

EFFECT OF HOT-AIR DRYING TEMPERATURE ON BETACYANIN, POLYPHENOL CONTENTS, AND ANTIOXIDANT ACTIVITY OF RED-FLESHED DRAGON FRUIT PEEL (*HYLOCEREUS COSTARICENSIS*)

Le Thanh Ninh, Vi Dai Lam, Nguyen Thi Tinh, Pham Thi Tuyet Mai, Nguyen Ngoc Giang Thuong, Nguyen Tien Dung*

TNU - University of Agriculture and Forestry

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 24/3/2023	Red-fleshed dragon fruit peel contains large amounts of betacyanins and bioactive compounds, which are unstable at high temperatures. This study aimed to investigate the effect of hot-air drying temperatures on betacyanin and polyphenol contents, and the antioxidant activity of this by-product. Samples were dried at 40°C (HD40), 50°C (HD50), and 60°C (HD60), and measured for moisture and CIE Lab* color space. Betacyanin (TBC), phenolic (TPC), and flavonoid (TFC) contents were analyzed using spectrophotometry and standard curves of quercetin and gallic acid. DPPH and reducing power assays were conducted to evaluate antioxidant capacity. Dried samples have acceptable values of moisture and color. HD50 and HD60 obtained similar values of TBC, TPC, TFC, and DPPH free radical scavenging capacity, and the values were higher than those of HD40. In the reducing power test, there were no statistically significant differences in the OD ₇₀₀ values of the samples. Results suggest that red-fleshed dragon fruit peel dried at 50–60°C could be applied to the production of food colorants and functional foods.
Revised: 23/5/2023	
Published: 24/5/2023	
KEYWORDS	
Dragon fruit peel	
Betacyanin	
Phenolic	
Flavonoid	
Antioxidant activity	

ẢNH HƯỞNG CỦA NHIỆT ĐỘ SẤY ĐÓI LƯU ĐẾN HÀM LƯỢNG BETACYANIN, POLYPHENOL VÀ HOẠT TÍNH CHỐNG OXY HÓA CỦA VỎ QUẢ THANH LONG RUỘT ĐỎ (*HYLOCEREUS COSTARICENSIS*)

Lê Thanh Ninh, Vi Đại Lâm, Nguyễn Thị Tinh, Phạm Thị Tuyết Mai, Nguyễn Ngọc Giang Thương, Nguyễn Tiến Dũng*

Trường Đại học Nông Lâm - ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 24/3/2023	Vỏ quả thanh long ruột đỏ chứa hàm lượng cao sắc tố betacyanin và các hợp chất có hoạt tính sinh học. Sự ổn định của các hợp chất này bị ảnh hưởng trực tiếp bởi nhiệt độ cao. Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đối lưu đến hàm lượng betacyanin, polyphenol và hoạt tính chống oxy hóa của phụ phẩm này. Mẫu được sấy ở 40°C (HD40), 50°C (HD50) và 60°C (HD60), sau đó được đo độ ẩm và hệ màu CIE Lab*. Hàm lượng betacyanin (TBC), phenolic (TPC) và flavonoid (TFC) được phân tích bằng quang phổ kế và đường chuẩn axit gallic và quercetin. Thử nghiệm DPPH và năng lực khử được tiến hành để đánh giá khả năng chống oxy hóa. Mẫu sấy đều có giá trị độ ẩm và màu sắc đạt yêu cầu. HD50 và HD60 đạt giá trị TBC, TPC, TFC và khả năng bắt gốc tự do DPPH tương đương nhau và cao hơn HD40. Ở phép thử năng lực khử, giá trị OD ₇₀₀ của ba mẫu không có sự khác biệt có ý nghĩa. Kết quả cho thấy phần vỏ quả thanh long ruột đỏ sấy ở 50–60°C có thể ứng dụng để sản xuất màu thực phẩm và thực phẩm chức năng.
Ngày hoàn thiện: 23/5/2023	
Ngày đăng: 24/5/2023	
TỪ KHÓA	
Vỏ quả thanh long ruột đỏ	
Betacyanin	
Phenolic	
Flavonoid	
Khả năng chống oxy hóa	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7608>

* Corresponding author. Email: nguyentindung@tuaf.edu.vn

1. Đặt vấn đề

Trong thập kỷ qua, sự gia tăng nhanh chóng dân số thế giới đã kích thích sự phát triển mạnh ngành công nghiệp thực phẩm nhằm đáp ứng nhu cầu của người tiêu dùng. Bên cạnh đó, quan điểm về sản xuất thực phẩm bền vững đã nhận được sự chú ý đặc biệt từ cộng đồng. Tính bền vững của thực phẩm liên quan chặt chẽ đến sự giảm thiểu các tác động tiêu cực của một lượng lớn chất thải tạo ra bởi ngành công nghiệp chế biến thực phẩm. Hiện nay, việc thu hồi những phế phẩm này và ứng dụng chúng để phát triển các sản phẩm mới đang được quan tâm trên toàn thế giới [1]. Một trong những mục tiêu chính của chương trình nghiên cứu và đổi mới Horizon 2020, do Liên minh Châu Âu tài trợ là phát triển các dự án khoa học để giá trị hóa các phụ phẩm nông nghiệp. Việc tách chiết, đánh giá và ứng dụng các hợp chất tự nhiên có hoạt tính sinh học như vitamin, axit amin, chất chống oxy hóa, chất chống ung thư... từ các phụ phẩm nông nghiệp, để phát triển các sản phẩm thực phẩm chức năng và dược phẩm, đã được nhiều nhóm nghiên cứu trên thế giới thực hiện trên vỏ quả có múi, vỏ chuối, vỏ xoài, vỏ hạt dẻ, cuống ớt chuông, bã nho, bã lựu... [2].

Thanh long (*Hylocereus* spp.) là một loại cây ăn quả thuộc họ *Cactaceae*, được trồng ở vùng có khí hậu nhiệt đới như Trung và Nam Mỹ, Việt Nam, Malaysia, Thái Lan, Philippines, Indonesia, miền nam Trung Quốc và Đài Loan. Thanh long được phân loại thành một số loài khác nhau. Sự khác biệt chính của những loài này liên quan đến màu sắc của phần vỏ và thịt quả. Một số loài được trồng và tiêu thụ phổ biến nhất bao gồm *H. undatus* (vỏ đỏ, ruột trắng), *H. polyrhizus* (vỏ đỏ, vảy xanh, ruột đỏ), *H. costaricensis* (vỏ đỏ, vảy đỏ, ruột đỏ) và *H. megalanthus* (vỏ vàng, ruột trắng) [3]. Hiện nay, ở nước ta có nhiều doanh nghiệp chuyên sản xuất, chế biến đa dạng hóa sản phẩm từ quả thanh long phục vụ cho xuất khẩu như thanh long sấy, nước ép, trà, rượu vang... Phần vỏ chiếm khoảng một phần bốn trọng lượng quả thanh long, điều này có nghĩa là một lượng lớn vỏ quả được tạo ra sau quá trình sản xuất, và việc xử lý nguồn phế phẩm này là một thử thách đối với nhà sản xuất [4].

Nhiều nghiên cứu trên thế giới đã chỉ ra rằng, thanh long chứa đa dạng các hợp chất tự nhiên như polyphenol, polysaccharit và terpenoid, và được báo cáo là có khả năng hỗ trợ và ngăn ngừa bệnh ung thư, béo phì, tiểu đường loại 2 và một số hội chứng chuyển hóa khác [3]. Đặc biệt, cả phần thịt và vỏ quả thanh long ruột đỏ đều có hàm lượng cao betacyanin – nhóm sắc tố tự nhiên chứa nitơ và tan trong nước. Betacyanin được Liên minh Châu Âu cho phép sử dụng như một chất màu thực phẩm, ký hiệu E162, được ứng dụng để tạo màu cho nhiều loại thực phẩm khác nhau [5]. Bên cạnh việc tạo màu, gần đây, hợp chất màu này được chứng minh liên quan đến nhiều hoạt tính sinh học như khả năng ức chế tế bào ung thư, chống xơ vữa động mạch và chống oxy hóa nhờ các hoạt động loại trừ gốc tự do có thể gây rối loạn trong sự trao đổi chất và đột biến tế bào [6]. Vì vậy, việc nghiên cứu tách chiết và ứng dụng nguồn hợp chất tự nhiên đa dạng trong vỏ thanh long ruột đỏ để sản xuất chế phẩm thực phẩm và thực phẩm chức năng sẽ góp phần giảm thiểu tác động của phế phẩm nông nghiệp đến môi trường, đồng thời mở thêm hướng ứng dụng thực tiễn, giúp nâng cao hiệu quả kinh tế của quá trình sản xuất thanh long.

Mặt khác, nhiều báo cáo cho thấy hàm lượng các hợp chất tự nhiên và hoạt tính sinh học của mẫu thực vật dễ bị biến đổi bởi nhiều yếu tố như đặc tính nguyên liệu, điều kiện chế biến, bảo quản và phương pháp tách chiết [5]. Đặc biệt, một số nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng sự ổn định của sắc tố betacyanin bị ảnh hưởng lớn bởi pH và nhiệt độ cao [7], [8]. Trong khi đó, công nghệ sấy lạnh, sấy thăng hoa (đông khô) và sấy phun đòi hỏi chi phí cao cho quá trình sản xuất, bao gồm cả trang thiết bị và đội ngũ kỹ thuật. Ở Việt Nam đã có một vài nghiên cứu về thu nhận và ứng dụng betacyanin từ vỏ thanh long ruột đỏ [9], [10]. Tuy nhiên, số lượng nghiên cứu về tách chiết các hợp chất khác và đánh giá hoạt tính sinh học của phụ phẩm này còn rất hạn chế.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đối lưu (khí nóng) đến hàm lượng sắc tố betacyanin, hợp chất polyphenol và hoạt tính chống oxy hóa của phần vỏ quả thanh long ruột đỏ được trồng ở Thái Nguyên. Mục tiêu của nghiên cứu này là

đóng góp thêm báo cáo khoa học làm tiền đề cho các nghiên cứu ứng dụng phụ phẩm vỏ thanh long để sản xuất chế phẩm màu thực phẩm và thực phẩm chức năng.

2. Vật liệu và phương pháp

2.1. Chuẩn bị vật liệu và thu nhận dịch chiết

Quả thanh long ruột đỏ (*Hylocereus costaricensis*) được thu hái từ vườn thanh long xã Hợp Tiến, huyện Đồng Hỷ, tỉnh Thái Nguyên. Quả được chọn tươi, cùng độ chín sinh lý (25–30 ngày tuổi kỹ thuật), khối lượng trung bình 500 g/quả, vỏ không bị sâu bệnh hay dập úng. Quả được lựa chọn từ những cây khác nhau cho mỗi lần lặp lại.

Quả được rửa sạch và tiến hành tách vỏ. Vỏ quả được cắt nhỏ (3 cm x 5 cm), chia thành ba nhóm mẫu và sấy trong tủ sấy TR 120 (Nabertherm GmbH, Lilienthal, Đức) ở các mức nhiệt độ 40°C, 50°C và 60°C trong 24 giờ. Sau đó, vỏ được nghiền thành bột mịn và bảo quản ở 4°C cho đến khi tách chiết.

Đối với thí nghiệm xác định hàm lượng betacyanin, polyphenol và khả năng chống oxy hóa, mẫu được chiết xuất trong dung môi ethanol 70%. 10 g mẫu vỏ quả khô (DW) được lắc trong 100 mL dung môi ethanol 70% trong 24 giờ ở 30°C. Dịch chiết sau đó được lọc hai lần qua giấy lọc Whatman số 1 (Merck KGaA, Darmstadt, Đức) và bảo quản ở 4°C.

2.2. Xác định độ ẩm và màu sắc của mẫu sấy

Mẫu bột vỏ thanh long được xác định độ ẩm bằng máy đo độ ẩm MOC63u (Shimadzu Kyoto, Nhật Bản). Giá trị màu sắc của bột vỏ thanh long được xác định theo hệ tọa độ màu CIE Lab* bằng máy đo màu NE-4000 (Nippon Denshoku, Tokyo, Nhật Bản). Trong đó, L* biểu thị độ sáng với giá trị từ 0 (màu đen) đến 100 (màu trắng); a* biểu thị vị trí giữa xanh lục và đỏ với giá trị âm (xanh lục) đến giá trị dương (màu đỏ); b* biểu thị vị trí giữa xanh dương và vàng với giá trị âm (xanh dương) đến giá trị dương (vàng). Trước khi đo, máy được chuẩn hóa bằng bảng màu trắng (L* = 98,28, a* = -0,11, b* = -0,36).

2.3. Định tính các hợp chất betacyanin và phenolic

Phương pháp định tính các hợp chất thuộc nhóm betacyanin, nhóm polyphenol và phân nhóm flavonoid được thực hiện theo một số nghiên cứu trước đây bằng cách thực hiện và quan sát hiện tượng phản ứng của dịch chiết với một số dung dịch tương ứng là NaOH 2M, FeCl₃ 2% và NaOH 10% [4], [11].

2.4. Xác định hàm lượng betacyanin tổng

Hàm lượng betacyanin tổng (TBC) được xác định bằng phương pháp quang phổ. Độ hấp thụ của dịch chiết betacyanin được đo ở bước sóng 538 nm bằng máy quang phổ 721G (Measuretech, Shanghai, Trung Quốc). TBC (mg/g DW) được tính theo công thức: $TBC = A \times M \times V \times F / (\epsilon \times L \times W)$. Trong đó, TBC là hàm lượng betacyanin tổng (mg/g chất khô); A là độ hấp thụ quang học ở 538 nm; M là khối lượng phân tử của betacyanin (550 g/mol); V là thể tích dịch chiết (mL); F là độ pha loãng; ϵ là hệ số mật độ hấp thụ của betacyanin (65000 mol⁻¹ cm⁻¹ L); L là chiều dày cuvet (1 cm); W là trọng lượng của chất khô (g) [12].

2.5. Xác định hàm lượng phenolic tổng

100 μ L mẫu dịch chiết (0,1 g DW/mL) được hòa vào 1 mL nước khử ion và 200 μ L thuốc thử Folin–Ciocalteu (10%). Sau 3 phút ủ ở 25°C, bổ sung 1,5 mL dung dịch natri cacbonat (Na₂CO₃, 7,5%). Hỗn hợp phản ứng được ủ trong 90 phút ở cùng nhiệt độ. Độ hấp thụ sau đó được đo ở bước sóng 765 nm. Chất chuẩn axit gallic ở nồng độ 0–1000 ppm được tiến hành theo phương pháp tương tự để xây dựng đường chuẩn và tính toán hàm lượng phenolic tổng (TPC). TPC của dịch chiết được biểu thị bằng giá trị axit gallic đương lượng (GAE) mg/g DW [13].

2.6. Xác định hàm lượng flavonoid tổng

250 μ L mẫu dịch chiết (0,1 g DW/mL) được hòa với 75 μ L dung dịch natri nitrit (NaNO_2 , 5%), 150 μ L dung dịch nhôm trichlorua (AlCl_3 , 10%) và 500 μ L dung dịch natri hydroxit (NaOH , 1 M). Thể tích cuối cùng của hỗn hợp được điều chỉnh đến 2,5 mL bằng nước khử ion và ủ trong 5 phút ở 25°C. Độ hấp thụ được đo ở bước sóng 490 nm. Chất chuẩn quercetin ở nồng độ 0–1000 ppm được tiến hành theo phương pháp tương tự để xây dựng đường chuẩn và tính toán hàm lượng flavonoid tổng (TFC). TFC của dịch chiết được biểu thị bằng giá trị quercetin đương lượng (QE) mg/g DW [13].

2.7. Thử nghiệm hoạt tính bắt gốc tự do DPPH

5 mL mẫu dịch chiết (0,1 g DW/mL) và 5 mL đối chứng dương là dung dịch vitamin C (0,5 mg/mL) được hòa với 1 mL dung dịch methanolic DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl, 1 mM). Hỗn hợp phản ứng được ủ trong bóng tối 60 phút ở 25°C. Độ hấp thụ được đo ở bước sóng 517 nm. Khả năng bắt gốc tự do DPPH của một chất kháng oxy hóa thể hiện ở mức độ làm giảm màu của dung dịch DPPH và được tính bằng công thức sau: Khả năng bắt gốc tự do DPPH (%) = $[1 - (A_{\text{sample}} - A_{\text{blank}}) / A_{\text{control}}] \times 100\%$. Trong đó, A_{sample} là giá trị mật độ quang (OD) của mẫu dịch chiết được hòa với dung dịch DPPH; A_{blank} là giá trị OD của mẫu hòa với methanol; và A_{control} (chứng âm) là giá trị OD của methanol hòa với dung dịch DPPH [13].

2.8. Thử nghiệm năng lực khử

2,5 mL mẫu dịch chiết (0,1 g DW/mL) và 2,5 mL đối chứng dương là dung dịch vitamin C (0,5 mg/mL) được hòa với 5 mL dung dịch PBS (phosphate-buffered saline, 0,2 M, pH 6,6) và 2,5 mL dung dịch kali ferricyanide ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$, 1%). Hỗn hợp này được ủ trong 20 phút ở 50°C, sau đó được bổ sung thêm 2,5 mL dung dịch axit trichloroacetic (10%) và ly tâm ở 3000 vòng/phút trong 10 phút. 2,5 mL phần dung dịch phía trên được hòa với 2,5 mL nước khử ion và 0,5 mL dung dịch sắt (III) clorua (FeCl_3 , 0,1%). Hỗn hợp phản ứng được ủ trong 10 phút ở 25°C. Độ hấp thụ được đo ở bước sóng 700 nm. Giá trị OD càng cao chứng tỏ năng lực khử của mẫu càng cao [14].

2.9. Xử lý và phân tích số liệu

Các thí nghiệm được thực hiện ba lần lặp lại ($n = 3$). Kết quả được trình bày ở dạng giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn (SD, standard deviation). Số liệu được phân tích, xử lý thống kê và khảo sát tương quan bằng phần mềm SPSS 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Số liệu được phân tích bằng cách sử dụng phân tích phương sai một chiều (One-way ANOVA) với kiểm định Duncan để so sánh sự khác biệt có ý nghĩa giữa các mẫu ($p \leq 0,05$).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến độ ẩm và màu sắc của bột vỏ thanh long

Độ ẩm và màu sắc của các mẫu bột vỏ quả thanh long sấy bằng khí nóng ở 40°C (HD40), 50°C (HD50) và 60°C (HD60) được thể hiện ở Bảng 1 và Hình 1. Sau 24 giờ sấy ở các nhiệt độ khác nhau, độ ẩm của mẫu bột vỏ thanh long đã có sự thay đổi đáng kể từ khoảng 12% ở 40°C xuống đến khoảng 7% ở 60°C (Bảng 1). Những giá trị này cũng tương đồng với kết quả xác định độ ẩm (8–15%) của một số nghiên cứu trước đây đối với mẫu vỏ thanh long sấy bằng phương pháp sấy đối lưu, sấy thùng quay và sấy phun [8], [15], [16] và tương đương với độ ẩm (8–10%) của các sản phẩm thương mại hóa dạng bột [16]. Đối chiếu với tiêu chuẩn công bố của Việt Nam về các sản phẩm chế biến từ tinh bột, yêu cầu độ ẩm duy trì của sản phẩm $\leq 13\%$ (TCVN 10546:2014). Như vậy, sản phẩm được sấy ở các mức nhiệt độ trong nghiên cứu này đều đạt yêu cầu về độ ẩm. Nghiên cứu của Rosidi và cộng sự (2021) [15] báo cáo rằng độ ẩm của vỏ thanh long trở nên không đổi sau 10 giờ sấy ở các nhiệt độ 50°C, 60°C và 70°C. Nghiên cứu của Utpott

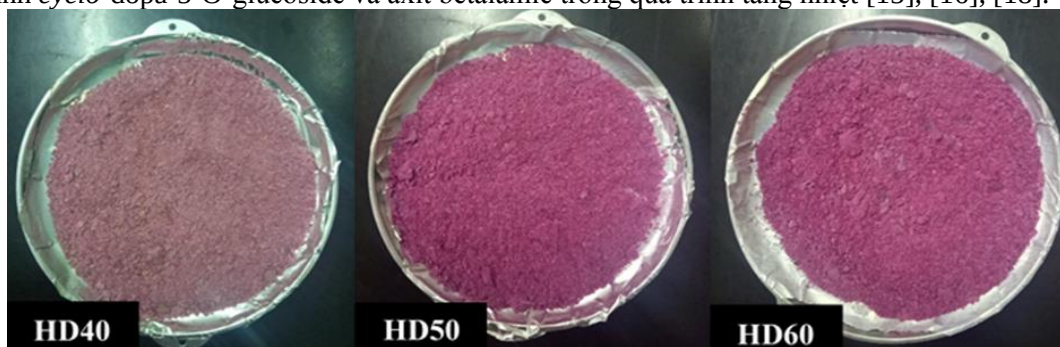
và cộng sự (2020) [17] chỉ ra rằng, mẫu bột vỏ thanh long có thể đạt được giá trị độ ẩm thấp (1,5–3%) bằng phương pháp sấy phun. Nhiệt độ và điều kiện sấy tác động trực tiếp đến độ ẩm và hoạt độ nước. Đây là hai yếu tố quan trọng liên quan đến quy trình bảo quản chất lượng sản phẩm ổn định và lâu dài. Mẫu có độ ẩm cao dễ bị hư hỏng bởi vi sinh vật, enzyme và các điều kiện bất lợi bên ngoài [8], [16].

Bảng 1. Độ ẩm và giá trị Lab* của mẫu vỏ quả thanh long sấy

Mẫu sấy	Độ ẩm (%)	L*	a*	b*
HD40	11,96 ± 0,41 ^a	52,91 ± 0,26 ^a	35,34 ± 0,29 ^b	3,23 ± 0,08 ^a
HD50	8,45 ± 0,73 ^b	46,29 ± 0,32 ^b	43,07 ± 0,34 ^a	-4,16 ± 0,12 ^b
HD60	6,76 ± 0,34 ^b	45,62 ± 0,39 ^b	43,65 ± 0,41 ^a	-5,91 ± 0,06 ^c

Ghi chú: HD40, HD50, HD60, mẫu vỏ quả thanh long được sấy đối lưu ở các mức nhiệt độ tương ứng 40°C, 50°C và 60°C. Kết quả được trình bày ở dạng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn của ba lần lặp lại (n = 3). Chữ cái a, b thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa giữa các mẫu ở $p \leq 0,05$.

Để đảm bảo tính chính xác trong việc đánh giá màu sắc bột vỏ thanh long khi được sấy ở các mức nhiệt độ khác nhau, song song với việc đánh giá cảm quan (Hình 1), nghiên cứu thể hiện sự biến đổi màu sắc thông qua hệ màu L* a* b*. Kết quả phân tích được thể hiện ở Bảng 1. Chỉ số L* (độ sáng) của mẫu sấy ở 40°C đạt giá trị 52,91 ± 0,26 và giảm xuống đến khoảng 45–46 khi sấy mẫu ở 50°C và 60°C. Chỉ số a* (xanh lục - đỏ) của mẫu sấy ở 40°C là 35,34 ± 0,29, chỉ số này đạt giá trị khoảng 43 khi mẫu sấy ở 50°C và 60°C. Một số nghiên cứu trước đây về mẫu vỏ quả thanh long sấy cũng đạt những giá trị tương đương [9], [15]. Như vậy, tương đồng với sự quan sát bằng mắt, mẫu sấy ở 50°C và 60°C có màu đỏ đậm hơn mẫu sấy ở 40°C, nhưng chưa chuyển sang màu sẫm (tối) vì độ sáng L* có giá trị từ 0–100. Sự thay đổi độ sáng có thể do phản ứng Maillard và caramen hóa trong vỏ thanh long khi sấy ở mức nhiệt độ cao hơn [16]. Nghiên cứu của Mahayothee và cộng sự (2018) [8] báo cáo rằng, giá trị màu đỏ a* của mẫu sấy ở 40°C đạt thấp hơn ở các mức nhiệt độ sấy cao hơn do mẫu tươi tiếp xúc với oxy và bị oxy hóa trong thời gian dài hơn và một số enzyme như polyphenol oxidase và peroxidase hoạt động rất mạnh ở 35 - 40°C. Một số nghiên cứu trước đây chỉ ra rằng, giá trị a* của vỏ quả thanh long sẽ giảm đáng kể ở mức nhiệt độ cao (70 - 80°C) do sự biến tính sắc tố betacyanin, phân tử này bị phân cắt thành cyclo-dopa-5-O-glucoside và axit betalamic trong quá trình tăng nhiệt [15], [16], [18].



Hình 1. Mẫu bột vỏ thanh long sấy đối lưu ở 40°C (HD40), 50°C (HD50) và 60°C (HD60)

3.2. Kết quả định tính các hợp chất betacyanin, phenolic và flavonoid trong bột vỏ thanh long ruột đỏ

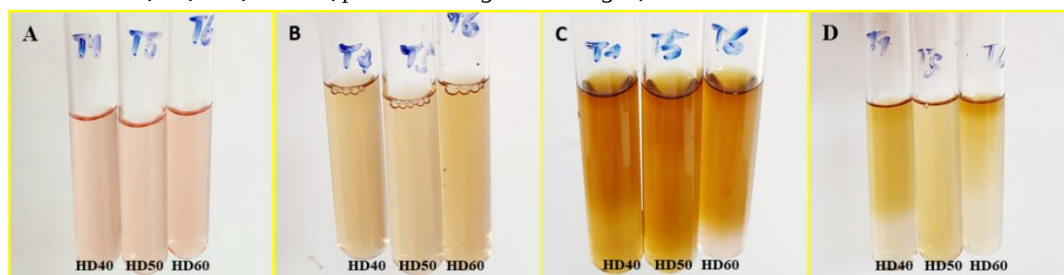
Kết quả định tính các hợp chất thuộc nhóm betacyanin và polyphenol của mẫu dịch chiết từ bột vỏ quả thanh long được thể hiện trong Hình 2 và Bảng 2. Ba mẫu dịch chiết HD40, HD50 và HD60 đều chứa hợp chất thuộc nhóm betacyanin, phenolic và flavonoid. Nghiên cứu của Nani và cộng sự (2022) [19] cũng đã tiến hành các phép thử định tính các hợp chất tự nhiên trong dịch chiết ethanol từ phần vỏ quả thanh long ruột đỏ thuộc giống Britton & Rose của Mỹ. Kết quả thí

nghiệm của họ báo cáo rằng trong mẫu dịch chiết này có sự hiện diện của nhiều hợp chất, bao gồm alkaloid, flavonoid, steroid, terpenoid, saponin và polyphenol. Nghiên cứu của Vera và cộng sự (2022) [20] cũng chỉ ra rằng, nhiều thành phần khác nhau đã được định tính thông qua phương pháp sắc ký lớp mỏng trong chiết xuất phần vỏ quả thanh long ruột trắng và thanh long ruột đỏ, bao gồm phenol, tannin, steroid, flavonoid, alkaloid, cardenolide, coumarin và anthraquinone.

Bảng 2. Kết quả định tính hợp chất betacyanin và polyphenol trong mẫu vỏ thanh long sấy

Hợp chất	Hiện tượng	Kết quả		
		HD40	HD50	HD60
Betacyanin	Chuyển màu vàng	+	+	+
Phenolic	Chuyển màu xanh đen	+	+	+
Flavonoid	Chuyển màu vàng đậm	+	+	+

Ghi chú: +: có sự hiện diện của hợp chất ở trong mẫu thí nghiệm.



Hình 2. Dịch chiết từ mẫu vỏ thanh long sấy (A) được phân tích định tính các hợp chất betacyanin (B), phenolic (C) và flavonoid (D)

Ghi chú: A, dịch chiết từ mẫu vỏ thanh long sấy được pha loãng theo tỷ lệ 1:5 với nước khử ion để tiến hành thử nghiệm định tính.

3.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hàm lượng betacyanin, phenolic và flavonoid trong bột vỏ thanh long ruột đỏ

Để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đối lưu đến hiệu quả thu nhận sắc tố betacyanin và hợp chất polyphenol, hàm lượng betacyanin, phenolic và flavonoid tổng đã được phân tích, kết quả được trình bày ở Bảng 3. Hàm lượng betacyanin tổng (TBC) của dịch chiết từ ba mẫu HD40, HD50 và HD60 đạt các giá trị lần lượt là $4,26 \pm 0,22$, $5,13 \pm 0,10$ và $4,94 \pm 0,18$ mg/g DW. Kết quả nghiên cứu của Priatni và cộng sự (2015) đã báo cáo TBC trong mẫu dịch chiết nước và methanol từ vỏ quả thanh long tươi nằm trong khoảng 300–500 $\mu\text{g/mL}$ [21]. Nghiên cứu của Ramli và cộng sự (2014) đã sử dụng các phương pháp khác nhau, bao gồm máy lắc và bể siêu âm, để tách chiết hoạt chất betacyanin từ phần vỏ và thịt quả thanh long ruột đỏ. TBC của mẫu vỏ thanh long trong nghiên cứu của họ đạt giá trị khoảng 17–19 mg/100 g cao chiết [22]. Nghiên cứu của Yong và cộng sự (2018) chỉ ra rằng, điều kiện địa lý cũng ảnh hưởng đến sự tăng trưởng của các thành phần trong quả thanh long ruột đỏ. TBC của cùng loại thanh long nhưng được trồng ở ba trang trại thuộc ba khu vực khác nhau ở Malaysia cũng đạt các giá trị khác nhau (0,3–0,5 g/kg) [5]. Nghiên cứu của Mahayothee và cộng sự (2018) [8] cho thấy rằng, điều kiện và nhiệt độ sấy khác nhau cũng ảnh hưởng đến TBC của phần thịt quả thanh long. Với năm mức nhiệt độ sấy khác nhau (40–80°C) và hai mức vận tốc khí (1,0 và 1,5 m s^{-1}), TBC đã đạt những giá trị khác biệt trong khoảng 80–140 mg/100 g chất khô. Mối tương quan giữa giá trị màu $L^* a^* b^*$ với hàm lượng betacyanin của mẫu vỏ quả thanh long được xác định bằng phép so sánh Pearson. Kết quả thu được ở Bảng 4 cho thấy giá trị độ sáng L^* và màu b^* thể hiện mối tương quan nghịch ($r > 0$) với hàm lượng betacyanin có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa tương ứng là 1% và 5%. Điều này có nghĩa là hàm lượng betacyanin càng cao thì mẫu sẽ càng đậm. Mối tương quan giữa giá trị màu đỏ a^* và hàm lượng betacyanin là tương quan thuận ($r = 0,938$) nhưng không có ý nghĩa thống kê.

Bảng 3. Hàm lượng TBC, TPC và TFC của mẫu vỏ quả thanh long sấy

Mẫu sấy	TBC (mg/g DW)	TPC (mg GAE/g DW)	TFC (mg QE/g DW)
HD40	4,26 ± 0,22 ^b	4,04 ± 0,38 ^b	1,65 ± 0,17 ^b
HD50	5,13 ± 0,10 ^a	4,53 ± 0,56 ^{ab}	2,32 ± 0,22 ^a
HD60	4,94 ± 0,18 ^a	5,22 ± 0,23 ^a	2,17 ± 0,16 ^a

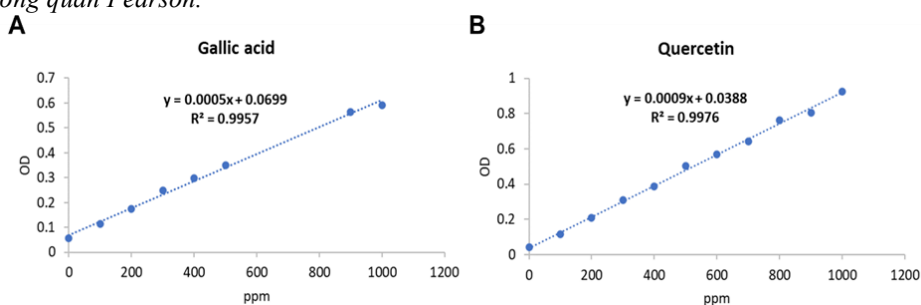
Ghi chú: TBC: hàm lượng betacyanin tổng. TPC: hàm lượng phenolic tổng. TFC: hàm lượng flavonoid tổng. GAE: đương lượng axit gallic. QE: đương lượng quercetin. DW: trọng lượng chất khô. Chữ cái a, b thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa giữa các mẫu ($p \leq 0,05$, $n = 3$).

Hàm lượng phenolic và flavonoid tổng của các mẫu được phân tích và tính toán sử dụng đường chuẩn axit gallic ($r^2 = 0,9957$, Hình 3A) và quercetin ($r^2 = 0,9976$, Hình 3B). Hàm lượng phenolic tổng (TPC) của HD60 đạt giá trị cao nhất ($5,22 \pm 0,23$ mg GAE/g DW), tiếp theo là HD50 ($4,53 \pm 0,56$) và thấp nhất là HD40 ($4,04 \pm 0,38$). Hàm lượng flavonoid tổng (TFC) của ba mẫu này dao động từ khoảng $1,65 \pm 0,17$ đến $2,32 \pm 0,22$ mg QE/g DW. Trong đó, HD50 và HD60 đạt các giá trị TFC tương đương và HD40 có giá trị thấp nhất (Bảng 3). Kết quả nghiên cứu của Chia và cộng sự (2015) đã chỉ ra rằng, mẫu vỏ thanh long ruột đỏ sấy bằng phương pháp thùng quay có TPC là 7,84 mg GAE/g DW [16]. Nghiên cứu của Suh và cộng sự (2014) đã so sánh TPC và TFC của cả phần vỏ và thịt quả hai giống thanh long ruột đỏ và thanh long ruột trắng. Kết quả cho thấy rằng, phần vỏ quả thanh long ruột đỏ đạt giá trị TPC (khoảng 170 ppm GAE) và TFC (hơn 150 ppm naringin đương lượng) cao nhất trong bốn mẫu [23]. Tương tự như vậy, nghiên cứu của Salam và cộng sự (2022) cũng chỉ ra rằng phần vỏ của quả thanh long có giá trị TPC và TFC cao hơn đáng kể so với phần thịt quả [24]. Nghiên cứu của Tang và cộng sự (2021) đã báo cáo TPC của vỏ quả thanh long ruột đỏ và thanh long ruột trắng có các giá trị lần lượt là 11,6 mg GAE/g DW và 10,5 mg GAE/g DW. TFC phần vỏ quả thanh long ruột đỏ (1,6 mg rutin đương lượng (RE)/g DW) và thanh long ruột trắng (1,2 mg RE/g DW) cũng được báo cáo trong nghiên cứu này. Thêm vào đó, 37 hợp chất phenolic trong hai mẫu vỏ thanh long này đã được phát hiện và phân loại trong nghiên cứu này thông qua phương pháp sắc ký lỏng khối phổ [13]. Từ kết quả nghiên cứu của chúng tôi và những nghiên cứu được nêu trên, có thể thấy rằng, hàm lượng và tính đa dạng cấu trúc của các hợp chất có hoạt tính sinh học như betacyanin và polyphenol có trong thực vật nói chung và trong vỏ quả thanh long ruột đỏ nói riêng, sẽ phụ thuộc vào nhiều yếu tố, bao gồm giống, điều kiện canh tác, điều kiện bảo quản, sản xuất và chế biến, phương pháp chiết tách và phương pháp phân tích.

Bảng 4. Hệ số tương quan giữa giá trị Lab* với TBC

Hệ số tương quan	L*	a*	b*	TBC
L*	1	-0,988**	0,990**	-0,885*
a*		1	-0,989	0,938
b*			1	-0,880**
TBC				1

Ghi chú: ** và * là giá trị tương quan có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa tương ứng 1% và 5% trong phép so sánh tương quan Pearson.



Hình 3. Đường chuẩn axit gallic để đánh giá hàm lượng phenolic tổng (A) và đường chuẩn quercetin để đánh giá hàm lượng flavonoid tổng (B)

Ghi chú: OD: mật độ quang. Ppm: đơn vị đo mật độ đối với thể tích (mg/L).

3.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến hoạt tính chống oxy hóa của bột vỏ thanh long ruột đỏ

Hoạt tính chống oxy hóa của các dịch chiết từ phần vỏ quả thanh long ruột đỏ được thể hiện thông qua khả năng bắt gốc tự do DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl). Kết quả thử nghiệm DPPH của các mẫu dịch chiết được trình bày ở Bảng 5. Hai mẫu HD50 và HD60 thể hiện khả năng bắt gốc tự do DPPH tương đương nhau với các giá trị lần lượt là $76,98 \pm 3,95\%$ và $74,50 \pm 4,42\%$. Mẫu HD40 thể hiện khả năng bắt gốc tự do DPPH thấp nhất ($71,55 \pm 2,48\%$). Nghiên cứu của Tenore và cộng sự (2012) đã so sánh khả năng chống oxy hóa của dịch chiết thô phần vỏ và phần thịt quả thanh long ruột đỏ với các phân đoạn betacyanin, flavonoid và axit phenolic từ chiết xuất của hai mẫu này. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, phân đoạn betacyanin có hoạt tính chống oxy hóa cao nhất trong cả thử nghiệm DPPH và FRAP (khả năng khử sắt). Dịch chiết thô phần vỏ quả có khả năng bắt gốc tự do DPPH cao hơn phần thịt quả với các giá trị tương ứng là $195,2 \pm 1,2$ và $166,4 \pm 1,1$ $\mu\text{mol Trolox đương lượng}/100$ g mẫu tươi [25]. Kết quả nghiên cứu của Manihuruk và cộng sự (2017) đã trình bày hoạt tính chống oxy hóa của cao chiết vỏ thanh long ruột đỏ thông qua khả năng bắt gốc tự do DPPH ($51,35 \pm 0,87\%$) và tổng khả năng chống oxy hóa ($321,78 \pm 6,29$ mg axit ascorbic đương lượng/100 g) [26]. Nghiên cứu của Som và cộng sự (2019) so sánh khả năng chống oxy hóa mẫu dịch chiết từ methanol và chloroform của phần vỏ quả và tán lá của cây thanh long ruột trắng. Kết quả cho thấy rằng, mẫu vỏ thanh long chiết từ methanol có khả năng bắt gốc tự do DPPH cao nhất với giá trị đạt $97,42\%$ [27].

Bảng 5. Khả năng bắt gốc tự do DPPH và năng lực khử của dịch chiết vỏ quả thanh long

Dịch chiết	Khả năng bắt gốc tự do DPPH (%)	Năng lực khử (Giá trị OD)
HD40	$71,55 \pm 2,48^b$	$1,25 \pm 0,11^b$
HD50	$76,98 \pm 3,95^{ab}$	$1,33 \pm 0,21^b$
HD60	$74,50 \pm 4,42^{ab}$	$1,27 \pm 0,13^b$
Vitamin C	$87,44 \pm 2,02^a$	$2,35 \pm 0,06^a$

Ghi chú: DPPH: 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl. OD: mật độ quang. Vitamin C: chứng dương sử dụng trong thí nghiệm (0,5 mg/mL). Chữ cái a, b thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa giữa các mẫu ($p \leq 0,05$, $n = 3$).

Hoạt tính chống oxy hóa của các dịch chiết từ phần vỏ quả thanh long cũng được đánh giá bằng phép thử năng lực khử (Bảng 5). Không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các giá trị thể hiện năng lực khử của các mẫu dịch chiết. Giá trị OD tại bước sóng 700 nm của các mẫu dao động trong khoảng 1,25–1,33. Các giá trị này thấp hơn đáng kể so với giá trị thu được từ mẫu đối chứng dương (vitamin C). Kết quả nghiên cứu của Zhuang và cộng sự (2012) đã cho thấy chiết xuất từ vỏ thanh long ruột trắng có khả năng khử kali ferricyanide (Fe^{3+}) thành kali ferrocyanide (Fe^{2+}) mạnh khi so sánh với đối chứng dương BHT. Trong thử nghiệm này, chỉ số IC_{50} của chiết xuất, vitamin C và BHT đạt các giá trị tương ứng là 47,54, 4,30 và 102,98 $\mu\text{g/mL}$ [14]. Nghiên cứu của Sangeetha và cộng sự (2021) báo cáo kết quả phép thử năng lực khử của chiết xuất vỏ thanh long ruột trắng ở các nồng độ từ 50–300 ($\mu\text{g/mL}$) đạt các giá trị OD_{700} trong khoảng từ 0,15–0,61 [4].

Bên cạnh thử nghiệm DPPH và năng lực khử, hoạt tính chống oxy hóa của phần vỏ quả thanh long cũng được đánh giá trong những nghiên cứu trước đây bằng một số phương pháp khác như thử nghiệm ABTS (2,2'-azinobis-3-ethylbenzo-thiazoline-6-sulfonic acid), FRAP (khả năng khử sắt), FIC (thử nghiệm sắt chelate), trung hòa gốc superoxide (O_2^-) và phép thử phosphomolybden [4], [13], [28]. Trong đó, nghiên cứu của Suh và cộng sự (2014) đã so sánh hoạt tính chống oxy hóa phần vỏ và phần thịt quả của hai giống thanh long ruột đỏ và thanh long ruột trắng. Kết quả thử nghiệm DPPH, ABTS và FRAP đều chỉ ra rằng, mẫu vỏ quả thanh long ruột đỏ thể hiện khả năng chống oxy hóa cao nhất trong bốn mẫu và đứng thứ hai là mẫu vỏ quả thanh long ruột trắng [23].

Từ kết quả thu được, mối tương quan giữa hàm lượng betacyanin, phenolic và flavonoid tổng và khả năng chống oxy hóa của mẫu vỏ quả thanh long ruột đỏ sấy ở các mức nhiệt độ khác nhau được xác định bằng phép so sánh Pearson. Kết quả thu được ở Bảng 6 cho thấy các cặp yếu tố được phân tích trong phép so sánh này đều thể hiện mối tương quan thuận ($r > 0$). Trong đó, chỉ

có một số cặp yếu tố, bao gồm TBC và thử nghiệm DPPH, TFC và thử nghiệm DPPH, TFC và thử nghiệm năng lực khử, là thể hiện mối tương quan thuận có ý nghĩa thống kê ở mức ý nghĩa 1% và 5 %. Như vậy, trong phạm vi nghiên cứu này, có thể kết luận rằng TBC và TFC của mẫu vỏ quả thanh long tỉ lệ thuận với khả năng chống oxy hóa. Mẫu chứa hàm lượng betacyanin và flavonoid càng cao sẽ có hoạt tính chống oxy hóa càng mạnh.

Bảng 6. Hệ số tương quan giữa TBC, TPC và TFC với khả năng chống oxy hóa

Hệ số tương quan	TBC	TPC	TFC	TN DPPH	Năng lực khử
TBC	1	0,571	0,590**	0,768*	0,469
TPC		1	0,308	0,229	0,036
TFC			1	0,893**	0,682*
TN DPPH				1	0,902**
Năng lực khử					1

Ghi chú: TN DPPH: thử nghiệm khả năng bắt gốc tự do DPPH.

4. Kết luận

Kết quả của nghiên cứu cho thấy các mẫu bột thu được từ phần vỏ quả thanh long ruột đỏ sấy ở mức nhiệt độ 40°C, 50°C và 60°C đã đạt giá trị độ ẩm và màu sắc tốt khi đối sánh với kết quả các nghiên cứu trước và tiêu chuẩn công bố của Việt Nam. Đối với thí nghiệm phân tích hàm lượng betacyanin, phenolic và flavonoid tổng, và thử nghiệm khả năng bắt gốc tự do DPPH, mẫu sấy ở nhiệt độ 50°C và 60°C đạt các giá trị tương đương nhau và cao hơn mẫu sấy ở nhiệt độ 40°C. Trong phép thử năng lực khử, ba mẫu này không thể hiện kết quả khác biệt có ý nghĩa. Nhìn chung, có thể thấy rằng, điều kiện sấy đối lưu ở 50 - 60°C có thể được ứng dụng để sấy vỏ quả thanh long ruột đỏ đạt yêu cầu về độ ẩm và màu sắc và giữ được hàm lượng betacyanin, polyphenol và hoạt tính chống oxy hóa của mẫu. Kết quả của nghiên cứu này có thể cung cấp thêm dữ liệu khoa học cho những nghiên cứu ứng dụng vỏ thanh long để sản xuất chế phẩm màu thực phẩm và thực phẩm chức năng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] S. Pimentel-Moral, M. de la Luz Cádiz-Gurrea, C. Rodríguez-Pérez, and A. Segura-Carretero, "Recent advances in extraction technologies of phytochemicals applied for the revaluation of agri-food by-products," *Functional Preservative Properties of Phytochemicals*, vol. 7, pp. 209-239, 2020.
- [2] S. Ben-Othman, I. Jõudu, and R. Bhat, "Bioactives from agri-food wastes: Present insights and future challenges," *Molecules*, vol. 25, no. 3, p. 510, 2020.
- [3] K. Abirami, *et al.*, "Distinguishing three Dragon fruit (*Hylocereus* spp.) species grown in Andaman and Nicobar Islands of India using morphological, biochemical and molecular traits," *Scientific Reports*, vol. 11, no. 1, pp. 1-14, 2021.
- [4] S. Sangeetha *et al.*, "Phytochemical Profile and therapeutic values of Pulp And Peel Extracts of *Hylocereus undatus*," *Applied Biological Research*, vol. 23, no. 4, pp. 379-388, 2021.
- [5] Y. Y. Yong, G. Dykes, S. M. Lee, and W. L. Choo, "Effect of refrigerated storage on betacyanin composition, antibacterial activity of red pitahaya (*Hylocereus polyrhizus*) and cytotoxicity evaluation of betacyanin rich extract on normal human cell lines," *LWT*, vol. 91, pp. 491-497, 2018.
- [6] H. Jiang, W. Zhang, X. Li, C. Shu, and J. Cao, "Nutrition, phytochemical profile, bioactivities and applications in food industry of pitaya (*Hylocereus* spp.) peels: A comprehensive review," *Trends in Food Science*, vol. 116, pp. 199-217, 2021.
- [7] H. E. Khoo *et al.*, "Betacyanins and anthocyanins in pulp and peel of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus* cv. Jindu), inhibition of oxidative stress, lipid reducing, and cytotoxic effects," *Frontiers in Nutrition*, vol. 9, pp. 1-11, 2022.
- [8] B. Mahayothee, N. Komonsing, P. Khuwijtjaru, M. Nagle, and J. Müller, "Influence of drying conditions on colour, betacyanin content and antioxidant capacities in dried red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*)," *International Journal of Food Science Technology*, vol. 54, no. 2, pp. 460-470, 2018.
- [9] D. T. M. Linh, N. T. Q. Mai, and P. T. Thuy, "Optimization of microwave-assisted extraction of betacyanin from red dragon fruit peels," *Hue University Journal of Science: Natural Science*, vol. 129, no. 1A, pp. 11-20, 2020.

- [10] N. M. Thuy, P. T. B. Ngoc, and N. V. Tai, "Effect of conventional and ultrasonic-assisted extracts on betacyanin content of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*)," *Food Research*, vol. 6, no. 3, pp. 389-395, 2022.
- [11] J. Swarna, T. Lokeswari, M. Smita, and R. Ravindhran, "Characterisation and determination of in vitro antioxidant potential of betalains from *Talinum triangulare* (Jacq.) Willd," *Food Chemistry*, vol. 141, no. 4, pp. 4382-4390, 2013.
- [12] Y.-M. Wong and L.-F. Siow, "Effects of heat, pH, antioxidant, agitation and light on betacyanin stability using red-fleshed dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) juice and concentrate as models," *Journal of Food Science Technology*, vol. 52, pp. 3086-3092, 2015.
- [13] W. Tang *et al.*, "Phenolic compounds profile and antioxidant capacity of pitahaya fruit peel from two red-skinned species (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*)," *Foods*, vol. 10, no. 6, 2021, Art. no. 1183.
- [14] Y. Zhuang, Y. Zhang, and L. Sun, "Characteristics of fibre-rich powder and antioxidant activity of pitaya (*Hylocereus undatus*) peels," *International Journal of Food Science Technology*, vol. 47, no. 6, pp. 1279-1285, 2012.
- [15] N. A. S. Rosidi, A. A. Ghani, N. Yusof, and N. A. Yus, "Effect of blanching and drying temperatures on physicochemical properties of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel powder," *Journal of Agrobiotechnology*, vol. 12, no. 1S, pp. 62-73, 2021.
- [16] S. Chia and G. Chong, "Effect of drum drying on physico-chemical characteristics of dragon fruit peel (*Hylocereus polyrhizus*)," *International Journal of Food Engineering*, vol. 11, no. 2, pp. 285-293, 2015.
- [17] M. Utpott *et al.*, "Evaluation of the use of industrial wastes on the encapsulation of betalains extracted from red pitaya pulp (*Hylocereus polyrhizus*) by spray drying: Powder stability and application," *Food Bioprocess Technology*, vol. 13, pp. 1940-1953, 2020.
- [18] N. Sengkhampan, N. Chanshotikul, C. Assawajitpukdee, and T. Khamjae, "Effects of blanching and drying on fiber rich powder from pitaya (*Hylocereus undatus*) peel," *International Food Research Journal*, vol. 20, no. 4, 2013, Art. no. 1595.
- [19] N. W. Nani, L. Yudhistira, and A. K. Faizah, "Phytochemical Screening and Bacterial Activity of *Hylocereus polyrhizus* Britton and Rose Peel against *Staphylococcus epidermidis* and *Staphylococcus aureus*," *Biomedical Pharmacology Journal*, vol. 15, no. 3, pp. 1729-1735, 2022.
- [20] D. Vera Cruz *et al.*, "Characterization and assessment of phytochemical properties of dragon fruit (*Hylocereus undatus* and *Hylocereus polyrhizus*) peels," *International Journal of Agricultural Technology*, vol. 18, no. 3, pp. 1307-1318, 2022.
- [21] S. Priatni and A. Pradita, "Stability study of betacyanin extract from red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peels," *Procedia Chemistry*, vol. 16, pp. 438-444, 2015.
- [22] N. S. Ramli, P. Ismail, and A. J. Rahmat, "Influence of conventional and ultrasonic-assisted extraction on phenolic contents, betacyanin contents, and antioxidant capacity of red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*)," *The Scientific World Journal*, vol. 2014, pp. 1-7, 2014.
- [23] D. H. Suh *et al.*, "Metabolite profiling of red and white pitayas (*Hylocereus polyrhizus* and *Hylocereus undatus*) for comparing betalain biosynthesis and antioxidant activity," *Journal of Agricultural Food Chemistry*, vol. 62, no. 34, pp. 8764-8771, 2014.
- [24] H. S. Salam, M. M. Tawfik, M. R. Elnagar, H. A. Mohammed, M. A. Zarka, and N. S. Awad, "Potential apoptotic activities of *Hylocereus undatus* peel and pulp extracts in MCF-7 and Caco-2 cancer cell lines," *Plants*, vol. 11, no. 17, 2022, Art. no. 2192.
- [25] G. C. Tenore, E. Novellino, and A. Basile, "Nutraceutical potential and antioxidant benefits of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) extracts," *Journal of Functional Foods*, vol. 4, no. 1, pp. 129-136, 2012.
- [26] F. M. Manihuruk, T. Suryati, and I. Arief, "Effectiveness of the red dragon fruit (*Hylocereus polyrhizus*) peel extract as the colorant, antioxidant, and antimicrobial on beef sausage," *Media Peternakan*, vol. 40, no. 1, pp. 47-54, 2017.
- [27] A. M. Som, N. Ahmat, H. A. A. Hamid, and N. J. H. Azizuddin, "A comparative study on foliage and peels of *Hylocereus undatus* (white dragon fruit) regarding their antioxidant activity and phenolic content," *Heliyon*, vol. 5, no. 2, 2019, Art. no. e01244.
- [28] R. Nurliyana, I. Syed Zahir, K. Mustapha Suleiman, M. R. Aisyah, and K. K. Rahim, "Antioxidant study of pulps and peels of dragon fruits: a comparative study," *International Food Research Journal*, vol. 17, pp. 367-375, 2010.