảm từ 19,13 phút đến 0,78 phút, với nhiệt độ là 90°C và 100°C thì thời gian cần thiết để giảm đến 90% hoạt tính enzyme PPO ban đầu của XMC lần lượt là 2,88 phút và 0,78 phút. Khi nhiệt độ xử lý nhiệt càng tăng thì hằng số tốc độ phản ứng càng tăng (từ 0,1204 phút⁻¹ đến 2,9405 phút⁻¹). Hoạt tính enzyme PPO của XMC bắt đầu giảm khi tăng nhiệt độ và thời gian chân, sự suy giảm này có thể được giải thích do sự biến tính nhiệt phá hủy các hoạt động phân tử của enzyme (Rayan & Morsy, 2020). Sở dĩ nhiệt có khả năng bất hoạt enzyme PPO là vì bản chất enzyme PPO là một protein nên khi gia nhiệt làm biến tính protein dẫn đến enzyme bị mất hoạt tính (Lee et al., 2009).

Xét về năng lượng hoạt hóa E_a , các công bố cho thấy đây là thông số có dao động rất lớn, phụ thuộc vào từng loại rau quả, độ tuổi hay độ chín thu hoạch và bộ phận thu nhận nguyên liệu (Lee et al., 2009; Li et al., 2018). Kết quả tính toán năng lượng hoạt hóa E_a của enzyme PPO trong XMC cho thấy, PPO từ xơ mít thuộc nhóm bền nhiệt với mức năng lượng hoạt hóa ở mức cao (117,00 kJ/mol). Giá trị năng lượng hoạt hóa cao hơn cho thấy độ nhạy cao hơn của enzyme đối với sự thay đổi nhiệt (Rayan & Morsy, 2020). Không tìm thấy nghiên cứu trên xơ mít, tuy nhiên kết quả trước đó của Tao et al. (2013) đã xác định E_a của PPO từ múi mít chín là 103,3 kJ/mol. Trong khi đó, giá trị E_a của PPO từ thịt quả lựu là 112,97 kJ/mol (Rayan & Morsy, 2020) thấp hơn mức năng lượng E_a đối với trường hợp PPO từ xơ mít khảo sát. Tuy nhiên, kết quả thấp hơn so với kết quả thu được của Vámos-Vigyázó & Haard (1981) đối với chuối (357 kJ/mol) và Yemenicioglu et al. (1997) đối với một số giống táo khác nhau (từ 227,22 đến 324 kJ/mol).

Các kết quả khảo sát cho thấy, điều kiện chần ở nhiệt độ 90°C trong thời gian 2,88 phút và ở nhiệt độ 100°C trong 0,78 phút giúp vô hoạt đến 90% hoạt tính enzyme PPO để ngăn cản sự biến đổi màu của xơ mít.

3.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của nồng độ acid ascorbic đến khả năng vô hoạt enzyme polyphenol oxidase của mẫu xơ mít

3.2.1. Ảnh hưởng của nồng độ acid ascorbic đến sự thay đổi màu sắc của XMC

Màu sắc là chỉ tiêu quan trọng ảnh hưởng chất lượng sản phẩm, và sự biến đổi màu sắc do phản ứng hóa nâu xảy ra là một trong những biến đổi quan trọng. Việc tiền xử lý bằng cách ngâm acid ascorbic với nồng độ thích hợp cũng sẽ cải thiện màu sắc của nguyên liệu. Kết quả về sự thay đổi màu sắc theo nồng độ acid ascorbic được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng của nồng độ acid ascorbic đến sự thay đổi màu sắc của XMC

Nồng độ (%)	Độ sáng L^*	Độ màu a^*	Độ màu b^*	Độ lệch màu (ΔE)
0,0	85,79 ± 0,32 ^b	5,60 ± 0,22 ^c	28,89 ± 1,85 ^a	0,00 ± 0,00 ^a
0,1	86,27 ± 0,34 ^c	4,54 ± 0,27 ^b	29,60 ± 1,80 ^a	1,88 ± 1,24 ^b
0,3	86,86 ± 0,31 ^d	4,05 ± 0,59 ^a	29,63 ± 0,95 ^a	2,20 ± 0,70 ^b
0,5	86,41 ± 0,49 ^c	4,14 ± 0,28 ^{ab}	31,92 ± 2,50 ^b	3,75 ± 1,98 ^c
0,7	80,87 ± 0,69 ^a	6,19 ± 0,66 ^d	36,99 ± 0,65 ^c	9,55 ± 0,31 ^d

Giá trị được biểu thị bằng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn của phép đo lặp lại 3 lần.

Các giá trị có chữ cái theo sau giống nhau trong cùng một cột thì khác biệt không có ý nghĩa thống kê ở $p < 0,05$.

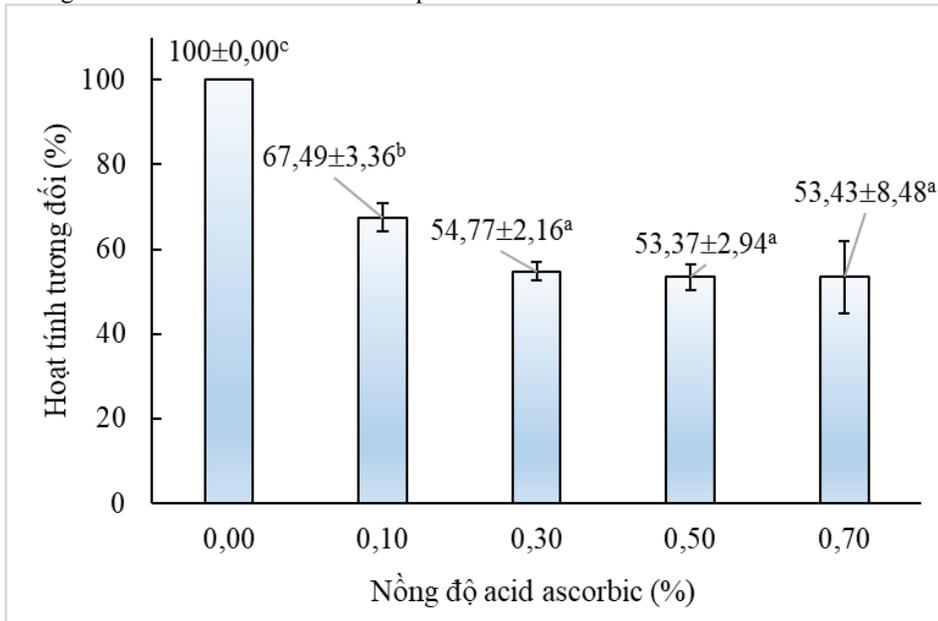
Theo kết quả ở Bảng 3 có thể nhận thấy màu sắc của XMC không ngâm acid ascorbic và mẫu được ngâm acid ascorbic có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê. Khi ngâm acid ascorbic, giá trị độ sáng L^* và độ màu b^* của XMC có sự gia tăng khi tăng nồng độ acid ascorbic. Cụ thể, khi tăng nồng độ acid ascorbic từ 0,1% đến 0,5% có sự gia tăng độ sáng L^* từ 86,27 ± 0,34 đến 86,41 ± 0,49. Tuy nhiên, khi tăng nồng độ quá cao, giá trị độ sáng L^* không có sự gia tăng mà có xu hướng giảm (L^* có giá trị 80,87 ± 0,69 khi nồng độ acid ascorbic là 0,7%) bởi vì acid ascorbic có thể bị phân hủy theo thời gian do tác động của các yếu tố bên ngoài như oxy không khí, ánh sáng, pH và nhiệt độ môi trường (Marshall et al., 2000). Màu của XMC đạt được giá trị cao ở nồng độ acid ascorbic là 0,1% (L^* là 86,27 ± 0,34 và b^* là 29,60 ± 1,80), nồng độ 0,3% (L^* là 86,86 ± 0,31 và b^* là 29,63 ± 0,95) và nồng độ 0,5% (L^* là 86,41 ± 0,49 và b^* là 31,92 ± 2,50).

3.2.2. Ảnh hưởng nồng độ acid ascorbic đến hoạt tính tương đối của enzyme polyphenol oxidase của xơ mít

Hoạt tính tương đối của enzyme PPO trong mẫu XMC khi ngâm acid ascorbic được thể hiện ở Hình 3. Khi ngâm xơ vào dung dịch acid ascorbic 0,1%, 0,3%, 0,5% và 0,7% thì hoạt tính tương đối của enzyme polyphenol oxidase giảm còn 67,49%, 54,77%, 53,37% và 53,43% so với mẫu tươi ban đầu. Trong đó, hoạt tính tương đối của enzyme khi ngâm trong nồng độ acid ascorbic 0,3%, 0,5% và 0,7% là không có sự khác biệt về ý nghĩa thống kê. Hay nói cách khác, 32,51% hoạt động enzyme PPO được ức chế ngay khi mẫu XMC được ngâm trong acid ascorbic ở nồng độ 0,1%. Khi mẫu XMC được tiền xử lý bằng cách ngâm trong nồng độ acid ascorbic 0,3%, 0,5% và 0,7% thì hiệu quả ức chế hoạt động của enzyme PPO đạt xấp xỉ 45%, bằng phân nửa khi so sánh với hiệu quả vô hoạt enzyme PPO bằng quá trình chần.

Các chất acid hóa kiềm soát quá trình hóa nâu bằng cách giảm độ pH vì độ pH tối ưu cho hoạt động của polyphenoloxidase nằm trong khoảng từ 5 đến 7 và các chất acid hóa làm giảm giá trị pH xuống dưới 3,0 mà tại đó PPO trở nên không hoạt động (Zemel et al., 1990). Nghiên cứu của Li et al. (2018) đã chỉ ra rằng hoạt động PPO bị ức chế bởi các chất ức chế với mức độ tác dụng khác nhau. L-cysteine và acid ascorbic là chất dinh dưỡng tự nhiên có tác dụng chống hóa nâu tốt hơn và có độ an toàn cao nên có thể dùng làm chất ức chế để kiểm soát quá

trình chuyển hóa nâu trong khoai tây tươi. Trong nghiên cứu này, sự gia tăng nồng độ của chất ức chế quá trình oxy hóa sẽ làm giảm chỉ số hóa nâu trong khoai tây (Li et al., 2018). Acid ascorbic ức chế quá trình hóa nâu bằng cách khử o-quinone do PPO tạo ra thành diphenol ban đầu thông qua một quá trình gọi là “phản ứng khử hoạt tính” (Altunkaya & Gokmen, 2008). Do đó, acid ascorbic được bổ sung làm giảm độ pH và không có lợi cho sự hoạt động của enzyme PPO (Landi et al., 2013).



Hình 3. Ảnh hưởng của nồng độ acid ascorbic đến hoạt tính tương đối của enzyme PPO trong XMC

Ghi chú: Giá trị được biểu thị bằng trung bình ± độ lệch chuẩn của phép đo 3 lần. Các chữ cái giống nhau thể hiện sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thử ($p > 0,05$).

4. KẾT LUẬN

Quá trình tiền xử lý xơ của quả mít Changai ở Cần Thơ bằng phương pháp chần với nhiệt độ được xác định là 90°C trong thời gian 2,88 phút và 100°C trong thời gian 0,78 phút thì hoạt tính enzyme polyphenol oxidase bị vô hoạt đến 90%. Bên cạnh đó, khi xơ mít Changai được xử lý bằng acid ascorbic ở nồng độ 0,3% thì enzyme polyphenol oxidase bị vô hoạt một phần (xấp xỉ 45%, thể hiện ở hoạt tính tương đối của enzyme polyphenol oxidase giảm còn 54,77% so với mẫu tươi ban đầu). Qua đó,

có thể nhận định rằng việc chần xơ mít đem lại hiệu quả cao hơn gấp hai lần so với việc sử dụng acid ascorbic 0,3% trong việc vô hoạt enzyme polyphenol oxidase.

LỜI CẢM ƠN

Kết quả này là một phần của đề tài khoa học công nghệ cấp Bộ, mã số B2024-TCT-09 (Bộ Giáo dục và Đào tạo). Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn sự hỗ trợ của Bộ Giáo dục và Đào tạo và Trường Đại học Cần Thơ

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

Altunkaya, A., & Gokmen, V. (2008). Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh lettuce (*Lactuca sativa*). *Food Chemistry*,

107, 1173–1179.

<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.046>

Atrooz, O. M., AlKhamaisa, N. K., & AlRawashdeh, I. M. (2020). Determination of the activity and

- kinetic parameters of polyphenol oxidase enzyme in crude extracts of some Jordanian plants. *Journal of Applied Biology and Biotechnology*, 8(4), 69–74.
- Balamaze, J., Muyonga, J. H., & Byaruhanga, Y. B. (2019). Physico-chemical Characteristics of Selected Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) Varieties. *Journal of Food Research*, 8(4), 11-22.
<https://doi.org/10.5539/jfr.v8n4p11>
- Bao, B., & Chang, K. C. (1994). Carrot juice color, carotenoids, and nonstarchy polysaccharides as affected by processing conditions. *Journal of Food Science*, 59(6), 1155-1158.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1994.tb14665.x>
- Brahma, R., & Ray, S. (2022). A Comprehensive Review on the Recent Advances in the Valorization of Jackfruit Waste for the Development of Value-Added Products. *Journal of Food Technology Research*, 9(2), 120-134.
- Chikezie, P. C. (2006). Extraction and Activity of polyphenol oxidase from Kolanuts (*Cola nitida* and *Cola acuminata*) and Cocoa (*Theobroma cacao*). *Journal of Agriculture and Food Sciences*, 4(2), 115–124.
- Pham, H.C. & Nguyen, T.T.H. (2019). *History of Research and Development of Jackfruit (Artocarpus heterophyllus Lam.)*. Agricultural Publishing House, Hanoi (in Vietnamese).
- Deylami, M. Z., Rahman, R. A., Tan, C. P., Bakar, J., & Olusegun, L. (2016). Effect of blanching on enzyme activity, color changes, anthocyanin stability and extractability of mangosteen pericarp: A kinetic study. *Journal of Food Engineering*, 178, 12-19.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.01.001>
- Geetha, R. Y., Arulvel, R., Selvarajan, E. (2014). Studies on kinetic parameters and biochemical characteristics of polyphenol oxidase purified from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) waste. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 6(9), 473-478.
- Gonçalves, E. M., Pinheiro J., Abreu, M., Brandão, T. R. S., & Silva, C. L. M. (2010). Carrot (*Daucus carota* L.) peroxidase inactivation, phenolic content and physical changes kinetics due to blanching. *Journal of Food Engineering*, 97(4), 574-581.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.005>
- Jiang, Y., Duan, X., Qu, H., & Zheng, S. (2016). *Browning: Enzymatic Browning*. In: Benjamin Caballero, Paul M. Finglas, Fidel Toldrá (Editors), *Encyclopedia of Food and Health*, Academic Press, 508-514.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00090-8>
- Jutamongkon, R., & Charoenrein, S. (2010). Effect of Temperature on the Stability of Fruit Bromelain from Smooth Cayenne Pineapple. *Kasetsart Journal. Natural Sciences*, 44, 943-948.
- Landi, M., Degl'Innocenti, E., Guglielminetti, L., & Guidi, L. (2013). Role of ascorbic acid in the inhibition of polyphenol oxidase and the prevention of browning in different browning-sensitive *Lactuca sativa* var. capitata (L.) and *Eruca sativa* (Mill.) stored as fresh-cut produce. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(8), 1814–1819.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.5969>.
- Lee, T. H., Chua, L. S., Tan, E. T. T., Yeong, C., Lim, C. C., Ooi, S. Y., Addul Aziz, R., Aziz, A., & Sarmidi, M. R. (2009). Kinetics of Thermal Inactivation of Peroxidases and Polyphenol Oxidase in Pineapple (*Ananas comosus*). *Food Science and Biotechnology*, 18(3), 661-666.
<https://doi.org/10.1007/s10068-017-0297-6>
- Li, L., Wu, M., Zhao, M., Guo, M. L., & Liu, H. (2018). Enzymatic properties on browning of fresh-cut potato. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 397.
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/397/1/012116>
- Duong, T.P.L., Nguyen, T.T.T. & Vo, T.D. (2023). Effects of maturity stages and cultivation areas on physical and sensory characteristics of Thai jackfruit in Hau Giang province. *Journal of Agriculture and Rural Development*, 6(1), 259-270 (in Vietnamese).
- Ling, B., Tang, J., Kong, F., Mitcham, E. J., & Wang, S. (2015). Kinetics of food quality changes during thermal processing: a review. *Food and bioprocess technology*, 8, 343-358.
<https://doi.org/10.1007/s11947-014-1398-3>
- Liu, J., Zhang, J., Liao, T., Zhou, L., Zou, L., Liu, Y., Zhang, L., & Liu, W. (2021). Thermal Inactivation Kinetics of Kudzu (*Pueraria lobata*) Polyphenol Oxidase and the Influence of Food Constituents. *Foods*, 10(6), 1320.
<https://doi.org/10.3390/foods10061320>.
- Marshall, M. R., Kim, J. M., & Wei, C. (2000). Enzymatic browning in fruits, vegetables and sea foods. *Food and Agriculture Organization*, 41, 259-312.
- Nansereko, S., Muyonga, J., & Byaruhanga, Y. B. (2022). Influence of drying methods on jackfruit drying behavior and dried products physical characteristics. *International Journal of Food Science*, 2022, 432478.
<https://doi.org/10.1155/2022/8432478>.
- Tong, T. A. N., & Thành, N. V. (2019). Investigating the effects of alcohol concentration and added sugar content on the fermentation process of wine vinegar from jackfruit fibers.

- Journal of Agriculture and Rural Development*, 14, 99-106 (in Vietnamese).
- Ranveer, R. C., Pawar, V. N., Sakhale, B. K., & Sahoo A. K. (2010). Effect of storage conditions on the residual PPO enzyme activity of raisins. *International Journal of Agricultural Science*, 61, 61-64.
- Rayan, A., & Morsy, N. (2020). Thermal inactivation kinetics of peroxidase and polyphenol oxidase from pomegranate arils (*Punica granatum* L. cv. Wonderful). *Journal of Food Biochemistry*, 44(10), e13428. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13428>.
- Shraddha, A. J., Munishamma, K. B., & Shyamamma, S. (2021). Microbial Fermentation of Blended Jackfruit Juice for Quality Improvement of Jackfruit Wine. *Mysore Journal of Agricultural Sciences*, 55(3), 83-90.
- Silva, F. V. M., & Sulaiman, A. (2019). Polyphenoloxidase in Fruit and Vegetables: Inactivation by Thermal and Non-thermal Processes. In: Laurence Melton, Fereidoon Shahidi, Peter Varelis (Ediotr), *Encyclopedia of Food Chemistry*. Academic Press, 287-301. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21636-3>
- Tao, Y. M., Yao, L. Y., Qin, Q. Y., & Shen, W. (2013). Purification and characterization of polyphenol oxidase from jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) bulbs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(51), 12662–12669. <https://doi.org/10.1021/jf403828e>
- Nhan, M. T., Bui, H. T., & Le, M. H. (2017). *Textbook of Principles of Food Preservation and Processing*. Can Tho University Publishing House (in Vietnamese).
- Vámos-Vigyázó, L., & Haard, N.F. (1981). Polyphenol oxidases and peroxidases in fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 15, 49-127. <https://doi.org/10.1080/10408398109527312>
- Yemenicioglu, A., Ozkan, M., & Cemeroglu, B. (1997). Heat inactivation kinetics of apple polyphenoloxidase and of its latent form. *Journal of Food Science*, 62, 508–510. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04417.x>
- Zemel, G. P., Sims, C. A., Marshall, M. R., & Balaban, M. (1990). Low pH inactivation of polyphenoloxidase in apple juice. *Journal of Food Science*, 55(2), 562-563. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1990.tb06813.x>