



DOI:10.22144/ctu.jos.2025.100

ẢNH HƯỞNG CỦA ALBUMIN VÀ CARBOXYMETHYL CELLULOSE ĐẾN ĐỘNG HỌC QUÁ TRÌNH SẤY BỌT XÓP VÀ HOẠT TÍNH SINH HỌC CỦA CAO CHIẾT PHENOLIC TỪ LÁ ỔI NỮ HOÀNG (*Psidium guajava* L.)

Nguyễn Nhật Minh Phương^{1*}, Lê Thị Ngọc Thảo², Lâm Khánh Duy², Nguyễn Thị Huỳnh Như², Nguyễn Ngọc Ân² và Mai Thanh Hải¹

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

²*Sinh viên ngành Công nghệ thực phẩm, Viện Công nghệ Sinh học và Thực phẩm, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam*

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

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 13/02/2025

Sửa bài (Revised): 17/05/2025

Duyệt đăng (Accepted): 26/05/2025

Title: Effect of albumin and carboxymethyl cellulose on the kinetics of foam mat drying and the bioactivity of phenolic-rich extract from Nu Hoang guava leaves (*Psidium guajava* L.)

Author(s): Nguyen Nhat Minh Phuong^{1*}, Le Thi Ngoc Thao², Lam Khanh Duy², Nguyen Thi Huynh Nhu², Nguyen Ngoc An² and Mai Thanh Hai¹

Affiliation(s): ¹Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University, Viet Nam; ²Students of Food Technology, Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University, Viet Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm sản xuất bột khô và ổn định hoạt tính sinh học của các hợp chất phenolic từ cao chiết lá ổi Nữ Hoàng. Phương pháp sấy bọt xốp được sử dụng trong nghiên cứu với albumin (2, 5, 10 và 15%) làm chất tạo bọt và carboxymethyl cellulose (CMC) (0,5, 1,0 và 1,5%) làm chất ổn định bọt. Đồng thời, việc áp dụng một số mô hình toán nhằm dự đoán đường cong sấy, tìm ra được nhiệt độ sấy (50, 60 và 70°C) và mô hình sấy thích hợp. Kết quả cho thấy nồng độ albumin 10%, CMC 0,5% và nhiệt độ sấy 60°C là phù hợp. Tổng hàm lượng phenolic thu nhận đạt $2,56 \pm 0,03$ mg đương lượng gallic acid (GAE)/g căn bản khô (CBK) và hoạt tính chống oxy hóa DPPH đạt $12,42 \pm 0,03$ mg đương lượng trolox (TE)/g CBK. Mô hình Page là phù hợp để dự đoán quá trình thoát ẩm trong khi sấy với R^2 là 0,9996. Bột khô từ lá ổi Nữ Hoàng giàu phenolic và hoạt tính chống oxy hóa có thể sử dụng như phụ gia thực phẩm làm tăng khả năng chống oxy hóa cho thực phẩm và hỗ trợ sức khỏe.

Từ khóa: Albumin, carboxymethyl cellulose, hoạt tính chống oxy hóa, lá ổi Nữ Hoàng, phenolic, sấy bọt xốp

ABSTRACT

The study produced a powder and stabilize the bioactivity of phenolic compounds extracted from Nu Hoang guava leaves. The foam mat drying method was applied using albumin (2, 5, 10, and 15%) as a foaming agent and carboxymethyl cellulose (CMC) (0.5, 1.0, and 1.5%) as a stabilizer. Additionally, several mathematical drying models were employed to predict drying curves at 50, 60, and 70°C, and to determine the most suitable model. The results showed that the suitable conditions for powder production were 10% albumin, 0.5% CMC, and a drying temperature of 60°C. The total phenolic content reached 2.56 ± 0.03 mg gallic acid equivalents (GAE)/g dry matter (DM), and the antioxidant activity, based on DPPH free radical scavenging capacity, reached 12.42 ± 0.03 mg trolox equivalents (TE)/g DM. The Page model was identified as the most accurate for predicting the drying behavior, with an R^2 value of 0.9996. The powder derived from Nu Hoang guava leaves was rich in phenolic compounds and exhibited significant antioxidant activity, suggesting its potential application as a functional food supplement to support antioxidant activity and human health.

Keywords: Albumin, antioxidant activity, carboxymethyl cellulose, foam mat drying, Nu Hoang guava leaves, phenolic

1. GIỚI THIỆU

Ở Việt Nam, ổi là cây ăn quả khá phổ biến, được trồng rộng rãi ở cả vùng đồng bằng và miền núi. Ổi Nữ Hoàng là một giống ổi nhanh cho hoa và đậu trái, quả giòn, ngọt, thơm, ít hạt và được đánh giá cao về dinh dưỡng cũng như tiềm năng về kinh tế. Ngoài quả, lá ổi cũng được nghiên cứu và chứng minh có nhiều tác dụng sinh học, đặc biệt là hoạt tính chống oxy hóa mạnh nhờ các hợp chất phenolic như phenolic acid và flavonoid. Cụ thể, kết quả nghiên cứu của Ho et al. (2015) cho thấy dịch chiết phenolic thu được của lá ổi xẻ được thu hoạch tại Nha Trang vào tháng 4/2014 thể hiện hoạt tính chống oxy hóa cao đối với phép thử khả năng thu gốc tự do DPPH với giá trị IC_{50} là 2,1 $\mu\text{g/mL}$. Theo nghiên cứu của Kumar et al. (2021), lá ổi chứa các chất chuyển hóa thứ cấp khác nhau bao gồm phenolic acid, flavonoid,... đóng vai trò là hợp chất có hoạt tính sinh học chính cung cấp các đặc tính chống oxy hóa cho lá ổi.

Tuy nhiên, có nhiều hạn chế trong việc sử dụng dịch chiết từ lá ổi ở dạng lỏng. Ví dụ, việc bổ sung vào thực phẩm rắn sẽ ảnh hưởng đến độ ẩm của sản phẩm. Đồng thời, khả năng bảo quản và vận chuyển cũng gặp khó khăn. Hoạt tính sinh học của dịch trích rất dễ bị mất theo thời gian, do các hợp chất phenolic dễ bị phân hủy trong điều kiện bảo quản thông thường. Vì vậy, nghiên cứu chuyển dịch trích sang dạng bột nhằm ổn định hoạt tính sinh học của các hợp chất phenolic có trong dịch trích, nâng cao khả năng bảo quản và ứng dụng sản phẩm bột.

Kỹ thuật sấy bột xốp đã được áp dụng thành công cho nhiều loại thực phẩm như quả sung đã xay nhuyễn (Varhan et al., 2019), nước táo (Raharitsifa et al., 2006), dịch xoài Alphonso (Rajkumar et al., 2007),... Chất tạo bột và chất ổn định bột được sử dụng trong phương pháp sấy này để hình thành hệ bột ổn định, giúp giảm thời gian sấy và tăng cường thời gian bảo quản. Sau khi sấy, sản phẩm được nghiền thành bột, dễ dàng chế biến và ứng dụng trong phát triển sản phẩm mới. Trong nghiên cứu này, albumin và carboxymethyl cellulose (CMC) được sử dụng để tạo và ổn định hệ bột. Albumin giúp tạo và duy trì bột, trong khi CMC giúp tăng độ nhớt và ổn định cấu trúc bột, từ đó cải thiện hiệu quả sấy và bảo quản.

Nhiệt độ sấy là yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến sự thoát ẩm từ vật liệu sấy ra môi trường bên ngoài để tạo thành sản phẩm khô. Nhiệt độ sấy càng cao hoặc thời gian càng kéo dài sẽ ảnh hưởng đến chất lượng cũng như khả năng bảo quản của sản phẩm thông

qua độ ẩm dừng. Đặc biệt là hoạt tính sinh học của các hợp chất tự nhiên có trong nguyên liệu. Vì vậy, nhiều mô hình sấy và tính toán động học quá trình sấy bột cao chiết lá ổi Nữ Hoàng được áp dụng trong việc nghiên cứu để dự đoán và đưa ra điểm dừng phù hợp. Từ đó, quá trình sấy phù hợp được đề xuất giúp ổn định hoạt tính sinh học của các hợp chất phenolic và nâng cao khả năng ứng dụng của bột lá ổi Nữ Hoàng trong công nghiệp thực phẩm hay được phẩm.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên vật liệu và hóa chất

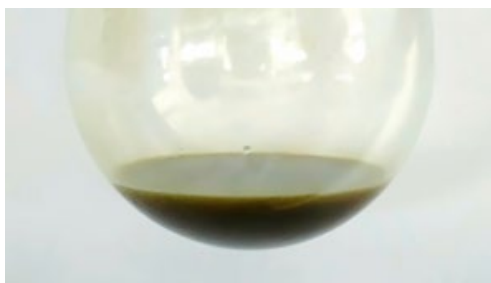
Lá ổi Nữ Hoàng dùng trong nghiên cứu được thu hoạch tại các nhà vườn thuộc tỉnh Sóc Trăng. Lá ổi được thu hoạch trong giai đoạn trước khi cho trái vì ở giai đoạn này, nhà vườn thường cắt tia bớt cành để thúc đẩy sự sinh trưởng của cây và kích thích quá trình ra hoa, kết trái. Thông thường nhà vườn sẽ cắt tia từ đợt đến tầng thứ 4 của một nhánh lá, đảm bảo không ảnh hưởng đến sự phát triển của cây (Hình 1). Toàn bộ phần nhánh lá này được sử dụng trong nghiên cứu, đảm bảo lá ổi tươi, không sâu bệnh, dập, hư hỏng hay héo úa. Tổng khối lượng lá ổi thu được khoảng 4 kg cho thí nghiệm.



Hình 1. Lá ổi Nữ Hoàng dùng trong nghiên cứu

Sau thu hoạch, lá được vận chuyển về phòng thí nghiệm trong điều kiện mát, rửa sạch, để ráo và sấy ở 60°C đến khi độ ẩm đạt 5 – 6%, sau đó được xay thành bột và sàng qua rây có kích thước lỗ 1 – 2 mm. Tiếp theo, việc trích ly bột lá ổi bằng dung môi ethanol 50% được tiến hành, tỷ lệ nguyên liệu/dung môi là 1/70 (g/mL) tại nhiệt độ 60°C trong 23 phút, qua 2 chu kỳ trích ly (các thông số trích ly được kế thừa trong cùng nhóm nghiên cứu, số liệu chưa công bố). Dịch trích thu nhận sau ly tâm ở 5000 vòng/phút trong 10 phút được cô quay chân không (50°C) nhằm bốc hơi hết ethanol có trong dịch trích. Kết

thúc quá trình cô quay khi không còn hiện tượng ngưng tụ ethanol trong ống sinh hàn. Dịch trích sau cô quay gọi là cao chiết. Cao chiết ở trạng thái lỏng sệt, độ Brix đạt $3,93 \pm 0,12$ và có màu xanh ô liu đậm do chứa các hợp chất phenolic và chlorophyll (Hình 2) và được bảo quản ở -20°C phục vụ cho nghiên cứu. Tất cả các thông số của quá trình trích ly có được từ các thí nghiệm thăm dò, được tiến hành trong cùng điều kiện nghiên cứu của đề tài.



Hình 2. Cao chiết lá ổi Nữ Hoàng

Hóa chất: Ethanol (Cemaco, Việt Nam), thuốc thử Folin – Ciocalteu (Merk, Mỹ), methanol (Southern Chemicals, Việt Nam), natri cacbonate (Na_2CO_3) (Quảng Đông, Trung Quốc), 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Sigma-Aldrich, Mỹ), gallic acid (Tokyo Chemical Industry, Nhật Bản), 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid (Trolox) (Sigma-Aldrich, Mỹ), carboxymethyl cellulose (Nippon Paper, Nhật Bản), albumin (My Protein, Anh).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Cao chiết lá ổi Nữ Hoàng sau cô quay ở trạng thái lỏng (chuẩn bị trong phần 2.1) và được sấy bột nhằm giữ được hàm lượng phenolic với hoạt tính chống oxy hóa. Cao chiết được sử dụng có các chỉ tiêu đánh giá về hoạt tính chống oxy hóa như sau: Hàm lượng phenolic tổng số (TPC) đạt $6,40 \pm 0,04$ gram đương lượng gallic acid trên 100 gram chất khô (g GAE/100 g CBK) và hoạt tính chống oxy hóa (DPPH) đạt $310,61 \pm 0,74$ milligram đương lượng trolox trên gram chất khô (mg TE/g CBK).

Nội dung nghiên cứu gồm khảo sát sự ảnh hưởng của nồng độ albumin (2, 5, 10 và 15%, w/v) và CMC (0,5, 1,0 và 1,5%, w/v) đến tính chất vật lý của hệ bột. Trong quá trình tạo bột, tỷ lệ cao chiết được cố định là 50% (w/w) trên tổng khối lượng mẫu là 200 g, albumin, CMC và nước cất được bổ sung. Sau đó, hỗn hợp được tạo bột bằng máy đánh trứng Panasonic – MK-GB1WRA cấp độ 5 (tương ứng 720 ± 1 rpm) trong 6 phút. Kết quả thích hợp của albumin và CMC sẽ được chọn cho thí nghiệm xây dựng đường cong sấy với các mức nhiệt độ khác

nhau (50, 60 và 70°C) và cuối cùng ứng dụng một số mô hình toán để dự đoán quá trình thoát ẩm của sản phẩm trong quá trình sấy bột (Hình 3).



Hình 3. Hệ bột albumin 15%, CMC 1,0% và cao chiết lá ổi

2.3. Phương pháp phân tích

2.3.1. Phương pháp phân tích đặc tính hệ bột

Thể tích của bột (%), độ bền bột (%) và tỷ trọng bột (g/mL) được xác định theo Karim and Wai (1999).

2.3.2. Phương pháp phân tích chỉ tiêu hóa lý

Giá trị độ ẩm của mẫu bột được đo bằng cách sử dụng máy đo ẩm nhanh Ohaus MB120. Việc xác định màu sắc sản phẩm bột được tiến hành bằng cách sử dụng máy đo màu Colorimeter Color reader CR-20 (Konica Minolta, Nhật Bản). Chỉ số hòa tan trong nước (WSI) được xác định theo Anderson et al. (1969).

Bên cạnh đó, việc xác định hàm lượng phenolic tổng số (TPC) và hoạt tính chống oxy hóa (DPPH) được thực hiện theo phương pháp của Nguyen et al. (2019) với đường chuẩn là gallic acid và trolox.

2.3.3. Phân tích động học quá trình sấy

Quá trình sấy là quá trình đối lưu không khí nóng tự nhiên sử dụng tủ sấy Sibata (Nhật Bản). Nhiệt độ sấy được cài đặt trước và nguyên liệu chỉ được cho vào tủ khi nhiệt độ không khí bên trong đạt mức yêu cầu của thí nghiệm. Ba mức nhiệt độ sấy được khảo sát là 50, 60 và 70°C . Mẫu bột được trải đều với độ dày 1 cm trên khay inox và tiến hành sấy cho đến khi độ ẩm trong mẫu đạt $\leq 10\%$ (Diógenes et al., 2022).

Tỷ lệ ẩm (MR) của bột trong quá trình sấy được xác định theo Ho and Nguyen (2021):

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e}$$

Trong đó: MR, M_t , M_0 , M_e là tỷ số độ ẩm, độ ẩm tại thời điểm t , độ ẩm ban đầu và độ ẩm cân bằng tính theo cân bản khô (% CBK). Đối với quá trình sấy kéo dài, M_e rất nhỏ so với M_t và M_0 , do đó MR có thể được đơn giản hóa thành:

$$MR = \frac{M_t}{M_0}$$

Ba mô hình sấy được áp dụng để dự đoán quá trình sấy được trình bày ở Bảng 1. Việc phân tích hồi quy phi tuyến tính được thực hiện bằng phần mềm Statgraphics Centurion 15.1 để ước tính các hệ số của mô hình. Sự phù hợp của mô hình áp dụng được đánh giá bằng cách tính toán các thông số thống kê giữa số liệu thực nghiệm và dự đoán, bao gồm hệ số xác định (R^2), chỉ số bình phương rút gọn

(χ^2) và sai số trung bình (RMSE). Các thông số này có thể được tính toán như sau:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - \overline{MR}_{exp})^2}$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N - n}$$

$$RMSE = \sqrt{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2 \right]}$$

Trong đó: $MR_{pre,i}$ là tỷ lệ ẩm dự đoán thứ i , $MR_{exp,i}$ là tỷ lệ ẩm thực nghiệm thứ i , $\overline{MR}_{exp}$ là tỷ lệ ẩm thực nghiệm trung bình, N là số dữ liệu và n là số hằng số của mô hình.

Bảng 1. Các mô hình đường cong sấy thông dụng

Tên mô hình	Công thức	Tài liệu tham khảo
Lewis – Newton	$MR = \exp(-kt)$	Bruce (1985)
Henderson và Pabis	$MR = a \times \exp(-kt)$	Henderson and Pabis (1961)
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	Page (1949)

k là hằng số tốc độ sấy; a , n là các hệ số của mô hình, t là thời gian sấy.

2.3.4. Thống kê số liệu

Thí nghiệm được bố trí ngẫu nhiên, 3 lần lặp lại. Các số liệu thu thập được phân tích bằng phần mềm Stagraphics Centurion 15.1 để phân tích phương sai ANOVA và kiểm định LSD. Phần mềm Microsoft Excel 2016 được sử dụng để tính toán và vẽ đồ thị.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của nồng độ albumin và CMC đến tính chất vật lý của hệ bột được tạo ra từ cao chiết lá ổi Nữ Hoàng

Kết quả thí nghiệm ảnh hưởng của nồng độ albumin và CMC đến tính chất vật lý của hệ bột được tạo ra từ cao chiết lá ổi Nữ Hoàng được thể hiện qua Bảng 2.

Kết quả Bảng 2 cho thấy albumin và CMC ở các mức nồng độ khác nhau ảnh hưởng có ý nghĩa đến tính chất vật lý của hệ bột. Nhìn chung, khi tăng nồng độ albumin từ 2 lên 10% thì tỷ trọng bột có xu hướng giảm và thể tích bột tăng. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Belal et al. (2023), khi nồng độ albumin tăng, không chỉ làm giảm tỷ trọng bột mà còn giúp tăng thể tích bột. Tuy nhiên, tỷ trọng bột tăng trở lại và thể tích bột giảm xuống nếu tiếp tục tăng nồng độ albumin đến 15%. Cụ thể, ở mức CMC 0,5%, khi tăng hàm lượng albumin từ 2% lên 5% thì tỷ trọng bột giảm từ $0,25 \pm 0,01$ xuống $0,18 \pm 0,03$ g/mL, trong khi đó thể tích bột tăng từ $308,33 \pm 14,43$ lên $475,00 \pm 90,14\%$ ($p < 0,05$). Điều

này là do nồng độ albumin cao giúp tạo ra hệ bột nhẹ hơn, khả năng giữ không khí tốt hơn. Theo Smith and Johnson (2020), nồng độ protein cao có trong hệ bột giúp giảm tỷ trọng bột, từ đó nâng cao khả năng nở bột. Khi tiếp tục tăng nồng độ albumin lên 10% thì thể tích bột tại nồng độ CMC 0,5% tăng mạnh và đạt giá trị cao nhất là $708,33 \pm 80,36\%$, ngược lại tỷ trọng bột tiếp tục giảm và đạt giá trị thấp nhất là $0,12 \pm 0,01$ g/mL. Theo McClements (2015), hệ bột với tỷ trọng bột thấp có khả năng giữ không khí tốt, tăng độ ổn định bột. Ngược lại, tỷ trọng bột cao thường dẫn đến tính ổn định của hệ bột kém (Sifat et al., 2021). Ở nồng độ albumin 15% và CMC 0,5%, thể tích bột giảm xuống $491,67 \pm 94,65\%$ trong khi tỷ trọng bột tăng lên $0,17 \pm 0,03$ g/mL. Điều này có thể lý giải là do tăng nồng độ albumin lên quá cao sẽ làm giảm khả năng tạo bọt, hàm lượng protein tăng cũng làm tăng độ nhớt của dung dịch nên không tạo điều kiện tốt cho lượng không khí được kết hợp tại bề mặt phân cách (Lau & Dickinson, 2005). Khi nồng độ albumin cao màng bột trở nên dày, các bọt khí có kích thước nhỏ hơn nhất với nhau làm hệ bột không đồng nhất và dễ vỡ (Raharitsifa et al., 2006). Ngoài ra, ngoại trừ các mẫu có albumin 2% và CMC 0,5 – 1,0% hay albumin 5% và CMC 0,5% thì tất cả các mẫu có nồng độ albumin và CMC khác đạt độ bền bột khác biệt không ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$). Điều này cho thấy rằng bột được tạo ra từ nồng độ albumin và CMC cao có khả năng giữ cấu trúc tốt hơn trong thời gian dài. Kết quả tương tự với nghiên cứu của Lee and Kim (2021), độ bền bột thường tăng

khi nồng độ protein tăng cao do khả năng tạo mạng lưới liên kết tốt hơn giữa các phân tử. Kết quả nghiên cứu về việc sấy bột cà chua của Belal et al. (2023) cũng chỉ ra rằng hàm lượng albumin 3% cho

độ bền bột thấp hơn 7% vì hàm lượng protein không đủ để tạo lớp màng bảo vệ bột khi khiến chúng bị vỡ trong quá trình xử lý.

Bảng 2. Ảnh hưởng của tỷ lệ phối trộn albumin và CMC đến tỷ trọng bột, độ bền bột và thể tích bột từ cao chiết lá ổi Nữ Hoàng

Albumin (%)	CMC (%)	Tỷ trọng bột (g/mL)	Thể tích bột (%)	Độ bền bột (%)
2	0,5	0,25 ^d ±0,01	308,33 ^{de} ±14,43	90,00 ^d ±0,00
	1,0	0,28 ^{cd} ±0,01	258,33 ^c ±14,43	96,67 ^c ±1,15
	1,5	0,41 ^a ±0,03	141,67 ^g ±14,43	100,00 ^a ±0,00
5	0,5	0,18 ^{ef} ±0,03	475,00 ^b ±90,14	98,00 ^b ±0,00
	1,0	0,19 ^{ef} ±0,01	416,67 ^{bc} ±28,87	99,33 ^a ±1,15
	1,5	0,37 ^b ±0,03	175,00 ^f ±25,00	100,00 ^a ±0,00
10	0,5	0,12 ^g ±0,01	708,33 ^a ±80,36	100,00 ^a ±0,00
	1,0	0,21 ^e ±0,02	383,33 ^{cd} ±52,04	100,00 ^a ±0,00
	1,5	0,40 ^{ab} ±0,00	150,00 ^g ±0,00	100,00 ^a ±0,00
15	0,5	0,17 ^f ±0,03	491,67 ^b ±94,65	100,00 ^a ±0,00
	1,0	0,29 ^c ±0,02	250,00 ^{ef} ±25,00	100,00 ^a ±0,00
	1,5	0,43 ^a ±0,03	133,33 ^g ±14,43	100,00 ^a ±0,00

Số liệu trong bảng là giá trị trung bình của 3 lần lặp lại, các chữ cái khác nhau trong cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$), CMC: carboxymethyl cellulose.

Chất ổn định bột CMC đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện và tăng cường độ bền bột bằng cách tăng độ nhớt, hạn chế sự chuyển động của các thành phần bên trong bột (Walsh et al., 2008). Khi nồng độ albumin tăng, hàm lượng protein cao kết hợp với CMC tạo ra một lớp màng bao quanh các bột khí, giúp duy trì độ ổn định bột mà không cần tăng hàm lượng CMC lên quá nhiều, đồng thời không làm giảm thể tích bột. Bên cạnh đó, lượng không khí được kết hợp trong quá trình tạo bột càng lớn thì tỷ trọng bột thu nhận được càng thấp. Hệ bột có tỷ trọng bột thấp sẽ ổn định hơn trong thời gian dài và giúp giảm thời gian sấy. Khi nồng độ albumin quá thấp, tỷ trọng bột cao làm hạn chế khả năng bao bọc bột khí, hệ bột dễ vỡ (Shaari et al., 2017).

Kết quả phân tích thống kê cho thấy sự tương tác giữa nồng độ albumin và CMC ảnh hưởng có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) đến thể tích bột, tỷ trọng bột và độ bền bột. Điều này cho thấy rằng các đặc tính vật lý của hệ bột không chỉ phụ thuộc vào từng yếu tố đơn lẻ như nồng độ albumin và CMC mà còn phụ thuộc vào sự kết hợp của cả hai yếu tố này.

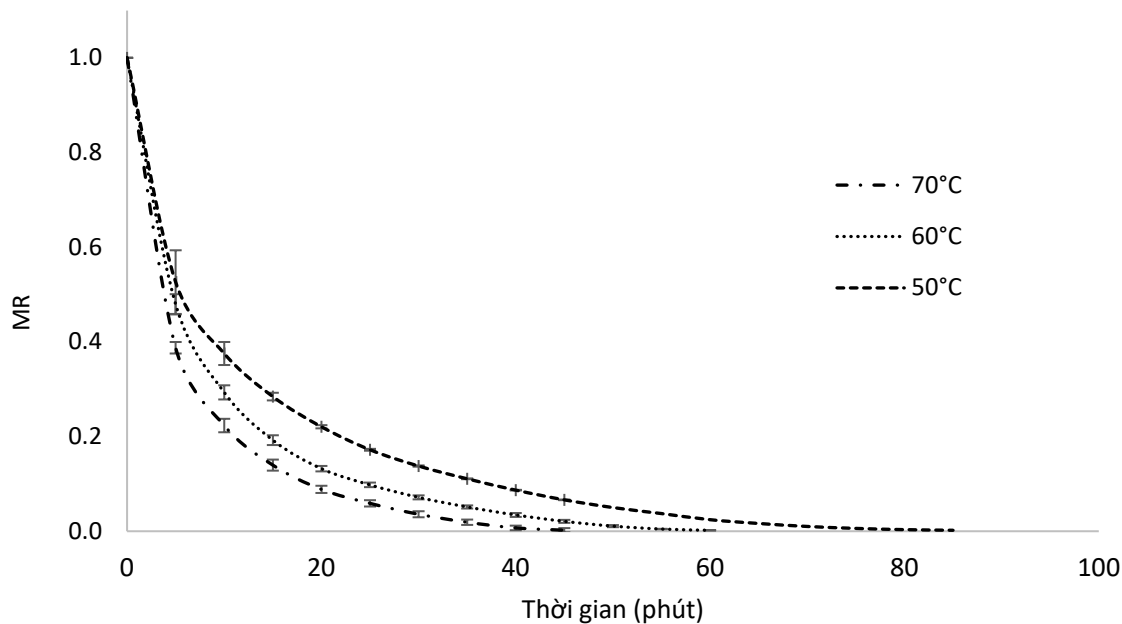
Kết quả nồng độ albumin và CMC lần lượt là 10% và 0,5% được chọn để đảm bảo hệ bột có thể tích cao và ổn định. Kết quả khá tương đồng với nghiên cứu của Nguyen et al. (2022), nồng độ albumin và CMC tối ưu là 7,6% và 0,4% để sấy bột

chiết xuất dâu tằm, trong đó thể tích bột đạt 453,94±3,12% và độ ổn định bột đạt 95,3±0,98%. Kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của chất tạo bột đến chất lượng bột đu đủ (Hong et al., 2024) chỉ ra rằng tỷ lệ phối trộn hiệu quả khi nồng độ albumin và CMC lần lượt là 9,1% và 0,4%.

3.2. Xây dựng đường cong sấy với các nhiệt độ sấy khác nhau và ứng dụng vào mô hình toán để dự đoán quá trình thoát ẩm của sản phẩm trong quá trình sấy bột

3.2.1. Mô hình hóa đường cong sấy

Trong quá trình sấy, nhiệt độ sấy ảnh hưởng lớn đến sự thoát ẩm và chất lượng sản phẩm. Đường cong sấy được xây dựng giúp theo dõi quá trình sấy thông qua biểu diễn sự thay đổi độ ẩm theo thời gian. Cụ thể, khi tỷ lệ ẩm (MR) bắt đầu có xu hướng tiệm cận về gần 0, điều này cho thấy độ ẩm còn lại trong vật liệu là rất thấp, chủ yếu là nước liên kết. Ở giai đoạn này, tốc độ bốc hơi gần như không đáng kể dù tiếp tục gia nhiệt. Do đó, thời điểm MR tiệm cận được xem là cơ sở để xác định thời gian dừng sấy và ước lượng độ ẩm còn lại $\leq 10\%$ (Diógenes et al., 2022). Kết quả sự ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến sự thay đổi tỷ lệ ẩm MR của mẫu sấy bột cao chiết lá ổi Nữ Hoàng theo thời gian được thể hiện qua Hình 4.



Hình 4. Tỷ lệ ẩm (MR) từ dữ liệu thực nghiệm tại các nhiệt độ sấy khác nhau theo thời gian sấy

Bảng 3. Kết quả phân tích thống kê sự phù hợp của các mô hình với dữ liệu sấy

Mô hình	Nhiệt độ (°C)	Các hệ số mô hình	Hằng số tốc độ sấy	R ²	χ ²	RMSE
Lewis – Newton	50		k = 0,1238	0,9716	0,003602	0,058326
	60		k = 0,0940	0,9730	0,002875	0,051516
	70		k = 0,0694	0,9779	0,003327	0,054721
Henderson và Pabis	50	a = 0,9258	k = 0,0793	0,9728	0,002463	0,046790
	60	a = 0,9669	k = 0,1138	0,9866	0,001778	0,033192
	70	a = 0,9778	k = 0,1545	0,9860	0,001556	0,035277
Page	50	n = 0,6805	k = 0,2088	0,9980	0,000130	0,010735
	60	n = 0,7317	k = 0,2266	0,9996	0,000032	0,005228
	70	n = 0,6898	k = 0,3124	0,9994	0,000058	0,006817

R²: hệ số xác định, χ²: chỉ số bình phương rút gọn, RMSE: sai số trung bình, k là hằng số tốc độ sấy, a và n là các hệ số của mô hình.

Kết quả Hình 4 cho thấy giá trị MR giảm dần theo thời gian sấy (gần 0,005 tại các nhiệt độ sấy). Theo Chong et al. (2008), thời gian thoát ẩm giảm nhanh chóng khi nhiệt độ sấy tăng, giúp tăng tốc độ sấy. Kết quả cho thấy việc sấy ở các nhiệt độ 50, 60 và 70°C trong thời gian 45, 60 và 85 phút là cần thiết để đạt độ ẩm cân bằng. Trong quá trình sấy, tốc độ giảm ẩm mạnh ở giai đoạn đầu được ghi nhận là do sự bay hơi của lớp nước tự do có liên kết lỏng lẻo trong nguyên liệu và tốc độ thoát ẩm này sẽ giảm dần theo thời gian sấy do hàm ẩm ngày càng ít đi (Truong et al., 2021). Bên cạnh đó, nhiệt độ cao giúp thúc đẩy sự chuyển động của các phân tử nước trong thực phẩm, dẫn đến giảm thời gian sấy khi tăng nhiệt độ sấy, điều này tương tự nghiên cứu về sấy bột mít

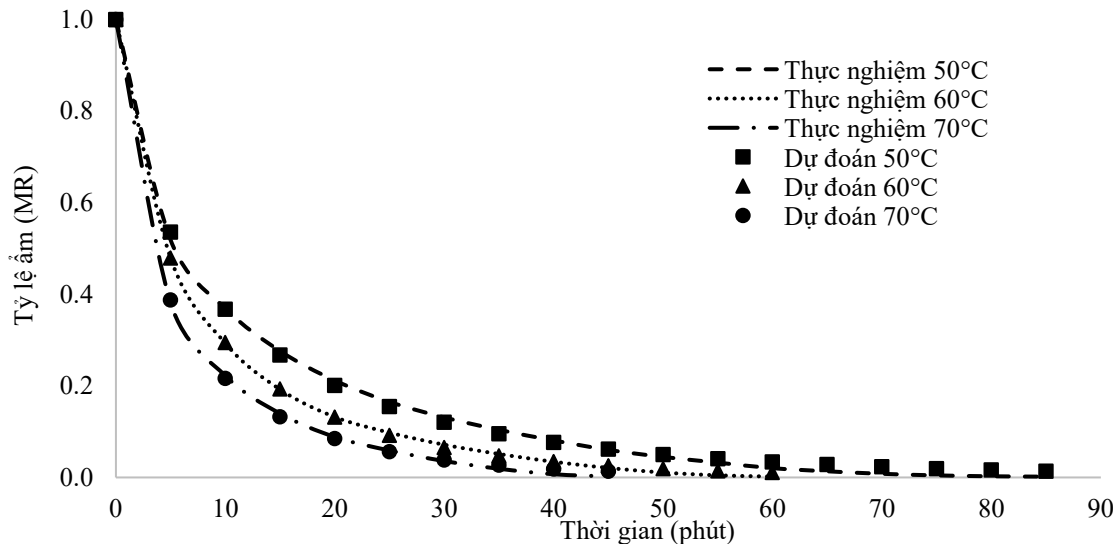
Thái của Ung et al. (2022). Giá trị MR từ thực nghiệm trong Hình 4 được điều chỉnh bằng 3 mô hình sấy thông dụng. Kết quả phân tích thống kê của các mô hình này đối với bột lá ổi thành phẩm được trình bày trong Bảng 3.

Kết quả từ Bảng 3 cho thấy giá trị R² tại các nhiệt độ sấy khác nhau của tất cả các mô hình đều lớn hơn 0,97 cho thấy sự phù hợp của mô hình với giá trị thực nghiệm (Ho & Nguyen, 2021). Mô hình sấy phù hợp được xác định dựa trên các giá trị R², χ² và RMSE. Giá trị R² càng lớn và ngược lại các giá trị của χ², RSME càng thấp cho thấy sự tương thích của mô hình cao (Doymaz, 2004; Kingsly & Singh, 2007; Saeed et al., 2006). Kết quả cho thấy mô hình Page thể hiện sự phù hợp cao hơn so với các mô hình

khác ở tất cả các nhiệt độ sấy với $R^2 > 0,9970$, $\chi^2 < 0,0002$. RMSE đạt các giá trị dao động trong khoảng từ 0,006817 đến 0,010735. Trong đó, tại nhiệt độ 50 – 60°C, giá trị RMSE < 0,01. Điều này được xác nhận qua đường cong sấy trong Hình 5, thể hiện sự tương thích giữa mô hình Page với kết quả thực nghiệm tại các nhiệt độ sấy khác nhau theo thời gian sấy. Ngoài ra, kết quả phân tích hồi quy tuyến tính cũng cho thấy giá trị dữ liệu thể hiện sự phù hợp mạnh mẽ của mô hình Page với dữ liệu thực nghiệm trong phương pháp sấy bột dịch trích lá ổi Nữ

Hoàng, cụ thể là giá trị R^2 đạt 0,9996 tại nhiệt độ 60°C. Tương tự, tại các nhiệt độ còn lại là 50 và 70°C, giá trị R^2 đạt được lần lượt là 0,9980 và 0,9994.

Với k là hằng số tốc độ sấy (1/phút), kết quả từ Bảng 3 đã cho thấy k tăng khi nhiệt độ sấy tăng. Điều này phù hợp với lý thuyết nhiệt độ cao giúp thúc đẩy khuếch tán ẩm, từ đó làm tăng tốc độ sấy sản phẩm.



Hình 5. Tương thích giữa mô hình Page với kết quả thực nghiệm tại các nhiệt độ sấy khác nhau theo thời gian sấy

3.2.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến độ ẩm của bột thành phẩm

Độ ẩm là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến khả năng bảo quản và tính chất của bột. Kết quả ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến độ ẩm của bột thành phẩm được trình bày trong Bảng 4. Kết quả cho thấy thời gian sấy trung bình để độ ẩm cuối của bột dao động trong khoảng từ 10 đến 12% là 105, 80 và 60 phút tại các nhiệt độ 50, 60 và 70°C. Sự chênh lệch về nhiệt độ và thời gian sấy có ảnh hưởng đáng kể đến quá trình bay hơi nước nên độ ẩm cuối của sản phẩm sẽ khác nhau (Sucipto et al., 2022). Cụ thể, độ ẩm đạt $12,22 \pm 0,28\%$ tại nhiệt độ sấy 50°C trong thời gian 105 phút và $10,91 \pm 0,56\%$ tại 60°C trong 80 phút. Tuy nhiên, độ ẩm khác biệt không có ý nghĩa thống kê giữa nhiệt độ 60 và 70°C. Mặc dù thời gian sấy ở nhiệt độ 50°C lên tới 105 phút nhưng giá trị độ ẩm cuối không giảm xuống gần mức 10% như nhiệt độ 60 và 70°C. Điều này cho thấy rằng ở nhiệt độ 50°C, khả năng bay hơi nước của vật liệu còn hạn chế, dẫn đến độ ẩm cuối của sản phẩm còn cao

(Sucipto et al., 2022). Nhiệt độ càng cao thì khả năng truyền nhiệt của tác nhân không khí nóng vào nguyên liệu sẽ càng nhanh. Do đó, hàm ẩm trong nguyên liệu sấy sẽ bốc hơi nhanh ở nhiệt độ cao hơn so với nhiệt độ thấp (Kutz, 2019). Ngoài ra, việc kéo dài thời gian sấy tại nhiệt độ thấp như 50°C có thể làm tăng chi phí năng lượng, đồng thời ảnh hưởng đến độ bền bột và hoạt tính của các hợp chất phenolic trong sản phẩm.

Bảng 4. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến độ ẩm và chỉ số hòa tan của bột sấy bột từ cao chiết lá ổi Nữ Hoàng

Nhiệt độ (°C)	Thời gian sấy (phút)	WSI (%)	Độ ẩm (%)
50	105	$54,77^{ab} \pm 2,56$	$12,22^a \pm 0,28$
60	80	$55,54^a \pm 0,28$	$10,91^b \pm 0,56$
70	60	$52,83^b \pm 1,26$	$10,82^b \pm 0,26$

Số liệu trong bảng là giá trị trung bình của 3 lần lặp lại, các chữ cái khác nhau trong cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$), WSI: chỉ số hòa tan trong nước.

Kết quả tương tự nghiên cứu của Cao và Mac (2019) đã chứng minh rằng nhiệt độ càng cao thì độ ẩm (hoặc độ hoạt động nước) bột nhào càng thấp hay nghiên cứu của Kadam và Balasubramanian (2011), kết quả cũng cho thấy xu hướng giảm dần của hàm lượng ẩm trong sản phẩm xốt cà chua khi nhiệt độ sấy tăng.

3.2.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến độ hòa tan (WSI) của bột thành phẩm

Chỉ số hòa tan trong nước (WSI) là một trong những yếu tố quan trọng khi đánh giá khả năng tạo thành dung dịch đồng nhất trong nước của bột (Franco et al., 2016; Jafari et al., 2017). Kết quả ảnh hưởng của các nhiệt độ sấy khác nhau đến giá trị WSI của bột thành phẩm được trình bày trong Bảng 4. Kết quả cho thấy chỉ số hòa tan trong nước của bột được sấy ở các nhiệt độ từ 50 đến 70°C khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$), dao động trong khoảng 52 – 55%. Cụ thể, bột được sấy ở 60°C có giá trị WSI cao nhất là $55,54 \pm 0,28\%$ và thấp nhất tại nhiệt độ 70°C ($52,83 \pm 1,26\%$). Điều này là do nhiệt độ sấy 60°C có thể tối ưu hóa quá trình phá vỡ cấu trúc tế bào và giảm độ ẩm, giúp tăng khả năng hòa tan nhờ vào việc phá vỡ liên kết phân tử đường

(Shaari et al., 2017). Tuy nhiên, nếu nhiệt độ quá cao như 70°C có thể dẫn đến sự biến tính protein có trong bột (Frokjaer & Otzen, 2005), do đó làm giảm khả năng hòa tan của bột. Kết quả nghiên cứu cho thấy giá trị WSI của bột cao hơn nhiều so với nghiên cứu thực hiện trên dưa lưới trong cùng phương pháp sấy bột, WSI dao động từ 23 đến 26% trong cùng phạm vi nhiệt độ 50 – 70°C (Asokapandian et al., 2016), cho thấy bột lá ổi đạt giá trị WSI cao hơn nhiều so với bột dưa lưới trong cùng phạm vi nhiệt độ và phương pháp sấy.

Từ kết quả phân tích trên cho thấy bột thành phẩm đạt giá trị WSI cao nhất là $55,54 \pm 0,28\%$ khi sấy ở 60°C. Như vậy, nhiệt độ này là thích hợp để bảo tồn cấu trúc và tính chất hòa tan của nguyên liệu.

3.2.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến màu sắc (L^* , a^* , b^*) của bột thành phẩm

Màu sắc sản phẩm là một chỉ tiêu quan trọng trong việc đánh giá chất lượng trong quá trình chế biến và bảo quản. Kết quả được thể hiện ở Bảng 5 cho thấy sự thay đổi của giá trị L^* , a^* , b^* của sản phẩm bởi sự ảnh hưởng của nhiệt độ sấy.

Bảng 5. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến các thông số màu sắc (L^* , a^* , b^*) của bột lá ổi Nữ Hoàng thành phẩm

Nhiệt độ (°C)	L^*	a^*	b^*
50	$8,67^b \pm 0,05$	$0,28^a \pm 0,06$	$0,32^b \pm 0,05$
60	$8,50^c \pm 0,01$	$0,23^{ab} \pm 0,02$	$0,16^c \pm 0,02$
70	$9,52^a \pm 0,09$	$0,18^b \pm 0,02$	$0,68^a \pm 0,11$

Số liệu trong bảng là giá trị trung bình của 3 lần lặp lại, các chữ cái khác nhau trong cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Dựa vào Bảng 5, kết quả cho thấy nhiệt độ ảnh hưởng có khác biệt có ý nghĩa thống kê đến các giá trị màu sắc L^* , a^* , và b^* của sản phẩm ($p < 0,05$). Khi nhiệt độ tăng từ 50°C lên 70°C, giá trị L^* (độ sáng) có xu hướng tăng từ $8,67 \pm 0,05$ lên $9,52 \pm 0,09$. Ngược lại, giá trị a^* giảm từ $0,28 \pm 0,06$ (50°C) xuống $0,18 \pm 0,02$ (70°C) cho thấy rằng sự giảm cường độ sắc đỏ của sản phẩm. Điều này có thể giải thích là do nhiệt độ cao gây phân hủy chlorophyll, tạo ra các hợp chất pheophytin và pyropheophytin làm màu sắc tự nhiên của lá ổi trở nên nhạt hơn sau khi sấy (Koca et al., 2007; Falade & Omojola, 2010). Tuy nhiên, tại nhiệt độ 60°C, giá trị L^* đạt giá trị thấp nhất là $8,50 \pm 0,01$, phản ánh màu sắc có phần sẫm hơn so với hai nhiệt độ còn lại. Điều này có thể giải thích là do chlorophyll bắt đầu phân hủy nhưng chưa hoàn toàn cũng như tốc độ mất nước tại 60°C còn chậm, tạo điều kiện cho các phản ứng oxy hóa gây sẫm màu hơn đối với sản phẩm bột. Bên cạnh đó, giá trị b^* có xu hướng tăng từ 50°C lên 70°C

($0,32 \pm 0,05$ – $0,68 \pm 0,11$) cho thấy sự chuyển hóa sang sắc vàng. Điều này có thể là do sự hình thành các hợp chất màu mới do nhiệt độ cao. Tuy nhiên, giá trị b^* cũng có sự biến đổi không đồng đều tại các mức nhiệt độ sấy khác nhau tương tự như giá trị L^* .

Kết quả ở thí nghiệm này chưa thể kết luận được nhiệt độ sấy phù hợp nên cần kết hợp phân tích nhiều chỉ tiêu khác như độ hòa tan, độ ẩm, hàm lượng phenolic tổng số cũng như hoạt tính chống oxy hóa DPPH để có kết luận tối ưu nhất.

3.2.5. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng phenolic và hoạt tính chống oxy hóa của bột thành phẩm

Kết quả thí nghiệm ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng phenolic tổng số (TPC) và hoạt tính chống oxy hóa (DPPH) của bột lá ổi Nữ Hoàng thành phẩm được trình bày trong Bảng 6.

Kết quả được trình bày ở Bảng 6 cho thấy hàm lượng phenolic của bột cao nhất khi sấy ở các mức nhiệt độ 60 và 70°C đạt các giá trị lần lượt là 2,56±0,03 và 2,57±0,00 mg GAE/g CBK, cao hơn so với sấy ở 50°C (2,45±0,03 mg GAE/g CBK). Điều này là do khi sấy ở nhiệt độ thấp như 50°C dẫn đến thời gian sấy dài hơn, làm giảm các hợp chất có hoạt tính sinh học có trong thực vật (Pashazadeh et al., 2024). Tại nhiệt độ cao như 60 và 70°C giúp giảm thời gian sấy, từ đó giảm sự phân hủy các hợp chất phenolic có hoạt tính sinh học (Naufalin et al., 2021). Kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến đặc tính hóa lý của quả mơ khô (Gálvez et al., 2019) cho thấy giá trị TPC khi sấy ở nhiệt độ 50°C là 13,55±0,39 mg GAE/g CBK, khi tăng nhiệt độ sấy lên 70°C thì giá trị TPC tăng lên 14,74±0,31 mg GAE/g CBK. Bên cạnh đó, hoạt tính chống oxy hóa (DPPH) của bột lá ổi sau sấy cũng thay đổi ở các mức nhiệt độ sấy khác nhau. Hoạt tính chống oxy hóa (DPPH) của mẫu bột ở nhiệt độ sấy 60°C

đạt giá trị cao nhất là 12,42±0,03 mg TE/g CBK. Trong khi đó, hoạt tính chống oxy hóa (DPPH) tại nhiệt độ 70°C giảm thấp nhất trong 3 mẫu, đạt giá trị 12,09±0,05 mg TE/g CBK. Điều này là do hoạt tính chống oxy hóa giảm khi nhiệt độ tăng cao, liên quan đến sự phân hủy các hợp chất chống oxy hóa (Correia et al., 2017), hay hình thành các hợp chất do phản ứng Maillard (Tavares et al., 2019). Bên cạnh đó, việc nghiên cứu về ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến đặc tính hóa lý của quả mơ khô (Gálvez et al., 2019) cho thấy giá trị DPPH liên tục giảm khi tăng nhiệt độ sấy từ 40 đến 80°C.

Dựa vào những phân tích trên, kết quả cho thấy nhiệt độ sấy 60 và 70°C cho giá trị TPC khác biệt không có ý nghĩa thống kê, trong khi đó DPPH đạt giá trị cao nhất tại 60°C. Do đó, nhiệt độ 60°C là thích hợp cho quá trình sấy bột dịch trích lá ổi Nữ Hoàng nhằm tiết kiệm thời gian và năng lượng cho quá trình sấy.

Bảng 6. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng phenolic tổng số và hoạt tính chống oxy hóa của bột sấy bột từ cao chiết lá ổi Nữ Hoàng

Nhiệt độ sấy (°C)	TPC (mg GAE/g CBK)	DPPH (mg TE/g CBK)
50	2,45 ^b ±0,03	12,31 ^b ±0,03
60	2,56 ^a ±0,03	12,42 ^a ±0,03
70	2,57 ^a ±0,00	12,09 ^c ±0,05

Số liệu trong bảng là giá trị trung bình của 3 lần lặp lại; các chữ cái khác nhau trong cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p<0,05$), TPC: hàm lượng phenolic tổng số, DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, GAE: đương lượng gallic acid, TE: đương lượng trolox, CBK: căn bản khô.

4. KẾT LUẬN

Sản phẩm bột khô từ dịch trích lá ổi Nữ Hoàng đã được tạo ra bằng kỹ thuật sấy bột xốp, bổ sung nồng độ albumin 10% và CMC 0,5%, đảm bảo độ ổn định của hệ bột. Bột được sấy khô ở 60°C với mô hình Page có R² đạt 0,9996 là phù hợp, tạo ra sản phẩm bột lá ổi đạt chất lượng tốt, cũng như tối ưu hóa quá trình sấy. Sản phẩm bột (Hình 6) thu được đạt độ ẩm khoảng 10,91±0,56%, độ hòa tan đạt giá trị là 55,54±0,28%, giữ được tương đối sắc xanh lá vốn có của lá ổi, đồng thời TPC và DPPH đạt giá trị lần lượt là 2,56±0,03 mg GAE/g CBK và 12,42±0,03 mg TE/g CBK. Sản phẩm bột từ cao chiết có thể ứng dụng trong ngành thực phẩm như phụ gia chống oxy hóa tự nhiên và hỗ trợ sức khỏe. Tuy nhiên, một số hạn chế còn tồn tại trong nghiên cứu như: (i) khảo sát sự ảnh hưởng của thời gian và tốc độ tạo bọt đến tính chất của hệ bột, (ii) sự tương tác giữa phenolic và albumin cũng như khả năng bao bọc của albumin đối với phenolic, (iii) ứng dụng bột sấy khô từ cao chiết lá ổi Nữ Hoàng vào các sản phẩm thực phẩm nhằm nâng cao giá trị dinh dưỡng.



Hình 6. Sản phẩm bột từ cao chiết lá ổi Nữ Hoàng sau sấy bột xốp với albumin 10% và CMC 0,5%

LỜI CẢM ƠN

Đề tài được thực hiện với sự tài trợ kinh phí dành cho sinh viên nghiên cứu khoa học của Trường Đại học Cần Thơ, với mã số là THS2024-158.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. (1969). Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 14, 1-3.
<https://doi.org/10.1002/star.19700220408>
- Asokapandian, S., Venkatachalam, S., Swamy, G. J., & Kuppasamy, K. (2016). Optimization of foaming properties and foam mat drying of muskmelon using soy protein. *Journal of Food Process Engineering*, 39(6), 692-701.
<https://doi.org/10.1111/jfpe.12261>
- Belal, Md., Hossain, M. A., Mitra, S., & Zzaman, W. (2023). Effect of foaming agent concentration and foam stabilizer on the foaming capacity and physical properties of tomato powder at dried at different temperature. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 12(4), 4741.
<https://doi.org/10.55251/jmbfs.4741>
- Bruce, D. M. (1985). Exposed-layer barley drying: three models fitted to new data up to 150°C. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 32(4), 337-348.
[https://doi.org/10.1016/0021-8634\(85\)90098-8](https://doi.org/10.1016/0021-8634(85)90098-8)
- Cao, A. T. N., & Mac, T. T. H. (2019). Study on the effect of spray drying method on the quality of noni powder. *Da Nang University Journal of Science and Technology*, 17(11), 16-21 (in Vietnamese).
- Chong, C. H., Law, C. L., Cloke, M., Hii, C. L., Abdullah, L. C., & Daud, W. R. W. (2008). Drying kinetics and product quality of dried Chempedak. *Journal of Food Engineering*, 88(4), 522-527.
<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.013>
- Correia, P. M. R., Guiné, R. P. F., Correia, A. C., Gonçalves, F., Brito, M. F. S., & Ribeiro, J. R. P. (2017). Physical, chemical and sensorial properties of kiwi as influenced by drying conditions. *Agricultural Engineering International*, 19(3), 203-212.
- Diógenes, A. d. M. G., de Figueirêdo, R. M. F., Queiroz, A. J. d. M., Ferreira, J. P. d. L., Silva, W. P. d., Gomes, J. P., Santos, F. S. d., Castro, D. S. d., Oliveira, M. N. d., Santos, D. d. C., de Andrade, R. O., & de Lima, A. R. C. (2022). Mathematical Models to Describe the Foam Mat Drying Process of Cumbeba Pulp (*Tacinga inamoena*) and Product Quality. *Foods*, 11, 1751.
<https://doi.org/10.3390/foods11121751>
- Doymaz, I. (2004). Drying kinetics of white mulberry. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 341-346.
[https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00138-9](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00138-9)
- Falade, K. O., & Omojola, B. S. (2010). Effect of processing methods on physical, chemical, rheological and sensory properties of Okra (*Abelmoschus esculentus*). *Journal of Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 387-394.
<https://doi.org/10.1007/s11947-008-0126-2>
- Franco, T. S., Perussello, C. A., Ellendersen, L. N., & Masson, M. L. (2016). Effects of foam mat drying on physicochemical and microstructural properties of yacon juice powder. *LWT-Food Science and Technology*, 66, 503-513.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.009>
- Frokjaer, S., & Otzen, D. E. (2005). Protein drug stability: a formulation challenge. *Nature Reviews Drug Discovery*, 4(4), 298-306.
<https://doi.org/10.1038/nrd1695>
- Gálvez, A. V., Fuentes, I. Q., Uribe, E., Monzo, J. M., Pasten, A., & Mondaca, R. L. (2019). Bioactive compounds and physicochemical characterization of dried apricot (*Prunus armeniaca* L.) as affected by different drying temperatures. *CYTA-Journal of Food*, 17(1), 297-306.
<https://doi.org/10.1080.19476337.2019.1577918>
- Henderson, S. M., & Pabis, S. (1961). Grain drying theory I: Temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 7, 85-89.
- Ho, H. T. N., & Nguyen, T. M. (2021). Influence of air temperature on the vacuum drying kinetics of black cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* cv. OG). *Can Tho University Journal of Science*, 57(1), 107-115 (in Vietnamese).
<https://doi.org/10.22144/ctu.jvn.2021.015>
- Ho, V. B., Nguyen, D. X., & Nguyen, T. A. (2015). Optimization of polyphenol extraction from guava leaves by response surface methodology. *Journal of Science and Development*, 13(7), 1144-1152 (in Vietnamese).
- Hong, H. V., Nguyen, T. M., Tran, G. N., Ngo, T. V., & Vo, M. Q. (2024). Effect of foaming agent and drying temperature on drying rate and quality of foam-mat dried papaya powder. *The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 13(6), 10725.
<https://doi.org/10.55251/jmbfs.10725>
- Jafari, S. M., Ghalenoei, M. G., & Dehnad, D. (2017). Influence of spray drying on water solubility index, apparent density, and anthocyanin content of pomegranate juice powder. *Powder Technology*, 311, 59-65.
<https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.01.070>
- Kadam, D. M., & Balasubramanian, S. (2011). Foam mat drying of tomato juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 35(4), 488-495.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2010.00492.x>

- Karim, A. A., & Wai, C. C. (1999). Characteristics of foam prepared from starfruit (*Averrhoa carambola* L.) puree by using methyl cellulose. *Food Hydrocolloids*, 13(3), 203-210. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(98\)00086-1](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(98)00086-1)
- Kingsly, A. R. P., & Singh, D. B. (2007). Drying kinetics of pomegranate arils. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 741-744. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.033>
- Koca, N., Karadeniz, F., & Burdurlu, H. S. (2007). Effect of pH on chlorophyll degradation and colour loss in blanched green peas. *Food Chemistry*, 100(2), 609-615. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.079>
- Kumar, M., Tomar, M., Amarowicz, R., Saurabh, V., Nair, M. S., Maheshwari, C., Sasi, M., Prajapati, U., Hasan, M., Singh, S., Changan, S., Prajapat, R. K., Berwal, M. K., & Satankar, V. (2021). Guava (*Psidium guajava* L.) leaves: nutritional composition, phytochemical profile, and health-promoting bioactivities. *Foods*, 10(4), 752. <https://doi.org/10.3390/foods10040752>
- Kutz, M. (2019). Food drying and evaporation processing operations. In W. L. Kerr (Eds.), *Handbook of farm, dairy and food machinery engineering* (pp. 353-387). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814803-7.00014-2>
- Lau, K. L., & Dickinson, E. (2005). Instability and structural change in an aerated system containing egg albumen and invert sugar. *Food Hydrocolloids*, 19(1), 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2004.04.020>
- Lee, S., & Kim, D. (2021). The role of polysaccharide in foam formation and stability. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 69(10), 2980-2988.
- McClements, D. J. (2015). *Food Emulsions: Principles, Practice, and Techniques*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781420039436>
- Naufalin, R., Erminawati, Wicaksono, R., Febryani, A. T., & Latifasari, N. (2021). Antioxidant activity of kecombrang preserving powder using foam mat drying method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 746(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/746/1/012017>
- Nguyen, P. N. M., Le, T. T., Vissenaekens, H., Gonzales, B., Camp, J. V., Smagghe, G., & Raes, K. (2019). *In vitro* antioxidant activity and phenolic profiles of tropical fruit by-products. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 1169-1178. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14093>
- Nguyen, T. M., Vo, T. Q., Nguyen, T. N., Tran, G. N, Vo, M. Q., & Ngo, T. V. (2022). Optimization of mulberry extract foam-mat drying process parameters. *Molecules*, 27(23), 8570. <https://doi.org/10.3390/molecules27238570>
- Page, G. E. (1949). *Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers* (M.Sc. thesis). Department of Mechanical Engineering, Purdue University, Purdue, USA.
- Pashazadeh, H., Redha, A. A., Hassan, A. M. A., & Koca, I. (2024). Optimizing the drying conditions of date plum (*Diospyros lotus* L.) to conserve its phenolic content and antioxidants for preparing a highly bioaccessible polyphenol-rich tea. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15, 9931-9939. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-05683-2>
- Raharitsifa, N., Genovese, D., & Ratti, C. (2006). Characterization of apple juice foams for foam-mat drying prepared with egg white protein and methylcellulose. *Journal of Food Science*, 71(3), 142-151. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb15627.x>
- Rajkumar, P., Kailappan, Viswanathan, R., & Raghavan, G. S. V. (2007). Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. *Journal of Food Engineering*, 79(4), 1452-1459. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.04.027>
- Saeed, I. E., Sopian, K., & Zainol Abidin, Z. B. (2006). Drying kinetics of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.): dried in constant temperature and humidity chamber. *Seminar Penyelidikan Siswazah Fakulti Kejuruteraan*, 143-148. <https://www.researchgate.net/publication/353051302>
- Shaari, N. A., Sulaiman, R., Rahman, R. A., & Bakar, J. (2017). Production of pineapple fruit (*Ananas comosus*) powder using foam mat drying: Effect of whipping time and egg albumen concentration. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(1), 13467. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13467>
- Smith, J., & Johnson, A. (2020). Influence of protein concentration on foam properties. *Journal of Food Science*, 85(2), 345-352.
- Sucipto, S., Tarigan, J. G. T. B., & Kumalaningsih, S. (2022). Optimazation of temperature and drying time of lemongrass and lime juice to produce antioxidant-rich instant powder. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1204(1), 01272. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1024/1/012072>
- Tavares, I. M. C., Castilhos, M. B. M., Mauro, M. A., Ramos, A. M., Souza, R. T., Gómez-Alonso, S., Gomes, E., Da-Silva, R., Hermosín-Gutiérrez., & Lago-Vanzela, E. S. (2019). BRS Violeta (BRS Rúbea× IAC 1398-21) grape juice

- powder produced by foam mat drying. Part I: Effect of drying temperature on phenolic compounds and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 298, 124971.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.124971>
- Truong, T. Q., Phung, L. T. T., Nguyen, T. T. P., & Nguyen, K. D. (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. *HCMCOUJS-Engineering and Technology*, 16(1), 25-33 (in Vietnamese).
<https://doi.org/10.46223/HCMCOUJS.tech.vi.16.1.1891.2021>
- Ung, T. M. A., Chau, N. T. T., Nguyen, H. T. (2022). Study on production of fruit powder from thailand jackfruit (*artocarpus heterophyllus* Lam.) by foam mat drying. *Journal of Nutrition & Food*, 18(3+4), 26-36 (in Vietnamese).
<https://doi.org/10.56283/1859-0381/288>
- Varhan, E., Elmas, F., & Koc, M. (2019). Foam mat drying of fig fruit: Optimization of foam composition and physicochemical properties of fig powder. *Journal of Food Process Engineering*, 42(4), 13022.
<https://doi.org/10.1111/jfpe.13022>
- Walsh, D. J., Russell, K., & FitzGerald, R. J. (2008). Stabilisation of sodium caseinate hydrolysate foams. *Food Research International*, 41(1), 43-52.
<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.09.003>
- Sifat, S. A. D., Trisha, A. T., Huda, N., Zzaman, W., & Julmohammad, N. (2021). Response surface approach to optimize the conditions of foam mat drying of plum in relation to the physical-chemical and antioxidant properties of plum powder. *International Journal of Food Science*, 1, 3681807.
<https://doi.org/10.1155/2021/3681807>