

**Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến đặc tính hóa lý, hàm lượng hợp chất sinh học
và hoạt tính chống oxy hóa của bột xà lách xoong**

**Giáp Phạm Ngọc Trâm*, Trần Tiểu Yên, Trần Minh Phúc,
Huỳnh Thị Hồng Nhung**

*Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long, 73 Nguyễn Huệ,
phường Long Châu, tỉnh Vĩnh Long, Việt Nam*

Ngày nhận bài 2/2/2026; ngày chuyển phản biện 4/2/2026;
ngày nhận phản biện 2/3/2026; ngày chấp nhận đăng 13/3/2026

Tóm tắt:

Nghiên cứu được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến chất lượng, hàm lượng hợp chất sinh học và hoạt tính chống oxy hóa của bột xà lách xoong (*Nasturtium officinale*). Kết quả cho thấy, nhiệt độ sấy ảnh hưởng đáng kể đến tất cả các chỉ tiêu khảo sát ($p < 0,05$). Khi nhiệt độ sấy tăng, giá trị hoạt độ nước (a_w) và độ sáng màu (L^*) giảm, đồng thời hàm lượng vitamin C, chlorophyll, polyphenol tổng số (TPC), flavonoid tổng số (TFC) và hoạt tính chống oxy hóa cũng suy giảm. Trong số các nghiệm thức, sấy ở 40°C cho thấy sự cân bằng giữa hiệu quả làm khô và khả năng bảo toàn chất lượng sản phẩm. Ở điều kiện này, bột xà lách xoong đạt $a_w = 0,45$, duy trì màu sắc chấp nhận được và giữ lại hàm lượng hợp chất sinh học ở mức cao (TPC đạt 13,83 mg GAE/g, TFC đạt 6,66 mg QE/g và khả năng khử gốc tự do DPPH đạt 14,64%). Kết quả nghiên cứu đề xuất nhiệt độ sấy 40°C là điều kiện phù hợp để sản xuất bột xà lách xoong có chất lượng và hoạt tính sinh học cao, tạo cơ sở cho việc ứng dụng trong các sản phẩm thực phẩm chức năng.

Từ khoá: bột xà lách xoong, chất chống oxy hoá, hợp chất hoạt tính sinh học, nhiệt độ sấy, xà lách xoong.

Chỉ số phân loại: 1.4, 2.4

**Effect of drying temperature on physicochemical properties, bioactive
compounds, and antioxidant activity of watercress powder**

(*Nasturtium officinale*)

**Pham Ngoc Tram Giap*, Tieu Yen Tran, Minh Phuc Tran,
Thi Hong Nhung Huynh**

*Vinh Long University of Technology and Education, 73 Nguyen Hue Street, Long
Chau Ward, Vinh Long Province, Vietnam*

Received 2 February 2026; revised 2 March 2026; accepted 3 March 2026

*Tác giả liên hệ: Email: tramgpn@vlute.edu.vn

Abstract:

This study was conducted to evaluate the effect of drying temperature on the quality, bioactive compound content, and antioxidant activity of watercress powder (*Nasturtium officinale*). The results indicated that drying temperature significantly affected all evaluated parameters ($p < 0.05$). As the drying temperature increased, the water activity (a_w) and lightness (L^*) decreased, while vitamin C content, chlorophyll, total phenolic content (TPC), total flavonoid content (TFC), and antioxidant activity were progressively reduced. Among the investigated treatments, drying at 40°C provided a favorable balance between drying efficiency and product quality preservation. Under this condition, watercress powder exhibited an a_w value of 0.45, acceptable color characteristics, and relatively high retention of bioactive compounds (TPC: 13.83 mg GAE/g, TFC: 6.66 mg QE/g, and DPPH radical scavenging activity: 14.64%). In conclusion, a drying temperature of 40°C is recommended as an appropriate condition for producing high-quality watercress powder with enhanced biological activity, providing a scientific basis for its application in functional food products.

Keywords: antioxidant activity, bioactive compounds, drying temperature, *Nasturtium officinale*, watercress powder.

Classification numbers: 1.4, 2.4

1. Đặt vấn đề

Xà lách xoong (*Nasturtium officinale*) là một loại rau lá xanh thuộc họ *Brassicaceae*, được đánh giá cao nhờ hàm lượng phong phú các hợp chất sinh học có hoạt tính như polyphenol, flavonoid và glucosinolate, đi kèm với hoạt tính chống oxy hóa mạnh và tiềm năng mang lại nhiều lợi ích sức khỏe cho người tiêu dùng [1]. Tuy nhiên, do hàm lượng nước cao, hoạt độ của nước lớn (a_w) và cấu trúc mô mềm, xà lách xoong tươi rất dễ hư hỏng sau thu hoạch, gây hạn chế đáng kể trong quá trình bảo quản, vận chuyển và ứng dụng ở quy mô công nghiệp.

Việc chế biến xà lách xoong thành dạng bột rau lá thông qua quá trình sấy khô được xem là giải pháp hiệu quả nhằm kéo dài thời gian bảo quản, giảm thể tích và khối lượng sản phẩm, đồng thời mở rộng khả năng ứng dụng trong các sản phẩm thực phẩm chức năng và thực phẩm bổ sung. Trong quá trình này, nhiệt độ sấy là yếu tố công nghệ then chốt, chi phối trực tiếp động học thoát ẩm, qua đó ảnh hưởng đến hàm lượng ẩm và hoạt độ nước (a_w), hai chỉ tiêu quyết định độ ổn định vi sinh và thời gian bảo quản của bột rau lá. Đồng thời, nhiệt độ sấy còn tác động đáng kể đến đặc tính hóa lý, giá trị cảm quan bao gồm màu sắc (L^* , a^* và b^*), cũng như mức độ bảo toàn các hợp chất sinh học nhạy nhiệt trong bột xà lách xoong [2].

Các nghiên cứu gần đây cho thấy, sấy không khí nóng ở dải nhiệt độ thấp đến trung bình có thể làm thay đổi đáng kể hàm lượng vitamin C, chlorophyll, cùng với polyphenol tổng số (TPC), flavonoid tổng số (TFC) và hoạt tính chống oxy hoá (DPPH) của bột rau lá. Khi nhiệt độ sấy tăng, quá trình phân huỷ nhiệt và oxy hoá diễn ra mạnh hơn, dẫn đến sự suy giảm các hợp chất sinh học nhạy nhiệt, đặc biệt là vitamin C và chlorophyll, đồng thời làm giảm khả năng kháng gốc tự do của sản phẩm. Ngược lại, nhiệt độ sấy quá thấp có thể kéo dài thời gian sấy, làm tăng nguy cơ oxy hoá kéo dài và giảm hiệu quả công nghệ tổng thể [3]. Bên cạnh đó, hàm lượng tro, đại diện cho tổng hàm lượng khoáng, có thể biến đổi tương đối theo nhiệt độ sấy, chủ yếu do hiệu ứng cô đặc chất khô khi hàm lượng nước giảm, hơn là do sự thay đổi bản chất của khoáng chất.

Trong số các phương pháp làm khô, sấy đông khô (freeze-drying) thường được xem là đối chứng lý tưởng trong nghiên cứu bột rau lá nhờ khả năng bảo toàn tối đa cấu trúc mô, màu sắc tự nhiên, hàm lượng vitamin C, chlorophyll và các hợp chất sinh học nhạy nhiệt, mặc dù chi phí và thời gian xử lý cao hơn so với sấy khí nóng truyền thống [4]. Do đó, việc so sánh chất lượng bột xà lách xoong sấy khí nóng ở các mức nhiệt thấp với bột sấy đông khô cho phép đánh giá toàn diện mức độ biến đổi đặc tính hoá lý (ẩm, a_w , màu sắc, tro) cũng như hàm lượng hợp chất sinh học và hoạt tính chống oxy hoá của sản phẩm.

Mặc dù đã có một số nghiên cứu gần đây đề cập đến ảnh hưởng của phương pháp sấy đối với hàm lượng hợp chất sinh học và hoạt tính chống oxy hoá của xà lách xoong, Tuy nhiên, các nghiên cứu tập trung chuyên sâu vào dải nhiệt độ sấy thấp (35-50°C) kết hợp so sánh với sấy đông khô đối với dạng bột xà lách xoong vẫn còn hạn chế [1]. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng ẩm, a_w , màu sắc (L^* , a^* và b^*), hàm lượng tro, vitamin C, chlorophyll, TPC, TFC và hoạt tính chống oxy hoá (khả năng khử gốc tự do DPPH) của bột xà lách xoong, từ đó xác định điều kiện sấy phù hợp, góp phần nâng cao giá trị sử dụng và tiềm năng ứng dụng của loại rau lá này trong lĩnh vực công nghệ thực phẩm.

2. Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng

Đối tượng nghiên cứu của đề tài là xà lách xoong (*Nasturtium officinale*), được chế biến thành bột rau lá thông qua các phương pháp sấy khác nhau nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến chất lượng sản phẩm. Xà lách xoong tươi được sấy bằng phương pháp sấy không khí nóng ở các mức nhiệt độ 35°C, 40°C, 45°C, 50°C và mẫu xà lách xoong sấy đông khô (freeze-drying) được sử dụng làm đối chứng. Sản phẩm bột xà lách xoong sau khi sấy được phân tích các đặc tính hoá lý bao gồm hàm lượng ẩm, hoạt độ nước (a_w), màu sắc (L^* , a^* và b^*) và hàm lượng tro, đồng thời xác định hàm lượng vitamin C, chlorophyll a và b, polyphenol tổng (TPC), flavonoid tổng (TFC) và

hoạt tính chống oxy hoá (khả năng khử gốc tự do DPPH) nhằm làm rõ mức độ biến đổi chất lượng và khả năng bảo toàn các hợp chất sinh học dưới tác động của nhiệt độ sấy.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Hoá chất: Trong nghiên cứu này, các hoá chất sử dụng đều có độ tinh khiết phân tích và có xuất xứ Trung Quốc, bao gồm: acid hydrochloric (HCl, 37%); hồ tinh bột (starch) dùng làm chỉ thị; iodine (I_2 , 99,8%); potassium iodide (KIO_3 , 99,8%); ethanol (C_2H_5OH , 99,7%); gallic acid ($C_7H_6O_5$, 99,0%) - chất chuẩn dùng trong xác định polyphenol tổng; thuốc thử Folin - Ciocalteu (FCR); sodium carbonate (Na_2CO_3 , 99,5%); quercetin dihydrate ($C_{15}H_{10}O_7$, 98,0%) - chất chuẩn dùng trong xác định flavonoid tổng; aluminium chloride ($AlCl_3$, 99,0%); sodium acetate (CH_3COONa , 99,0%) và gốc tự do 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH, $C_{18}H_{12}N_5O_6$, 95,0%) được sử dụng để đánh giá hoạt tính chống oxy hoá của mẫu.

Thiết bị: Các thí nghiệm trong nghiên cứu được tiến hành bằng hệ thống thiết bị phòng thí nghiệm bao gồm: máy sấy thực phẩm đối lưu (DRC-16T, Việt Nam), máy phân tích độ ẩm (MOC-63U, Nhật Bản), tủ sấy (D-130743, EU), bình hút ẩm chân không (Schott Duran, Đức), cân phân tích 4 số lẻ (PA214, Mỹ), máy đo hoạt độ nước (HP23-AW-SET-40, Thụy Sĩ), máy đo màu (MSEZ-4500L, Mỹ), lò nung (L5/11, Đức), bể điều nhiệt (NE2-22D, Anh), máy ly tâm (EBA21, Đức), máy vortex (945601, Mỹ) và máy đo quang phổ UV-Vis (SP-W1000, Trung Quốc). Tất cả các thiết bị này được đặt tại phòng thí nghiệm thuộc Khoa Sinh hoá - Thực phẩm, Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Vĩnh Long.

Phương pháp thí nghiệm: Nghiên cứu nhằm xác định nhiệt độ sấy phù hợp cho sản phẩm bột xà lách xoong về các tiêu chí: màu sắc, giá trị dinh dưỡng, hàm lượng các hợp chất sinh học, hoạt tính chống oxy hoá và thời hạn bảo quản. Nội dung nghiên cứu gồm 2 nội dung chính: Thí nghiệm 1: Phân tích thành phần hoá học và hoạt tính chống oxy hoá của xà lách xoong tươi. Thí nghiệm 2: Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến chất lượng và hoạt tính chống oxy hoá của bột xà lách xoong.

Thí nghiệm 1: Xà lách xoong tươi sau khi thu mua được lựa chọn đồng đều về kích thước và độ tươi, loại bỏ phần rễ và lá hư hỏng. Nguyên liệu được rửa sạch bằng nước máy, tráng lại bằng nước cất và để ráo tự nhiên. Sau đó tiến hành phân tích các chỉ tiêu: hàm lượng ẩm (%), hàm lượng tro (%), hàm lượng vitamin C (%), hàm lượng chlorophyll ($\mu g/g$), hàm lượng polyphenol (mg GAE/g), hàm lượng flavonoid (mg QE/g) và khả năng khử gốc tự do DPPH (%).

Thí nghiệm 2: Thí nghiệm được bố trí với năm mức khảo sát, bao gồm: sấy đông khô (A_0 - mẫu đối chứng), sấy không khí nóng ở $35^\circ C$ (A_1), $40^\circ C$ (A_2), $45^\circ C$ (A_3) và $50^\circ C$ (A_4). Đầu tiên, xà lách xoong tươi sau khi thu mua được lựa chọn đồng đều về kích thước và độ tươi, loại bỏ phần rễ và lá hư hỏng, sau đó rửa sạch bằng nước máy và tráng

lại bằng nước cất. Nguyên liệu được để ráo tự nhiên, cắt thành các đoạn có chiều dài đồng nhất nhằm đảm bảo sự thoát ẩm đồng đều trong quá trình sấy. Đối với mẫu đối chứng (A_0), xà lách xoong được cấp đông nhanh và sấy bằng phương pháp sấy đông khô cho đến khi đạt khối lượng không đổi (độ ẩm 8%). Đối với các mẫu sấy không khí nóng ($A_1 - A_4$), nguyên liệu được sấy trong máy sấy đối lưu ở các mức nhiệt độ tương ứng (35°C, 40°C, 45°C và 50°C) cho đến khi đạt độ ẩm 8%. Sau khi kết thúc quá trình sấy, các mẫu được làm nguội về nhiệt độ phòng trong bình hút ẩm, sau đó nghiền mịn và rây để thu được bột có kích thước hạt đồng đều. Bột xà lách xoong được bảo quản trong bao bì kín, tránh ánh sáng và ẩm cho đến khi tiến hành các phân tích tiếp theo. Các mẫu bột xà lách xoong được tiến hành phân tích các chỉ tiêu: Hoạt độ nước (a_w), màu sắc (L^* , a^* và b^*), hàm lượng ẩm (%), hàm lượng tro (%), hàm lượng vitamin C (%), hàm lượng chlorophyll a ($\mu\text{g/g}$), hàm lượng chlorophyll b ($\mu\text{g/g}$), hàm lượng polyphenol (mg GAE/g), hàm lượng flavonoid (mg QE/g) và khả năng khử gốc tự do DPPH (%).

Phương pháp phân tích: Hoạt độ nước (a_w) của các mẫu bột xà lách xoong được xác định bằng máy đo hoạt độ nước Rotronic (HP23-AW-SET-40, Thụy Sĩ). Màu sắc của mẫu được đo theo hệ màu CIE L^* , a^* và b^* bằng máy đo màu quang phổ HunterLab (MSEZ-4500L, Mỹ). Thiết bị được hiệu chuẩn bằng tấm chuẩn trắng tiêu chuẩn trước mỗi lần đo. Mẫu bột được rây đồng nhất, sau đó trải đều vào đĩa petri để tạo bề mặt phẳng, hạn chế khoảng trống nhằm giảm sai số do tán xạ ánh sáng. Đầu đo được đặt vuông góc với bề mặt mẫu và tiến hành đo tại ba vị trí khác nhau. Mỗi mẫu được lặp lại ba lần độc lập. Các thông số được ghi nhận bao gồm: L^* , a^* và b^* . Hàm lượng ẩm của xà lách xoong tươi được xác định theo phương pháp sấy đến khối lượng không đổi theo AOAC (1999) [5]. Trong khi hàm lượng ẩm của các mẫu bột xà lách xoong sau sấy được xác định bằng máy phân tích độ ẩm Shimadzu (MOC-63U, Nhật Bản). Hàm lượng tro tổng số được xác định theo phương pháp chuẩn AOAC (1999) [5]. Hàm lượng vitamin C được xác định theo phương pháp chuẩn độ iod sử dụng hồ tinh bột làm chất chỉ thị, dựa trên mô tả của M.J. Cho và cs (2004) [6]. Hàm lượng sắc tố chlorophyll trong dịch chiết xà lách xoong bằng dung môi ethanol 70% được xác định theo phương pháp quang phổ, dựa trên mô tả của T.Q. Truong (2021) [7] có điều chỉnh. Hàm lượng polyphenol tổng số (TPC) được xác định theo phương pháp Folin-Ciocalteu theo mô tả của R.N.S. Yadav và cs (2011) [8]. Hàm lượng flavonoid tổng số (TFC) được xác định theo phương pháp tạo phức với AlCl_3 theo mô tả của W.M.N.H.W. Salleh và cs (2017) [9]. Hoạt tính chống oxy hóa của dịch chiết xà lách xoong được xác định bằng phương pháp khử gốc tự do DPPH, dựa trên quy trình của R.E. Aluko (2014) [10].

Thời gian và phương pháp lấy mẫu: Xà lách xoong được thu hoạch vào buổi sáng (6-8 giờ) và vận chuyển về phòng thí nghiệm trong vòng 2 giờ sau thu hoạch. Nguyên liệu được lấy theo phương pháp ngẫu nhiên từ nhiều bó rau trong cùng lô, loại bỏ lá hư hỏng và trộn đều nhằm đảm bảo tính đồng nhất. Mẫu được chia thành các phần có khối

lượng bằng nhau cho từng nghiệm thức sấy và mỗi nghiệm thức được lặp lại ba lần. Trong quá trình sấy, mẫu được theo dõi định kỳ mỗi 2 giờ cho đến khi độ ẩm mẫu đạt 8%. Sau khi sấy, mẫu được nghiền, rây và lấy mẫu phân tích theo phương pháp chia tư để đảm bảo tính đồng nhất.

Phương pháp thu thập và xử lý số liệu: Thí nghiệm được bố trí theo mô hình một nhân tố, trong đó nhân tố khảo sát là nhiệt độ sấy với năm nghiệm thức (A_0 , A_1 , A_2 , A_3 và A_4). Mỗi nghiệm thức được thực hiện với ba lần lặp lại độc lập ($n=3$). Số liệu thu thập được xử lý bằng phương pháp phân tích phương sai một nhân tố (one-way ANOVA) nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy. Sau khi ANOVA cho kết quả có ý nghĩa, phép thử so sánh trung bình LSD (Least Significant Difference) ở mức tin cậy 95% được sử dụng để xác định sự khác biệt cụ thể giữa các nghiệm thức.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Thành phần hoá học và hoạt tính chống oxy hoá của xà lách xoong tươi

Kết quả phân tích thành phần hoá học và hoạt tính chống oxy hoá của xà lách xoong tươi được trình bày trong bảng 1. Xà lách xoong tươi có hàm lượng ẩm rất cao (96,13%), phản ánh đặc trưng của nhóm rau lá xanh với cấu trúc mô mềm và hàm lượng nước lớn. Kết quả này tương đồng với các báo cáo trước đây cho thấy hàm lượng ẩm của xà lách xoong tươi thường dao động trong khoảng 94-97% [1, 2]. Hàm lượng ẩm cao là nguyên nhân chính làm xà lách xoong dễ hư hỏng sau thu hoạch, đồng thời cho thấy, sự cần thiết của các biện pháp chế biến như sấy khô nhằm kéo dài thời gian bảo quản.

Bảng 1. Thành phần hoá học và hoạt tính chống oxy hóa của xà lách xoong tươi.

Chỉ tiêu phân tích	Kết quả phân tích
Ẩm (% ck)	96,13±0,06
Tro (% ck)	20,62±0,31
Vitamin C (% ck)	1,14±0,02
Chlorophyll a (µg/g ck)	11755,92±264,14
Chlorophyll b (µg/g ck)	6804,83±36,07
Kháng gốc tự do DPPH (%)	70,71±2,03
Polyphenol tổng số (mg GAE/g ck)	69,01±2,82
Flavonoid tổng số (mg QE/g ck)	71,64±3,04

Hàm lượng tro của xà lách xoong tươi đạt 20,62%, cho thấy loại rau này là nguồn cung cấp khoáng chất đáng kể. Giá trị này tương đồng với kết quả nghiên cứu của T.Ç. Ratner và cs (2010) [11] về ảnh hưởng của xà lách xoong (*Nasturtium officinale*) đến chất lượng trứng, màu sắc lòng đỏ và thành phần acid béo của lòng đỏ ở gà đẻ. Tác giả

ghi nhận hàm lượng tro của xà lách xoong là 20,60%. Kết quả cho thấy, hàm lượng tro của xà lách xoong và một số rau lá xanh thuộc họ *Brassicaceae* ở mức cao so với nhiều loại rau khác [2]. Hàm lượng tro cao góp phần nâng cao giá trị dinh dưỡng và tiềm năng ứng dụng của xà lách xoong trong các sản phẩm thực phẩm chức năng.

Hàm lượng vitamin C của xà lách xoong tươi đạt 1,14% ck cho thấy, đây là nguồn vitamin C tự nhiên quan trọng. Kết quả nghiên cứu của R.M.S. Cruz và cs (2008) [12] về mô hình hóa động học sự thay đổi màu sắc của xà lách xoong (*Nasturtium officinale*) dưới tác động của xử lý nhiệt và siêu âm nhiệt, cũng đã ghi nhận hàm lượng vitamin C trong xà lách xoong tươi là 50,40 mg/100g, khi quy đổi về căn bản khô (hàm lượng chất khô 10%) đạt 0,50%. Mặc dù có sự khác biệt nhất định về hàm lượng vitamin C do sự khác nhau về hàm lượng ẩm, nhưng các kết quả đều cho thấy, xà lách xoong là loại rau lá xanh giàu vitamin C, góp phần quan trọng vào hoạt tính chống oxy hoá tổng thể của nguyên liệu [1]. Tuy nhiên, vitamin C là hợp chất nhạy cảm với nhiệt và oxy, do đó hàm lượng hợp chất này có thể suy giảm đáng kể trong quá trình chế biến nhiệt, đặc biệt là sấy ở nhiệt độ cao.

Về hàm lượng sắc tố, xà lách xoong tươi có hàm lượng chlorophyll a và chlorophyll b lần lượt là 11.755,92 µg/g và 6.804,83 µg/g. Hàm lượng chlorophyll cao phản ánh màu xanh đặc trưng và giá trị cảm quan nổi bật của xà lách xoong. Kết quả này tương đối phù hợp với kết quả nghiên cứu của R.M.S. Cruz và cs (2008) [12], hàm lượng chlorophyll a và chlorophyll b lần lượt là 602,82 µg/g và 246,21 µg/g nguyên liệu tươi, tương ứng với hàm lượng ẩm 91,23% thì hàm lượng chlorophyll a và chlorophyll b, sau khi quy đổi về căn bản khô là 6.873,66 µg/g và 2.807,41 µg/g. Nhiều nghiên cứu cũng đã chỉ ra rằng, chlorophyll là nhóm sắc tố chiếm ưu thế trong rau lá xanh và có mối liên hệ chặt chẽ với khả năng chống oxy hoá cũng như chất lượng cảm quan của sản phẩm [2, 4].

Hàm lượng polyphenol tổng và flavonoid tổng lần lượt đạt 69,01 mg GAE/g và 71,64 mg QE/g. Kết quả này tương đối tương đồng với nghiên cứu của N.T.D. Huynh và cs (2021) [13] khi khảo sát thành phần hóa học và hoạt tính sinh học của các cao chiết từ xà lách xoong (*Nasturtium microphyllum*). Trong nghiên cứu này, hàm lượng TPC và TFC của cao chiết ethanol 70% được ghi nhận lần lượt là 3,53 mg GAE/g và 3,21 mg QE/g nguyên liệu tươi, khi quy đổi về căn bản khô (hàm lượng chất khô 10%), các giá trị TPC và TFC tương ứng đạt 35,30 mg GAE/g và 32,10 mg QE/g. Kết quả trên cũng cho thấy, xà lách xoong là nguồn giàu các hợp chất sinh học có hoạt tính. Polyphenol và flavonoid được xem là các thành phần chính góp phần vào khả năng chống oxy hoá của rau lá xanh thông qua cơ chế cho proton và ức chế quá trình oxy hoá lipid [8, 9]. Hàm lượng polyphenol và flavonoid cao có mối tương quan thuận với hoạt tính kháng gốc tự do DPPH của xà lách xoong [1, 2].

Hoạt tính chống oxy hoá của dịch chiết xà lách xoong tươi, đánh giá thông qua khả năng kháng gốc tự do DPPH, đạt 70,71%. Kết quả nghiên cứu của S. Zaman và cs (2024) [14] về hàm lượng polyphenol và tiềm năng chống oxy hóa trong *Nasturtium officinale* cũng ghi nhận khả năng khử gốc tự do DPPH là 69,57%. Giá trị này cho thấy xà lách xoong có khả năng trung hoà gốc tự do mạnh, phù hợp với các báo cáo trước đây về tiềm năng chống oxy hoá cao của loại rau này [1, 3]. Nhìn chung, kết quả phân tích cho thấy, xà lách xoong tươi có giá trị dinh dưỡng cao, giàu hợp chất sinh học và có hoạt tính chống oxy hoá mạnh. Đây là cơ sở khoa học quan trọng cho việc nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình sấy và nhiệt độ sấy đến sự biến đổi các chỉ tiêu hoá lý, hàm lượng hợp chất sinh học và hoạt tính chống oxy hoá của bột xà lách xoong trong các phần tiếp theo của nghiên cứu.

3.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến chất lượng và hoạt tính chống oxy hoá của bột xà lách xoong

3.2.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hoạt độ nước (a_w), màu sắc (L^* , a^* và b^*) của bột xà lách xoong

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hoạt độ nước (a_w), màu sắc (L^* , a^* và b^*) của bột xà lách xoong được trình bày ở bảng 2. Kết quả ở bảng 2 cho thấy, nhiệt độ sấy có ảnh hưởng rõ rệt đến hoạt độ nước (a_w) và các thông số màu sắc (L^* , a^* và b^*) của bột xà lách xoong ($p<0,05$).

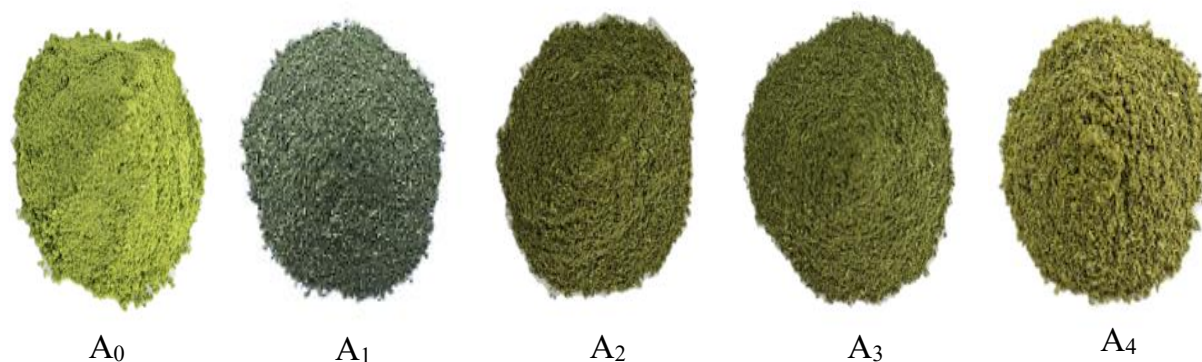
Bảng 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hoạt độ nước (a_w), màu sắc (L^* , a^* và b^*) của bột xà lách xoong.

Nghiệm thức	Thời gian sấy (giờ)	a_w	L^*	a^*	b^*
A ₀	28	0,45±0,01 ^{bc}	50,22±0,05 ^a	-11,72±0,03 ^a	26,42±0,06 ^b
A ₁	23	0,47±0,00 ^a	47,21±0,07 ^b	-11,98±0,11 ^c	26,67±0,1 ^{ab}
A ₂	20	0,45±0,00 ^b	45,74±0,10 ^c	-11,85±0,04 ^b	26,82±0,03 ^a
A ₃	17	0,43±0,00 ^c	45,08±0,49 ^d	-11,72±0,03 ^a	26,74±0,19 ^a
A ₄	12	0,42±0,00 ^d	44,82±0,05 ^d	-11,65±0,03 ^a	26,35±0,15 ^b

Các chữ a, b, c, d trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ở mức $p<0,05$ theo phép thử LSD.

Giá trị a_w giảm dần khi nhiệt độ sấy tăng, dao động từ 0,47 ở nghiệm thức A₁ xuống 0,42 ở nghiệm thức A₄ và giá trị a_w ở các nghiệm thức A₀, A₂, A₃ lần lượt là 0,45, 0,45, 0,43. Điều này cho thấy, nhiệt độ sấy cao thúc đẩy quá trình khuếch tán và bay hơi nước tự do trong cấu trúc nguyên liệu, từ đó làm giảm a_w và giảm khả năng nước tham gia vào các phản ứng hoá sinh và vi sinh [14]. Theo Fellows (2016) [15], giá trị $a_w<0,6$ là ngưỡng an toàn giúp hạn chế sự phát triển của vi sinh vật trong sản phẩm bột thực phẩm.

Kết quả này tương tự với nghiên cứu của E.K. Pichmony và cs (2017) [16] về đánh giá chất lượng dinh dưỡng và các thông số màu sắc của xà lách xoong khi sấy đối lưu (*Nasturtium officinale*). Nhóm tác giả đã ghi nhận khi tăng nhiệt độ sấy từ 40°C lên 55°C giá trị a_w giảm đáng kể, cụ thể giá trị a_w của xà lách xoong sấy đối lưu ở nhiệt độ 40°C và 55°C lần lượt là 0,46 và 0,40. Nhiệt độ sấy có ảnh hưởng đáng kể đến các thông số màu sắc (L^* , a^* và b^*) của bột xà lách xoong (hình 1).



Hình 1. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến màu sắc của bột xà lách xoong. A₀: sấy đông khô; A₁: sấy đối lưu ở nhiệt độ 35°C; A₂: sấy đối lưu ở nhiệt độ 40°C; A₃: sấy đối lưu ở nhiệt độ 45°C; A₄: sấy đối lưu ở nhiệt độ 50°C.

Đầu tiên, giá trị L^* (độ sáng) giảm có ý nghĩa thống kê khi nhiệt độ sấy tăng từ đối chứng đến 50°C. Cụ thể, giá trị L^* của nghiệm thức A₀, A₁, A₂, A₃ và A₄ lần lượt là 50,22; 47,21; 45,74, 45,08 và 44,82. Điều này cho thấy xu hướng sẫm màu của bột xà lách xoong khi tăng nhiệt độ sấy. Sự giảm giá trị L^* liên quan đến quá trình phân hủy sắc tố chlorophyll và phản ứng hoá nâu không enzyme xảy ra ở nhiệt độ cao [17]. Trái ngược với giá trị L^* , giá trị a^* âm (màu xanh) tăng nhẹ theo chiều tăng nhiệt độ sấy. Cụ thể, giá trị a^* của nghiệm thức A₀, A₁, A₂, A₃ và A₄ lần lượt là -11,72; -11,98; -11,85; -11,72 và -11,65, chứng tỏ mức độ xanh của bột giảm dần, điều này phản ánh sự suy giảm chlorophyll trong quá trình sấy. Tương tự, giá trị b^* (màu vàng) có xu hướng tăng ở các nghiệm thức sấy nhiệt cao do sự hình thành các hợp chất pheophytin và sản phẩm oxy hoá của chlorophyll [18]. Tuy nhiên, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$) giữa các nghiệm thức A₀, A₁, A₄, tương tự các nghiệm thức A₁, A₂, A₃ cũng không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Cụ thể, giá trị a^* có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Tuy nhiên, giá trị L^* có xu hướng giảm từ 44,94 xuống 44,54, tương tự giá trị a^* và b^* cũng có xu hướng giảm từ -11,59 xuống -11,83 và từ 26,87 xuống 23,56 khi tăng nhiệt độ sấy từ 40°C lên 55°C.

3.2.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng tro và hàm lượng vitamin C của bột xà lách xoong

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng tro và hàm lượng vitamin C của bột xà lách xoong được trình bày ở bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng tro và hàm lượng vitamin C của bột xà lách xoong.

Nghiệm thức	Hàm lượng tro (% CK)	Hàm lượng vitamin C (% CK)
A ₀	18,88±0,17 ^a	1,72±0,00 ^a
A ₁	18,59±0,11 ^b	1,55±0,03 ^c
A ₂	18,51±0,07 ^b	1,66±0,03 ^b
A ₃	18,48±0,11 ^b	1,63±0,00 ^b
A ₄	18,41±0,17 ^b	1,43±0,00 ^d

Các chữ a, b, c, d trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ở mức $p < 0,05$ theo phép thử LSD.

Theo bảng 3, hàm lượng tro của bột xà lách xoong dao động trong khoảng 18,41-18,88% (cbk) và giảm nhẹ khi nhiệt độ sấy tăng, tuy nhiên mức chênh lệch không lớn. Cụ thể, hàm lượng tro của các nghiệm thức A₀, A₁, A₂, A₃ và A₄ lần lượt là 18,88%; 18,59%; 18,51%; 18,48% và 18,41%. Hàm lượng tro phản ánh thành phần khoáng tổng số và thường ít bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ sấy; sự suy giảm nhẹ do tổn thất cơ học hoặc sự phân huỷ một phần khoáng dễ hoà tan trong quá trình xử lý nhiệt [19]. Giá trị hàm lượng tro của nghiên cứu này tương tự với báo cáo của NutriBotanica (2024) [20] về thông số kỹ thuật và quy trình sản xuất bột cải xà lách xoong. Báo cáo đã cho thấy hàm lượng tro của bột xà lách xoong có độ ẩm 10% là 16,23 g/100g.

Hàm lượng vitamin C có xu hướng giảm khi nhiệt độ sấy tăng. Mẫu đối chứng A₀ ghi nhận giá trị cao nhất (1,72%), trong khi nghiệm thức A₄ (50°C) cho giá trị thấp nhất (1,43%); các nghiệm thức A₁, A₂ và A₃ lần lượt đạt 1,55%; 1,66% và 1,63%. Kết quả cho thấy, nhiệt độ sấy cao thúc đẩy sự suy giảm vitamin C trong quá trình sấy. Mặc dù hàm lượng vitamin C của các mẫu sấy cao hơn so với nguyên liệu tươi (1,17%), sự khác biệt này chủ yếu do chênh lệch hàm lượng chất khô giữa các mẫu (khoảng 92% ở mẫu sấy so với khoảng 4% ở nguyên liệu tươi). Khi quy đổi về cùng cơ sở so sánh, lượng vitamin C thực tế trong các mẫu sấy giảm đáng kể. Sự suy giảm này có thể liên quan đến tính kém bền của vitamin C dưới tác động của nhiệt và oxy, dẫn đến quá trình oxy hóa thành dehydroascorbic acid và tiếp tục phân huỷ thành các hợp chất không còn hoạt tính sinh học [21]. Bên cạnh đó, thời gian tiếp xúc nhiệt kéo dài trong phương pháp sấy đối lưu và sự phá vỡ cấu trúc mô tế bào trong giai đoạn đông lạnh của sấy thăng hoa cũng có thể làm tăng mức độ oxy hóa vitamin C [22, 23]. Kết quả này phù hợp với

nghiên cứu của Pichmony và cs (2017) [16], trong đó hàm lượng vitamin C của xà lách xoong sấy đối lưu giảm từ 1678,40 mg/100 g xuống 1221,9 mg/100 g (cbk) khi nhiệt độ tăng từ 40°C lên 55°C. Xu hướng tương tự cũng được ghi nhận trong các nghiên cứu của N.D. Mrad và cs (2012) và C.H. Chong và cs (2013) [24, 25], khi hàm lượng vitamin C giảm đáng kể trong khoảng nhiệt độ sấy 40-60°C.

3.2.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng chlorophyll của bột xà lách xoong

Kết quả ở bảng 4 cho thấy, nhiệt độ sấy ảnh hưởng rõ rệt đến hàm lượng chlorophyll a và chlorophyll b của bột xà lách xoong ($p < 0,05$).

Bảng 4. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng chlorophyll a và chlorophyll b của bột xà lách xoong.

Nghiệm thức	Hàm lượng chlorophyll a ($\mu\text{g/g CK}$)	Hàm lượng chlorophyll b ($\mu\text{g/g CK}$)
A ₀	3983,93 $\pm$ 22,31 ^a	1758,68 $\pm$ 89,45 ^a
A ₁	3759,15 $\pm$ 19,84 ^b	1524,79 $\pm$ 46,86 ^b
A ₂	3622,09 $\pm$ 12,35 ^c	1432,41 $\pm$ 25,80 ^c
A ₃	3441,03 $\pm$ 14,03 ^d	1411,02 $\pm$ 38,42 ^c
A ₄	3376,98 $\pm$ 17,36 ^e	1394,14 $\pm$ 13,34 ^c

Các chữ a, b, c, d, e trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ở mức $p < 0,05$ theo phép thử LSD.

Hàm lượng chlorophyll a giảm mạnh từ 3983,93 $\mu\text{g/g}$ ở nghiệm thức đối chứng (A₀) xuống còn 3376,98 $\mu\text{g/g}$ ở nghiệm thức 50°C (A₄). Hàm lượng chlorophyll a ở các nghiệm thức còn lại A₁, A₂, và A₃ lần lượt là 3759,15 $\mu\text{g/g}$; 3622,09 $\mu\text{g/g}$ và 3441,03 $\mu\text{g/g}$. Tương tự, hàm lượng chlorophyll b cũng giảm dần theo chiều tăng nhiệt độ. Cụ thể, hàm lượng chlorophyll b của các nghiệm thức A₀, A₁, A₂, A₃ và A₄ lần lượt là 1758,68 $\mu\text{g/g}$; 1524,79 $\mu\text{g/g}$; 1432,41 $\mu\text{g/g}$; 1411,02 $\mu\text{g/g}$ và 1394,14 $\mu\text{g/g}$. Nguyên nhân chính của sự giảm hàm lượng chlorophyll a và chlorophyll b là do chlorophyll không bền nhiệt, dễ bị mất ion Mg^{2+} trong cấu trúc porphyrin để tạo thành pheophytin có màu nâu oliu [26]. Sự suy giảm chlorophyll này lý giải cho sự thay đổi màu sắc đã quan sát được ở mục 3.2.1. Kết quả tương đồng đã được báo cáo bởi M.B. Hossain và cs (2010) [27] khi nghiên cứu sấy rau bina và H.W. Xiao và cs (2017) trên bột cải bó xôi [18]. Kết quả nghiên cứu trên cũng phù hợp với nghiên cứu của E.K. Pichmony và cs (2017) đã cho thấy hàm lượng chlorophyll tổng số của xà lách xoong sấy đối lưu cũng có xu hướng giảm từ 73,90% xuống 59,20% khi tăng nhiệt độ từ 40°C lên 55°C [16].

3.2.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng polyphenol tổng số (TPC) và hàm lượng flavonoid tổng số (TFC) của bột xà lách xoong

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng polyphenol tổng số (TPC) và hàm lượng flavonoid tổng số (TFC) của bột xà lách xoong được trình bày ở bảng 5. Kết quả ở bảng 5 cho thấy, nhiệt độ sấy đã ảnh hưởng đến hàm lượng TPC, TFC và khả năng kháng gốc tự do DPPH của bột xà lách xoong ($p < 0,05$).

Bảng 5. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng polyphenol tổng số (TPC), hàm lượng flavonoid tổng số (TFC) và khả năng khử gốc tự do DPPH của bột xà lách xoong.

Nghiem thức	TPC (mg GAE/g CK)	TFC (mg QE/g CK)	Khả năng khử gốc tự do DPPH (%)
A ₀	15,09±0,22 ^a	6,90±0,03 ^a	14,87±0,13 ^a
A ₁	10,42±0,04 ^d	5,85±0,03 ^d	13,71±0,14 ^c
A ₂	13,83±0,91 ^b	6,66±0,04 ^b	14,64±0,13 ^b
A ₃	11,33±0,05 ^c	6,15±0,03 ^c	14,44±0,07 ^b
A ₄	9,06±0,43 ^e	5,50±0,04 ^e	13,40±0,05 ^d

Các chữ a, b, c, d, e trên cùng một cột thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa ở mức $p < 0,05$ theo phép thử LSD.

Đối với hàm lượng TPC, nghiệm thức đối chứng (A₀) ghi nhận giá trị cao nhất (15,09 mg GAE/g), trong khi các nghiệm thức sấy ở nhiệt độ cao cho xu hướng giảm rõ rệt; đặc biệt nghiệm thức A₄ (50°C) đạt giá trị thấp nhất (9,06 mg GAE/g). Tuy vậy, nghiệm thức A₂ (40°C) vẫn duy trì được hàm lượng TPC tương đối cao (13,83 mg GAE/g) so với các nghiệm thức còn lại. Xu hướng tương tự cũng được ghi nhận đối với hàm lượng TFC. Cụ thể, nghiệm thức đối chứng A₀ đạt giá trị cao nhất (6,90 mg QE/g), trong khi nghiệm thức A₄ (50°C) có giá trị thấp nhất (5,50 mg QE/g). Đáng chú ý, nghiệm thức A₂ (40°C) vẫn bảo toàn được hàm lượng TFC tương đối cao (6,66 mg QE/g) so với các nghiệm thức khác. Sự suy giảm hàm lượng TPC và TFC ở các nghiệm thức sấy nhiệt có thể liên quan đến ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian sấy. Nhiều nghiên cứu cho thấy việc gia tăng nhiệt độ kết hợp với thời gian sấy kéo dài có thể làm giảm đáng kể các hợp chất phenolic và flavonoid trong nguyên liệu thực vật [28]. Nhiệt độ cao thúc đẩy quá trình phân hủy nhiệt và oxy hóa các hợp chất phenolic, trong khi thời gian sấy dài hơn tạo điều kiện cho các phản ứng enzyme và phi enzyme xảy ra mạnh hơn, từ đó làm giảm lượng phenolic và flavonoid có thể định lượng được [29, 30]. Cơ chế này có thể giải thích vì sao nghiệm thức A₁ cho hàm lượng TPC và TFC thấp hơn so với nghiệm thức A₂ và A₃, đồng thời nghiệm thức A₄ ghi nhận giá trị thấp nhất. Bên cạnh đó, các biến đổi xảy ra trong quá trình sấy cũng góp phần làm cho hàm lượng TPC và TFC của mẫu xà lách xoong sấy thấp hơn so với mẫu tươi. Xu hướng tương tự đã

được ghi nhận trong nghiên cứu của M.S. Rabeta và cs (2015) [31] trên bột lá chè xanh và D.S. Sogi và cs (2013) [32] trên bột lá chùm ngây.

3.2.5. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy hoạt tính chống oxy hoá của bột xà lách xoong

Khả năng khử gốc tự do DPPH của bột xà lách xoong có xu hướng giảm khi nhiệt độ sấy tăng (bảng 5). Kết quả cho thấy nghiệm thức A₀ đạt giá trị cao nhất (14,87%), trong khi ở nghiệm thức A₄ giá trị này giảm xuống còn 13,40%. Tuy nhiên, các nghiệm thức A₂ và A₃ vẫn duy trì được hoạt tính khử gốc tự do tương đối cao, lần lượt đạt 14,64% và 14,44%, trong khi nghiệm thức A₁ đạt 13,71%. Hoạt tính chống oxy hoá thường có mối liên hệ chặt chẽ với hàm lượng các hợp chất hoạt tính sinh học như polyphenol, flavonoid, chlorophyll và vitamin C. Khi các hợp chất này bị suy giảm do tác động của nhiệt độ cao và thời gian sấy kéo dài, khả năng trung hòa gốc tự do cũng giảm theo [33]. Điều này góp phần giải thích vì sao khả năng khử gốc tự do DPPH của các mẫu sau sấy thấp hơn đáng kể so với mẫu xà lách xoong tươi (70,71%). Đáng chú ý, các nghiệm thức A₂ và A₃ vẫn duy trì hoạt tính DPPH tương đối cao, cho thấy nhiệt độ sấy trung bình (40-45°C) có thể là điều kiện phù hợp nhằm cân bằng giữa quá trình giảm ẩm và bảo toàn các hợp chất có hoạt tính sinh học. Xu hướng này cũng tương đồng với các kết quả được báo cáo bởi E.W.C. Chan và cs (2007) [34] và A. Vega-Gálvez và cs (2009) [35] khi nghiên cứu quá trình sấy ở các loại rau lá xanh giàu hợp chất chống oxy hóa.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến chất lượng và các đặc tính sinh học của bột xà lách xoong (*Nasturtium officinale*). Kết quả cho thấy, nhiệt độ sấy có tác động đáng kể đến hoạt độ nước (a_w), màu sắc (L^* , a^* và b^*), hàm lượng hợp chất sinh học và hoạt tính chống oxy hóa của sản phẩm. Trong các nghiệm thức khảo sát, nghiệm thức A₂ (sấy ở 40°C) được xác định là điều kiện sấy phù hợp nhất nhằm đạt được mục tiêu nghiên cứu là giảm ẩm hiệu quả đồng thời bảo toàn giá trị dinh dưỡng và hoạt tính sinh học của bột xà lách xoong. Cụ thể, ở nhiệt độ 40°C, bột xà lách xoong đạt giá trị $a_w=0,45$, thấp hơn ngưỡng cho phép đối với sự phát triển của vi sinh vật ($a_w<0,6$), cho thấy khả năng bảo quản ổn định. Đồng thời, mẫu A₂ vẫn duy trì màu sắc ở mức chấp nhận được với $L^*=45,76$. Về mặt thành phần sinh học, nghiệm thức A₂ cho thấy, khả năng bảo toàn hợp chất sinh học vượt trội. Hàm lượng vitamin C đạt 1,66%, chlorophyll a và chlorophyll b lần lượt đạt 3622,09 µg/g và 1432,41 µg/g. Đặc biệt, hàm lượng polyphenol tổng số (13,83 mg GAE/g), flavonoid tổng số (6,66 mg QE/g) ở nghiệm thức A₂ vẫn được bảo toàn ở mức cao, góp phần duy trì hoạt tính khử gốc tự do DPPH đạt 14,64%, gần tương đương mẫu đối chứng và cao hơn đáng kể so với các nghiệm thức sấy ở nhiệt độ cao hơn. Từ kết quả nghiên cứu này, trong các nghiên cứu tiếp theo cần tiếp tục khảo sát ảnh hưởng các phương pháp sấy khác nhằm tối ưu hóa hơn nữa chất lượng sản phẩm. Ngoài ra, việc đánh giá độ ổn định trong quá trình bảo quản dài hạn và

khả năng ứng dụng của bột xà lách xoong trong các sản phẩm thực phẩm cũng là những hướng nghiên cứu cần được quan tâm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] P. Kijkuokool, I. Stepanov, S. Ounjaijean (2024), “Effects of drying methods on the phytochemical contents, antioxidant properties and anti-diabetic activity of *Nasturtium officinale* R.Br (Betong watercress) from Southern Thailand”, *Life*, **14**(9), DOI: 10.3390/life14091204.
- [2] H. Araújo-Rodrigues, D. Santos, D.A. Campos, et al. (2021), “Impact of processing approach and storage time on bioactive and biological properties of rocket, spinach and watercress byproducts”, *Foods*, **10**(10), DOI: 10.3390/foods10102301.
- [3] S. Kittibunchakul, P. Temviriyakul, P. Chaikham, et al. (2023), “Effects of freeze drying and convective hot-air drying on predominant bioactive compounds, antioxidant potential and safe consumption of maoberry fruits”, *LWT - Food Science and Technology*, **184**, DOI: 10.1016/j.lwt.2023.114992.
- [4] N. Coşkun, S. Sarıtaş, Y. Jaouhari, et al. (2024), “The impact of freeze drying on bioactivity and physical properties of food products”, *Applied Sciences*, **14**(20), DOI: 10.3390/app14209183.
- [5] AOAC International (1999), *Official Methods of Analysis of AOAC International* (16th ed., 5th rev.), Gaithersburg.
- [6] M.J. Cho, L.R. Howard, R.L. Prior, et al. (2004), “Flavonoid glycosides and antioxidant capacity of various blackberry, blueberry, and red grape genotypes determined by high-performance liquid chromatography/mass spectrometry”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **84**(13), pp.1771-1782, DOI: 10.1002/jsfa.1885.
- [7] T.Q. Truong, T.T.T. Phung, T.T.P. Nguyen, et al. (2021), “The effects of drying temperature on the content of polyphenol compounds, carotenoids, chlorophyll, and antioxidant activity of crab claw herb (*Peperomia pellucida* (L.)) collected in Tien Giang province”, *HCMCOUJS - Engineering and Technology*, **16**(1), pp.25-33, DOI: 10.46223/HCMCOUJS.tech.vi.16.1.1891.2021.
- [8] R.N.S. Yadav, M. Agarwala (2011), “Phytochemical analysis of some medicinal plants”, *Journal of Phytology*, **3**(12), pp.10-14.
- [9] W.M.N.H.W. Salleh, F. Ahmad, H.Y. Khong (2017), “Determination of flavonoids and antioxidant activities of plant extracts”, *Journal of Food Measurement and Characterization*, **11**, pp.2193-2201, DOI: 10.1007/s11694-017-9566-8.
- [10] R.E. Aluko (2014), “Antioxidant properties of protein hydrolysates from food proteins: A review”, *Trends in Food Science & Technology*, **37**, pp.42-52, DOI: 10.1016/j.tifs.2014.03.002.
- [11] T.Ç. Ratner, C. Gökmen, Y. Gürbüz (2010), “Effect of watercress (*Nasturtium officinale* R.Br.) on egg quality, yolk colour and yolk fatty acid composition in laying hens”, *Archiv für Geflügelkunde*, **74**(3), pp.178-182.
- [12] R.M.S. Cruz, M.C. Vieira, C.L.M. Silva (2008), “Effect of heat and thermosonication treatments on watercress (*Nasturtium officinale*) vitamin C

degradation kinetics”, *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, **9(4)**, pp.483-488, DOI: 10.1016/j.ifset.2007.10.005.

[13] N.T.D. Huynh, P.T. Nguyen, P.L. Nguyen (2021), “Investigation of the chemical composition and biological activities of extracts from watercress (*Nasturtium microphyllum*)”, *Can Tho University Journal of Science*, **57(2)**, pp.78-86, DOI: 10.22144/ctu.jvn.2021.040 (in Vietnamese).

[14] S. Zaman, R. Ahmad, M.A. Binobead, et al. (2024), “Polyphenolic contents and antioxidant potential in *Nasturtium officinale*”, *Journal of King Saud University - Science*, **36**, DOI: 10.1016/j.jksus.2024.103223.

[15] P.J. Fellows (2016), *Food Processing Technology: Principles and Practice* (4th ed.), Woodhead Publishing, UK, pp.30-35.

[16] E.K. Pichmony, A.C. Araújo, S.M. Oliveira, et al. (2017), “Assessment of nutritional quality and color parameters of convective dried watercress (*Nasturtium officinale*)”, *Journal of Food Processing and Preservation*, **42(2)**, DOI: 10.1111/jfpp.13459.

[17] C. Ratti (2001), “Hot air and freeze-drying of high-value foods: A review”, *Journal of Food Engineering*, **49(4)**, pp.311-319, DOI: 10.1016/S0260-8774(00)00228-4.

[18] H.W. Xiao, Z. Pan, L.Z. Deng, et al. (2017), “Recent developments and trends in thermal blanching - A comprehensive review”, *Information Processing in Agriculture*, **4(2)**, pp.101-127, DOI: 10.1016/j.inpa. 2017.02.001.

[19] E. Demirhan, B. Özbek (2010), “Thin-layer drying characteristics and modelling of celery leaves undergoing microwave treatment”, *Chemical Engineering Communications*, **197(7)**, pp.957-975, DOI: 10.1080/00986445.2011.545298.

[20] NutriBotanica (2024), *Watercress Phyto Powder - Product Specification and Process* (Code: BnoP).

[21] S.K. Lee, A.A. Kader (2000), “Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops”, *Postharvest Biology and Technology*, **20(3)**, pp.207-220, DOI: 10.1016/S0925-5214(00)00133-2.

[22] K. Nakagawa, A. Horie, M. Nakabayashi, et al. (2021), “Influence of processing conditions of atmospheric freeze-drying/low-temperature drying on the drying kinetics of sliced fruits and their vitamin C retention”, *Journal of Agriculture and Food Research*, **6**, DOI: 10.1016/j.jafr.2021. 100231.

[23] İ. Alibaş, S.S. İpek (2026), “Effects of major drying methods on the stability and retention of vitamin C, B group vitamins, fat-soluble vitamins, and carotenoids in kiwifruits”, *Journal of Food Composition and Analysis*, **150**, DOI: 10.1016/j.jfca.2026.108880.

[24] N.D. Mrad, N. Boudhrioua, N. Kechaou, et al. (2012), “Influence of air drying temperature on kinetics, physicochemical properties, total phenolic content and ascorbic acid of pears”, *Food and Bioproducts Processing*, **90(3)**, pp.433-441, DOI: 10.1016/j.fbp.2011.11.009.

[25] C.H. Chong, C.L. Law, A. Figiel, et al. (2013), “Colour, phenolic content and antioxidant capacity of some fruits dehydrated by a combination of different drying methods”, *Food Chemistry*, **141(4)**, pp.3889-3896, DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.06.042.

[26] J. Gross (1991), *Pigments in Vegetables: Chlorophylls and Carotenoids*, Van Nostrand Reinhold, New York.

[27] M.B. Hossain, C. Barry-Ryan, A.B. Martin-Diana, et al. (2010), “Effect of drying method on the antioxidant capacity of six Lamiaceae herbs”, *Food Chemistry*, **123(1)**, pp.85-91, DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.04.003.

[28] M. Karaaslan, F.M. Yilmaz, Ö. Cesur, et al. (2014), “Drying kinetics and thermal degradation of phenolic compounds and anthocyanins in pomegranate arils dried under vacuum conditions”, *International Journal of Food Science and Technology*, **49(2)**, pp.595-605, DOI: 10.1111/ijfs.12342.

[29] J. Patrón-Vázquez, L. Baas-Dzul, N. Medina-Torres, et al. (2019), “The effect of drying temperature on the phenolic content and functional behavior of flours obtained from lemon wastes”, *Agronomy*, **9(9)**, DOI: 10.3390/agronomy9090474.

[30] N.D. Vu, D.T.N. Diep, N.A. Nguyen, et al. (2024), “Physicochemical components, antioxidant activity, and predictive models for quality of soursop tea (*Annona muricata* L.) during heat pump drying”, *Open Chemistry*, **22(1)**, DOI: 10.1515/chem-2024-0095.

[31] M.S. Rabeta, S.P. Lin (2015), “Effects of different drying methods on the antioxidant activities of leaves and berries of *Cayratia trifolia*”, *Sains Malaysiana*, **44**, pp.275-280, DOI: 10.17576/jsm-2015-4402-16.

[32] D.S. Sogi, M. Siddiq, I. Greiby, et al. (2013), “Total phenolics, antioxidant activity, and functional properties of ‘Tommy Atkins’ mango peel and kernel as affected by drying methods”, *Food Chemistry*, **141(3)**, pp.2649-2655, DOI: 10.1016/j.foodchem.2013.05.053.

[33] R.L. Prior, X. Wu, K. Schaich (2005), “Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **53(10)**, pp.4290-4302, DOI: 10.1021/jf0502698.

[34] E.W.C. Chan, Y.Y. Lim, M. Omar (2007), “Antioxidant and antibacterial activity of leaves of *Etlingera* species (Zingiberaceae) in Peninsular Malaysia”, *Food Chemistry*, **104(4)**, pp.1586-1593, DOI: 10.1016/j.foodchem.2007.03.023.

[35] A. Vega-Gálvez, K.D. Scala, K. Rodríguez, et al. (2009), “Effect of air-drying temperature on physicochemical properties, antioxidant capacity, colour and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum* L.)”, *Food Chemistry*, **117(4)**, pp.647-653, DOI: 10.1016/j.foodchem.2009.04.066.