

ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ CHÍN THU HOẠCH, THỜI GIAN HẤP VÀ SẤY BƠM NHIỆT ĐẾN HÀM LƯỢNG HỢP CHẤT PHENOL VÀ HOẠT TÍNH CHỐNG OXY HÓA CỦA BỘT GỪNG ĐEN (*Distichochlamys orlowii*)

Nguyễn Hiền Trang¹, Trương Thị Bích Phượng², Lê Thị Chung³, Mạc Thị Hà Thanh⁴,
Phạm Minh Trọng⁵, Võ Văn Quốc Bảo^{1*}

¹ Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

² Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế, Huế, Việt Nam

³ Trung tâm Y tế Pleiku tỉnh Gia Lai, Gia Lai, Việt Nam

⁴ Trường Đại học Bách khoa, Đại học Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

⁵ Phân Viện Khoa học hình sự tại Đà Nẵng, Đà Nẵng, Việt Nam

* Tác giả liên hệ Võ Văn Quốc Bảo <vvqbao@hueuni.edu.vn>

(Ngày nhận bài: 13-03-2026; Hoàn thành phản biện: 20-05-2025; Ngày chấp nhận đăng: 21-05-2026)

Tóm tắt. Nghiên cứu này khảo sát ảnh hưởng của độ chín thu hoạch, thời gian hấp và nhiệt độ sấy bơm nhiệt đến hàm lượng hợp chất phenol tổng số (TPC) và hoạt tính kháng oxy hóa (IC₅₀) của bột Gừng đen (*Distichochlamys orlowii*). Kết quả cho thấy giai đoạn trưởng thành sinh lý đóng vai trò quyết định đến chất lượng nguyên liệu; trong đó, thời điểm thu hoạch 11 tháng sau trồng là tốt nhất với hàm lượng chất khô hòa tan và đường khử cao, đồng thời TPC tăng và IC₅₀ giảm so với các giai đoạn sớm hơn. Trong công đoạn tiền xử lý, hấp hơi nước bão hòa trong 2 phút giúp tăng hàm lượng TPC và cải thiện năng lực kháng oxy hóa (IC₅₀ thấp nhất). Đối với quá trình sấy, nhiệt độ sấy bơm nhiệt 55 °C là điều kiện phù hợp để bảo tồn hoạt chất nhạy nhiệt, cho sản phẩm bột có TPC đạt 3,44 mg GAE/g CK, giá trị IC₅₀ thấp nhất (451,56 µg/mL) và độ hòa tan đạt 25,75%. Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học quan trọng cho việc chuẩn hóa chế biến bột Gừng đen giàu hoạt chất và có hoạt tính chống oxy hóa cao.

Từ khóa: bột Gừng đen, *Distichochlamys orlowii*, độ chín thu hoạch, hấp hơi nước, sấy bơm nhiệt

Effects of harvest maturity, steaming time and heat pump drying on phenolic content and antioxidant activity of Black ginger (*Distichochlamys orlowii*) powder

Nguyen Hien Trang¹, Truong Thi Bich Phuong², Le Thi Chung³, Mac Thi Ha Thanh⁴,
Pham Minh Trong⁵, Vo Van Quoc Bao^{1*}

¹ University of Agriculture and Forestry, Hue University, Hue, Vietnam

² University of Sciences, Hue University, Hue, Vietnam

³ Health Center of Pleiku, Gia Lai Province, Gia Lai, Vietnam

⁴ University of Science and Technology, Da Nang University, Da Nang, Vietnam

⁵ Sub-Institute of Forensic Science in Da Nang, Da Nang, Vietnam

* Correspondence to Vo Van Quoc Bao <vvqbao@hueuni.edu.vn>

(Received: 13 March 2026; Revised: 20 May 2026; Accepted: 21 May 2026)

Abstract. This study focused on the effects of harvest maturity, steaming time and heat pump drying temperature on the total phenolic content (TPC) and antioxidant activity (IC₅₀) of Black ginger powder (*Distichochlamys orlowii*). The results indicated that the physiological ripening stage plays a decisive role in raw material quality; specifically, the 11-month post-planting harvest time was optimal with high total soluble solids (TSS) and high reducing sugar content, while there was an increase in TPC combined with a decrease in IC₅₀ values compared with earlier stages. In the pre-treatment stage, saturated steaming for 2 minutes significantly enhanced TPC and improved antioxidant capacity (achieving the lowest IC₅₀). Regarding the dehydration process, a heat pump drying temperature of 55 °C was the best for preserving heat-sensitive bioactive compounds, resulting in a Black ginger powder product with a TPC of 3.44 mg GAE/g DW, the lowest IC₅₀ value (451.56 µg/mL), and a solubility of 25.75%. The research results are an important scientific basis for standardising the processing of a Black ginger powder, which is rich in bioactive compounds and has high antioxidant activity.

Keywords: Black ginger powder, *Distichochlamys orlowii*, harvest maturity, heat pump drying, steam treatment

1 Mở đầu

Gừng đen (*Distichochlamys orlowii*) là loài thực vật đặc hữu thuộc chi *Distichochlamys*, họ Gừng (*Zingiberaceae*), được phát hiện lần đầu tại Việt Nam. Trong y học cổ truyền và ẩm thực dân gian, thân rễ cây Gừng đen không chỉ được sử dụng như một loại gia vị tạo hương vị đặc trưng mà còn là một dược liệu quý với các đặc tính sinh học ưu việt. Các nghiên cứu công bố trong những năm gần đây đã khẳng định Gừng đen có lượng hợp chất thứ cấp dồi dào, bao gồm các dẫn xuất polyphenol, polymethoxyflavones, flavonoid và các anthocyanin – những thành phần trực tiếp tham gia vào cơ chế bảo vệ tế bào thông qua hoạt tính chống viêm, bắt gốc tự do và ngăn ngừa các hội chứng chuyển hóa [1]. Đặc biệt, các hoạt chất không bay hơi như gingerol và shogaol còn góp phần tăng cường sức khỏe tim mạch [2] và hỗ trợ điều trị bệnh tiểu đường [3–5].

Trong xu hướng tiêu dùng hiện đại, bột Gừng đen đang trở thành dạng thương phẩm phổ biến nhờ tính tiện dụng, hạn bảo quản dài và khả năng ứng dụng đa dạng trong công nghiệp thực phẩm, dược phẩm và thực phẩm chức năng. Tuy nhiên, chất lượng hóa sinh và hoạt tính sinh học của bột thành phẩm phụ thuộc khắt khe vào sự tương tác giữa yếu tố nội tại và các thông số kỹ thuật trong quá trình chế biến. Độ chín thu hoạch không chỉ ảnh hưởng đến sự tích lũy chất khô mà

còn quyết định hồ sơ phenol và năng lực kháng oxy hóa tự nhiên của nguyên liệu. Bên cạnh đó, các phương pháp tiền xử lý nhiệt như hấp hay chần và công nghệ sấy đóng vai trò then chốt trong việc bất hoạt enzyme oxy hóa và bảo tồn các hợp chất nhạy nhiệt [6, 7].

Mặc dù tiềm năng của Gừng đen là rất lớn, nhưng các công bố về quy trình sản xuất bột từ loài gừng đặc hữu *Distichochlamys orlowii* hiện còn rất hạn chế, đặc biệt là sự thiếu hụt các nghiên cứu về sự kết hợp giữa độ chín tối ưu và công nghệ sấy bơm nhiệt hiện đại. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xác lập cơ sở khoa học cho quy trình chế biến thông qua việc xác định thời điểm thu hoạch thích hợp để đạt hàm lượng hoạt chất cao nhất, khảo sát ảnh hưởng của quá trình hấp nhiệt ẩm đến việc giải phóng các hợp chất phenol liên kết và chế độ sấy bơm nhiệt để duy trì tối đa năng lực kháng oxy hóa. Kết quả nghiên cứu sẽ cung cấp quy trình công nghệ chuẩn hóa, góp phần nâng cao giá trị chuỗi cung ứng nông sản và phát triển các sản phẩm dược liệu chất lượng cao từ củ Gừng đen tại Việt Nam.

2 Vật liệu và phương pháp

2.1 Vật liệu

Củ Gừng đen được thu hoạch tại các hộ dân thuộc Xã Phong Điền, Thành phố Huế, trồng

theo cùng quy trình canh tác. Sau thu hoạch, mẫu được vận chuyển về phòng thí nghiệm trong ngày, rửa sạch, để ráo, gọt vỏ và cắt lát với độ dày $2 \pm 0,5$ mm. Mẫu được bảo quản trong túi zip ở 4 ± 1 °C và được tiến hành thí nghiệm trong vòng ≤ 48 giờ sau sơ chế.

Các hóa chất chính gồm: Folin-Ciocalteu, Na_2CO_3 , AlCl_3 , DPPH, ABTS, $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$, Trolox, ethanol (hoặc methanol) và các hóa chất phân tích thông thường (độ tinh khiết phân tích).

2.2 Phương pháp

Bố trí thí nghiệm

Thực nghiệm được triển khai hệ thống qua các giai đoạn kế tiếp nhau, bắt đầu từ khâu tuyển chọn nguyên liệu đạt chuẩn về độ chín thu hoạch. Sau khi sơ chế và rửa sạch, nguyên liệu được cắt lát với kích thước đồng nhất nhằm tối ưu hóa diện tích tiếp xúc cho các phản ứng nhiệt hóa tiếp theo. Tiếp đến, các lát gừng trải qua công đoạn chần (hoặc hấp hơi nước) để bất hoạt hệ enzyme oxy hóa, đồng thời thúc đẩy sự đứt gãy các liên kết nội bào nhằm giải phóng các hợp chất phenol tự do.

Công đoạn quan trọng tiếp theo là quá trình sấy (sử dụng công nghệ sấy bơm nhiệt) để tách ẩm và đưa sản phẩm về ngưỡng an toàn bảo quản. Cuối cùng, mẫu khô được nghiền mịn để tạo ra sản phẩm bột thành phẩm đạt độ đồng nhất cao, sử dụng cho các phân tích đánh giá hàm lượng hoạt chất và hoạt tính sinh học.

Quy trình thí nghiệm được thực hiện theo trình tự: nguyên liệu $\rightarrow$ sơ chế $\rightarrow$ cắt lát $\rightarrow$ hấp $\rightarrow$ sấy $\rightarrow$ nghiền $\rightarrow$ thu sản phẩm.

Xác định độ chín thu hoạch

Mẫu Gừng đen tươi được thu hoạch tại năm giai đoạn sinh trưởng tương ứng 8, 9, 10, 11 và 12 tháng sau trồng nhằm lựa chọn nguyên liệu có chất lượng tốt nhất cho các công đoạn chế biến bột gừng. Ở mỗi giai đoạn, mẫu được phân tích các chỉ tiêu hóa lý và sinh hóa. Các chỉ tiêu hóa lý

gồm độ ẩm (sấy đến khối lượng không đổi), chất khô hòa tan (TSS, °Brix), hàm lượng đường khử (phương pháp DNS, %). Các chỉ tiêu sinh hóa bao gồm polyphenol tổng số (TPC) và hoạt tính chống oxy hóa (DPPH). Kết quả được tổng hợp thành chỉ số chín để lựa chọn giai đoạn thu hoạch thích hợp làm nguyên liệu đầu vào cho các nghiên cứu tiền xử lý và sấy tiếp theo.

Khảo sát ảnh hưởng của thời gian hấp

Gừng đen tươi sau sơ chế được cắt lát với độ dày $2 \pm 0,5$ mm và xử lý bằng hơi nước bão hòa ở nhiệt độ sôi của nước với các khoảng thời gian thay đổi: 0 (đối chứng), 1, 2, 3, 4, và 5 phút. Sử dụng nồi hấp có nắp kín với 100 g cho mỗi mẫu, được trải lớp mỏng trên lưới hấp để đảm bảo truyền nhiệt đồng đều. Thời gian hấp được tính từ thời điểm hơi nước ổn định và nhiệt độ trong buồng hấp đạt trạng thái sôi ổn định sau khi đưa mẫu vào. Khi kết thúc hấp, mẫu được lấy ra ngay và để nguội nhanh về nhiệt độ phòng trước khi sấy bằng công nghệ bơm nhiệt ở 50 °C đến khi đạt độ ẩm an toàn 8%. Sản phẩm khô được nghiền mịn thành bột và tiến hành phân tích hàm lượng polyphenol tổng số và khả năng kháng oxy hóa (IC_{50}).

Khảo sát điều kiện sấy bơm nhiệt

Mẫu Gừng đen sau khi xử lý hấp theo điều kiện đã chọn được sấy bằng hệ thống sấy bơm nhiệt tại các mức nhiệt độ 40, 45, 50, 55 và 60 °C nhằm xác lập chế độ nhiệt tối ưu cho việc bảo tồn các hợp chất sinh học nhạy cảm. Thí nghiệm được thực hiện theo phương thức sấy đến điểm kết thúc mục tiêu ứng với độ ẩm khoảng 8% (TCVN 8959:2011), nhằm phân tích sâu về đặc tính tách ẩm; biến thiên khối lượng được ghi nhận định kỳ với tần suất 30 phút.

Sau khi sấy, mẫu được phân tích các chỉ tiêu chất lượng gồm độ ẩm, hàm lượng polyphenol tổng số và hoạt tính chống oxy hóa. Nhiệt độ sấy được lựa chọn dựa trên khả năng

bảo toàn tối đa hợp chất phenol và hoạt tính chống oxy hóa, đồng thời đảm bảo điều kiện bảo quản ổn định của bột thành phẩm.

Phương pháp phân tích

Xác định polyphenol tổng và hoạt tính chống oxy hóa (DPPH – IC₅₀)

Cân 0,2 g bột; thêm 10,0 mL ethanol 70% (v/v) (tỷ lệ 1:50, w/v). Siêu âm ở 40 kHz và 30 °C trong 30 phút; ly tâm 5000 g/10 phút; lọc và thu dịch chiết để phân tích.

Hàm lượng polyphenol tổng số được xác định theo Folin-Ciocalteu với đường chuẩn acid gallic ($R^2 \geq 0,995$), biểu thị bằng mg GAE/g CK.

Khả năng kháng oxy hóa: Chuẩn bị DPPH 0,1 mM; pha loãng mẫu tối thiểu 5 mức nồng độ; ủ tối 30 phút; đo độ hấp thụ quang ở bước sóng 517 nm. Tính % ức chế DPPH và xác định IC₅₀ (μg/mL) theo phương pháp hồi quy tuyến tính [8, 9].

Xác định độ ẩm

Độ ẩm được xác định bằng phương pháp sấy đến khối lượng không đổi ở 105 °C ± 2 °C (TCVN 8949:2011).

Độ hòa tan

Độ hòa tan của bột gừng được xác định bằng cách hòa tan 2 g bột gừng trong 50 mL nước cất và khuấy trong 10 phút. Sau đó, ly tâm dung dịch thu được ở tốc độ 5000 vòng/phút trong 10 phút. Phần dịch nổi được thu thập và sấy khô ở 105 °C trong 12 giờ cho đến khối lượng không đổi nhằm xác định tổng lượng chất rắn hòa tan. Độ hòa tan trong nước tính theo phần trăm được tính như sau [10]:

$$\text{Độ hòa tan (\%)} = \frac{\text{Khối lượng phần dịch nổi}}{\text{Khối lượng mẫu ban đầu}} \times 100$$

Xử lý số liệu

Số liệu được xử lý bằng Microsoft Excel và phần mềm SPSS phiên bản 22.0 với phân tích phương sai để xác định sự sai khác giữa các nghiệm thức bằng kiểm định Duncan ($p < 0,05$).

3 Kết quả và thảo luận

3.1 Ảnh hưởng của độ chín thu hoạch đến các chỉ tiêu hóa lý và hoạt tính sinh học của bột Gừng đen

Việc xác định thời điểm thu hoạch thích hợp đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát chất lượng nguyên liệu và hiệu quả bảo tồn các hợp chất sinh học trong quá trình sản xuất bột gừng. Các chỉ tiêu hóa lý và hoạt tính sinh học của bột Gừng đen biến thiên rõ rệt theo giai đoạn sinh trưởng của cây (8–12 tháng sau trồng).

Bảng 1. Ảnh hưởng của độ chín thu hoạch đến các chỉ tiêu hóa lý và hoạt tính sinh học của bột Gừng đen

Độ chín (tháng)	Hàm lượng chất khô hòa tan (%)	Hàm lượng đường khử (% CK)	Hàm lượng polyphenol (mg GAE/g CK)	Khả năng kháng oxy hóa IC ₅₀ (μg/mL)
8	24,83 ^a ± 0,91	29,26 ^a ± 1,29	2,14 ^a ± 0,39	616,82 ^a ± 14,27
9	26,83 ^b ± 0,81	32,11 ^b ± 1,02	2,50 ^b ± 0,19	603,60 ^a ± 11,42
10	27,02 ^b ± 0,52	33,16 ^{bc} ± 2,15	2,82 ^c ± 0,32	552,80 ^b ± 8,15
11	27,56 ^b ± 0,68	34,50 ^c ± 2,04	2,90 ^c ± 0,49	533,83 ^c ± 10,27
12	24,87 ^a ± 0,82	32,78 ^{bc} ± 3,11	2,96 ^c ± 0,51	541,25 ^{bc} ± 31,76

Ghi chú: Các chữ cái in thường khác nhau trong cùng một cột cho biết sự sai khác có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Các chỉ tiêu hóa lý và hoạt tính sinh học trong bột Gừng đen phụ thuộc vào giai đoạn sinh trưởng, phản ánh quá trình chuyển hóa sinh hóa

nội tại. Xu hướng này cho biết giai đoạn tích lũy carbohydrate hòa tan mạnh ở pha trưởng thành sinh lý (9–11 tháng), trước khi xảy ra tái phân bố vật chất hoặc tăng thành phần cấu trúc. Kết quả nghiên cứu cho thấy hàm lượng chất khô hòa tan và đường khử đạt giá trị cực đại tại thời điểm 11 tháng sau trồng trước khi có xu hướng sụt giảm ở giai đoạn 12 tháng (Bảng 1). Hàm lượng chất khô hòa tan tăng rõ từ 24,83% ở tháng thứ 8 lên 27,56% ở tháng thứ 11, sau đó giảm xuống 24,87% ở tháng thứ 12. Diễn biến tương tự cũng được ghi nhận đối với đường khử, khi giá trị tăng từ 29,26% CK ở tháng thứ 8 lên 34,50% CK ở tháng thứ 11, sau đó giảm nhẹ ở tháng thứ 12.

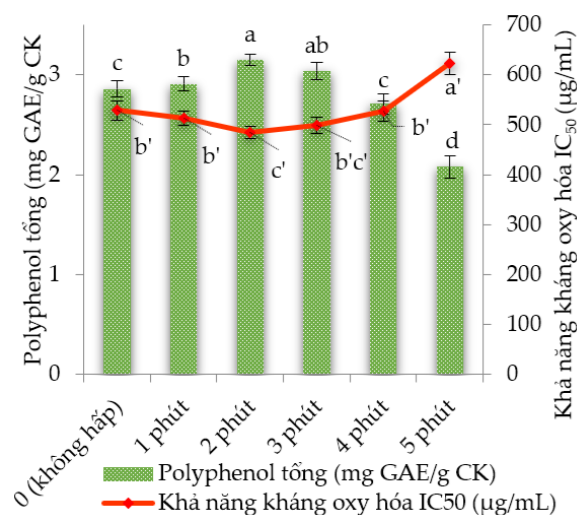
Hiện tượng này có thể là do sự chuyển hóa các hợp chất carbohydrate hòa tan thành các polymer cấu trúc như cellulose và lignin khi củ già hóa hoặc do sự tiêu tốn năng lượng cho hoạt động hô hấp duy trì trong giai đoạn ngủ nghỉ của thực vật. Xu hướng tăng trưởng TSS trong giai đoạn trưởng thành của gừng đen hoàn toàn tương đồng với các công bố của Plotto và cộng sự [11] và Sida và cộng sự trên các giống gừng thương phẩm [12].

Đáng chú ý là hàm lượng polyphenol tổng số và lực kháng oxy hóa tăng liên tục và đạt trạng thái tối ưu ở giai đoạn 11–12 tháng. Việc giảm chỉ số IC_{50} từ 616,82 $\mu\text{g/mL}$ xuống còn 533,83 $\mu\text{g/mL}$ cho thấy sự tích lũy mạnh mẽ của các hợp chất phenol thứ cấp đóng vai trò chủ đạo trong việc khử các gốc tự do [13]. Điều này chứng tỏ có mối tương quan nghịch giữa TPC và hoạt tính chống oxy hóa. Xu hướng này tương đồng với các công bố về tăng các hợp chất phenol dẫn đến tăng khả năng bắt gốc tự do [14, 15]. Tuy nhiên, mặc dù tháng thứ 12 có TPC cao nhất về mặt số học (2,96 mg GAE/g CK), giá trị này không khác biệt có ý nghĩa thống kê so với tháng thứ 11, trong khi hàm lượng chất khô hòa tan và lượng đường khử giảm rõ và độ dao động của IC_{50} lớn hơn. Điều này cho thấy sau khi đạt đến đỉnh sinh lý, sự tích lũy các hợp chất phenol có xu hướng ổn định, còn chất

lượng công nghệ của nguyên liệu bắt đầu suy giảm. Vì vậy, xét tổng hợp trên cả phương diện hóa lý, hoạt tính sinh học và tính thích hợp cho chế biến sau thu hoạch, tháng thứ 11 được xem là thời điểm thu hoạch phù hợp nhất để sản xuất bột gừng đen.

3.2 Ảnh hưởng của thời gian hấp đến hàm lượng polyphenol và hoạt tính kháng oxy hóa của bột gừng đen

Quá trình hấp hơi nước tác động trực tiếp đến cấu trúc mô và độ bền của các liên kết hóa học trong củ gừng đen. Kết quả thực nghiệm về sự biến đổi TPC và giá trị IC_{50} của bột gừng đen sau sấy được trình bày trên Hình 1.



Hình 1. Ảnh hưởng của thời gian hấp đến hàm lượng polyphenol và khả năng kháng oxy hóa của bột gừng đen

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau (a, b, c, d đối với TPC và a', b', c' đối với IC_{50}) cho biết sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Kết quả từ Hình 1 cho thấy hàm lượng TPC tăng từ 2,86 lên mức cực đại 3,15 mg GAE/g CK sau 2 phút hấp. Sự gia tăng này không chỉ do việc bất hoạt enzyme oxy hóa mà còn liên quan mật thiết đến sự phá vỡ cấu trúc mạng lưới cellulose và pectin của thành tế bào. Dưới tác động của nhiệt và ẩm, các liên kết ester và glycoside giữa polyphenol với polymer thành tế bào bị đứt gãy, chuyển hóa các hợp chất phenol từ dạng liên kết

sang dạng tự do, dẫn đến hiệu suất chiết xuất gia tăng biểu kiến. Tương tự, hoạt tính kháng oxy hóa cũng đạt mức cao nhất tại thời điểm này (IC_{50} thấp nhất, đạt 485,10 $\mu\text{g/mL}$). Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của Wang và cộng sự trên gừng tươi khi áp dụng công nghệ chân hơi nước, giúp bảo tồn và làm giàu hàm lượng các hợp chất sinh học nhạy nhiệt qua việc giải phóng cấu trúc mô [6].

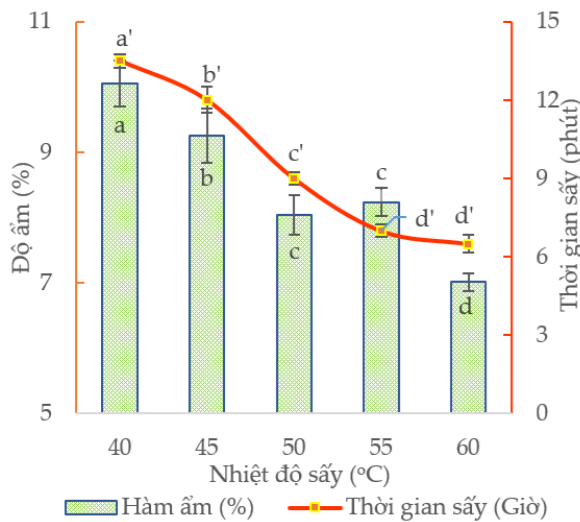
Khi thời gian hấp vượt quá 3 phút, hàm lượng TPC giảm mạnh xuống còn 2,08 mg GAE/g CK và giá trị IC_{50} tăng vọt lên 623,90 $\mu\text{g/mL}$ tại mốc 5 phút. Đây là kết quả chủ yếu của quá trình phân hủy nhiệt so với quá trình giải phóng hoạt chất. Ở nhiệt độ sôi của nước trong thời gian kéo dài, sự oxy hóa các dẫn xuất gingerol và phá hủy cấu trúc vòng thơm của các hợp chất phenol đơn giản diễn ra. Ngoài ra, việc hấp quá lâu làm tăng độ xốp mô quá mức, khiến các hợp chất dễ bay hơi và các chất chống oxy hóa hòa tan bị thất thoát theo dòng hơi ngưng tụ. Xu hướng này cũng được quan sát thấy trong nghiên cứu của Wang và cộng sự [6] khi chứng minh xử lý nhiệt cao làm suy giảm đáng kể năng lực bắt gốc tự do do sự trùng hợp các phenol thành các dạng có hoạt tính thấp hơn [16].

Sự tương quan nghịch chặt chẽ giữa TPC và IC_{50} trong thí nghiệm này hoàn toàn tương đồng với các kết quả công bố trên các loại thân rễ họ Zingiberaceae như củ nghệ [17]. Theo Pellegrini và cộng sự, phương pháp hấp được ưu tiên hơn so với chân nước sôi vì hạn chế được sự mất mát do thẩm thấu, từ đó bảo tồn được hoạt chất sinh học tốt nhất cho sản phẩm dạng bột [18]. Vì vậy, thời gian hấp 2 phút là thông số kỹ thuật thích hợp để sản xuất bột Gừng đen giàu giá trị dược tính.

3.3 Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng polyphenol và hoạt tính kháng oxy hóa của bột Gừng đen

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến thời gian sấy và độ ẩm của bột Gừng đen

Sấy là giai đoạn then chốt trong quy trình sản xuất bột Gừng đen, tác động trực tiếp đến hiệu quả kinh tế (thông qua thời gian sấy) và khả năng bảo quản (thông qua độ ẩm cuối). Kết quả thực nghiệm về sự biến đổi thời gian sấy và hàm lượng ẩm tại các mức nhiệt độ khác nhau (40, 45, 50, 55 và 60 °C) được trình bày trên Hình 2.



Hình 2. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến thời gian sấy và độ ẩm của bột Gừng đen

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau (a, b, c, d đối với độ ẩm của bột Gừng đen và a', b', c', d' đối với thời gian sấy) thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Kết quả thực nghiệm về động học sấy bom nhiệt của Gừng đen xắt lát (Hình 2) cho thấy mối tương quan nghịch rõ rệt giữa nhiệt độ sấy và thời gian đạt đến độ ẩm cân bằng. Khi nhiệt độ tăng từ 40 lên 60 °C, thời gian sấy giảm đáng kể ($p < 0,05$). Đặc biệt, tại các mức nhiệt độ cao (55–60 °C), tốc độ tách ẩm ở giai đoạn đầu diễn ra rất mạnh do động lực quá trình (sự chênh lệch áp suất hơi nước giữa bề mặt vật liệu và môi trường) gia tăng mạnh mẽ.

Sự rút ngắn thời gian sấy khi tăng nhiệt độ là quy luật phổ biến trong kỹ thuật sấy lớp mỏng. Tuy nhiên, với công nghệ sấy bom nhiệt, việc duy

trì độ ẩm tương đối ($RH < 30\%$) của không khí sấy ở mức thấp giúp quá trình thoát ẩm diễn ra liên tục ngay cả ở vùng nhiệt độ thấp ($40\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$). Theo nghiên cứu mới nhất của Muthukumar và cộng sự trên Gừng đen, việc tăng nhiệt độ sấy làm tăng hệ số khuếch tán ẩm hiệu dụng, giúp rút ngắn thời gian sấy nhưng đồng thời cũng làm tăng nguy cơ biến đổi cấu trúc các hợp chất nhạy nhiệt [19].

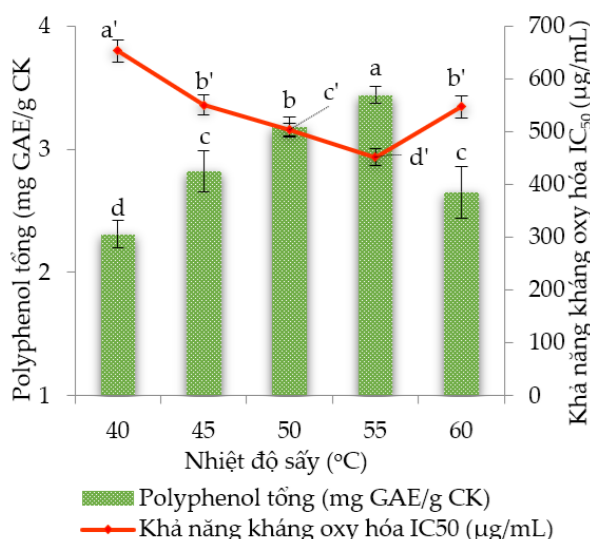
Một điểm quan trọng cần lưu ý là độ ẩm cuối cùng của sản phẩm. Theo kết quả thực nghiệm, tất cả các mẫu bột Gừng đen sau sấy đều đạt độ ẩm khoảng 8%. Đối chiếu với TCVN 8959:2011 (ISO 5562:1983) về nghệ củ và nghệ bột (một đối tượng tương đồng trong họ *Zingiberaceae*), quy định độ ẩm tối đa cho nghệ bột không được vượt quá 10% khối lượng. Như vậy, chế độ sấy bơm nhiệt trong nghiên cứu này không chỉ đảm bảo hiệu suất tách ẩm mà còn đưa sản phẩm về ngưỡng độ ẩm an toàn theo tiêu chuẩn quốc gia, giúp ngăn ngừa sự phát triển của vi sinh vật và kéo dài thời gian bảo quản.

Xét dưới góc độ vi cấu trúc vật liệu, việc sấy ở nhiệt độ quá cao có thể gây ra hiện tượng chai cứng bề mặt, trong đó lớp bề mặt khô nhanh tạo thành một lớp cản trở khuếch tán ẩm từ lõi ra ngoài. Hiện tượng này dẫn đến sự phân bố ẩm không đồng đều và có thể ảnh hưởng đến cấu trúc của bột sau nghiền. Các nghiên cứu trên gừng và các loại thân rễ gia vị cho thấy khi nhiệt độ sấy tăng, tốc độ thoát ẩm tăng đáng kể do hệ số khuếch tán ẩm hiệu dụng tăng. Tuy nhiên, nhiệt độ quá cao có thể gây biến đổi cấu trúc và suy giảm một số hợp chất hoạt tính sinh học [20, 21]. Ngoài ra, sự giảm độ ẩm nhanh chóng khi tăng nhiệt độ cũng được công bố trong nghiên cứu của Malik và cộng sự [7]. Các tác giả nhấn mạnh rằng đối với các loài nhạy nhiệt như Gừng đen, việc duy trì nhiệt độ sấy ở mức trung bình là cần thiết để tránh hiện tượng chai cứng bề mặt, một hiện tượng ngăn cản sự thoát ẩm từ tâm mẫu và phân hủy các hợp chất phenol quý giá. Vì vậy, khuyến nghị sử dụng nhiệt độ sấy trung bình (50--

$55\text{ }^{\circ}\text{C}$) để đạt được sự cân bằng giữa hiệu quả tách ẩm và bảo toàn các hợp chất nhạy nhiệt trong gừng.

Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng polyphenol và hoạt tính kháng oxy hóa của bột Gừng đen

Sự biến đổi hàm lượng polyphenol tổng số và khả năng kháng oxy hóa (IC_{50}) của bột Gừng đen dưới tác động của nhiệt độ sấy được trình bày trên Hình 3. Kết quả cho thấy nhiệt độ sấy có ảnh hưởng đáng kể và mang tính chất hai mặt đến chất lượng hoạt chất của sản phẩm ($p < 0,05$).



Hình 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng polyphenol và hoạt tính kháng oxy hóa của bột Gừng đen

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau (a, b, c, d đối với TPC và a', b', c', d' đối với IC_{50}) thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

Hàm lượng TPC đạt giá trị cao nhất tại mức nhiệt độ sấy $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($3,44\text{ mg GAE/g CK}$). Đồng thời tại giá trị này, mẫu cũng có hoạt tính kháng oxy hóa mạnh nhất với chỉ số IC_{50} thấp nhất ($451,56\text{ }\mu\text{g/mL}$). Mặc dù nhiệt độ sấy thấp thường được ưu tiên để bảo vệ hoạt chất, nhưng tại mức 40 và $45\text{ }^{\circ}\text{C}$, hàm lượng TPC lại thấp đáng kể (tương ứng với $2,31$ và $2,82\text{ mg GAE/g CK}$). Nguyên nhân chủ yếu là do thời gian sấy kéo dài (lần lượt là $13,5$ và $12,0$ giờ), tạo điều kiện cho các

phản ứng oxy hóa xảy ra trong quá trình tiếp xúc lâu với oxy trong không khí sấy. Các hợp chất phenol tự do dễ bị oxy hóa trong điều kiện tác dụng nhiệt và oxy kéo dài, dẫn đến suy giảm hàm lượng polyphenol tổng số và hoạt tính kháng oxy hóa. An và cộng sự khẳng định rằng trong giai đoạn đầu của quá trình sấy nhiệt độ thấp, hàm lượng ẩm cao và thời gian tiếp xúc dài với oxy là nguyên nhân chính gây tổn thất hoạt chất [22].

Khi nhiệt độ tăng lên 55 °C, thời gian sấy được rút ngắn đáng kể (7,0 giờ), giúp hạn chế sự tiếp xúc của hoạt chất với oxy. Đồng thời, nhiệt độ này phá vỡ cấu trúc vách tế bào thực vật, giúp giải phóng các hợp chất chống oxy hóa dưới dạng tự do. Theo Muthukumar và cộng sự về sấy Gừng đen, khoảng nhiệt độ trung bình từ 50 đến 60 °C giúp duy trì tốt nhất hàm lượng methoxyflavones, thành phần quan trọng tạo nên hoạt tính sinh học của loại củ này [19]. Sự tương quan nghịch giữa TPC và IC₅₀ tại mốc 55 °C cho thấy nồng độ polyphenol đóng vai trò chủ đạo trong việc quyết định năng lực bắt gốc tự do DPPH của sản phẩm bột.

Tuy nhiên, khi nâng nhiệt độ lên 60 °C, mặc dù thời gian sấy ngắn nhất (6,5 giờ), nhưng hàm lượng TPC giảm xuống chỉ còn 2,6 mg GAE/g CK và giá trị IC₅₀ tăng lên 546,80 µg/mL. Hiện tượng này có thể là do sự phân hủy nhiệt của các hợp chất phenol nhạy nhiệt. Ngoài ra, việc tách ẩm quá nhanh ở bề mặt có thể gây ra những biến đổi hóa học bất lợi tại tâm mẫu trước khi ẩm kịp thoát ra ngoài. Theo Zagórska và cộng sự, việc vượt ngưỡng nhiệt độ ổn định gây ra sự biến đổi cấu trúc vòng thơm và làm mất các nhóm hydroxyl hoạt động, thành phần cốt lõi quyết định khả năng bắt gốc tự do của dược liệu [23]. Kết quả này cho thấy việc lựa chọn nhiệt độ sấy trung bình là cần thiết để đạt được sự cân bằng giữa hiệu quả tách ẩm và bảo toàn hoạt tính sinh học của bột Gừng đen [24].

Độ hòa tan trong nước của bột gừng

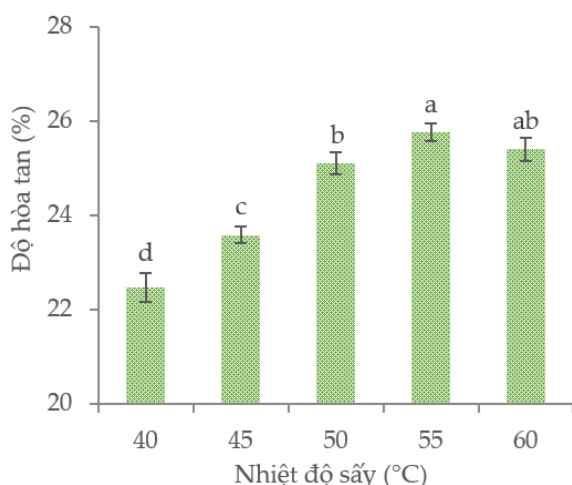
Độ hòa tan trong nước là một chỉ tiêu vật lý quan trọng, trực tiếp phản ánh khả năng phân tán và giải phóng các hợp chất sinh học có lợi của sản phẩm bột khi sử dụng. Kết quả khảo sát cho thấy nhiệt độ sấy bơm nhiệt có tác động rõ rệt đến đặc tính này của bột Gừng đen.

Kết quả thực nghiệm cho thấy độ hòa tan trong nước của bột gừng tỉ lệ thuận với nhiệt độ sấy trong khoảng từ 40 đến 55 °C. Mẫu sấy ở 40 °C có độ tan thấp nhất (22,47%), sau đó tăng dần và đạt giá trị cực đại tại 55 °C (25,75%). Sự khác biệt giữa các mức nhiệt độ này có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$), được đánh dấu bằng các chữ cái khác nhau trên Hình 4. Xu hướng gia tăng này có thể là do nhiệt độ sấy tối ưu giúp thúc đẩy quá trình tách ẩm nhanh, tạo ra cấu trúc hạt bột có độ xốp mao quản lớn, tạo điều kiện thuận lợi cho nước xâm nhập và hòa tan các thành phần như đường tự do, acid hữu cơ và các hợp chất phenol. Tuy nhiên, khi nâng nhiệt độ lên 60 °C, độ hòa tan có xu hướng giảm nhẹ xuống còn 25,40% và không có sự sai khác có ý nghĩa thống kê so với các mẫu sấy ở 50 và 55 °C. Hiện tượng này có thể liên quan đến sự co rút cấu trúc mô thực vật hoặc sự tái sắp xếp của các thành phần cấu trúc khi vật liệu bị sấy ở nhiệt độ cao, làm giảm nhẹ khả năng thấm nước của bột sau nghiên.

Mức độ hòa tan đạt xấp xỉ 25–26% trong nghiên cứu này, tương đối tương đồng với các công bố trước đây trên các sản phẩm bột từ thân rễ của các loại cây gia vị. Ratnawati và cộng sự ghi nhận độ hòa tan của bột gừng thương phẩm dao động trong khoảng 22–28% [25], trong khi Shaukat và cộng sự công bố giá trị 25,7–33,2% đối với gừng sấy bằng các phương pháp khác nhau [26]. Ngoài ra, các nghiên cứu trên các loại bột gia vị từ thân rễ như bột nghệ cũng cho thấy độ hòa tan thường nằm trong khoảng 16,17–26,51% [27]. Theo Belwa và cộng sự, độ hòa tan của các loại bột thực phẩm nói chung phụ thuộc đáng kể vào kích thước hạt, hàm lượng chất xơ không tan và

phương pháp chế biến [28]. So với các kết quả này, giá trị độ hòa tan thu được trong nghiên cứu hiện tại có thể được xem là tương đối cao đối với sản phẩm bột dược liệu nguyên chất không qua trích ly. Nguyên nhân là do Gừng đen chứa một lượng đáng kể các thành phần cấu trúc không hòa tan như cellulose, hemicellulose và lignin, làm hạn chế một phần khả năng hòa tan hoàn toàn của vật liệu. Do đó, việc đạt được độ hòa tan xấp xỉ 26% được xem là mức phù hợp đối với các sản phẩm bột thảo mộc tự nhiên.

Bên cạnh đó, độ hòa tan cao tại mức nhiệt độ sấy 55 °C cũng có xu hướng tương ứng với hiệu quả bảo tồn các hợp chất hoạt tính sinh học của sản phẩm. Ở điều kiện này, bột Gừng đen không chỉ đạt độ hòa tan cao nhất mà còn có hàm lượng polyphenol tổng số lớn nhất (3,44 mg GAE/g CK) và hoạt tính kháng oxy hóa mạnh nhất (IC₅₀ thấp nhất, 451,56 µg/mL). Điều này cho thấy nhiệt độ sấy bom nhiệt khoảng 55 °C có thể tạo ra sự cân bằng thuận lợi giữa quá trình tách ẩm và bảo tồn các đặc tính hóa lý quan trọng của bột Gừng đen, góp phần nâng cao giá trị sử dụng của sản phẩm dược liệu dạng bột.



Hình 4. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến độ hoà tan trong nước của bột Gừng đen

Ghi chú: Các chữ cái khác nhau thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$).

4 Kết luận

Nghiên cứu này đã đánh giá ảnh hưởng của độ chín thu hoạch, hấp tiền xử lý và sấy bom nhiệt đến chất lượng và hoạt tính sinh học của bột Gừng đen. Nguyên liệu thu hoạch ở giai đoạn 11 tháng cho chất lượng tốt nhất với hàm lượng polyphenol cao và hoạt tính kháng oxy hóa mạnh. Hấp hơi nước trong 2 phút giúp tăng hàm lượng các hợp chất polyphenol và cải thiện khả năng kháng oxy hóa của sản phẩm. Trong quá trình sấy, nhiệt độ 55 °C là điều kiện phù hợp nhất, giúp bảo toàn tốt hoạt chất sinh học, đạt TPC 3,44 mg GAE/g CK, IC₅₀ 451,56 µg/mL, độ ẩm khoảng 8% và độ hòa tan 25,75 ± 0,19%. Kết quả nghiên cứu là cơ sở khoa học cho việc chuẩn hóa quy trình chế biến bột Gừng đen và nâng cao giá trị sử dụng của nguồn dược liệu bản địa.

Thông tin tài trợ

Công trình được thực hiện với sự hỗ trợ kinh phí từ dự án cấp thành phố Huế (tỉnh Thừa Thiên Huế cũ), mã số: TTH.2021-KC.30.

Tài liệu tham khảo

1. Gharsallah K, Rezig L, Shahid M, Riaz Rajoka MS, Mehwish HM, Ali MA, et al. *Moringa oleifera*: Processing, phytochemical composition, and industrial application. *South African Journal of Botany*. 2023;160.
2. Wattanathorn J, Tong-Un T, Thukham-Mee W, Weerapreeyakul N. A Functional Drink Containing *Kaempferia parviflora* Extract Increases Cardiorespiratory Fitness and Physical Flexibility in Adult Volunteers. *Foods*. 2023;12(18):3411.
3. Chew SC, Nyam KL. Black ginger (*Kaempferia parviflora*): A source of functional ingredient for food, nutraceutical and pharmaceutical applications. *Food Chemistry Advances*. 2025; 7:100980.
4. Gan R, Liu Y, Li H, Xia Y, Guo H, Geng F, et al. Natural sources, refined extraction, biosynthesis, metabolism, and bioactivities of dietary

- polymethoxyflavones (PMFs). Food Science and Human Wellness. 2024;13(1):27-49.
5. Pratap SR, V. GH, K. M. Ginger: A Potential Nutraceutical, An Updated Review. Phyto. 2017;9(09):1227-38.
6. Wang H, Meng JS, Raghavan GSV, Orsat V, Yu XL, Liu ZL, et al. Vacuum-steam pulsed blanching (VSPB) enhances drying quality, shortens the drying time of gingers by inactivating enzymes, altering texture, microstructure and ultrastructure. LWT. 2022;154:112714.
7. Malik A, Shimpy, Kumar M. Advancements in ginger drying technologies. Journal of Stored Products Research. 2023;100:102058.
8. Long TB, Trúc TT, Phong HX, Mười NV. Ảnh hưởng của tiền xử lý nhiệt nguyên liệu và điều kiện thẩm thấu đến chất lượng trà gừng (*Zingiber officinale*) túi lọc. Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ. 2023;59(6):172-80.
9. Kiran CR, Chakka AK, Amma KPP, Menon AN, Kumar MMS, Venugopalan VV. Influence of cultivar and maturity at harvest on the essential oil composition, oleoresin and [6]-gingerol contents in fresh ginger from northeast India. J Agric Food Chem. 2013;61(17):4145-54.
10. Huang X, Liang K hong, Liu Q, Qiu J, Wang J, Zhu H. Superfine grinding affects physicochemical, thermal and structural properties of (*Moringa Oleifera*) leaf powders. Industrial Crops and Products. 2020;151:112472.
11. Plotto A, Mazaud F, Steffel K, Röttger A. GINGER: Post-Production Management for Improved Market Access. 2002;(1):1-21.
12. Sida S, Samakradhamrongthai RS, Utama-ang* N. Influence of Maturity and Drying Temperature on Antioxidant Activity and Chemical Compositions in Ginger. Current Applied Science and Technology. 2019;19(1):28-42.
13. Mustafa I, Chin NL, Fakurazi S, Palanisamy A. Comparison of Phytochemicals, Antioxidant and Anti-Inflammatory Properties of Sun-, Oven- and Freeze-Dried Ginger Extracts. Foods. 2019;8(10):456.
14. Widyastuti, N. Antioxidant activity and total phenolic content of three varieties of ginger. Journal of Food Science and Technology. 2020;57.
15. Idris NA, Yasin HM, Usman A. Voltammetric and spectroscopic determination of polyphenols and antioxidants in ginger (*Zingiber officinale Roscoe*). Heliyon. 2019;5(5):e01717.
16. Roekruangrit N, Jaiarree N, Itharat A, Kamudhamas A, Wanichsetakul P, Pipatrattanaseree W. Comparative Study on Antioxidant Activities and Phytochemical Components of Steamed and Non-Steamed Ginger Extracts. Thammasat Medical Journal. 2018;18(4):528-36.
17. Cousins M, Adelberg J, Chen F, Rieck J. Antioxidant capacity of fresh and dried rhizomes from four clones of turmeric (*Curcuma longa* L.) grown in vitro. Industrial Crops and Products. 2007;25(2):129-35.
18. Pellegrini N, Chiavaro E, Gardana C, Mazzeo T, Contino D, Gallo M, et al. Effect of different cooking methods on color, phytochemical concentration, and antioxidant capacity of raw and frozen brassica vegetables. J Agric Food Chem. 2010;58(7):4310-21.
19. Muthukumar P, Lakshmi DVN, Koch P, Gupta M, Srinivasan G. Effect of drying air temperature on the drying characteristics and quality aspects of black ginger. Journal of Stored Products Research. 2022;97:101966.
20. Mahayothee B, Thamsala T, Khuwijitjaru P, Janjai S. Effect of drying temperature and drying method on drying rate and bioactive compounds in cassumunar ginger (*Zingiber montanum*). Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants. 2020;18:100262.
21. Bai R, Sun J, Qiao X, Zheng Z, Li M, Zhang B. Hot Air Convective Drying of Ginger Slices: Drying Behaviour, Quality Characteristics, Optimisation of Parameters, and Volatile Fingerprints Analysis. Foods. 2023;12:1283.
22. An K, Zhao D, Wang Z, Wu J, Xu Y, Xiao G. Comparison of different drying methods on Chinese ginger (*Zingiber officinale Roscoe*): Changes in volatiles, chemical profile, antioxidant properties, and microstructure. Food Chem. 2016;197:1292-300.
23. Zagórska J, Czernicka-Boś L, Kukula-Koch W, Szalak R, Koch W. Impact of Thermal Processing on the Composition of Secondary Metabolites of Ginger Rhizome-A Review. Foods. 2022;11(21):3484.
24. Kurniasari H, David W, Cempaka L, Ardiansyah A. Effects of drying techniques on bioactivity of ginger

-
- (*Zingiber officinale*): A meta-analysis investigation. AIMS Agriculture and Food. 2022;7:197-211.
25. Ratnawati L, Desnilasari D, Yulianti LE, Kristanti D, Putri DP, Sholichah E, et al. The effect of particle size and brewing time of Ginger (*Zingiber officinale*) powder to the characteristic and acceptance of the herbal product. IOP Conf Ser: Mater Sci Eng. 2021;1011(1):012032.
26. Shaukat MN, Fallico B, Nazir A. Impact of Air-Drying Temperatures on Drying Kinetics, Physicochemical Properties, and Bioactive Profile of Ginger. Foods. 2024;13.
27. Sapariya P, Joshi N, Dabhi M. Physical and functional properties of low temperature ground turmeric (*Curcuma longa*) powder. Journal of Spices and Aromatic Crops. 2023;32:24-33.
28. Belwal T, Cravotto C, Prieto M, Venskutonis R, Daglia M, Devkota H, et al. Effects of different drying techniques on the quality and bioactive compounds of plant-based products: a critical review on current trends. Drying Technology. 2022;40:1-23.