



DOI:10.22144/ctujos.2023.197

NGHIÊN CỨU ĐỘNG HỌC SUY GIẢM HÀM LƯỢNG POLYPHENOL VÀ HOẠT TÍNH SINH HỌC CỦA BỘT SẤY PHUN CAO CHIẾT TRÂM VỎ ĐỎ (*Syzygium Zeylanicum* (L.) DC.) TRONG ĐIỀU KIỆN CƯỜNG BỨC

Nguyễn Minh Trung^{1,2}, Bùi Thị Bích Huyền¹ và Nguyễn Quang Vinh^{1*}

¹Viện Công nghệ Sinh học và Môi trường, Trường Đại học Tây Nguyên

²Khoa Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Trường Đại học Tây Nguyên

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): nqvinh@ttn.edu.vn, vinh12b@gmail.com

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 27/03/2023

Sửa bài (Revised): 17/04/2023

Duyệt đăng (Accepted): 18/04/2023

Title: Thermodynamic and kinetics research of phenolics degradation and bioactivities of *Syzygium zeylanicum* (L.) DC. spray-dried microcapsules under accelerated storage conditions

Author(s): Nguyen Minh Trung, Bui Thi Bích Huyền and Nguyen Quang Vinh*

Affiliation(s): Tay Nguyen University

TÓM TẮT

Bột sấy phun cao chiết Trâm vỏ đỏ (*Syzygium zeylanicum* (L.) DC.) là sản phẩm giàu polyphenol, có hoạt tính kháng oxy hóa và kháng đái tháo đường *in vitro* cao. Nghiên cứu này nhằm mục đích đánh giá động học của quá trình suy giảm hàm lượng polyphenol và hoạt tính sinh học của bột sấy phun cao chiết Trâm vỏ đỏ. Nghiên cứu được thực hiện trong điều kiện cường bức ở nhiệt độ 40 và 60°C, độ ẩm tương đối là 75 và 90% trong 50 ngày. Kết quả cho thấy tốc độ suy giảm hàm lượng polyphenol và hoạt tính sinh học của bột sấy phun cao chiết Trâm vỏ đỏ phụ thuộc vào nhiệt độ và độ ẩm bảo quản. Bột sấy phun bảo quản ở điều kiện 40°C và độ ẩm tương đối thấp (75%), giữ được các hoạt tính sinh học ổn định hơn với thời gian bán rã và suy giảm 90% hoạt tính lần lượt là 346,57 ngày và 1.151,29 ngày; hệ số nhiệt động (Q_{10}) là 1,2 và năng lượng kích hoạt (E_a) là 17.562,7 J mol⁻¹. Sự phân hủy của hàm lượng polyphenol tuân theo mô hình bậc nhất và hằng số phân hủy nằm trong khoảng 0,002 – 0,006 ngày⁻¹.

Từ khóa: Điều kiện bảo quản, kháng oxy hóa, polyphenol, sấy phun, Trâm vỏ đỏ, ức chế enzyme

ABSTRACT

Syzygium zeylanicum (L.) DC. spray-dried microcapsules were a rich source of phenolic content and possessed relatively high antioxidant and *in vitro* antidiabetic activities. The study aimed to investigate the kinetics and thermodynamic degradation of phenolic content and biological activities of *Syzygium zeylanicum* (L.) spray-dried microcapsules under stimulated storage conditions of temperature (40°C and 60°C) and relative humidity (75% and 90%) for 50 days. The results indicated that the reduction rate of phenolic content and biological activities of spray-dried microcapsules depended on storage conditions. Amongst them, storage at low temperatures under low relative humidity could protect phenolic compounds, reducing the degradation rate of biological activities. The thermodynamic characteristics were found in the sample stored at 40°C under low relative humidity (75%) with the respective longest half-life ($t_{1/2}$) and decimal reduction time (D) of 346.57 days and 1,151.29 days; the activation energy (E_a) and Q_{10} values of 1.2 and 17,562.7 J mol⁻¹. The phenolics degradation followed in the first-order model with the degradation constant in a range of 0.002 - 0.006 days⁻¹

Keywords: Antioxidant, enzyme inhibitor, polyphenol, spray drying, Storage condition, *Syzygium zeylanicum* (L.)

1. GIỚI THIỆU

Trâm vô đô (*Syzygium zeylanicum* (L.) DC.) là cây thuốc có chứa hàm lượng polyphenol và thể hiện hoạt tính kháng oxy hoá, khả năng gây hạ đường huyết an toàn trên mô hình *in vitro* và *in vivo* (Nguyen et al., 2019; Truong et al., 2007). Cao chiết Trâm vô đô còn thể hiện như một prebiotics vừa có khả năng ức chế vi khuẩn gây bệnh như *Staphylococcus aureus* và *Escherichia coli* và giúp tăng sinh vi khuẩn có lợi *Lactobacillus casei* (Trung và ctv., 2022).

Kết quả nghiên cứu của Truong et al. (2007) cũng cho thấy, có mối tương quan thuận giữa hoạt tính kháng oxy hoá và ức chế enzyme tiêu hoá tinh bột với hàm lượng polyphenol tổng số. Các sản phẩm có chứa các hoạt chất trong quá trình bảo quản ngoài sự hao hụt về khối lượng còn có sự hao hụt về các hợp chất có hoạt tính sinh học như các hợp chất polyphenol, carotenoid, vitamin... do tiếp xúc với ánh sáng, oxy, nhiệt độ, độ ẩm (Ozkan et al., 2019). Vì vậy, các phương pháp liên quan đến chiết xuất và bảo quản nhằm ổn định các hợp chất trong cao chiết cần được nghiên cứu để dự đoán thời hạn bảo quản của sản phẩm ở các điều kiện khác nhau. Các nghiên cứu về thời hạn bảo quản của các sản phẩm thực phẩm có chứa các hoạt tính sinh học thường kéo dài và tốn kém nên thử nghiệm trong điều kiện cưỡng bức thường được sử dụng. Trong đó, sản phẩm chịu các điều kiện lưu trữ bất lợi của một hoặc nhiều yếu tố cưỡng bức như nhiệt độ, độ ẩm tương đối của không khí cao hơn mức bình thường để đẩy nhanh quá trình hư hỏng. Các thông số nhiệt động học như hằng số tốc độ phản ứng, thời gian bán hủy, hệ số nhiệt độ và năng lượng kích hoạt sẽ được xác định để từ đó xây dựng mô hình dự đoán thời hạn bảo quản phù hợp (Kechinski et al., 2010). Các mô hình dự đoán sự phân huỷ của các hợp chất tự nhiên trong điều kiện cưỡng bức đã được công bố gần đây. Lago & Noreña (2017) đã xây dựng mô hình động học sự suy giảm các hợp chất polyphenol và sự thoái hoá màu sắc của bột vi bao từ dịch ép củ yacon bằng kỹ thuật sấy phun với 2 loại chất mang khác nhau trong điều kiện bảo quản ở nhiệt độ 35 và 45°C, độ ẩm tương đối là 75 và 90% trong 35 ngày. Kết quả cho thấy mô hình suy giảm của polyphenol phụ thuộc chất mang và nhiệt độ bảo quản. Mô hình động học phân huỷ betalain trong bột vi bao dịch ép củ dền đỏ bằng kỹ thuật sấy phun ở các nhiệt độ 6, 19 và 30°C bởi Rodríguez-Mena et al. (2021) có thể sử dụng để dự đoán điều kiện chế biến phù hợp nhằm làm giảm tổn thất betalain trong quá trình sản xuất.

Vi bao gói cao chiết Trâm vô đô bằng kỹ thuật sấy phun có khả năng nâng cao hoạt tính sinh học và cải thiện khả năng ly giải các hợp chất polyphenol bằng chất mang maltodextrin kháng tiêu hoá (fibsol 2) đã được công bố bởi Nguyen et al. (2022). Tuy nhiên, các nghiên cứu về động học phân huỷ các hợp chất polyphenol và hoạt tính sinh học của bột sấy phun cao chiết Trâm vô đô trong điều kiện kích thích chưa được nghiên cứu để dự đoán thời hạn và điều kiện bảo quản phù hợp chưa được thực hiện. Mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm tương đối của không khí trong môi trường bảo quản đến tốc độ suy giảm hàm lượng polyphenol, hoạt tính kháng oxy hoá và ức chế enzyme tiêu hoá tinh bột trong điều kiện kích thích, từ đó xác định mô hình dự đoán thời hạn bảo quản của sản phẩm trong điều kiện phù hợp.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu

Sodium carbonate, methanol, 2,2-Diphenyl-2-picrylhydrazyl hydrate (DPPH), 2,2'-Azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid) (ABTS), gallic acid, α -amylase tuyến tụy, α -glucosidase từ nấm men, *p*-nitrophenyla-*D*-glucopyranoside, Potassium Sodium Tartrate Tetrahydrate (PSTT) và Dinitrosalicylic acid (DNS) được mua từ hãng SigmaAldrich (St. Louis, MO, Hoa Kỳ), Maltodextrin kháng tiêu hóa, (RMD: digestion-resistant maltodextrin; Fibersol-2, DE 8,0-12,5, Matsutani Chemical Industry Co., Ltd). Folin-Ciocalteu reagent được mua từ hãng Merck (Đức) và các hoá chất khác đạt tiêu chuẩn phân tích.

2.2. Chuẩn bị mẫu sấy phun

Cao chiết Trâm vô đô được chuẩn bị bằng phương pháp ngâm kiệt hỗ trợ siêu âm theo Nguyen et al. (2022). Cụ thể, bột vỏ thân cây được ngâm trong hỗn dịch ethanol 50% với tỷ lệ 1:10 w:v, siêu âm bằng máy VS28H (Vietsonic, Việt Nam) trong 15 phút bằng đầu dò kích thước 10 mm, tần số 28 Hz. Sau đó, hỗn hợp được trích ly ở nhiệt độ phòng trong 24 giờ trước khi lọc với giấy lọc Whatman No. 1. Quá trình lặp lại thêm hai lần trước khi các dịch chiết được trộn lẫn, cô đặc bằng máy cô quay chân không IKA (Đức) ở 60°C và sấy khô hoàn toàn bằng máy sấy đông khô Operon FBD-5503 (Hàn Quốc) ở nhiệt độ - 56°C và áp suất 0,001 Mbars. Cao chiết được bảo quản ở - 30°C cho đến khi được sử dụng.

Quá trình vi bao cao chiết được thực hiện bằng kỹ thuật sấy phun theo Nguyen et al. (2022). Hỗn hợp cao chiết Trâm vô đô và chất mang maltodextrin hoà tan hoàn toàn và đồng hoá bằng máy VELP

Scientifica OV5 (Ý) với tốc độ 10.000 vòng/phút trong 10 phút và giữ ở nhiệt độ 5°C trong 12 giờ cho thấm nước hoàn toàn. Hàm lượng chất khô được kiểm soát ở 20 % (w:w), trong đó hàm lượng cao chiết là 1% (w:w). Hỗn hợp được sấy phun bằng máy sấy phun BUCHI B-90 (BUCHI Labortechnik AG, Thụy Sĩ) với thông số thiết lập nhiệt độ đầu vào và đầu ra lần lượt là 120 và 60°C; tốc độ bơm khí 120 L/phút, mức độ phun mẫu 100% theo thiết lập của thiết bị. Dung dịch sấy được ổn định bằng máy khuấy từ với tốc độ 600 vòng/phút trong suốt quá trình nạp mẫu để đảm bảo nguyên liệu luôn đồng nhất. Sau khi sấy phun, các thông số ban đầu của bột sấy phun được xác định bao gồm: độ ẩm là 2,0 ± 0,1%; hàm lượng polyphenol tổng số (TPC) là 32,05 ± 0,02 mgGAE/g chất khô (CK); khả năng trung hòa gốc tự do DPPH và ABTS lần lượt là 98,99 ± 0,57 và 107,44 ± 1,80 mgTE/g CK; khả năng ức chế enzyme α-amylase và α-glucosidase với giá trị IC₅₀ lần lượt là 192,06 ± 0,01 và 8,86 ± 0,20 µg/mL.

Bột sấy phun được đóng gói trong các túi hút chân không PA/PE, 5 – 10 g bột/túi kích thước 15x20 cm dày 90 µm, sau đó sử dụng ngay hoặc bảo quản ở nhiệt độ - 30°C đến khi tiến hành thực nghiệm.

2.3. Chuẩn bị mẫu bảo quản ở điều kiện cưỡng bức

Mẫu được bảo quản ở điều kiện cưỡng bức và xây dựng mô hình động học được tiến hành theo Lago & Noreña (2017) có cải tiến để phù hợp với điều kiện thực tế. Mẫu được cân 0,5 g (bột sấy phun) đựng trong bình thủy tinh, đặt trong hộp kín chứa dung dịch NaCl bão hòa (tạo độ ẩm không khí khoảng 75%) và BaCl₂ bão hòa (để tạo độ ẩm không khí khoảng 90%). Các hộp kín đặt trong tủ ẩm với nhiệt độ tương ứng 40 và 60°C. Thời gian theo dõi trong 50 ngày, mẫu được thu nhận và phân tích các chỉ tiêu theo dõi (độ ẩm bột, hàm lượng polyphenol tổng số, khả năng kháng oxy hoá và ức chế enzyme) 10 ngày/lần trong 50 ngày.

Hàm lượng Polyphenol tổng số được xác định theo Nguyen et al. (2011) sử dụng thuốc thử Folin – Ciocalteu. Kết quả dựa vào đường chuẩn gallic acid (mgGAE/g chất khô).

Khả năng trung hòa gốc tự do DPPH và ABTS được xác định theo (Nguyen et al., 2015). Kết quả được tính theo mg trolox tương đương (mg TE/g chất khô) dựa vào đường chuẩn trolox.

Khả năng ức chế α-amylase được xác định theo (Kwon et al., 2006) và khả năng ức chế α-glucosidase được tiến hành theo Hogan et al. (2010).

Khả năng ức chế hoạt tính α-amylase và α-glucosidase được tính như sau:

$$\% \text{ Ức chế} = [(A_0 - A_1)/A_0] \times 100\% \quad (1)$$

trong đó, A₀ là độ hấp thụ của mẫu kiểm chứng (mẫu chỉ chứa dung môi hòa tan mẫu ở thời điểm ban đầu, A₁ là độ hấp thụ của mẫu thí nghiệm. Kết quả khả năng ức chế được thể hiện thông qua IC₅₀ là nồng độ sản phẩm vi bao có khả năng ức chế 50% hoạt tính của enzyme.

2.4. Phương pháp phân tích dữ liệu bảo quản bột sấy phun

Động học suy giảm các hợp chất tự nhiên/hoạt tính sinh học được đánh giá bằng phương trình bậc nhất như sau:

$$C_t = C_0 \cdot e^{-kt} \quad (2)$$

trong đó C_t là hàm lượng hợp chất tự nhiên/hoạt tính sinh học tại thời điểm (t); k là hằng số tốc độ và C₀ là hàm lượng hợp chất tự nhiên/hoạt tính sinh học tại thời điểm bắt đầu.

Thời gian phân hủy 90% (D), Chu kỳ bán rã (t_{1/2}) và hệ số nhiệt động (Q₁₀) được xác định theo công thức sau:

$$D = \frac{\ln(10)}{k} \quad (3)$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln(2)}{k} \quad (4)$$

$$Q_{10} = \left(\frac{k_{T_2}}{k_{T_1}} \right)^{\frac{10}{T_2 - T_1}} \quad (5)$$

Trong đó, D là thời gian phân hủy 90% để một đại lượng biến đổi với thời gian theo hàm số mũ suy giảm đạt đến lượng hơn 90% lượng ban đầu; Chu kỳ bán rã (t_{1/2}) - chu kỳ nửa phân rã hay thời gian bán rã là thời gian cần để một đại lượng biến đổi với thời gian theo hàm số mũ suy giảm đạt đến lượng bằng một nửa lượng ban đầu. Q₁₀ là thước đo độ nhạy nhiệt độ của tốc độ phản ứng hóa học hoặc quá trình sinh học được xác định từ các hằng số suy giảm ở một nhiệt độ nhất định (T) và trên 10°C (T + 10°C) (Lago & Noreña, 2017). Nhiệt độ cưỡng bức tại 40 và 60 °C được sử dụng trong nghiên cứu, do đó đại lượng Q₁₀ được xác định theo công thức (5), trong đó k_{T₁} và k_{T₂} lần lượt là hằng số suy thoái tại 40 và 60 °C (Cassol & Noreña, 2021).

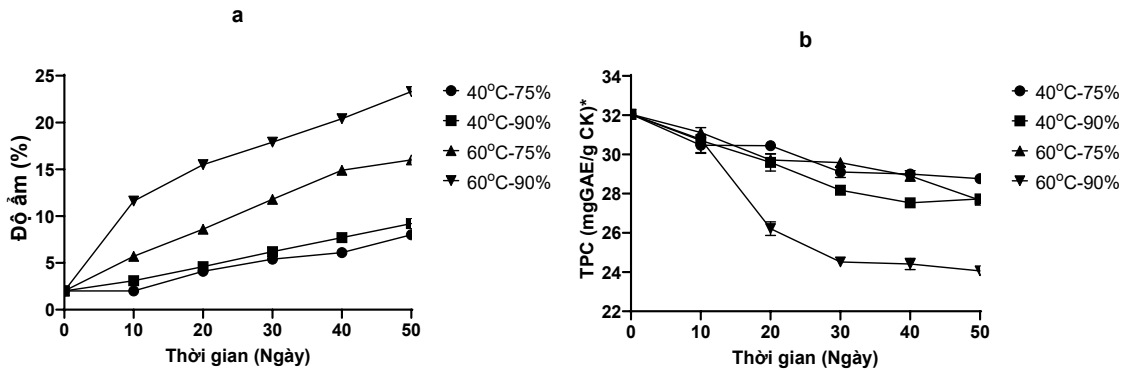
Năng lượng kích hoạt (E_a) được ước tính từ giá trị Q_{10} như trong biểu thức:

$$E_a = \frac{2,303 \log_{10}(Q_{10})RT(T+10)}{10} \quad (6)$$

trong đó: R là hằng số khí lý tưởng ($R=8,314 \text{ Jmol}^{-1}\text{K}^{-1}$) và T là nhiệt độ tuyệt đối ($^{\circ}\text{K}$).

2.5. Xử lý và phân tích số liệu

Các thí nghiệm được lặp lại ít nhất 3 lần. Các kết quả được thể hiện dưới dạng kết quả trung bình của 3 lần lặp lại \pm độ lệch chuẩn. Sai khác có nghĩa về mặt thống kê của các kết quả được so sánh tại mức ý nghĩa $p \leq 0,05$ bằng phần mềm Statgraphics (StatPoint Technologies, USA) và SPSS 23.0. Đồ thị được biểu diễn bằng phần mềm Graphpad prism 9.0 (GraphPad Software, Boston, USA).



Hình 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ (40 và 60°C) và độ ẩm tương đối (75 và 90%) đến hàm lượng polyphenol của bột sấy phun cao chiết Trâm vò đỏ

Ghi chú: (a) Sự thay đổi độ ẩm bột sấy phun (%); (b) Sự thay đổi hàm lượng polyphenol tổng số; * TPC (Total polyphenol content): Hàm lượng polyphenol tổng số, được tính tương đương với nồng độ mg gallic acid (GAE – Gallic acid equivalent) trên 1 đơn vị khối lượng khô của bột sấy phun

Kết quả cho thấy độ ẩm của bột có xu hướng tăng từ ngày 0 đến ngày 50, các nghiệm thức ở 60°C độ ẩm tăng nhanh hơn so với nghiệm thức ở 40°C. Trong đó, điều kiện 60°C với độ ẩm 90%, sản phẩm vi bao có tốc độ hút ẩm nhanh hơn nghiệm thức 75%, với độ ẩm tăng lên lần lượt là 11 lần và 4 lần so với thời điểm bắt đầu thực nghiệm (độ ẩm bột là 2%). Tuy nhiên, tại 40°C mức độ hút ẩm của bột ở hai điều kiện cấp ẩm khác nhau là tương đương nhau ($p < 0,01$). Có thể thấy, nhiệt độ và độ ẩm tương đối của môi trường bảo quản có sự tương tác nhất định đến mức độ hút ẩm của bột trong điều kiện thí nghiệm, điều này có thể dẫn đến sự thay đổi trong thành phần hoạt chất và hoạt tính sinh học của bột sấy phun.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm tương đối của không khí đến sự suy giảm hàm lượng polyphenol theo thời gian bảo quản

Các yếu tố môi trường bao gồm nhiệt độ và độ ẩm có thể thúc đẩy các phản ứng hóa học không mong muốn, dẫn đến suy giảm hàm lượng và hoạt tính sinh học của các hợp chất tự nhiên trong quá trình bảo quản. Vì vậy, các nghiên cứu về độ nhạy cảm của các hoạt chất dưới tác động của các điều kiện xử lý, yếu tố môi trường được quan tâm và từ đó tìm ra giải pháp để lưu trữ lâu dài. Tác động của nhiệt độ và độ ẩm tương đối của môi trường đến hàm lượng polyphenol của sản phẩm vi bao cao chiết Trâm vò đỏ được tiến hành nhằm dự đoán điều kiện bảo quản phù hợp. Sự gia tăng độ ẩm bột, suy thoái các hợp chất polyphenol được thể hiện trên Hình 1.

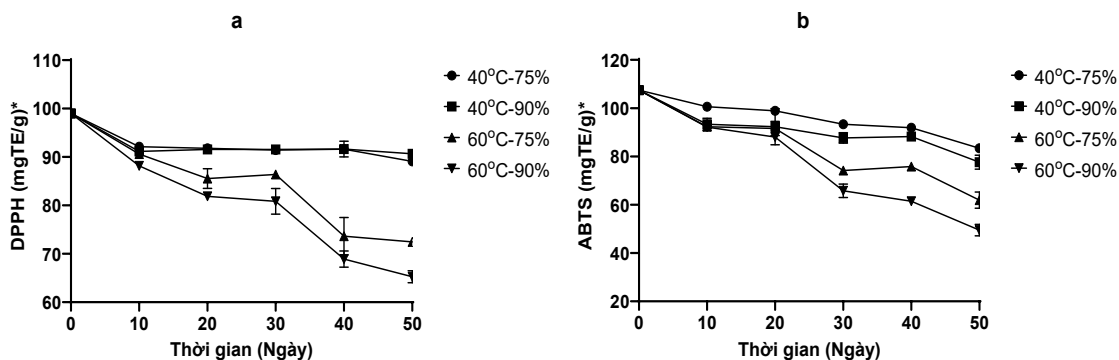
Sự suy giảm hàm lượng polyphenol được ghi nhận ở tất cả các điều kiện thực nghiệm. Trong đó, hàm lượng polyphenol của mẫu bảo quản ở điều kiện 40°C – 75%, 40°C – 90% và 60°C – 75% giảm dần đều theo thời gian với mức độ 10 – 13% so với ngày 0. Đối với mẫu bảo quản ở 60°C – 90%, hàm lượng polyphenol tổng số giảm nhanh từ ngày thứ 10 và giảm 25% so với ngày ban đầu. Có thể thấy, hàm lượng polyphenol tổng số ổn định hơn ở điều kiện nhiệt độ và độ ẩm thấp. Kết quả này phù hợp với báo cáo của Cassol & Noreña (2021), hàm lượng polyphenol ổn định hơn khi bảo quản ở nhiệt độ 40°C và độ ẩm môi trường 75%. Theo Tonon et al. (2010), yếu tố ảnh hưởng đến sự suy giảm polyphenol là độ ẩm tương đối của môi trường, độ

âm cao sẽ gây ra sự suy giảm polyphenol cao bởi vì tính di động phân tử lớn hơn khi lượng nước trong sản phẩm tăng lên, tạo điều kiện cho các phản ứng suy thoái diễn ra nhanh hơn.

3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm tương đối của không khí đến hoạt tính kháng oxy hóa của bột sấy phun

Khả năng trung hòa gốc tự do DPPH và ABTS của bột sấy phun có xu hướng giảm dần theo thời gian. Tuy nhiên, mức độ và đặc điểm suy giảm theo điều kiện lưu trữ là khác nhau giữa hai hoạt tính này (Hình 2). Kết quả cho thấy, khả năng kháng oxy hóa của bột sấy phun độ ổn định cao hơn ở nhiệt độ và độ ẩm thấp; tuy nhiên, khả năng trung hòa gốc tự do ABTS của sản phẩm bị suy giảm nhanh hơn khả năng trung hòa gốc tự do DPPH khi nhiệt độ và độ ẩm thay đổi. Mức độ suy giảm hoạt tính trung hòa gốc tự do DPPH ở nhiệt độ thấp và độ ẩm thấp là 8% (lớn 10% ở độ ẩm cao), trong khi đó, khả năng trung hòa gốc tự do ABTS giảm từ 23 đến 27% ở ngày thứ 50 với cùng điều kiện. Ở nhiệt độ cao, quy luật tương tự được ghi nhận ở nhiệt độ thấp và độ

âm cao có mức độ suy giảm khả năng trung hòa gốc tự do DPPH từ 26 đến 34% và 42 đến 53% đối với ABTS. Mỗi liên hệ giữa hàm lượng polyphenol và khả năng kháng oxy hóa của các hợp chất tự nhiên đã được chứng minh (Nguyen et al., 2022). Do đó, sự suy giảm hàm lượng polyphenol theo thời gian có thể tác động đến khả năng kháng oxy hóa của bột sấy phun. Khả năng trung hòa gốc tự do DPPH và ABTS của bột sấy phun có xu hướng giảm dần theo thời gian. Nghiên cứu của Kuck et al. (2017) cho thấy sự suy giảm polyphenol trong quá trình bảo quản có liên quan đến sự tạo thành các hợp chất mới thông qua thủy phân hoặc tạo liên kết mới dẫn đến làm mất một phần khả năng kháng oxy hóa. Sự suy giảm khả năng trung hòa gốc tự do DPPH và ABTS ở 40°C thấp hơn ở 60°C ở các điều kiện độ ẩm tương đối của môi trường khác nhau. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Cassol & Noreña (2021), khả năng trung hòa gốc tự do DPPH và ABTS của bột sấy phun hoa bưởi giảm ổn định hơn ở điều kiện bảo quản 40°C với độ ẩm 75% so với điều kiện nhiệt độ và độ ẩm cao hơn.



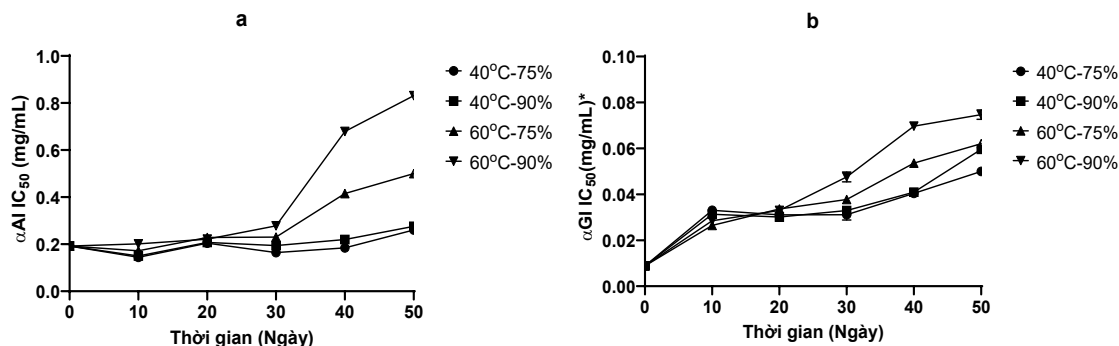
Hình 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ (40 và 60 °C) và độ ẩm tương đối (75 và 90%) đến khả năng kháng oxy hóa của bột sấy phun cao chiết Trâm vô đô

Ghi chú: (a) Khả năng trung hòa gốc tự do DPPH; (b) Khả năng trung hòa gốc tự do ABTS; * Khả năng trung hòa DPPH và ABTS được tính tương đương Trolox (TE – Trolox equivalent) trên 1 đơn vị khối lượng khô của bột sấy phun

3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm tương đối của không khí đến khả năng ức chế α-amylase và α-glucosidase

Ảnh hưởng của nhiệt độ và độ ẩm tương đối đến khả năng ức chế α-amylase và α-glucosidase có quy luật khá tương đồng với sự suy giảm polyphenol và hoạt tính kháng oxy hóa (Hình 3). Kết quả cho thấy độ ổn định hoạt tính ức chế α-amylase tốt hơn so với α-glucosidase trong cùng điều kiện. Đồng thời, ở nhiệt độ và độ ẩm thấp, hoạt tính ức chế α-amylase duy trì khá ổn định với mức độ suy giảm chỉ từ 26

đến 30%, trong khi đó khả năng ức chế α-glucosidase suy giảm từ 82 đến 88% (Hình 3) sau 50 ngày bảo quản. Ở điều kiện nhiệt độ cao, khả năng ức chế α-amylase chỉ bắt đầu suy giảm mạnh từ ngày thứ 30, trong đó, độ ẩm cao hoạt tính suy giảm nhanh hơn với mức độ suy giảm lần lượt là 61% đến 76% sau 50 ngày. Trong khi đó, hoạt tính ức chế α-glucosidase suy giảm nhanh chóng sau 10 ngày và duy trì tốc độ suy giảm cao trong suốt thời gian bảo quản. Tuy nhiên, độ ẩm thấp hơn vẫn cho thấy sự ổn định hoạt tính ở cả hai loại enzyme này.



Hình 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ (40 và 60 °C) và độ ẩm tương đối (75 và 90%) đến khả năng ức chế α -amylase và α -glucosidase theo thời gian bảo quản

Ghi chú: a) Khả năng ức chế α -amylase (α AI: α -amylase inhibition); b) Khả năng ức chế α -glucosidase (α GI: α -glucosidase inhibition); * Khả năng ức chế enzyme được đánh giá thông qua nồng độ ức chế 50% hoạt tính của enzyme (IC_{50} : The half maximal inhibitory concentration, mg/mL)

3.4. Động học suy giảm hàm lượng polyphenol của bột sắn phun cao chiết theo điều kiện bảo quản

Việc sử dụng các loại thực phẩm có chứa các hợp chất có hoạt tính sinh học, đặc biệt là polyphenol, rất được quan tâm. Các yếu tố môi trường như nhiệt độ và độ ẩm có thể thúc đẩy các phản ứng hóa học

không mong muốn trong quá trình lưu trữ do sự ổn định thấp của các hợp chất có hoạt tính sinh học (Kechinski et al., 2010). Để dự đoán được mô hình động học suy giảm của các hợp chất có hoạt tính sinh học, việc xác định các thông số động học như hằng số tốc độ phản ứng, thời gian bán hủy, hệ số nhiệt độ và năng lượng kích hoạt là rất quan trọng (Cassol & Noreña, 2021).

Bảng 1. Hằng số tốc độ (k), hệ số xác định (R^2), chu kỳ bán rã ($t_{1/2}$) và hệ số nhiệt độ (Q_{10}) liên quan đến sự suy giảm hàm lượng polyphenol của bột sắn phun cao chiết Trâm vồ đỏ

Độ ẩm %	Nhiệt độ (°C)	k (ngày ⁻¹)	R^2	D (ngày)	$t_{1/2}$ (ngày)	Q_{10}	E_a (J mol ⁻¹)
75	40	0,002	0,87	1151,29	346,57	1,2	17562,7
75	60	0,003	0,90	767,53	231,05		
90	40	0,003	0,94	767,53	231,05		
90	60	0,006	0,85	383,76	115,52	1,4	30023,6

Mô hình suy giảm hàm lượng polyphenol được thể hiện trong Bảng 1. Kết quả cho thấy quy luật suy giảm hàm lượng polyphenol của bột sắn phun tuân theo mô hình động học bậc nhất ($R^2 > 0,8$). Một số nghiên cứu công bố trước đây như Kenchinshi et al. (2010), Shaaruddin et al. (2017), Cassol & Noreña (2021) cũng chỉ ra rằng, các phản ứng suy thoái thực phẩm liên quan đến sự suy giảm các hàm lượng polyphenol và khả năng kháng oxy hóa tuân theo mô hình bậc nhất. Hằng số suy thoái (k) và giá trị bán rã theo thời gian $t_{1/2}$ cho từng điều kiện nhiệt độ và độ ẩm bảo quản được thể hiện trong Bảng 1. Nhiệt độ thấp, độ ẩm thấp (40°C - 75%), giá trị k thấp (0,002), nhiệt độ cao, độ ẩm cao (60°C - 90%), giá trị k cao (0,006). Tuy nhiên, ở nhiệt độ thấp và độ ẩm cao (40°C - 90%) giá trị k tương đương với điều kiện ở nhiệt độ cao, độ ẩm thấp (60°C - 75%) (0,003). Hệ số R^2 dao động từ 0,85 đến 0,94, R^2 càng cao độ phù

hợp của mô hình càng lớn. Mẫu bảo quản ở 40°C-75% thể hiện giá trị k thấp và thời gian bán rã dài hơn (346 ngày) so với mẫu bảo quản ở nhiệt độ 60°C-75% (231 ngày) và 60°C-90% (115 ngày). Tuy nhiên, ở nhiệt độ thấp và độ ẩm cao (40°C - 90%), giá trị k và thời gian bán rã tương đương với mẫu bảo quản ở nhiệt độ cao với độ ẩm thấp (40°C - 75%) (0,003, 231 ngày). Kết quả này cho thấy, nhiệt độ và độ ẩm có tương tác lẫn nhau và giá trị k càng cao thì giá trị $t_{1/2}$ càng thấp (Lago & Noreña, 2017). Đồng thời, thời gian suy giảm 90% hàm lượng polyphenol (D) và thời gian bán rã rút ngắn 3 lần khi tăng nhiệt độ và độ ẩm bảo quản (Bảng 1). Mẫu bảo quản ở điều kiện 40°C - 75% có thời gian suy giảm 90% hàm lượng polyphenol là 1.151,29 ngày; trong khi đó, ở điều kiện 60°C - 90% thì D giảm xuống còn 383,76 ngày. Có thể thấy nếu nhiệt độ và độ ẩm cao thì các chất hợp chất polyphenol bị

phá hủy lớn và số phản ứng trong điều kiện này cũng tăng lên.

Năng lượng kích hoạt (E_a) và các giá trị Q_{10} phụ thuộc vào nhiệt độ bảo quản (Bảng 1); phản ứng xảy ra chậm ở nhiệt độ thấp và tăng lên ở nhiệt độ cao. Giá trị năng lượng kích hoạt ở điều kiện độ ẩm tương đối cao (90%) là $30.023,6 \text{ J mol}^{-1}$, trong khi ở độ ẩm tương đối 75%, năng lượng kích hoạt ($17.562,7 \text{ J mol}^{-1}$) thấp hơn 1,7 lần so với năng lượng kích hoạt ở độ ẩm tương đối 90%. Trong các phản ứng có năng lượng hoạt hóa cao, sự phụ thuộc của tốc độ suy thoái hợp chất tự nhiên vào sự thay đổi của nhiệt độ là lớn hơn (Kuck et al., 2017). Do đó, kết quả nghiên cứu này cho thấy sự phụ thuộc của tốc độ suy thoái hàm lượng polyphenol trong bột sây phun cao chiết Trâm vô đồ vào sự thay đổi của nhiệt độ ở độ ẩm tương đối 90% là cao hơn so với 75%. Điều này có thể giải thích cho sự suy giảm nhanh về hàm lượng polyphenol trong bột sây phun ở các điều kiện bảo quản có độ ẩm cao. Khi so sánh năng lượng hoạt hóa của bột tại từng điều kiện bảo quản, kết quả này tương đồng với báo cáo của (Lago & Noreña, 2017). Tham số Q_{10} là một cách để mô tả ảnh hưởng của nhiệt độ lên hằng số phản ứng và biểu thị tốc độ suy giảm khi nhiệt độ tăng 10°C (Kechinski et al. 2010). Giá trị Q_{10} cho thấy tầm quan trọng của số lượng va chạm và liên kết phân tử; sự va chạm cung cấp nhiều năng lượng có thể đưa các phân tử đến trạng thái kích hoạt và do đó làm tăng tốc độ suy thoái (Lago & Noreña, 2017). Q_{10} thấp và thời gian bán hủy dài trong nghiên cứu này cho thấy sự ổn định cao của bột ở điều kiện độ ẩm tương đối và biến đổi nhiệt độ của môi trường bảo quản. Các giá trị Q_{10} thu được

cho thấy tại độ ẩm tương đối cao (90%) (1,4) nhạy cảm hơn so với độ ẩm 75% (1,2). Kết quả này tương đồng với báo cáo của Cassol & Noreña (2021), giá trị Q_{10} dao động từ 1,2 – 1,4 tại độ ẩm 75% và tại độ ẩm 90% là 1,3 – 2,1 khi bảo quản các hợp chất từ hoa búp giảm được sây phun cùng với polydextrin và whey protein phân lập. Báo cáo của Lago & Noreña (2017), khi sử dụng Gum Arabic cho thấy giá trị Q_{10} (1,11 – 1,12) thấp hơn và thời gian bán hủy lớn nhất điều kiện được nghiên cứu so với polydextrin (1,15 – 1,18).

4. KẾT LUẬN

Kết quả trong nghiên cứu này cho thấy điều kiện bảo quản ở 40°C và độ ẩm 75% giữ được các hoạt tính sinh học ổn định nhất, thời gian bán rã và suy giảm 90% hoạt tính lần lượt là 346,57 ngày và 1.151,29 ngày. Hệ số nhiệt động (Q_{10}) là 1,2 và năng lượng kích hoạt (E_a) là $17.562,7 \text{ J mol}^{-1}$. Mức độ thoái hóa hoạt chất polyphenol trong sản phẩm vi bao tuân theo quy luật hàm bậc nhất, trong đó, điều kiện bảo quản với nhiệt độ và độ ẩm tương đối thấp cho thấy mức độ suy thoái chậm và lưu trữ được thời gian dài hơn.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của Quỹ Phát triển Khoa học và Công nghệ Quốc gia (NAFOSTED), mã số 106.99-2020.17.

Chương trình học bổng đào tạo thạc sĩ, tiến sĩ trong nước của Quỹ Đổi mới sáng tạo Vingroup (VINIF) đã tài trợ cho nghiên cứu sinh Nguyễn Minh Trung, mã số VINIF.2022.TS139.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Cassol, L., & Noreña, C. P. Z. (2021). Microencapsulation and accelerated stability testing of bioactive compounds of *Hibiscus sabdariffa*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15(2), 1599-1610. <https://doi.org/10.1007/s11694-020-00757-x>
- Hogan, S., Zhang, L., Li, J., Sun, S., Canning, C., & Zhou, K. (2010). Antioxidant rich grape pomace extract suppresses postprandial hyperglycemia in diabetic mice by specifically inhibiting alpha-glucosidase. *Nutrition & Metabolism*, 7(1), 71. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-7-71>
- Kechinski, C. P., Guimarães, P. V. R., Noreña, C. P. Z., Tessaro, I. C., & Marczak, L. D. F. (2010). Degradation kinetics of anthocyanin in blueberry juice during thermal treatment. *Journal of Food Science*, 75(2), 173-176. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01479.x>
- Kuck, L. S., Wesolowski, J. L., & Noreña, C. P. Z. (2017). Effect of temperature and relative humidity on stability following simulated gastrointestinal digestion of microcapsules of Bordo grape skin phenolic extract produced with different carrier agents. *Food Chemistry*, 230, 257-264. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.038>
- Kwon, Y. I. I., Vattem, D. A., & Shetty, K. (2006). Evaluation of clonal herbs of *Lamiaceae* species for management of diabetes and hypertension. *Asia pacific journal of clinical nutrition*, 15(1), 107.
- Lago, C. C., & Noreña, C. P. Z. (2017, Dec). Thermodynamic and kinetics study of phenolics degradation and color of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) microparticles under accelerated storage conditions. *Journal Food Science Technology*, 54(13), 4197-4204. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2887-y>

- Nguyen, V. B., Wang, S. L., Nguyen, T. H., Doan, C. T., Tran, T. N., Kuo, Y. H., Nguyen, Q. V., & Nguyen, A.D. (2019). New indications of potential rat intestinal α -glucosidase inhibition by *Syzygium zeylanicum* (L.) and its hypoglycemic effect in mice. *Research on Chemical Intermediates*, 45(12), 6061-6071. <https://doi.org/10.1007/s11164-019-04019-4>
- Nguyen, V. T., Van Vuong, Q., Bowyer, M. C., Van Altena, I. A., & Scarlett, C. J. (2015). Effects of different drying methods on bioactive compound yield and antioxidant capacity of *Phyllanthus amarus*. *Drying technology*, 33(8), 1006-1017. <https://doi.org/10.1080/07373937.2015.1013197>
- Nguyen, M. T., Hoang, V. C., Tran, M. D., & Nguyen, Q. V. (2022). Microencapsulation of *Syzygium zeylanicum* (L.) DC. extract using spray drying: Effects of wall materials on physicochemical characteristics and biological activities of the microcapsules. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(7), p. e16647, 2022, doi: 10.1111/jfpp.16647.
- Nguyen, Q. V., & Eun, J. B. (2011). Antioxidant activity of solvent extracts from Vietnamese medicinal plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(13), 2798-2811.
- Nguyen, Q. V., Huyen, B. T. B., Tran, M. D., Nguyen, M. T., Doan, M., D., Nguyen, A. D., Minh Le, T., Tran, V. C., & Pham, T. N. (2022). Impact of Different Drying Temperatures on In Vitro Antioxidant and Antidiabetic Activities and Phenolic Compounds of Wild Guava Leaves Collected in the Central Highland of Vietnam. *Natural Product Communications*, 17(4), 1934578X221095349. <https://doi.org/10.1177/1934578X221095349>
- Ozkan, G., Franco, P., De Marco, I., Xiao, J., & Capanoglu, E. (2019). A review of microencapsulation methods for food antioxidants: Principles, advantages, drawbacks and applications. *Food Chemistry*, 272, 494-506. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.205>
- Rodríguez-Mena, A. ., Ochoa-Martínez, L. A. ., González- Herrera, S. M. ., Rutiaga-Quiñones, O. M., & Morales-Castro, J. (2021). Degradation kinetics and thermodynamic analysis of betalains on microencapsulated beetroot juice using maltodextrin and sweet potato starch. *Scientia Agropecuaria*, 12(3), 311-317. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.034>
- Shaaruddin, S., Ghazali, H. M., Mirhosseini, S. H., & Muhammad, K. (2017). Stability of betanin in pitaya powder and confection as affected by resistant maltodextrin. *LWT*, 84, 129-134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.05.031>
- Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2010). Anthocyanin stability and antioxidant activity of spray-dried açai (*Euterpe oleracea* Mart.) juice produced with different carrier agents. *Food Research International*, 43(3), 907-914. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.12.013>
- Truong, T. M., Nghiem, N. T., Pham, G. T., Nguyen, V. C. (2007). Alpha-glucosidase inhibitory and antioxidant activities of Vietnamese edible plants and their relationships with polyphenol contents. *Journal of nutritional science and vitaminology*, 53(3), 267-276. <https://doi.org/10.3177/jnsv.53.267>
- Trung, N. M., Huyên, B. T. B., Giang, N. N. H., & Vinh, N. Q. (2022). Thành phần hợp chất phenolic, khả năng kháng oxy hóa, kháng khuẩn, kích thích sinh trưởng lợi khuẩn của cao chiết từ vỏ thân cây Trâm vỏ đỏ (*Syzygium zeylanicum* (L.) DC.). Kỳ yếu Hội nghị Công nghệ Sinh học toàn quốc 2022, tr.689 – tr. 695.