



DOI:10.22144/ctujos.2025.219

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ SẤY ĐẾN HÀM LƯỢNG POLYPHENOL, FLAVONOID, KHẢ NĂNG KHÁNG OXY HÓA VÀ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG BẢO QUẢN CỦA BỘT ĐỂ NẤM ĐÔNG TRÙNG HẠ THẢO

Nguyễn Hồng Khôi Nguyễn¹, Lê Như Bình², Nguyễn Thị Kiều Diễm³ và Trần Bạch Long^{2*}

¹Trường Đại học Nguyễn Tất Thành, Việt Nam

²Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Đại học Cần Thơ, Việt Nam

³Trường Cao đẳng Kinh tế - Kỹ thuật Cần Thơ, Việt Nam

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

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 16/06/2025

Sửa bài (Revised): 21/07/2025

Duyệt đăng (Accepted): 25/10/2025

Title: Effect of Drying Temperature on Polyphenol and Flavonoid Contents, Antioxidant Activity, and Storage Stability of *Cordyceps militaris* Substrate Powder

Author: Nguyen Hong Khoi Nguyen¹, Le Nhu Binh², Nguyen Thi Kieu Diem³ and Tran Bach Long²

Affiliation(s): ¹Nguyen Tat Thanh University, Vietnam; ²Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University, Viet Nam; ³Can Tho Technical Economic College, Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện với mục đích đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy và thời gian bảo quản đến hàm lượng polyphenol tổng số (TPC), flavonoid tổng số (TFC) và hoạt tính chống oxy hóa (TEAC) của bột để nấm đông trùng hạ thảo. Nguyên liệu được sấy ba mức nhiệt 50°C, 60°C và 65°C, bột để nấm được theo dõi trong 8 tuần để đánh giá sự biến đổi về TPC, TFC, TEAC, độ ẩm, hoạt độ nước (aw) và màu sắc (L*, a*, b*). Kết quả cho thấy nhiệt độ sấy ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng bột. Ở 60°C, TPC (2,25±0,14 mg GAE/g CKNL), TFC (22,91±0,08 mg QE/100 g CKNL) và TEAC (31,33 µmol TE/g CKNL) đạt giá trị cao nhất. Trong thời gian bảo quản, TPC, TFC và TEAC giảm dần, trong khi độ ẩm và aw tăng. Màu sắc thay đổi theo hướng giảm độ sáng và tăng sắc đỏ, vàng – phản ánh tác động của quá trình oxy hóa.

Từ khóa: Bảo quản, bột để nấm, flavonoid, hoạt tính chống oxy hóa, nhiệt độ sấy, polyphenol

ABSTRACT

This study evaluated the effects of drying temperature and storage duration on the total polyphenol content (TPC), total flavonoid content (TFC), and antioxidant activity (TEAC) of *Cordyceps militaris* substrate powder. The substrate was dried at 50°C, 60°C, and 65°C, and the resulting powders were stored for eight weeks. TPC, TFC, TEAC, moisture content, water activity (aw), and color parameters (L*, a*, b*) were monitored throughout storage. Results showed that drying temperature had a significant impact on the quality of the powder. Drying at 60°C yielded the highest values of TPC (2.25 ± 0.14 mg GAE/g dry weight), TFC (22.91 ± 0.08 mg QE/100 g dry weight), and TEAC (31.33 µmol TE/g dry weight). During storage, TPC, TFC, and TEAC declined, whereas moisture content and aw increased. Color changes indicated a reduction in lightness and an increase in redness and yellowness, likely due to oxidative reactions.

Keywords: Antioxidant activity, drying, flavonoid, polyphenol, powder, storage

1. GIỚI THIỆU

Nấm đông trùng hạ thảo (ĐTHT) (*Cordyceps militaris*) là một loài nấm dược liệu, có khả năng ký sinh trên côn trùng và được sử dụng rộng rãi trong y học cổ truyền, đặc biệt là ở các nước Đông Á (Kontogiannatos et al., 2021). Do *Cordyceps militaris* chứa nhiều hợp chất sinh học như adenosine, polysaccharides và mannitol (Wang et al., 2013; Smiderle et al., 2013). Adenosine có nhiều tác dụng dược lý trong việc bảo vệ tim và điều trị suy tim mãn tính và cũng có thể ức chế sự giải phóng các chất dẫn truyền thần kinh trong hệ thần kinh trung ương (Ling et al., 2002). Polysaccharides có tác dụng chống viêm, chống oxy hóa, chống khối u, hạ đường huyết, sinh steroid và hạ lipid máu (Wen et al., 2013). Mannitol (acid cordycepic) có hoạt tính lợi tiểu, chống gốc tự do và giảm ho,... (Li et al., 2006) Bên cạnh đó, loại nấm cũng được biết đến với nhiều tác dụng sinh học có lợi khác, như tăng cường hệ miễn dịch, hỗ trợ điều hòa chuyển hóa năng lượng (Bai et al., 2020; Rawat et al., 2024). Trong các nghiên cứu, *Cordyceps militaris* đã được xác định rằng chứa nhiều hợp chất có hoạt tính sinh học tốt cho sức khỏe, bao gồm polysaccharide, nucleoside, acid γ -aminobutyric (GABA), ergothioneine, glycolipid, glycoprotein, D-mannitol, xanthophyll và nhiều hợp chất polyphenol (Chou et al., 2024; Sharma et al., 2023). Trong đó, polyphenol và flavonoid là hai nhóm hợp có tác dụng chống oxy hóa, giúp bảo vệ tế bào khỏi tác động của các gốc tự do (Phull et al., 2022). Sau quá trình thu hoạch, phần đế nấm – là phần sợi nấm phát triển và bám vào giá thể – thường bị loại bỏ như một phế phẩm. Trong khi đó ở các nghiên cứu, đế nấm được chỉ ra rằng vẫn chứa một lượng đáng kể các hợp chất có hoạt tính sinh học, mặc dù hàm lượng có thể thấp hơn so với quả thể (Ontawong et al., 2024). Việc tận dụng đế nấm để chế biến thành sản phẩm có giá trị gia tăng không chỉ giúp tối ưu hóa nguồn nguyên liệu mà còn góp phần giảm thiểu lãng phí trong quá trình sản xuất. Sấy khô là một trong những phương pháp bảo quản phổ biến đối với nông sản, giúp kéo dài thời gian sử dụng và hạn chế sự phát triển của vi sinh vật (Kaveh et al., 2024). Nhiệt độ sấy có thể ảnh hưởng đáng kể đến thành phần hóa học và hoạt tính sinh học của nguyên liệu. Dưới tác động của nhiệt độ, một số hợp chất polyphenol có thể bị oxy hóa hoặc phân hủy, dẫn đến sự suy giảm hàm lượng và khả năng chống oxy hóa của nguyên liệu (Truong et al., 2021; Nhi et al., 2021) Ngược lại, trong một số điều kiện sấy thích hợp, hàm lượng polyphenol, flavonoid và hoạt tính chống oxy hóa có thể tăng lên do quá trình biến

đổi cấu trúc hóa học của các hợp chất này hoặc do sự giải phóng các hợp chất liên kết (Manalu et al., 2025), điều này đã được chỉ ra ở một số nghiên cứu. Sự ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng hợp chất polyphenol và hoạt tính sinh học đã được nghiên cứu trên nhiều loại nguyên liệu thực vật khác nhau. Ví dụ, nghiên cứu của Nguyen et al. (2022) về ảnh hưởng của điều kiện sấy lá ổi rừng bằng phương pháp phơi nắng và sấy nhiệt, kết quả cho thấy có sự thay đổi đáng kể về hàm lượng polyphenol, flavonoid và saponin tổng số, cũng như hoạt tính sinh học của nguyên liệu sau khi sấy. Kết quả ở các nghiên cứu khác cũng chỉ ra rằng nhiệt độ sấy có ảnh hưởng rõ rệt đến thành phần hóa học của nhiều loại dược liệu và thực phẩm chức năng, bao gồm sự suy giảm hoặc tăng cường hàm lượng polyphenol và khả năng chống oxy hóa (Nguyen & Chuyen, 2020). Từ những vấn đề trên có thể thấy rằng, nhiệt độ sấy là một yếu tố quan trọng quyết định chất lượng của nguyên liệu sau khi sấy. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến thành phần hóa học và hoạt tính chống oxy hóa của bột đế nấm ĐTHT (*Cordyceps militaris*), từ những vấn đề đã nêu, có thể thấy rằng việc tận dụng đế nấm ĐTHT – một nguồn nguyên liệu còn tiềm năng nhưng thường bị bỏ phí – kết hợp với việc lựa chọn nhiệt độ sấy và thời gian bảo quản phù hợp để giữ lại tối đa các hợp chất có hoạt tính sinh học là điều cần thiết.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng, hóa chất và thiết bị

Đế nấm đông trùng hạ thảo được thu nhận từ Công ty TNHH MTV Sinh học Phú Sĩ (Thị xã Bình Minh, tỉnh Vĩnh Long, Việt Nam). Sau khi thu nhận, nguyên liệu được bảo quản ở nhiệt độ lạnh $4 \pm 1^\circ\text{C}$. Trước khi tiến hành thí nghiệm, đế nấm được rửa sạch, sau đó cắt thành lát có độ dày khoảng 2 cm. Các lát nấm được giữ trong túi polyethylene kín, đặt trong điều kiện lạnh ($4 \pm 1^\circ\text{C}$) cho đến khi tiến hành các xử lý tiếp theo trong nghiên cứu.

Các hóa chất sử dụng trong nghiên cứu đều có độ tinh khiết phù hợp cho phân tích. Thuốc thử Folin-Ciocalteu (Merck, Đức, $\geq 99,5\%$), thuốc thử DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, Merck, Đức, $\geq 99,5\%$), axit gallic (Merck, Đức), dung môi ethanol ($\geq 99,7\%$), methanol (Trung Quốc, $\geq 99,5\%$). Aluminum chloride (Trung Quốc, $\geq 97\%$), sodium acetate (Trung Quốc, $\geq 99\%$) (Trung Quốc) và các hóa chất liên quan khác bao gồm acid acetic ($\geq 99,5\%$), nước cất hai lần,...

Các thiết bị chính được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm: Máy đo quang phổ UV-Vis (Shimadzu UV-1900i, Nhật Bản) được dùng để xác định hàm lượng polyphenol, flavonoid và khả năng chống oxy hóa; tủ sấy đối lưu (Shellab-CE3F-2, Hoa Kỳ, sai số $\pm 2^{\circ}\text{C}$) dùng trong quá trình sấy. Khối lượng mẫu và thuốc thử được cân bằng cân phân tích 4 chữ số thập phân (PR224, Ohaus, Hoa Kỳ) và cân phân tích 2 chữ số thập phân (PX2202, Ohaus, Hoa Kỳ) tùy theo yêu cầu độ chính xác. Màu sắc sản phẩm được đo bằng máy đo màu sắc (NH300, Trung Quốc), độ hoạt độ của nước (a_w) được xác định bằng thiết bị đo hoạt độ nước (TLD, Meter Group, Hoa Kỳ).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp phân tích

Các chỉ tiêu phân tích được xác định trong nghiên cứu là:

– Hàm lượng polyphenol tổng số TPC (mg GAE/g chất khô nguyên liệu-CKNL) được xác định bằng phương pháp so màu với acid gallic làm chất chuẩn, thuốc thử Folin-Ciocalteu như chất oxy hóa, xác định màu tại bước sóng 765 nm (Molole et al., 2022).

– Hàm lượng flavonoid tổng TFC (mg QE/100 g CKNL) được xác định bằng việc sử dụng phương pháp đo quang phổ ở bước sóng 415 nm, dựa trên phản ứng hình thành hợp chất phức hợp flavonoid-nhôm (Shraim et al., 2021).

– Hoạt tính kháng oxy hóa TEAC ($\mu\text{mol TE/g CKNL}$) sử dụng phương pháp xác định gốc tự do với chất chuẩn là DPPH (2,2-Diphenyl-1-picrylhydrazyl) và so sánh với Trolox, do sự biến đổi màu từ tím sang vàng nhạt ở bước sóng 517 nm (Baliyan et al., 2022).

– Sự thay đổi màu sắc được xác định hệ màu $L^*a^*b^*$ bằng máy Colorimeter NH300 (ShenZhen Technology Co., Trung Quốc) với hệ số màu CIE bằng đèn D65.

– Độ hoạt động của nước (a_w) của mẫu được xác định bằng thiết bị đo chuyên dụng AQUALAB TDL (Model: AQUALAB TDL 2, METER Group Inc., USA). Tiếp theo, 5 g mẫu được cân và cho vào cốc chứa mẫu, đảm bảo mẫu phủ đều đáy cốc mà không tiếp xúc thành trên. Mẫu được thực hiện ở nhiệt độ phòng ổn định ($25 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$), thời gian đo dao động 10 đến 15 phút tùy vào mức ổn định. Thiết bị sẽ tự động ghi nhận giá trị độ hoạt động của nước khi tín hiệu đạt trạng thái ổn định.

– Độ ẩm (%): Hàm lượng ẩm của mẫu được xác định bằng phương pháp sấy ở nhiệt độ 105°C đến khối lượng không đổi (AOAC 934.06).

Khảo sát nhiệt độ sấy đến hàm lượng polyphenol, flavonoid và khả năng kháng oxy hóa hoạt của bột để nấm ĐTHT

Để nấm ĐTHT tươi sau khi được xử lý như ở mục 2.1 sẽ tiến hành sấy bằng với 4 mức nhiệt độ 50°C , 55°C , 60°C và 65°C đến độ ẩm $\approx 10\%$. Để nấm sau khi sấy để ổn định được sau đó xay nhuyễn và được rây (đường kính lỗ rây 0,5 mm) thu nhận bột nấm và xác định màu sắc, hoạt độ của nước. Bên cạnh đó, bột để nấm được trích ly với dung môi ethanol 70%, tỷ lệ nguyên liệu và dung môi là 1/15 ở nhiệt độ 50°C , thời gian 60 phút (Vy et al., 2020), sau đó xác định hàm lượng polyphenol, flavonoid và khả năng kháng oxy hóa.

Đánh giá sự biến đổi hàm lượng polyphenol, flavonoid và khả năng kháng oxy hóa hoạt và tính chất hóa lý của bột để nấm ĐTHT theo thời gian bảo quản

Để nấm ĐTHT được sấy ở nhiệt độ được lựa chọn cho đến khi đạt độ ẩm khoảng 10%. Sau quá trình sấy, nguyên liệu được ổn định, xay nhuyễn và rây qua lưới có đường kính lỗ 0,5 mm. Bột thu được được đóng gói trong bao bì PE (100 g/túi) và bảo quản ở nhiệt độ $28 \pm 2^{\circ}\text{C}$ (độ ẩm tương đối không khí, 60 - 65%RH). Các chỉ tiêu phân tích bao gồm hàm lượng polyphenol tổng số (TPC), flavonoid tổng số (TFC), hoạt tính chống oxy hóa, thông số màu sắc và hoạt độ nước của bột để nấm ĐTHT.

2.2.2. Phương pháp thu nhận và xử lý số liệu

Thí nghiệm được bố trí với ba lần lặp lại. Số liệu được thu nhận và xử lý thống kê thông qua phân tích phương sai ANOVA từ chương trình Statgraphics Centurion 16.1 để kiểm tra sự khác biệt ý nghĩa giữa các nghiệm thức thông qua LSD (Least Significant Difference) ở mức xác suất $p \leq 0,05$; số liệu được tính toán, trình bày dưới dạng trung bình \pm độ lệch chuẩn và vẽ đồ thị từ chương trình Microsoft Excel 2019.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Thành phần cơ bản của nguyên liệu để nấm ĐTHT:

Các thành phần cơ bản của nguyên liệu như: độ ẩm, màu sắc, độ hoạt động của nước (a_w), các hoạt tính sinh học, là những yếu tố sẽ ảnh hưởng lớn đến chất lượng sản phẩm bột để nấm ĐTHT (ĐTHT). Vì vậy việc xác định thành phần của nguyên liệu ban

đầu là việc quan trọng và cần thực hiện đầu tiên trước khi tiến hành nghiên cứu tiếp theo. Kết quả phân tích nguyên liệu ban đầu được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Thành phần cơ bản của đế nấm ĐTHT tươi

Thành phần	Giá trị (*)
Độ ẩm (%)	74,85±0,70
Độ hoạt động của nước (a _w)	0,984±0,003
Màu sắc	
Độ sáng L*	63,56±0,76
Độ màu a*	6,91±0,73
Độ màu b*	20,07±0,34
Hàm lượng TPC (mg GAE/g CKNL)	3,43±0,28
Hàm lượng TFC (mg QE/100 g CKNL)	36,23±0,80
Hoạt tính TEAC (μmol TE/g CKNL)	34,98±0,89

(*) Giá trị trung bình 3 lần đo

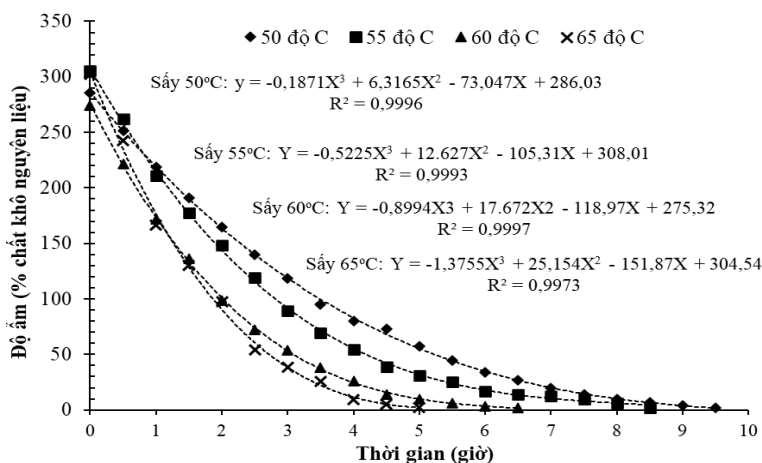
Kết quả được trình bày ở Bảng 1 cho thấy đế ĐTHT tươi có độ ẩm và độ hoạt động của nước khá cao, cụ thể 74,85% ẩm và a_w = 0,984. Do đó, việc bảo quản đế nấm tươi gặp nhiều khó khăn. Để kéo dài thời gian bảo quản, đế nấm thường được sấy đến độ ẩm an toàn. Nguyên liệu đế ĐTHT tươi ban đầu có màu vàng đặc trưng với các thông số đánh giá sự biến đổi màu sắc: độ sáng L* là 63,56, độ màu a* và b* có giá trị lần lượt là 6,91 và 20,07. Bên cạnh đó, đế nấm ĐTHT có chứa nhiều hợp chất sinh học có lợi. Cụ thể, hàm lượng polyphenol tổng là 3,43 (mg GAE/g CKNL), hàm lượng flavonoid tổng là 36,23 (mg QE/100 g CKNL) và hoạt tính kháng oxy hóa là 34,98 (μmol TE/g CKNL). Dựa trên các đặc điểm về độ ẩm và độ hoạt độ của nước lớn, màu sắc đặc trưng và hàm lượng đáng kể các hợp chất sinh học có lợi, có thể khẳng định rằng đây là cơ sở và nền tảng cho việc nghiên cứu nhiệt độ sấy phù hợp nhằm

giảm độ ẩm về mức an toàn, giúp ổn định màu sắc và các hợp chất hoạt tính sinh học trong quá trình chế biến và bảo quản đế nấm ĐTHT.

3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến chất lượng của bột đế ĐTHT

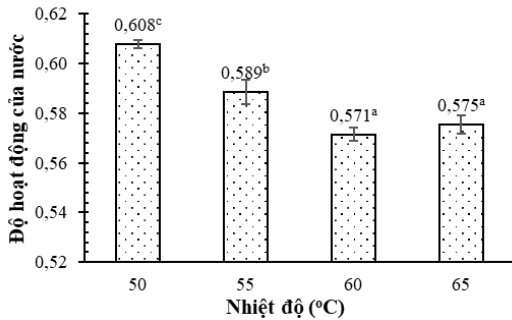
3.1.1. Sự thay đổi màu sắc, độ hoạt động của nước của bột đế ĐTHT trong quá trình sấy

Sự thay đổi nhiệt độ sấy có ảnh hưởng đến thời gian sấy cũng như chất lượng của bột đế ĐTHT. Nhiệt độ sấy tác động đáng kể đến quá trình thoát ẩm (Hình 1). Khi nhiệt độ sấy tăng từ 50°C lên 65°C, thời gian sấy được rút ngắn đáng kể. Cụ thể, ở 50°C, quá trình sấy mất 9,5 giờ để đạt độ ẩm mong muốn, trong khi khi sấy ở 55°C là 8,5 giờ, ở 60°C là 6,5 giờ và ở 65°C thì thời gian sấy chỉ còn 5 giờ. Xu hướng này phù hợp với các nghiên cứu trước đó về ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến tốc độ mất nước và hiệu suất quá trình sấy (Zhang et al., 2022; Chaiya et al., 2021). Trong quá trình sấy, sự chênh lệch áp suất hơi riêng phần giữa bề mặt nguyên liệu và môi trường xung quanh tạo điều kiện cho các phân tử nước trên bề mặt nguyên liệu bốc hơi. Khi nhiệt độ tăng, khả năng truyền nhiệt của tác nhân không khí nóng vào nguyên liệu cũng tăng, thúc đẩy quá trình bay hơi ẩm diễn ra nhanh hơn (Delfiya et al., 2022). Tuy nhiên, việc sấy ở nhiệt độ cao có thể ảnh hưởng đáng kể đến sự biến đổi màu sắc và độ hoạt động của nước trong bột đế ĐTHT. Những tác động này đã được ghi nhận ở Hình 2, Hình 3, Hình 4 và Hình 5, phù hợp với các nghiên cứu về ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến chất lượng sản phẩm thực phẩm (Jędrejko et al., 2021; Chaiya et al., 2021; Zhang et al., 2022).



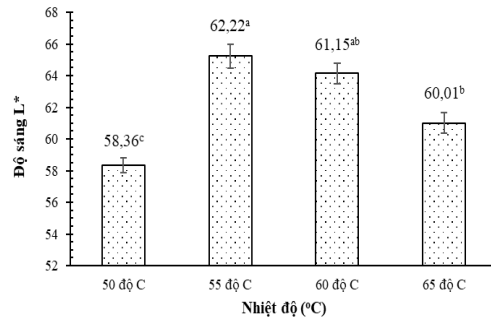
Hình 1. Ảnh của nhiệt độ sấy đến sự thoát ẩm và thời gian sấy đế nấm ĐTHT

Độ hoạt động của nước (a_w) là một trong những yếu tố quan trọng quyết định độ ổn định vi sinh và hóa lý của thực phẩm trong quá trình bảo quản. Giá trị a_w càng thấp giúp hạn chế sự phát triển của vi sinh vật, giảm tốc độ phản ứng oxy hóa lipid và các phản ứng hóa học không mong muốn (Tapia et al, 2020; Rifna et al, 2022). Hầu hết vi khuẩn gây hại không thể phát triển khi a_w dưới 0,6, trong khi nấm men và nấm mốc có thể sinh trưởng trong khoảng a_w từ 0,6 – 0,8. Kết quả nghiên cứu (Hình 2) cho thấy điều kiện sấy có ảnh hưởng đáng kể đến a_w của bột đế ĐTHT. Khi sấy ở 50°C, giá trị a_w đạt 0,608, sau đó giảm xuống còn 0,571 khi nhiệt độ tăng lên 60°C. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng nhiệt độ sấy lên 65°C, a_w tăng nhẹ lên 0,575. Mặc dù sự khác biệt này không có ý nghĩa thống kê, nhưng có thể liên quan đến hiện tượng tái hấp thụ ẩm hoặc sự thay đổi cấu trúc nguyên liệu trong quá trình sấy (Guiné, 2018).

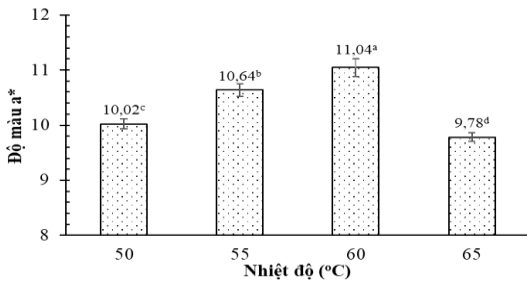


Hình 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến độ hoạt động của nước của bột đế nấm ĐTHT

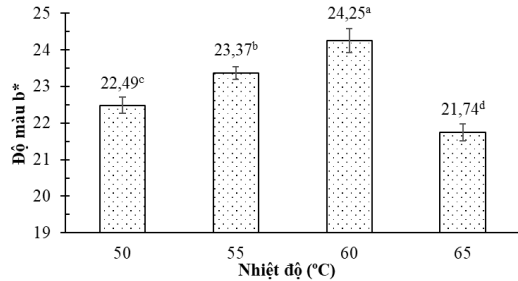
Sự thay đổi a_w theo nhiệt độ sấy có thể được giải thích bởi động học thoát ẩm. Khi nhiệt độ sấy tăng, tốc độ bay hơi nước tự do diễn ra nhanh hơn, dẫn đến giảm giá trị độ hoạt động của nước (Nyangena et al, 2019). Xu hướng này cũng được ghi nhận trong nhiều nghiên cứu về quá trình sấy thực phẩm khác. Talik và & Hubicka (2014) quá trình hydrat hóa và sấy ảnh hưởng đến cấu trúc polysaccharide và thay đổi trạng thái nước trong vật liệu, và dẫn đến thay đổi hoạt độ nước. Ampah et al. (2022) nghiên cứu trên xoài cho thấy khi nhiệt độ tăng từ 55°C lên 75°C, màu sắc, kích thước và chất lượng cảm quan bị ảnh hưởng đáng kể. Nhìn chung, xu hướng giảm a_w khi tăng nhiệt độ sấy là kết quả phổ biến trong nhiều nghiên cứu. Đối với bột đế ĐTHT, sấy ở 60°C giúp đạt giá trị a_w thấp so với các nhiệt độ sấy khác. Sự biến đổi màu sắc cũng là điểm đáng lưu ý, được theo dõi và thể hiện trong Hình 2; Hình 3 và Hình 4.



Hình 3. Giá trị độ sáng L* của bột đế nấm ĐTHT khi sấy ở các nhiệt độ sấy khác nhau



Hình 4. Giá trị độ màu a* ở các nhiệt độ sấy



Hình 5. Giá trị độ màu b* ở các nhiệt độ sấy

Màu sắc đóng vai trò quan trọng trong việc ảnh hưởng đến các thuộc tính cảm quan của sản phẩm. Kết quả nghiên cứu (Hình 3) cho thấy điều kiện sấy có tác động đáng kể đến sự biến đổi màu sắc, đặc biệt là độ sáng (L^*) của sản phẩm. Khi nhiệt độ sấy tăng từ 50°C lên 55°C, độ sáng của bột đế nấm ĐTHT tăng có xu hướng tăng. Tuy nhiên, xu hướng này thay đổi khi nhiệt độ tiếp tục tăng lên 65°C. Cụ thể, tại 50°C, giá trị L^* đạt 58,36, thấp hơn đáng kể

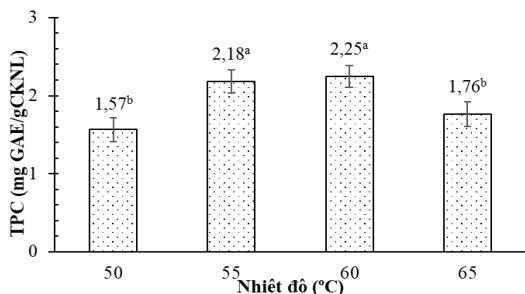
so với mẫu ban đầu. Khi nhiệt độ tăng lên 55°C, độ sáng cũng tăng đáng kể lên 62,22. Tuy nhiên, khi sấy ở 60°C, giá trị này giảm nhẹ còn 61,15 (sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê). Khi tăng nhiệt độ lên 65°C, độ sáng tiếp tục giảm còn 60,01, và sự khác biệt này có ý nghĩa thống kê. Nguyên nhân có thể do thời gian sấy kéo dài, khiến nguyên liệu tiếp xúc với không khí lâu hơn, thúc đẩy hoạt động của enzyme hóa nâu, dẫn đến giảm giá trị L^* (El-

Wahhab et al., 2023). Việc tăng nhiệt độ sấy giúp hạn chế hiện tượng sậm màu, nhưng chỉ đến một mức nhiệt độ nhất định. Trong nghiên cứu này, nhiệt độ sấy thích hợp nằm trong khoảng 55 – 60°C với giá trị L^* cao là $62,22 \pm 0,74$. Kết quả nghiên cứu (Hình 4) cho thấy giá trị a^* thay đổi theo nhiệt độ sấy, với xu hướng tăng khi nhiệt độ tăng từ 50°C lên 60°C, nhưng giảm khi tiếp tục tăng nhiệt độ lên 65°C. Cụ thể, khi sấy ở 50°C, giá trị a^* đạt 10,02, tăng lên mức cao nhất là 11,04 ở 60°C, sau đó giảm xuống còn 9,78 tại 65°C. Kết quả nghiên cứu (Hình 5) cho thấy giá trị b^* thay đổi theo nhiệt độ sấy, với xu hướng tương tự a^* tăng khi nhiệt độ tăng từ 50°C lên 60°C, nhưng giảm khi tiếp tục tăng lên 65°C. Cụ thể, giá trị b^* ở 50°C là 22,49, tăng lên mức cao nhất là 24,25 ở 60°C, sau đó giảm xuống còn 21,74 khi sấy ở 65°C.

Ở nhiệt độ sấy 60°C, thời gian sấy được rút ngắn đáng kể so với 50°C, giúp giảm tiếp xúc với oxy, hạn chế sự phân hủy các sắc tố tự nhiên, đồng thời làm giảm sự hình thành các sắc tố nâu do phản ứng enzyme và không enzyme, từ đó giúp trị được các giá trị L^* , a^* và b^* (Zhang et al., 2024). Xie et al. (2023) cũng ghi nhận rằng giá trị L^* cao hơn ở 60°C so với 65°C, trong khi ở 65°C, dù thời gian sấy ngắn hơn, màu sắc sản phẩm trở nên tối hơn có thể do phản ứng Maillard và sự suy thoái của sắc tố diễn ra mạnh hơn. Tương tự, Lohinova và Petrussha (2023) cho rằng ở nhiệt độ cao, phản ứng Maillard tăng cường làm giảm giá trị a^* do hình thành các hợp chất màu nâu. Kết quả nghiên cứu của Nguyen et al. (2020) về sấy xoài cũng chỉ ra rằng ở 60°C, sắc tố vàng đỏ được bảo toàn tốt nhất, trong khi ở 70°C, màu sắc bị sẫm đi do sự thoái hóa sắc tố tự nhiên.

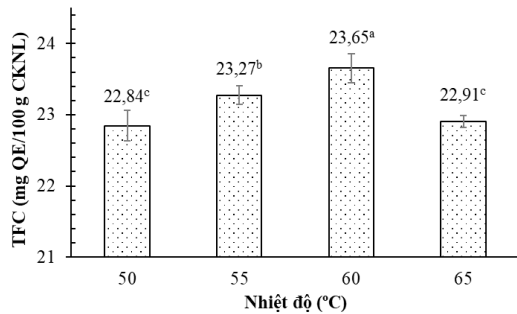
3.1.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng polyphenol, flavonoid, khả năng kháng oxy hóa của bột để nấm ĐHTT

Nhiệt độ sấy ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng polyphenol, flavonoid và khả năng kháng oxy hóa của bột để ĐHTT được thể hiện ở Hình 6.



Hình 6. Hàm lượng TPC ở các nhiệt độ sấy

Kết quả từ Hình 6 cho thấy giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của hàm lượng polyphenol tổng (TPC) trong bột để ĐHTT sấy ở các nhiệt độ khác nhau. Nhìn chung, hàm lượng TPC có sự thay đổi đáng kể khi nhiệt độ sấy thay đổi. Cụ thể, khi tăng nhiệt độ từ 50°C lên 60°C, hàm lượng TPC có xu hướng gia tăng. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng nhiệt độ lên 65°C, giá trị này giảm. Ở nhiệt độ 50°C, hàm lượng TPC đạt 1,57 mg GAE/g CKNL. Khi tăng nhiệt độ lên 55°C và 60°C, giá trị này lần lượt tăng lên 2,18 và 2,25 mg GAE/g CKNL (sự khác biệt giữa hai mức nhiệt này không có ý nghĩa thống kê). Tuy nhiên, khi nhiệt độ sấy đạt 65°C, hàm lượng TPC giảm xuống còn 1,76 mg GAE/g CKNL. Sự biến động của hàm lượng polyphenol theo nhiệt độ sấy có thể được lý giải bằng các cơ chế hóa học và sinh hóa. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng nhiệt độ sấy ảnh hưởng đáng kể đến sự ổn định của các hợp chất polyphenol trong nguyên liệu thực vật. Ở nhiệt độ cao, các hợp chất polyphenol và flavonoid có thể bị phân hủy hoặc biến đổi cấu trúc do tác động nhiệt hoặc quá trình oxy hóa, làm suy giảm hoạt tính sinh học và khả năng chống oxy hóa của sản phẩm (Belwal et al., 2022; Antony & Farid, 2022). Tuy nhiên, nếu nhiệt độ thích hợp, quá trình xử lý nhiệt có thể thúc đẩy sự giải phóng các hợp chất polyphenol liên kết, chuyển đổi các dạng không tan thành dạng hòa tan, hoặc phân hủy lignin để giải phóng các dẫn xuất acid polyphenol và hình thành các hợp chất mới có hoạt tính sinh học cao hơn (Çagalj et al., 2021; Esmaeilzadeh & Razavi, 2022). Do đó, sấy khô không chỉ gây mất mát mà còn có thể làm gia tăng hàm lượng polyphenol và tăng cường khả năng chống oxy hóa trong một số trường hợp (Roslan et al., 2020). Mặc dù vậy, nếu nhiệt độ quá cao, các biến đổi hóa học bất lợi như phân hủy hoặc thoái hóa polyphenol vẫn có thể xảy ra. Ví dụ, nghiên cứu của Nguyen et al. (2022) trên lá ổi rừng cho thấy hoạt tính sinh học giảm dần khi nhiệt độ sấy tăng từ 50°C đến 80°C, trong đó 50°C là nhiệt độ giúp bảo toàn các hợp chất chức năng. Ngược lại, Hoang et al. (2021) ghi nhận rằng nhiệt độ 60°C là mức thích hợp nhất để giữ lại hàm lượng polyphenol và anthocyanin trong quả cây chân danh, cho thấy nhiệt độ sấy có thể khác nhau tùy thuộc vào đặc tính nguyên liệu. Như vậy, có thể thấy rằng nhiệt độ sấy ở 55°C và 60°C giúp duy trì hàm lượng TPC tốt hơn so với các mức nhiệt độ khác, với giá trị cao nhất đạt $2,25 \pm 0,16$ mg GAE/g CKNL.

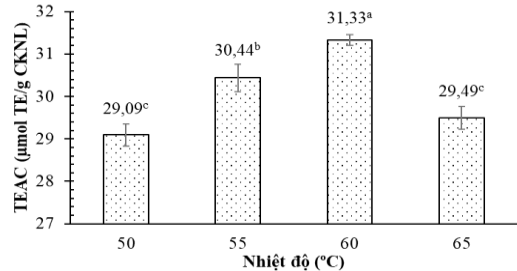


Hình 7. Hàm lượng TFC ở các nhiệt độ sấy

Hình 7 thể hiện giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của hàm lượng flavonoid tổng số (TFC) trong bột để ĐHTT sau khi sấy ở các mức nhiệt độ khác nhau. Kết quả cho thấy hàm lượng TFC cũng bị ảnh hưởng đáng kể bởi nhiệt độ sấy. Khi nhiệt độ sấy tăng từ 50°C lên 60°C, hàm lượng TFC có xu hướng tăng, tuy nhiên, khi tiếp tục tăng lên 65°C, giá trị này lại có xu hướng giảm. Cụ thể, ở 50°C, hàm lượng TFC đạt 22,84 mg QE/100 g CKNL; khi tăng nhiệt độ sấy lên 60°C, giá trị này tăng lên 23,65 mg QE/100 g CKNL. Tuy nhiên, khi tiếp tục nâng nhiệt độ lên 65°C, hàm lượng TFC giảm xuống còn 22,91 mg QE/100 g CKNL. Sự thay đổi này có thể được lý giải bởi hai yếu tố chính. Thứ nhất, quá trình sấy có thể thúc đẩy sự giải phóng flavonoid từ các cấu trúc liên kết, dẫn đến sự gia tăng hàm lượng flavonoid tổng số trong giai đoạn đầu của quá trình sấy (Zhang et al., 2022). Kết quả ở một số nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, việc sấy ở nhiệt độ phù hợp có thể làm tăng hoạt tính sinh học do sự phá vỡ cấu trúc tế bào, giúp các hợp chất polyphenol và flavonoid dễ dàng hòa tan và hấp thụ hơn (Vega-Gálvez et al., 2009). Tuy nhiên, ở nhiệt độ cao hơn, các phản ứng oxy hóa và thoái hóa nhiệt có thể xảy ra, làm phá hủy cấu trúc flavonoid, dẫn đến sự suy giảm hàm lượng hoạt chất sinh học (ElGamal et al., 2023). Kết quả này cũng phù hợp với nghiên cứu của Hoang et al. (2021) khi khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ sấy lên hàm lượng flavonoid tổng số trong lá và vỏ cây chân danh, cho thấy sự suy giảm hàm lượng flavonoid khi nhiệt độ sấy cao. Như vậy có thể kết luận rằng, nhiệt độ sấy 60°C là mức nhiệt duy trì hàm lượng flavonoid tổng số trong bột để ĐHTT, với giá trị cao nhất đạt 23,65±0,20 mg QE/100 g CKNL.

Hình 8 thể hiện giá trị trung bình và độ lệch chuẩn của hoạt tính kháng oxy hóa (TEAC) trong bột để ĐHTT sau quá trình sấy ở các mức nhiệt độ khác nhau. Kết quả cho thấy hàm lượng TEAC cũng bị ảnh hưởng đáng kể bởi nhiệt độ sấy. Khi nhiệt độ tăng từ 50°C lên 60°C, hoạt tính kháng oxy hóa có

xu hướng tăng, tuy nhiên, khi tiếp tục tăng nhiệt độ lên 65°C, giá trị này lại có xu hướng suy giảm. Cụ thể, tại 50°C, hàm lượng TEAC đạt 29,09 μmol TE/g CKNL; khi tăng nhiệt độ lên 60°C, giá trị này tăng lên 31,33 μmol TE/g CKNL. Tuy nhiên, khi tiếp tục nâng nhiệt độ lên 65°C, hàm lượng TEAC giảm xuống còn 29,49 μmol TE/g CKNL.



Hình 8. Hàm lượng TEAC ở các nhiệt độ sấy khác nhau

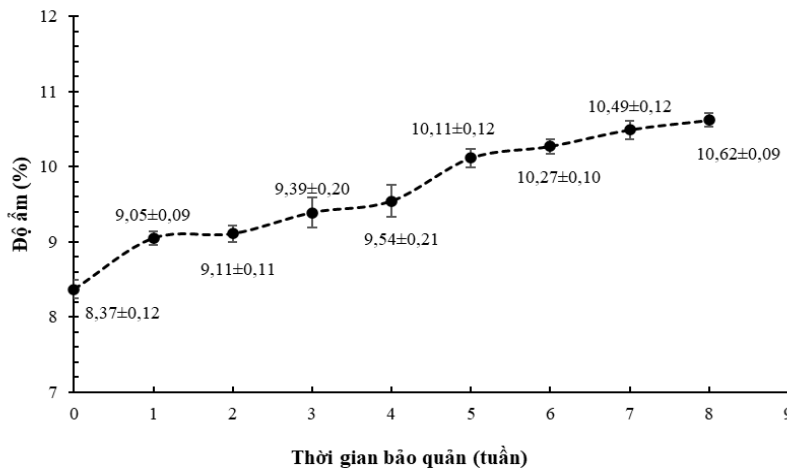
Sự biến động này có thể được giải thích bởi mối tương quan chặt chẽ giữa hoạt tính chống oxy hóa và sự thay đổi hàm lượng polyphenol tổng số (TPC) cũng như flavonoid tổng số (TFC). Theo các nghiên cứu trước đây, các hợp chất polyphenol và flavonoid đóng vai trò quan trọng trong khả năng kháng oxy hóa của thực vật (Vega-Gálvez et al., 2009). Khi nhiệt độ sấy tăng trong một giới hạn nhất định, sự phá vỡ cấu trúc tế bào có thể làm giải phóng các hợp chất polyphenol và flavonoid liên kết, giúp tăng cường hoạt tính chống oxy hóa (ElGamal et al., 2023). Tuy nhiên, khi nhiệt độ quá cao hoặc thời gian sấy kéo dài, các hợp chất này có thể bị phân hủy hoặc oxy hóa, dẫn đến sự suy giảm hàm lượng và hoạt tính sinh học. Hơn nữa, sự tiếp xúc lâu dài với oxy trong quá trình sấy có thể thúc đẩy phản ứng oxy hóa không mong muốn, làm giảm đáng kể hiệu quả chống oxy hóa của sản phẩm (ElGamal et al., 2023). Mặc dù việc xử lý nhiệt có thể kích thích hình thành các hợp chất có hoạt tính sinh học mới đã được chỉ ra ở một số nghiên cứu, chẳng hạn như melanoidins từ phản ứng Maillard, giúp cải thiện khả năng kháng oxy hóa (Vhangani & Van Wyk, 2021), nhưng nếu nhiệt độ sấy cao, cấu trúc polyphenol có thể bị phá hủy, làm giảm hàm lượng hoạt chất sinh học trong sản phẩm cuối cùng (Hoang et al., 2021). Kết quả nghiên cứu này cho thấy rằng nhiệt độ sấy 60°C là mức có thể cân bằng giữa việc duy trì hàm lượng polyphenol, flavonoid và hoạt tính chống oxy hóa, với các giá trị TPC, TFC và TEAC lần lượt đạt 2,25±0,14 mg GAE/g CKNL, 22,91±0,08 mg QE/100 g CKNL và 31,33±0,13 μmol TE/g CKNL.

3.2. Ảnh hưởng của thời gian bảo quản đến chất lượng bột để nấm ĐTHT

3.2.1. Sự thay đổi màu sắc, độ ẩm, a_w của bột để ĐTHT theo thời gian bảo quản

Nước đóng vai trò quan trọng trong việc duy trì sự ổn định của thực phẩm trong suốt quá trình bảo quản. Hàm lượng nước có mối liên hệ mật thiết với sự phát triển của vi sinh vật, các biến đổi hóa học

cũng như những phản ứng sinh hóa xảy ra bên trong sản phẩm (Maria et al., 2020). Kết quả được trình bày trong Hình 9 cho thấy độ ẩm của bột để ĐTHT có xu hướng tăng trong thời gian bảo quản 8 tuần do quá trình cân bằng ẩm giữa bột để nấm và điều kiện môi trường bảo quản. Cụ thể, ban đầu bột để ĐTHT có độ ẩm 8,37% (CBU), nhưng sau 8 tuần bảo quản, giá trị này tăng lên 10,62% (CBU).



Hình 9. Sự thay đổi độ ẩm theo thời gian bảo quản

Nguyên nhân chính của sự gia tăng này là do quá trình hấp thụ ẩm từ môi trường không khí có độ ẩm tương đối cao, dẫn đến hiện tượng cân bằng ẩm giữa thực phẩm và không khí xung quanh. Mặc dù bột đã được sấy đến độ ẩm an toàn ban đầu, nhưng bao bì không có khả năng chống thấm ẩm tốt và môi trường bảo quản có độ ẩm tương đối cao (60 - 65 %RH), sản phẩm vẫn có nguy cơ hấp thụ ẩm trở lại trong

suốt thời gian lưu trữ (Cheng et al., 2022; Maria et al., 2020). Quá trình hấp thụ ẩm này không chỉ làm thay đổi chất lượng vật liệu mà còn ảnh hưởng đáng kể đến các chỉ tiêu hóa lý và vi sinh khác của bột để ĐTHT theo thời gian bảo quản. Sự biến đổi này được thể hiện rõ qua các chỉ số được trình bày trong Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 2. Sự thay đổi của hoạt độ nước (a_w) và màu sắc theo thời gian bảo quản

Thời gian (tuần)	Độ hoạt động của nước (a_w)	Màu sắc		
		Độ sáng L*	Độ màu a*	Độ màu b*
0	0,572±0,007	61,83±0,09 ^a	10,16±0,04 ^a	24,07±0,27 ^a
1	0,577±0,004	61,50±0,27 ^{ab}	10,19±0,13 ^{ab}	24,21±0,01 ^{ab}
2	0,610±0,001	61,40±0,18 ^{ab}	10,24±0,16 ^{ab}	24,27±0,13 ^{abc}
3	0,621±0,001	61,35±0,31 ^{ab}	10,30±0,05 ^{abc}	24,31±0,26 ^{abc}
4	0,633±0,002	61,31±0,25 ^{ab}	10,36±0,11 ^{bcd}	24,32±0,25 ^{abc}
5	0,640±0,001	61,30±0,15 ^{ab}	10,44±0,15 ^{cde}	24,45±0,09 ^{abcd}
6	0,652±0,003	61,17±0,60 ^b	10,49±0,13 ^{de}	24,58±0,34 ^{bcd}
7	0,655±0,003	60,47±0,40 ^c	10,62±0,09 ^e	24,62±0,28 ^{cd}
8	0,662±0,004	59,53±0,46 ^d	10,87±0,01 ^f	24,76±0,28 ^d

Các giá trị trung bình có cùng chữ cái đi kèm a, b, c trong cùng một cột thì không khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Màu sắc là một trong những yếu tố cảm quan quan trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến mức độ chấp

nhận của người tiêu dùng đối với sản phẩm thực phẩm (Muniz et al., 2023). Ngoài ra, sự hấp thụ ẩm

trong quá trình bảo quản có thể làm tăng hàm lượng nước trong sản phẩm, kéo theo sự gia tăng hoạt độ nước (a_w), điều này đồng nghĩa với việc rút ngắn thời gian bảo quản do sự phát triển của vi sinh vật và các biến đổi hóa lý không mong muốn (Aslan & Ertaş, 2020). Kết quả được trình bày trong Bảng 2 cho thấy giá trị a_w của bột để ĐTHT có xu hướng tăng theo thời gian bảo quản, từ 0,572 lúc ban đầu lên 0,692 sau 8 tuần, với sự khác biệt có ý nghĩa thống kê. Mặc dù trong 8 tuần bảo quản, a_w vẫn nằm trong ngưỡng an toàn, nhưng nếu thời gian bảo quản kéo dài hơn, nguy cơ phát triển vi sinh vật và các biến đổi hóa lý sẽ tăng cao, làm ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm (Aslan & Ertaş, 2020).

Về chỉ tiêu màu sắc, kết quả cho thấy độ sáng (L^*) của bột có xu hướng giảm theo thời gian bảo quản và có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê so với thời điểm ban đầu. Tuy nhiên, trong 5 tuần đầu tiên, giá trị này không thay đổi đáng kể, từ $61,83 \pm 0,09$ xuống $61,30 \pm 0,15$. Điều này có thể do điều kiện bảo quản hạn chế tiếp xúc với ánh sáng, giúp giảm thiểu sự biến đổi màu sắc do quá trình oxy hóa hoặc phân hủy sắc tố tự nhiên (Rodríguez-Mena et al., 2023).

Chỉ số màu đỏ (a^*) của bột không có sự thay đổi đáng kể trong 3 tuần đầu tiên, nhưng sau đó có xu hướng tăng dần, từ $10,16 \pm 0,04$ lên $10,87 \pm 0,01$ sau 8 tuần bảo quản. Tuy nhiên, trong khoảng thời gian từ tuần thứ 3 đến tuần thứ 6, sự thay đổi này không có ý nghĩa thống kê. Tương tự, chỉ số màu vàng (b^*) cũng có xu hướng tăng từ $24,07 \pm 0,27$ lên $24,76 \pm 0,28$ sau 8 tuần, với sự khác biệt không đáng kể trong khoảng thời gian từ tuần thứ 5 đến tuần thứ 8.

Từ những kết quả trên, có thể kết luận rằng bột để ĐTHT có xu hướng thay đổi màu sắc sau 8 tuần bảo quản. Trong 5 tuần đầu tiên, sản phẩm vẫn giữ được các giá trị L^* , a^* , b^* ổn định lần lượt là $61,30 \pm 0,15$, $10,44 \pm 0,15$ và $24,31 \pm 0,26$. Điều này cho thấy thời gian bảo quản để duy trì chất lượng cảm quan của bột để ĐTHT là khoảng 5 tuần, sau đó cần có biện pháp kiểm soát độ ẩm và điều kiện bảo quản phù hợp để hạn chế sự suy giảm chất lượng sản phẩm.

3.2.2. Sự thay đổi hàm lượng polyphenol, flavonoid, khả năng kháng oxy hóa của bột để ĐTHT theo thời gian bảo quản

Error! Reference source not found. trình bày sự thay đổi của hàm lượng polyphenol tổng (TPC), flavonoid tổng (TFC) và hoạt tính chống oxy hóa (TEAC) của bột để ĐTHT trong 8 tuần bảo quản.

Kết quả cho thấy, hàm lượng TPC có xu hướng giảm dần theo thời gian bảo quản. Cụ thể, tại thời điểm ban đầu (tuần 0), TPC đạt giá trị $2,14 \pm 0,02$ mg GAE/g CKNL, nhưng sau 8 tuần, giá trị này giảm còn $1,91 \pm 0,08$ mg GAE/g CKNL. Sự suy giảm này có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$), đặc biệt sau tuần thứ 6. Nguyên nhân có thể là do sự oxy hóa polyphenol hoặc sự tương tác với các thành phần khác trong điều kiện bảo quản (Nguyen et al., 2022). Hiện tượng tương tự cũng đã được ghi nhận trong nghiên cứu của Zhang et al. (2021) khi bảo quản bột mì ở các điều kiện nhiệt độ khác nhau. Kết quả cho thấy TPC giảm đáng kể khi thời gian bảo quản kéo dài, đặc biệt ở điều kiện có độ ẩm cao.

Bảng 2. Sự thay đổi hoạt tính sinh học trong bột để ĐTHT theo thời gian bảo quản

Thời gian (tuần)	TPC (mg GAE/g CKNL)	TFC (mg QE/100 g CKNL)	TEAC ($\mu\text{mol TE/g CKNL}$)
0	$2,14 \pm 0,02^a$	$23,63 \pm 0,39^a$	$32,64 \pm 0,88^a$
1	$2,11 \pm 0,03^{ab}$	$23,59 \pm 0,24^a$	$31,87 \pm 0,63^{ab}$
2	$2,11 \pm 0,03^{ab}$	$23,54 \pm 0,43^{ab}$	$31,34 \pm 0,77^{abc}$
3	$2,11 \pm 0,02^{ab}$	$23,48 \pm 0,38^{abc}$	$31,21 \pm 0,97^{bc}$
4	$2,11 \pm 0,01^{ab}$	$23,44 \pm 0,13^{abc}$	$31,18 \pm 0,85^{bc}$
5	$2,10 \pm 0,03^{ab}$	$23,29 \pm 0,11^{abc}$	$31,13 \pm 0,42^{bcd}$
6	$2,06 \pm 0,02^b$	$23,22 \pm 0,17^{abc}$	$30,86 \pm 0,80^{bcd}$
7	$1,94 \pm 0,07^b$	$23,10 \pm 0,26^{bc}$	$30,07 \pm 0,97^{cd}$
8	$1,91 \pm 0,08^b$	$23,01 \pm 0,21^c$	$29,85 \pm 0,44^d$

Các giá trị trung bình có cùng chữ cái đi kèm a, b, c trong cùng một cột thì không khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức 5%.

Tương tự, hàm lượng TFC cũng giảm nhẹ theo thời gian bảo quản. Mặc dù trong 6 tuần đầu, sự thay đổi không có ý nghĩa thống kê lớn ($p > 0,05$), nhưng đến tuần thứ 8, TFC giảm từ $23,63 \pm 0,39$ xuống còn $23,01 \pm 0,21$ mg QE/100 g CKNL. Sự suy giảm này có thể do quá trình oxy hóa flavonoid khi tiếp xúc với oxy hoặc độ ẩm tăng trong quá trình bảo quản (Al-Dabbas et al., 2023). Theo nghiên cứu của Cao et al. (2021), flavonoid có thể bị biến đổi cấu trúc trong điều kiện bảo quản kéo dài, đặc biệt khi có sự hiện diện của ánh sáng hoặc oxy. Điều này làm giảm hoạt tính sinh học của hợp chất này theo thời gian.

Hoạt tính chống oxy hóa (TEAC) cũng có xu hướng giảm theo thời gian. Giá trị TEAC ban đầu là $32,64 \pm 0,88$ $\mu\text{mol TE/g CKNL}$, nhưng giảm còn $29,85 \pm 0,44$ $\mu\text{mol TE/g CKNL}$ sau 8 tuần. Sự suy giảm này có ý nghĩa thống kê từ tuần thứ 3 trở đi ($p < 0,05$). Điều này có thể là do sự suy thoái của các hợp chất chống oxy hóa, đặc biệt là polyphenol và flavonoid, trong điều kiện bảo quản kéo dài (Ongprasert et al., 2021). Zhang et al. (2019) cũng

cho thấy rằng ảnh hưởng của thời gian bảo quản lên hoạt tính chống oxy hóa của bột trà xanh, với mức độ suy giảm đáng kể sau 6 tuần do các phản ứng oxy hóa và polymer hóa hợp chất polyphenol.

Nhìn chung, sự suy giảm TPC, TFC và TEAC trong quá trình bảo quản là không thể tránh khỏi, nhưng mức độ suy giảm không quá lớn trong 6 tuần đầu. Điều này cho thấy, thời gian bảo quản thích hợp trong nghiên cứu này là 6 tuần. Sau thời gian này, sự mất mát về polyphenol, flavonoid và khả năng chống oxy hóa trở nên đáng kể. Kết quả này phù hợp với nghiên cứu của Lavefve et al. (2020), trong đó khuyến nghị thời gian bảo quản tối ưu cho các sản phẩm bột giàu polyphenol là dưới 8 tuần để tránh sự suy giảm hoạt tính sinh học quá mức.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Al-Dabbas, M. M., Moumneh, M., Hamad, H. J., Abughoush, M., Abuawad, B., Al-Nawasrah, B.A. A. & Iqbal, S. (2023). Impact of Processing and Preservation Methods and Storage on Total Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Activities of Okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *Foods*, 12(19), 3711. <https://doi.org/10.3390/foods12193711>
- Ampah, J., Dzisi, K. A., Addo, A., Bart-Plange, A. (2022). Drying kinetics and chemical properties of mango. *International Journal of Food Science*, 2022(1), 6243228. <https://doi.org/10.1155/2022/6243228>.
- Antony, A., & Farid, M. (2022). Effect of temperatures on polyphenols during extraction. *Applied Sciences*, 12(4), 2107. <https://doi.org/10.3390/app12042107>.
- AOAC. (2005). *Official Method 934.06: Moisture in dried fruits*. In W. Horwitz & G. W. Latimer Jr. (Eds.), *Official methods of analysis of AOAC International* (18th ed., Rev. 2). AOAC International.
- Aslan, M., & Ertaş, N. (2020). Foam drying of aquafaba: Optimization with mixture design. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(3), e15185. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15185>.
- Bai, X., Tan, T. Y., Li, Y. X., Li, Y., Chen, Y. F., Ma, R., Wang, S. Y., Li, Q., & Liu, Z. Q. (2020). The protective effect of cordyceps sinensis extract on cerebral ischemic injury via modulating the mitochondrial respiratory chain and inhibiting the mitochondrial apoptotic pathway. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 124, 109834. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.109834>
- Baliyan, S., Mukherjee, R., Priyadarshini, A., Vibhuti, A., Gupta, A., Pandey, R. P., & Chang, C. M. (2022). Determination of Antioxidants by DPPH Radical Scavenging Activity and Quantitative Phytochemical Analysis of *Ficus religiosa*. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(4), 1326. <https://doi.org/10.3390/molecules27041326>.
- Belwal, T., Cravotto, C., Prieto, M. A., Venskutonis, P. R., Daglia, M., Devkota, H. P., Baldi, A., Ezzat, S. M., Gómez-Gómez, L., Salama, M. M., Campone, L., Rastrelli, L., Echave, J., Jafari, S. M., & Cravotto, G. (2022). Effects of different drying techniques on the quality and bioactive compounds of plant-based products: A critical review on current trends. *Drying Technology*, 40(8), 1539-1561. <https://doi.org/10.1080/07373937.2022.2068028>.
- Čagalj, M., Skroza, D., Tabanelli, G., Özogul, F., & Šimat, V. (2021). Maximizing the antioxidant capacity of *Padina pavonica* by choosing the right drying and extraction methods. *Processes*, 9(4), 587. <https://doi.org/10.3390/pr9040587>.
- Cao, H., Saroglu, O., Karadag, A., Diaconeasa, Z., Zoccatelli, G., Conte-Junior, C. A., Gonzalez-Aguilar, G. A., Ou, J., Bai, W., Zamarioli, C. M., de Freitas, L. A. P., Shpigelman, A., Campelo, P. H., Capanoglu, E., Hii, C. L., Jafari, S. M., Qi, Y., Liao, P., Wang, M., Zou, L., Bourke, P., Simal-Gandara, J., & Xiao, J. (2021). Available technologies on improving the stability of polyphenols in food processing. *Food Frontiers*, 2(2), 109-139. <https://doi.org/10.1002/fft2.65>.
- Chaiya, D., Phungamngoen, C., Eadmusik, S., Sriwichai, W., & Subcharoen, E. (2021). Pretreatment enhanced the physical and antioxidant stability of dried *Cordyceps militaris*

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy nhiệt độ sấy ảnh hưởng đến hàm lượng polyphenol, flavonoid và hoạt tính chống oxy hóa của bột để nắm ĐTHT. Nhiệt độ sấy 60°C cho hiệu quả với giá trị TPC, TFC và TEAC lần lượt là 2,25±0,14 mg GAE/g CKNL, 22,91±0,08 mg QE/100 g CKNL và 31,33±0,13 μmol TE/g CKNL. Trong quá trình bảo quản ở 28±2°C, các chỉ tiêu này có xu hướng giảm nhẹ, trong khi độ ẩm, hoạt độ nước và chỉ số màu (L*, a*, b*) biến động theo hướng phản ánh quá trình hấp thụ ẩm và oxy hóa. Vì vậy, bao bì có khả năng chống ẩm và ngăn cản ánh sáng tốt nên được sử dụng, hạn chế sự tái hấp thụ ẩm dẫn đến biến đổi màu. Các nghiên cứu tiếp theo khi được thực hiện nên tập trung đánh giá loại bao bì có tính rào cản cao giúp bảo quản lâu hơn.

- by different drying conditions. *In E3S Web of Conferences*, 302, 02005.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130202005>.
- Cheng, H., Xu, H., McClements, D. J., Chen, L., Jiao, A., Tian, Y., Miao, M., & Jin, Z. (2022). Recent advances in intelligent food packaging materials: Principles, preparation and applications. *Food Chemistry*, 375, 131738.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131738>.
- Chou, Y. C., Sung, T. H., Hou, S. J., Khumsupan, D., Santoso, S. P., Cheng, K.C., & Lin, S. P. (2024). Current Progress Regarding *Cordyceps militaris*, Its Metabolite Function, and Its Production. *Applied Sciences*, 14(11), 4610.
<https://doi.org/10.3390/app14114610>.
- Delfiya, D. A., Prashob, K., Murali, S., Alfiya, P. V., Samuel, M. P., & Pandiselvam, R. (2022). Drying kinetics of food materials in infrared radiation drying: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 45(6), e13810.
<https://doi.org/10.1111/jfpe.13810>.
- ElGamal, R., Song, C., Rayan, A. M., Liu, C., Al-Rejaie, S., & ElMasry, G. (2023). Thermal degradation of bioactive compounds during drying process of horticultural and agronomic products: A comprehensive overview. *Agronomy*, 13(6), 1580.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13061580>.
- El-Wahhab, G. G., Sayed, H. A. A., Abdelhamid, M. A., Zaghloul, A., Nasr, A., Nagib, A., Bourouah, M., Abd-ElGawad, A. M., Rashad, Y. M., Hafez, M., & Taha, I. M. (2023). Effect of Pre-Treatments on the Qualities of Banana Dried by Two Different Drying Methods. *Sustainability*, 15(20), 15112.
<https://doi.org/10.3390/su152015112>.
- Esmacilzadeh, K. R., & Razavi, R. (2022). Phenolic profile and antioxidant activity of free/bound phenolic compounds of sesame and properties of encapsulated nanoparticles in different wall materials. *Food science & Nutrition*, 10(2), 525-535.
<https://doi.org/10.1002/fsn3.2712>.
- Guiné, R. (2018). The drying of foods and its effect on the physical-chemical, sensorial and nutritional properties. *International Journal of Food Engineering*, 4(2), 93-100.
<https://doi.org/10.18178/ijfe.4.2.93-100>.
- Hoang, H. L., Hoang, C. V., Nguyen, D. H., Nguyen, V. Q. (2021). Effect of drying methods on the contents of bioactive components and biological activities of leaves and trunk-bark of *eunonymus laxiflorus champ*. Collected in yok don national park, dak lak province. *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, 19(2), 1-6 (in Vietnamese).
- Jędrejko, K. J., Lazur, J., & Muszyńska, B. (2021). *Cordyceps militaris*: An Overview of Its Chemical Constituents in Relation to Biological Activity. *Foods*, 10(11), 2634.
<https://doi.org/10.3390/foods10112634>.
- Kontogiannatos, D., Koutrotsios, G., Xekalaki, S., & Zervakis, G. I. (2021). Biomass and *Cordyceps* Production by the Medicinal Mushroom *Cordyceps militaris*-A Review of Various Aspects and Recent Trends towards the Exploitation of a Valuable Fungus. *Journal of fungi (Basel, Switzerland)*, 7(11), 986.
<https://doi.org/10.3390/jof7110986>.
- Lavefve, L., Brownmiller, C., Howard, L., Reeves, D., Adams, S. H., Chen, J. R., Diaz, E. C., & Mauromoustakos, A. (2020). Changes in Polyphenolics during Storage of Products Prepared with Freeze-Dried Wild Blueberry Powder. *Foods (Basel, Switzerland)*, 9(4), 466.
<https://doi.org/10.3390/foods9040466>.
- Li, S. P., Yang, F. Q., Tsim, K. W. K. (2006). Quality control of *Cordyceps sinensis*, a valued traditional Chinese medicine. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41(5), 1571–1584.
<https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.01.046>
- Ling, J.-Y., Sun, Y.-J., Zhang, H., Lv, P., & Zhang, Z.-K. (2002). Measurement of cordycepin and adenosine in stroma of *Cordyceps* sp. by capillary zone electrophoresis (CZE). *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 94(4), 371–374.
[https://doi.org/10.1016/S1389-1723\(02\)80181-5](https://doi.org/10.1016/S1389-1723(02)80181-5)
- Lohinova, A., & Petrusha, O. (2023). Maillard reaction in food technologies. *Ukrainian Journal of Food Science*, 11(2), 81-109.
<https://doi.org/10.24263/2310-1008-2023-11-2-4>.
- Manalu, L. P., Adinegoro, H., Yustiningsih, N., Astuti, Luthfiyanti, R., Maisaroh, Purwanto, W., Subandrio, Pongtuluran, Q. B., Atmaji, P., Hidayat, T., Henanto, H., Asgar, A., Nasori, A. S., Triyono, A., Elya, B., Arif, A. B. (2025). Impact of Drying Methods on Bioactive Compounds and Antioxidant Properties of *Kalanchoe ceratophylla*. *Scientifica*, 25(1), 01-12.
<https://doi.org/10.1155/sci5/7146758>.
- Maria, S. T., Stella, M. A., & Jorge, C. (2020). Effects of water activity (a_w) on microbial stability as a hurdle in food preservation. In G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana Jr., S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (Eds.), *Water activity in foods: Fundamentals and applications* (2nd ed., Chapter 14). Wiley-Blackwell.
<https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch14>.
- Molole, G. J., Gure, A., & Abdissa, N. (2022). Determination of total phenolic content and antioxidant activity of *Commiphora mollis* (Oliv.) Engl. resin. *BMC Chemistry*, 16, 48.
<https://doi.org/10.1186/s13065-022-00841-x>.

- Muniz, V. R. G. D. F., Ribeiro, I. S., Beckmam, K. R. L., & Godoy, R. C. B. D. (2023). The impact of color on food choice. *Brazilian Journal of Food Technology*, 26, e2022088. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.08822>.
- Nyangena, I., Owino, W., Ambuko, J., & Imathiu, S. (2019). Effect of selected pretreatments prior to drying on physical quality attributes of dried mango chips. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 3854–3863. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03857-9>.
- Nguyen, Q. V., Bui Thi, B. H., Tran, M. D., Nguyen, M. T., Doan, M. D., Nguyen, A. D., Le, T. M., 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), 1–10. <https://doi.org/10.1177/1934578X221095349>.
- Nguyen, T. T., & Chuyen, N. V. (2020). Drying techniques and their effects on bioactive compounds in plants: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(9), 2553–2571 (in Vietnamese).
- Tran, N.T.Y., Dao, P.T., Tran, L.T. K., Nguyen, D. D., Ung, D. T., Huynh, B. L., Mai, C., Nguyen, T. T., Nguyen, V. A., Huynh, L. B., Mai, C.H., Nguyen, D. T., Nguyen, A.V., Huynh, P. H & Tran, Q. N. (2021). Effects of convection drying temperature on phytochemicals in pomelo's flavedo (*Citrus maxima* Burm. Merr.). *Can Tho University Journal of Science*, 57, 177–182. <https://doi.org/10.22144/ctu.jsci.2021.020> (In Vietnamese).
- Ontawong, A., Pengnet, S., Thim-Uam, A., Chiranthanut, N., Srimachai, S., & Usuwanthim, K. (2024). A randomized controlled clinical trial examining the effects of *Cordyceps militaris* beverage on the immune response in healthy adults. *Scientific Reports*, 14, 7994. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-58742-z>.
- Onprasert, K., Siviroj, P., Ruangsuriya, J., Malasao, R., Phanpong, C., & Limtrakul, D. (2021). Stability of the Trolox Equivalent Antioxidant Capacity (TEAC) of Human Milk Frozen at –20 C for 6 Months. *Journal of Food and Nutrition Research*, 9(4), 199-205. <https://doi.org/10.12691/jfnr-9-4-5>.
- Phull, A. R., Ahmed, M., & Park, H. J. (2022). Cordyceps militaris as a Bio Functional Food Source: Pharmacological Potential, Anti-Inflammatory Actions and Related Molecular Mechanisms. *Microorganisms*, 10(2), 405. <https://doi.org/10.3390/microorganisms10020405>.
- Rawat, R., Gupta, A., & Tripathi, N. (2024). Cordyceps militaris as an alternative source of food, nutrition and medicine. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 22(1), 1600-1620. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2024.22.1.0767>.
- Rifna, E. J., Dwivedi, M., & Chauhan, O. P. (2022). Role of water activity in food preservation. In *Advances in food chemistry: Food components, processing and preservation* (pp. 39–64). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4796-4_2.
- Rodríguez-Mena, A., Ochoa-Martínez, L. A., González-Herrera, S. M., Rutiaga-Quiñones, O. M., González-Laredo, R. F., & Olmedilla-Alonso, B. (2023). Natural pigments of plant origin: Classification, extraction and application in foods. *Food Chemistry*, 398, 133908. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133908>.
- Roslan, A. S., Ismail, A., Ando, Y., & Azlan, A. (2020). Effect of drying methods and parameters on the antioxidant properties of tea (*Camellia sinensis*) leaves. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-00022-0>
- Sharma, H., Sharma, N., & An, S. S. A. (2023). Unique Bioactives from Zombie Fungus (Cordyceps) as Promising Multitargeted Neuroprotective Agents. *Nutrients*, 16(1), 102. <https://doi.org/10.3390/nu16010102>.
- Shraim, A. M., Ahmed, T. A., Rahman, M. M., & Hijji, Y. M. (2021). Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: A critical evaluation. *Lwt-Food Science and Technology*, 150, 111932. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932>.
- Smiderle, F. R., Sasaki, G. L., Van Griensven, L. J. L. D., & Iacomini, M. (2013). Isolation and chemical characterization of a glucogalactomannan of the medicinal mushroom Cordyceps militaris. *Carbohydrate Polymers*, 97(1), 74–80. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.04.049>
- Talik, P., & Hubicka, U. (2014). Hydration and drying of various polysaccharides studied using DSC. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 115(2), 1257–1264. <https://doi.org/10.1007/s10973-013-2946-1>
- Tapia, M. S., Alzamora, S. M., & Chirife, J. (2020). Effects of water activity (a_w) on microbial stability as a hurdle in food preservation. In G. V. Barbosa-Cánovas, A. J. Fontana Jr., S. J. Schmidt, & T. P. Labuza (Eds.), *Water Activity in Foods: Fundamentals and Applications* (2nd ed., Chapter 14). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118765982.ch14>.
- Truong, Q. T., Phung, T. T. L., Nguyen, T. P. T., & Nguyen, D. K. (2021). The effects of drying temperature on the content of polyphenol compounds, carotenoids, chlorophyll pigmented

- and antioxidant activity of the “rau cang cua” (*Peperomia pellucida* L.) collected in Tien Giang Province. *Ho Chi Minh City Open University Journal of Science, Ho Chi Minh City Open University*, 16(1), 25–33 (in Vietnamese). <https://doi.org/10.46223/HCMCOUJS.tech.vi.16.1.1891.2021>.
- Vega-Gálvez, A., Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemus-Mondaca, R., Miranda, M., López, J., & Pérez-Won, M. (2009). Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry*, 117(4), 647–653. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.05.014>
- Vhangani, L. N., & Van Wyk, J. (2021). Heated plant extracts as natural inhibitors of enzymatic browning: A case of the Maillard reaction. *Journal of Food Biochemistry*, 45(2), e13611. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13611>
- Vy, D. T. T., Truc, T. T., & Muoi, N. V. (2020). Impacts of the concentration and ratio of used solvent on the solubility of antioxidant compounds from Nam Roi pomelo peel powder. *Journal of Industry and Trade*, (24), 51–56.
- Wang, M., Meng, X., Yang, R., Qin, T., Li, Y., Zhang, L., Fei, C., Zhen, W., Zhang, K., Wang, X., Hu, Y., & Xue, F. (2013). Cordyceps militaris polysaccharides can improve the immune efficacy of Newcastle disease vaccine in chicken. *International Journal of Biological Macromolecules*, 59, 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.04.007>
- Wen, Y.-L., Yan, L.-P., & Chen, C.-S. (2013). Effects of fermentation treatment on antioxidant and antimicrobial activities of four common Chinese herbal medicinal residues by *Aspergillus oryzae*. *Journal of Food and Drug Analysis*, 21(2), 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2013.05.013>.
- Zhang, L., Ho, C. T., Zhou, J., Santos, J. S., Armstrong, L., & Granato, D. (2019). Chemistry and biological activities of processed *Camellia sinensis* teas: A comprehensive review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1474–1495. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12479>.
- Zhang, C., Zhang, J., Xin, X., Zhu, S., Niu, E., Wu, Q., Wang, Y., Zhang, Y., Zhao, Y., & Liu, D. (2022). Changes in phytochemical profiles and biological activity of olive leaves treated by two drying methods. *Frontiers in Nutrition*, 9, 854680. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.854680>
- Zhang, Lei, Zhang, Ao, Zhou, Shanshan, Wang, Qianqian, Hu, Zhenyuan, Li, Chenglin, Hu, Yang, Ma, Haile, & Zhou, Cunshan. (2024). Sweeping-frequency ultrasonic preprocessing improves removal rate and stability of pigment removed from okra powders by different drying and sieving methods. *Drying Technology*, 42(1), 19–33. <https://doi.org/10.1080/07373937.2023.2258980>
- Zhang, M., Xing, S., Fu, C., Fang, F., Liu, J., Kan, J., Qian, C., Chai, Q., & Jin, C. (2022). Effects of Drying Methods on Taste Components and Flavor Characterization of *Cordyceps militaris*. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(23), 3933. <https://doi.org/10.3390/foods11233933>.
- Zhang, Y., Truzzi, F., D’Amen, E., & Dinelli, G. (2021). Effect of storage conditions and time on the polyphenol content of wheat flours. *Processes*, 9(2), 248. <https://doi.org/10.3390/pr9020248>.