



DOI:10.22144/ctujos.2025.231

ẢNH HƯỞNG CỦA TỶ LỆ β -CYCLODEXTRIN VÀ ĐIỀU KIỆN SẤY PHUN ĐẾN TÍNH CHẤT HÓA LÝ VÀ CẢM QUAN CỦA BỘT BƯỞI (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) LÔNG CỎ CÒ

Nguyễn Tấn Hùng*

Trường Đại học Tiền Giang, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): nguyentanhung@tgu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 30/07/2025

Sửa bài (Revised): 29/08/2025

Duyệt đăng (Accepted): 10/11/2025

Title: The effect of different concentrations of β -cyclodextrin and spray drying process parameters on physicochemical and sensory properties of Long Co Co pomelo (*Citrus grandis* (L.) osbeck) juice powder

Author: Nguyen Tan Hung*

Affiliation(s): Tien Giang University, Viet Nam

TÓM TẮT

Mục tiêu của nghiên cứu này là khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ chất trợ sấy β -cyclodextrin (β CD) (2, 4, 6%) kết hợp với 10% hỗn hợp maltodextrin/gum Arabic (85%/15%) và điều kiện sấy gồm nhiệt độ đầu vào (160, 170, 180°C) và tốc độ bơm 378, 555, 750 mL/giờ đến tính chất cảm quan và hóa lý (độ ẩm, hoạt độ nước - a_w , thời gian hòa tan, màu sắc, vitamin C, polyphenol – TPC, flavonoid – TFC) của bột bưởi. Kết quả cho thấy, với tỷ lệ 4% (w/v) β CD đem lại hiệu quả sấy tốt nhất với hiệu suất thu hồi, hàm lượng TPC, vitamin C, TFC và điểm cảm quan cao nhất. Bên cạnh đó, bột được sấy ở nhiệt độ 160°C và tốc độ bơm 750 mL/giờ mặc dù cho hiệu suất thu hồi thấp (51,82%) tuy nhiên khả năng lưu giữ các thành phần TPC, vitamin C và TFC là cao hơn lần lượt là 2,87 mgGAE/g CK, 204,36 mg/100g CK và 6,04 mgQE/g CK). Sản phẩm bột bưởi có độ ẩm và hoạt độ nước lần lượt là 8,69% và 0,45 thích hợp trong bảo quản và vận chuyển. Kết quả nghiên cứu góp phần nâng cao giá trị sử dụng và kinh tế của quả bưởi lông Cổ Cò tại địa phương.

Từ khoá: Bưởi lông Cổ Cò, β -cyclodextrin, nhiệt độ sấy, sấy phun, tốc độ bơm

ABSTRACT

This study aimed to determine the impact of concentrations of β -cyclodextrin (β CD) (2, 4, 6%) combine with 10% mixture maltodextrin/gum Arabic (85%/15%) and spray-drying conditions, inlet temperature (160 - 180°C) and feed rate levels (375, 555, 750 mL/h) on the sensory and physicochemical (moisture content, water activity- a_w , color, yield, flavonoid content -TFC, total polyphenol content -TPC, and vitamin C content) properties of pomelo juice powder. The results showed that concentrations of 4% β -cyclodextrin obtained the best results for yield, TPC, vitamin, and TFC content were the highest. Although the spray drying was carried out of 160°C and a feed rate of 750 mL/h, the recovery efficiency was low (51.82%), but the retention capacity of TPC, vitamin C and TFC contents was higher (2.87 mgGAE/g, 204.36 mg/100g and 6.04 mgQE/g, respectively). The pomelo powder had moisture and water activity of 8.69% and 0.45, respectively, suitable for storage and transportation. The research results contributed to improving the use and economic value of Co Co pomelo locally.

Keywords: β -cyclodextrin, Co Co pomelo, feed flow rate, inlet temperature, spray drying

1. GIỚI THIỆU

Quả bưởi (*Citrus maxima* Merr., Burm. hoặc *Citrus grandis* (L.) Osbeck.) rất đa dạng về chủng loại và phân bố rộng rãi theo các vùng sinh thái nông nghiệp. Bưởi chứa nhiều acid galacturonic, vitamin C, pectin, phenol, flavonoid (limonoid, hesperidin và naringin),... có tác dụng chống oxy hóa mạnh (Hui Ni et al., 2014). Theo ước tính năm 2024, diện tích cây bưởi cả nước có hơn 110 nghìn ha, riêng đồng bằng sông Cửu Long chiếm khoảng 32.000 ha với sản lượng khoảng 369.000 tấn với các giống bưởi nổi tiếng như bưởi da xanh, bưởi Năm Roi (Vietnam Industry and Trade Information Center, 2024). Trong đó, bưởi lòng Cổ Cò là giống bưởi đặc sản và được trồng nhiều chuyên canh của huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang trước đây bên cạnh xoài cát Hòa Lộc, bưởi lòng Cổ Cò và cây có múi khác (Ministry of Industry and Trade, 2020).

Bên cạnh các hợp chất có giá trị sinh học nhưng kém bền nhiệt trong bưởi như vitamin C, polyphenol thì vị đắng chủ yếu là limonin và naringin (Shaw et al., 1984). Vị đắng là đặc tính hương vị không mong muốn của một số sản phẩm nước ép cam và bưởi thuộc họ cam quýt, điều này làm giảm giá trị cảm quan của sản phẩm (Nguyen et al., 2014). Hơn nữa, các hợp chất này rất nhạy cảm và có thể dễ dàng bị ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố lý hóa, điều này gây ra trở ngại lớn cho việc sử dụng chúng vào các sản phẩm thực phẩm. Theo Szejtli and Szenté (2005) vị đắng của thuốc, thành phần thực phẩm hòa tan trong nước hoặc trong nước bọt khi vào miệng có thể giảm mạnh hoặc loại bỏ hoàn toàn nếu thành phần đắng tạo thành phức hợp với một cyclodextrin (CD) thích hợp. Việc vi bao các hợp chất có đặc tính nhạy cảm với nhiệt là một phương thức hiệu quả để khắc phục vấn đề này. Sấy phun là phương pháp vi bao hiệu quả trong việc chuyển đổi chất lỏng thành dạng bột và phù hợp để xử lý các thành phần nhạy cảm với nhiệt như polyphenol, carotenoid, vitamin C (VisakaAnantawat, 2015). Ưu điểm của phương pháp sấy phun là sản phẩm tạo ra có kích thước hạt đồng đều và hình cầu, có thời gian sấy tương đối ngắn và có thể sử dụng phương pháp này trên các vật liệu không bền nhiệt (Pradana et al., 2021). Nhiều loại nước ép trái cây sấy phun đã được nghiên cứu trong sản xuất chất tạo màu từ trái cây và rau quả như quả mọng, quả lựu, quả gấc, khoai lang tím, cà rốt đen (Do & Nguyen, 2018). Kỹ thuật này cũng có thể giúp che giấu mùi hoặc vị khó chịu, thay đổi độ hòa tan và ngăn ngừa sự bay hơi của các chất

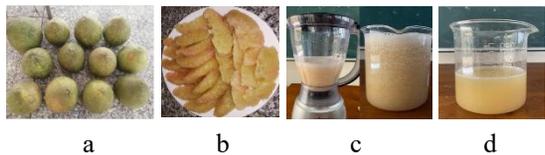
hoặc các hiện tượng không tương thích khác (Baysan, 2019). Việc lựa chọn vật liệu bao phủ phù hợp là một bước quan trọng để sản xuất bột hiệu quả. Một trong những chất trợ sấy thường được sử dụng trong sản xuất tinh thể nano bằng phương pháp sấy phun là maltodextrin (MD). MD có đặc tính vi bao tốt do độ hòa tan, khả năng tạo màng cao và độ nhớt thấp (Tatasciore et al., 2024) giúp tạo ra bột rời, tránh dính, giảm độ hút ẩm của bột và tăng khả năng thu hồi bột (Akdeniz et al., 2017). Tuy nhiên, MD không hoạt động bề mặt và khả năng nhũ hóa kém. Để khắc phục nhược điểm này, carbohydrate có thể được sử dụng kết hợp với các thành phần khác có khả năng nhũ hóa tốt như gum Arabic (GA) (Tatasciore et al., 2024). GA là một hydrocolloid với các chuỗi polysaccharide chứa một phần nhỏ protein giúp khắc phục vấn đề dính cũng như bao bọc các thành phần nhạy cảm chống lại quá trình oxy hóa (phenolic, vitamin, anthocyanin) do khả năng nhũ hóa tốt (Idris et al., 2013). Một loại chất mang khác là β -cyclodextrin (β CD), một oligosaccharide vòng có khoang không phân cực và bên ngoài ưa nước, cho phép hình thành các phức hợp với các phân tử lõi không phân cực (Jović et al., 2023). β CD có thể được sử dụng làm chất khử các thành phần đắng limonin và naringin trong nước ép bưởi (Shaw et al., 1984; Wagner et al., 1988) cũng như hiệu quả khử vị đắng của thuốc (Szejtli & Szenté, 2005; Escobar-Avello et al., 2021). Sự kết hợp của MD với β CD, GA với β CD hay MD với β CD và GA có thể đồng thời làm tăng độ ổn định của hoạt chất được bao phủ (Escobar-Avello et al., 2021; Pradana et al., 2021; Tatasciore et al., 2024) bên cạnh các số thông số khác như nhiệt độ đầu vào, lưu lượng cấp liệu và lưu lượng khí sấy, loại và chất trợ sấy (Suhag et al., 2016; Jović et al., 2023).

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng của tỷ lệ (β CD), nhiệt độ sấy phun và tốc độ cấp dịch đến hiệu quả quá trình vi bao dịch chiết và một số thông số chất lượng của bột bưởi lòng Cổ Cò.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên vật liệu

Bưởi lòng Cổ Cò: chín đều (7-8 tháng sau khi trổ bông), vỏ có màu xanh vàng dễ lột và mỏng, ruột hồng, thịt quả có độ brix ≥ 9 , được thu nhận tại nhà vườn huyện Cái Bè, tỉnh Tiền Giang, sử dụng những bưởi nhỏ (< 1 kg), còn nguyên vẹn và không hư hỏng bên trong.



Hình 1. Bưởi Long Cổ Cò nguyên liệu và các bước xử lý

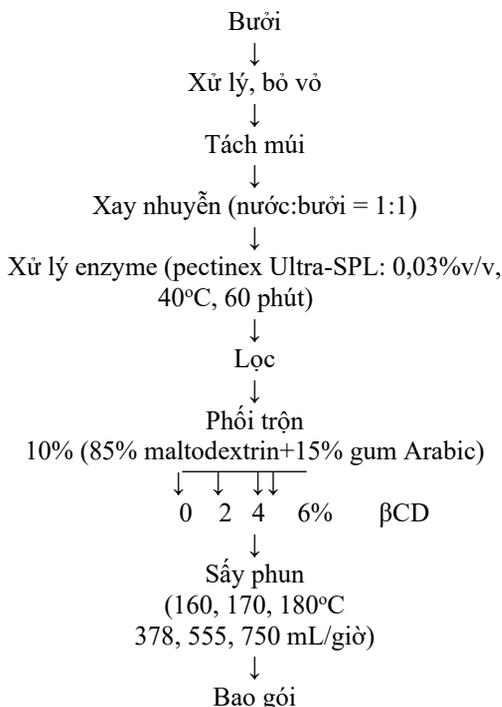
a: bưởi sau 2 tuần bảo quản, b: bưởi tách múi, c: dịch bưởi xay, d: dịch bưởi sau thủy phân và lọc.

Maltodextrin 12 DE (xuất xứ Trung Quốc), gum Arabic (xuất xứ Ấn Độ), β-Cyclodextrin (xuất xứ Trung Quốc), các chất trợ sấy được cung cấp bởi công ty CEMACO (Cần Thơ).

Chế phẩm enzyme pectinex Ultra-SPL được mua từ hãng Novozymes (Đan Mạch) có hoạt độ 3300 đơn vị polygalacturonase/ml.

Hóa chất: 2,6-dichlorophenol-indophenol, Aceton, Folin – Ciocalteu, Na₂CO₃, Acid gallic, AlCl₃, Quercetin đều đạt tiêu chuẩn phân tích có độ tinh khiết cao được cung cấp bởi công ty CEMACO (Cần Thơ).

2.2. Quy trình thí nghiệm



2.3. Chuẩn bị mẫu và bố trí thí nghiệm

2.3.1. Chuẩn bị mẫu

Bưởi sau khi thu hoạch được vận chuyển đến phòng thí nghiệm Công nghệ thực phẩm, trường Đại học Tiền Giang. Bưởi được tồn trữ ở nhiệt độ phòng,

không bao bì trong 2 tuần (Ung & Nguyen, 2025). Bưởi chín được bỏ vỏ, xơ trắng, tách múi, tiến hành xay nhuyễn với nước theo tỷ lệ nước : bưởi là 1:1 trong 3 phút bằng máy Panasonic MJ M-176P. Hỗn hợp bưởi sau đó được xử lý với enzyme pectinex Ultra-SPL với nồng 0,03% w/w, nhiệt độ 40°C, trong 60 phút. Việc lọc qua vải lọc thông dụng (kích thước lỗ 200 micron) được tiến hành, thu dịch bưởi cho việc bố trí thí nghiệm. Dịch bưởi thu được với các chỉ số chất lượng hóa học như TPC, hàm lượng acid tổng, TFC, vitamin C và hàm lượng chất khô hòa tan lần lượt là 16,44 mgGAE/100 mL, 0,30%, 23,49 mgQE/ mL, 186,27 mg/100 mL và 6,9 độ Brix.

2.3.2. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm 1: Ảnh hưởng tỷ lệ β-cyclodextrin đến chất lượng sản phẩm

Dịch bưởi (được chuẩn bị theo như mô tả ở mục 2.3.1) được phối trộn với 10%w/v chất trợ sấy (hỗn hợp chứa 85% maltodextrin 12 DE và 15% gum arabic) (Ung & Nguyen, 2025) và β-cyclodextrin (0 - 6% w/v). Hỗn hợp được sấy phun với thiết bị Lab plant SD-basic (England) ở nhiệt độ đầu vào/đầu ra là 150°C/80 - 82°C và tốc độ bom cấp liệu là 3 RPM (378 mL/giờ). Các chỉ tiêu theo dõi: độ ẩm (%), hoạt độ nước (a_w), hiệu suất thu hồi (%), thời gian hòa tan (giây), màu sắc (L*, a*, b*), vitamin C (mg/100 g, hàm lượng flavonoid –TFC (mgQE/gck), polyphenol tổng -TPC (mgGAE/gck) và điểm cảm quan.

Thí nghiệm 2: Khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ đầu vào và tốc độ bom cấp dịch đến chất lượng và hiệu suất thu hồi

Dịch bưởi (được chuẩn bị theo như mô tả ở mục 2.3.1) được phối trộn với 10% w/v hỗn hợp chất trợ sấy và β-cyclodextrin theo kết quả thí nghiệm 1. Hỗn hợp được sấy phun với thiết bị Lab plant SD-basic (England) ở nhiệt độ đầu vào/đầu ra là 160°C/87 - 89°C, 170°C/93 - 95°C và 180°C/99 - 103°C và tốc độ bom cấp liệu là 3, 4 và 5 RPM (378, 555 và 750 mL/giờ). Các chỉ tiêu theo dõi: độ ẩm (%), hoạt độ nước (a_w), hiệu suất thu hồi (%), độ hòa tan (giây), màu sắc (L*, a*, b*), vitamin C (mg/100gck), hàm lượng flavonoid –TFC (mgQE/gck) và polyphenol tổng -TPC (mgGAE/gck).

2.4. Chỉ tiêu và phương pháp phân tích

2.4.1. Hiệu suất thu hồi được xác định theo mô tả của Le (2020):

$$H = (m_1/m_2).100\%$$

Trong đó: m_1 là tổng chất rắn hòa tan của bột (g), m_2 là tổng chất rắn hòa tan của dịch trước khi sấy (g).

2.4.2. Thời gian hòa tan (giây) được xác định theo mô tả của Suhag et al. (2016):

Mẫu bột có khối lượng 50 mg được cho vào ống nghiệm nhỏ, thêm 1 mL nước cất, tiến hành trộn bằng cách sử dụng Vortex ở tốc độ trung bình (1.500 vòng/phút) đến khi bột hòa tan hoàn toàn. Thời gian để hoàn nguyên hoàn toàn bột được ghi lại bằng đồng hồ bấm giờ điện tử.

2.4.3. Xác định độ ẩm (%) được xác định theo mô tả của Do & Nguyen (2018)

Độ ẩm được xác định bằng cách sấy khô các mẫu trong tủ sấy (UF55 MEMMERT) ở 105°C cho đến khi đạt khối lượng không đổi.

2.4.4. Xác định hoạt độ nước

Khoảng 0,5 g mẫu được đặt vào vị trí nhận mẫu của máy đo hoạt độ nước (Novasina MS1-aw, Thụy Sĩ), khi đạt đến trạng thái cân bằng, giá trị hoạt độ nước được đọc và ghi lại.

2.4.5. Hàm lượng vitamin C được xác định theo mô tả của Singh et al. (2022) có hiệu chỉnh

Phần này được tiến hành bằng cách pha loãng 1 g bột với 20 ml acid oxalic 4%. Tiếp theo, 5 ml dịch pha loãng được chuẩn độ với thuốc thử 2,6-dichlorophenol-indophenol (DCPIP). Điểm dừng chuẩn độ khi một giọt dư 2,6-DIP xanh làm cho dung dịch chuyển thành màu hồng trong môi trường acid và bền trong hơn 15 giây. Dung dịch indophenol được chuẩn độ với dung dịch ascorbic acid chuẩn. Hàm lượng vitamin C được biểu diễn bằng mg trên gram chất khô (mg/g chất khô).

$$X = \left(\frac{a-b \cdot V \cdot 100 \cdot 0,088}{v \cdot (100-W)m} \right) \quad (1)$$

Trong đó:

a là số mL trung bình khi chuẩn độ thật.

b là số mL trung bình khi chuẩn độ đối chứng.

0,088 là số mg acid ascorbic tương đương với 1 mL dung dịch chuẩn DCPIP 0,001N.

V là thể tích dịch chiết ban đầu (mL).

W: độ ẩm bột, %.

v: thể tích dịch chiết lấy để định chuẩn (mL).

m: khối lượng mẫu vật cân lúc đầu (g).

2.4.6. Xác định hàm lượng các chất chứa phenol (TPC) theo mô tả của Suhag et al. (2016) có điều chỉnh

Hàm lượng được xác định bằng cách pha loãng 0,25 g bột trong 10 ml acetone 60%. Lượng dịch chiết 1 mL được chuyển vào ống nghiệm chứa 0,5 mL thuốc thử Folin – Ciocalteu (1:9) và để khoảng 3 phút. Sau đó, 2,5 mL dung dịch Na_2CO_3 bão hòa được thêm vào, lắc đều, để trong bóng tối 30 phút. Độ hấp thụ ở bước sóng 765 nm được đo bằng máy đo quang phổ (Varian Cary® 50 UV- Vis). Acid gallic (0 - 100 mg/L) được sử dụng làm đường chuẩn và kết quả được biểu thị bằng mg gallic acid tương đương (GAE)/gck.

Hàm lượng phenolic tổng (TPC) được tính theo công thức: $\text{TPC} = C \cdot K \cdot V / ((100-W) \cdot m)$.

Trong đó: TPC: hàm lượng phenolic tổng (mg GAE/g bột).

C: Giá trị x từ đường chuẩn với acid Gallic (mg/mL).

V: Thể tích định mức (mL).

W: độ ẩm bột, %.

k: Hệ số pha loãng.

m: Khối lượng bột

2.4.7. Xác định hàm lượng flavonoid tổng (TFC) được xác định theo mô tả của Nguyen et al. (2023)

Hàm lượng được xác định bằng cách lấy 1 mL dịch chiết trộn với 0,5 mL AlCl_3 10% và 0,5 mL nước. Hỗn hợp được ủ trong 10 phút ở nhiệt độ phòng sau đó đem đo ở bước sóng 428 nm, bằng máy đo quang phổ (Varian Cary® 50 UV- Vis). TFC được tính toán dựa trên đường chuẩn của quercetin (5 – 35 mg/mL) được biểu thị dưới dạng mg quercetin tương đương (mg QE/gck).

$\text{TFC} = C \cdot K \cdot V / ((100-W) \cdot m)$

Trong đó:

TFC: Hàm lượng flavonoid tổng (mg QE/gck).

C: Giá trị x từ đường chuẩn với quercetin (mg/mL).

k: Hệ số pha loãng.

V: Thể tích định mức (mL).

W: độ ẩm bột, %.

m: Khối lượng bột, g.

2.4.8. Màu sắc (L^* , a^* , b^*) theo mô tả của Suhag et al. (2016)

Máy đo màu Minolta CXR400 (Nhật Bản) đã được sử dụng: Máy đo màu này dựa trên không gian màu $L^*a^*b^*$ của CIE (Commission Internationale de L'Eclairage). Hiệu chuẩn được thực hiện trên ô màu trắng trước khi phân tích mẫu ($L^* = 91,0$, $a^* = +0,3165$, $b^* = +0,3326$).

2.4.9. Đánh giá cảm quan theo mô tả của Feguš et al. (2015) và Azlan et al. (2020) và có điều chỉnh

Các mẫu dùng để đánh giá cảm quan được trình bày dưới dạng đồ uống hòa tan có chứa 1,5% chất khô, hội đồng gồm 20 thành viên (giới tính: 10 nữ, 10 nam; nhóm tuổi: 20 – 40) bằng phương pháp cảm quan thị hiếu, thang Hedonic 1 - 9 (1 = cực kỳ không thích và 9 = cực kỳ thích).

Bảng 1. Ảnh hưởng của tỷ lệ β -cyclodextrin sau khi phối trộn đến sự thay đổi hàm lượng polyphenol (TPC), vitamin C, hàm lượng acid tổng và flavonoid (TFC)

β - cyclodextrin	TPC (mgGAE/gck)	Vitamin C (mg/100gck)	Flavonoid (mgQE/gck)
0%	2,06±0,01 ^a	157,31±1,85 ^b	4,38±0,01 ^a
2%	2,86±0,01 ^b	158,14±4,40 ^b	5,31±0,01 ^c
4%	3,55±0,02 ^c	184,62±1,47 ^c	5,70±0,01 ^d
6%	3,54±0,01 ^c	128,80±3,69 ^a	4,46±0,01 ^b

Ghi chú: số liệu trung bình của 3 lần lặp lại. Các kí tự a, b, c, ... theo cột thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa ($P < 0,05$).

Bảng 1 cho thấy, tỷ lệ β CD sử dụng có ảnh hưởng rõ rệt ($P < 0,05$) đến các thông số chất lượng của bột bươi thu nhận. Hàm lượng TPC, TFC và vitamin C trong bột được ghi nhận tương ứng từ 2,06 - 3,55 mgGAE/g, 4,38 - 5,70 mgQE/g và 128,80 - 184,62 mg/100 gck. Đối với mẫu đối chứng (không bổ sung β CD) thì hàm lượng TPC, TFC là thấp nhất ngoại trừ vitamin C. β CD cho thấy tác động tích cực đến khả năng lưu giữ và hàm lượng các hợp chất phenolic ($P < 0,05$) khi được sử dụng kết hợp với MD và GA. Khi tăng tỷ lệ β CD sử dụng từ 2% lên 4% thì có sự gia tăng hàm lượng các chất TPC, TFC và vitamin C và đạt cao nhất ở tỷ lệ sử dụng 4% β CD. Khi tăng tỷ lệ sử dụng β CD lên 6% cho thấy có sự sụt giảm về hàm lượng của TPC, TFC và vitamin C. β -cyclodextrin là vật liệu vi bao giúp hỗ trợ khả năng lưu giữ tốt các chất tan trong dung dịch. Đặc trưng quan trọng của β -cyclodextrin là có khả năng tạo phức chất, các thành phần lồng vào nhau ở trạng thái dung dịch. Tuy nhiên, khi tỷ lệ chất này cao (6%) thì khả năng lưu giữ các hợp chất giảm do đặc tính khó tan ở nhiệt độ phòng của phụ gia này. Theo Hedges (2009) thì độ hòa tan của β CD trong

2.5. Phương pháp thu thập số liệu và thống kê

Mỗi thí nghiệm được thực hiện lặp lại 3 lần. Giá trị trung bình và sai số của kết quả sẽ được tính bằng phần mềm Microsoft Excel (Microsoft Inc., Redmond, WA, USA). Sự khác biệt đáng kể ($p < 0,05$) của dữ liệu được phân tích bằng one-way ANOVA bằng phần mềm Statgraphics XVII (Statpoint Technologies Inc, US).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của tỷ lệ β -cyclodextrin đến sự thay đổi hàm lượng polyphenol (TPC), vitamin C, hàm lượng acid tổng và flavonoid (TFC)

Ảnh hưởng của tỷ lệ β CD bổ sung đến chất lượng bột bươi được thể hiện ở Bảng 1.

nước ở 25°C là 1,8 g/100mL và 4,5 g/100mL ở 45°C và thực tế thực hiện thí nghiệm cho thấy, khi lượng sử dụng β CD ở tỷ lệ 6% thì phần lớn chất này không hòa tan trong dịch bươi. Kết quả này có thể được quy cho việc đưa vào và bảo vệ một số flavonoid được prenyl hóa vào khoang kỵ nước cyclodextrin (Pradana et al., 2021). Khả năng lưu giữ các hoạt chất trong dịch bươi bên cạnh vai trò của hỗn hợp chất mang GA và MD được giải thích là cải thiện khả năng lưu giữ các phân tử kỵ nước (do thành phần protein kỵ nước của GA mang lại cho GA khả năng nhũ hóa để giữ lại các phân tử kỵ nước) thì vai trò tương tự của β CD là do sự hình thành các phức hợp bao giữa các phân tử β CD và các hợp chất phenolic, làm tăng độ bền nhiệt của chúng (Akbarmehr et al., 2024). Một lý giải khác của Tataschiere et al. (2024) cho các đặc tính liên quan đến hàm lượng phenolic (có chứa nhiều flavonoid) tốt hơn của bột chứa β CD và GA có thể nằm ở cấu trúc phẳng hơi kỵ nước, cho phép chúng tương tác với các lớp màng lipid, nên có xu hướng được lưu giữ tốt hơn trong các khoang chứa β CD và GA kỵ nước.

Theo Jović et al. (2023), hiệu suất thu hồi thu được ở quy mô phòng thí nghiệm phải đạt ít nhất 50% để đạt được hiệu suất sấy phun mong muốn ở quy mô công nghiệp. Trong đó, việc lựa chọn vật

liệu mang có thể ảnh hưởng đến hiệu suất sấy phun. Trong nghiên cứu này, hiệu quả của việc sử dụng MD+GA đơn lẻ hoặc kết hợp với β CD chất trợ sấy đến hiệu suất sấy được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Ảnh hưởng của tỷ lệ β -cyclodextrin đến sự thay đổi hàm hoạt độ nước a_w , ẩm độ, độ khác màu và hiệu suất sấy

β - cyclodextrin	a_w	Ẩm độ (%)	Độ khác màu (ΔE)	Hiệu suất thu hồi (%)
0%	0,37±0,01 ^a	4,94±0,05 ^a	6,37±0,85 ^{ab}	44,85±1,15 ^a
2%	0,37±0,01 ^a	4,93±0,01 ^a	5,57±0,84 ^a	53,33±0,79 ^b
4%	0,35±0,01 ^a	4,87±0,01 ^a	7,74±1,42 ^a	58,31±0,75 ^b
6%	0,46±0,02 ^b	5,36±0,10 ^b	5,83±0,02 ^{ab}	46,47±0,96 ^a

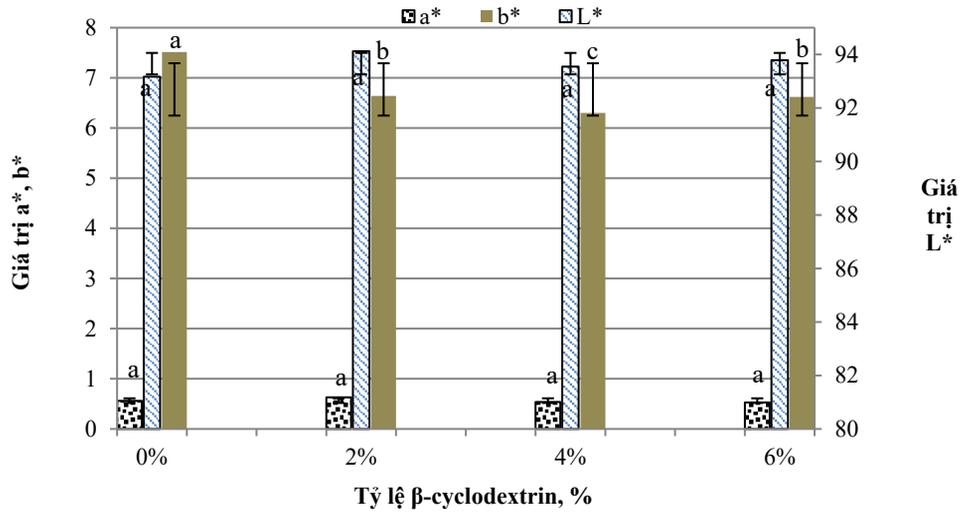
Ghi chú: số liệu trung bình của 3 lần lặp lại. Các kí tự a, b, c, d, ... theo cột thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa ($p < 0.05$).

Hiệu suất thu hồi đối với nghiệm thức không sử dụng β CD khoảng 44,85%. Trong khi đó, việc sử dụng phối hợp thêm β CD làm chất trợ sấy đã làm tăng hiệu suất sấy. Hiệu suất sấy cao nhất đạt được khoảng 58% đối với bột được sấy với sự kết hợp của MD+GA và 4% β CD. Lý giải cho sự gia tăng hiệu suất sấy là do việc hình thành nhanh lớp vỏ sấy bằng β CD có thể ngăn bột bám dính vào buồng sấy, dẫn đến hiệu suất sấy được cải thiện (To et al., 2021; Akbarmehr et al., 2024). Kết quả này phù hợp với kết quả được báo cáo bởi Jović et al. (2023) và Tatasciore et al. (2024) cho thấy hiệu quả tốt hơn của β CD trong quá trình sấy phun vì bao các hợp chất hoạt tính sinh học.

Độ ẩm rất quan trọng đối với độ ổn định của bột, khả năng chảy, độ dính, sự phát triển của vi sinh vật và quá trình oxy hóa các hợp chất hoạt tính sinh học. Bột thu được có độ ẩm từ 4,87 đến 5,36% tương ứng với sự thay đổi của độ hoạt động của nước (a_w) từ 0,35 - 0,46 thích hợp để bảo quản lâu dài. Hàm lượng ẩm và độ hoạt động của nước cao nhất được ghi nhận đối với mẫu được sấy với 6% β CD (Bảng 2), sự khác biệt giữa các tỷ lệ β CD liên quan đến hàm lượng ẩm và độ hoạt động của nước là có ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Điều này chỉ ra rằng cyclodextrin khiến bột giữ nhiều nước hơn sau khi sấy. Khi nồng độ β CD cao có thể nhiều phân tử β CD không tạo thành phức hợp với phân tử polyphenol, do đó, nhiều nước hơn vẫn bị giữ lại trong các phân tử β CD (Jović et al., 2023).

Việc theo dõi và kiểm soát các thông số màu của bột sấy phun không chỉ ảnh hưởng đến tính thẩm mỹ mà còn ảnh hưởng đến khả năng tiếp thị và sở thích của người tiêu dùng (Akbarmehr et al., 2024).

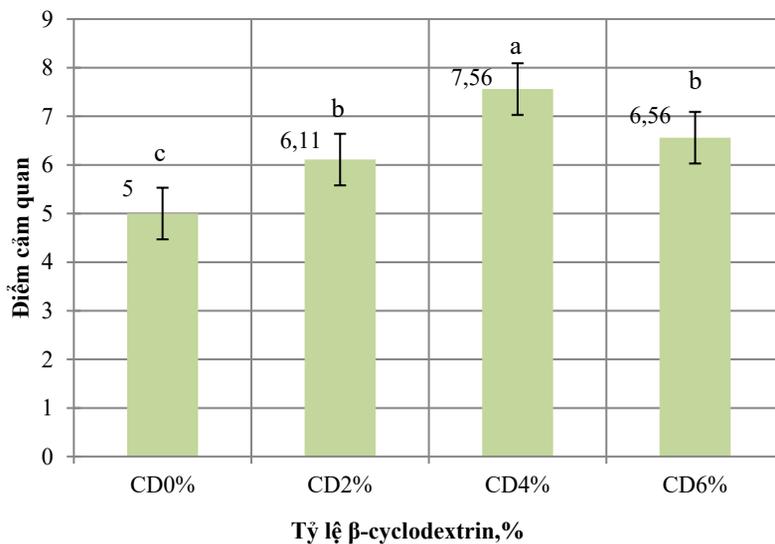
Các chỉ số màu sắc (L^* , a^* , b^*) thay đổi theo các tỷ lệ β CD khác nhau (Hình 2). Khi tăng β CD thì chỉ số thể hiện sắc vàng (b^* dương) giảm. Nguyên nhân là do β CD ban đầu có màu trắng sáng và khi bổ sung nhiều sẽ là cho bột thu được có màu trắng hơn và giảm đi màu vàng ngà của dịch buri. Ở các tỷ lệ cao (6%) của β CD thì khả năng hòa tan giảm do đó dẫn đến sắc vàng vốn có của dịch buri được thể hiện trong bột sản phẩm. Trong khi đó chỉ số độ sáng (L^*) và sắc đỏ (a^*) tăng nhưng không có sự khác biệt. Trong khi đó, giá trị biểu thị sự thay đổi màu tổng thể (ΔE) của mẫu sau khi sấy dao động trong khoảng 5,57 - 7,7 và khác biệt không có ý nghĩa ($P = 0,17$) với các tỷ lệ β CD được sử dụng (Bảng 1). Những phát hiện này cho thấy sự thay đổi màu sắc xảy ra dưới ảnh hưởng của bản chất và cấu trúc chính của các chất mang với tỷ lệ khác nhau bởi bao phủ vật liệu lõi và che giấu màu sắc cũng như mùi vị. Sự thay đổi màu sắc sau khi sấy phun cũng có thể là do sự thay đổi của một số sắc tố của cả vật liệu lõi và vật liệu bao phủ do xử lý nhiệt hoặc quá trình hóa nâu không dùng enzyme (Akbarmehr et al., 2024). Nhìn chung, sự khác biệt về màu sắc của bột bị ảnh hưởng bởi các đặc tính màu khác nhau của chính chất mang và tỷ lệ sử dụng (Tatasciore et al., 2024).



Hình 2. Sự thay đổi chỉ số màu theo tỷ lệ beta cyclodextrin



Hình 3. Sản phẩm bột bươi với các tỷ lệ beta-cyclodextrin



Hình 4. Điểm trung bình cảm quan theo mức độ ưa thích của dịch ép bưởi sau khi hoàn nguyên

Hình 4 cho thấy điểm trung bình cảm quan của dịch bưởi hoàn nguyên từ bột có sự khác nhau theo tỷ lệ βCD. Trong đó, các nghiệm thức đều có điểm cảm quan trung bình lớn hơn 5 điểm là mẫu bột sấy với 4% là cao nhất (7,56). Đối với mẫu 0% và 6% βCD, điểm cảm quan thể hiện thấp điều này có thể

là các mẫu được sấy cho cảm giác vị đắng nhiều hơn khi không bổ sung βCD. Ngược lại, khi mẫu được sấy với lượng nhiều (6%) có thể dẫn đến độ tan của cyclodextrin bị giảm và làm cho vị đắng xuất hiện trở lại khi đánh giá của nước bưởi và dẫn đến kết quả điểm cảm quan thấp hơn.

Như vậy, việc bổ sung β -cyclodextrin bên cạnh giúp cải thiện vị đắng, vẫn giữ được các chất dinh dưỡng trong dịch bưởi. Với việc đánh giá các chỉ tiêu hóa lý và cảm quan của bột bưởi hoàn nguyên cho thấy, với tỷ lệ sử dụng 4% β CD là phù hợp nhất. Bột bưởi thu nhận có hiệu suất sấy cao và khả năng lưu giữ tốt các hợp chất có hoạt tính sinh học. Bên cạnh đó, điểm cảm quan về mức độ ưa thích được

ghi nhận là tốt nhất cho dịch bưởi sau khi hoàn nguyên ở tỷ lệ này.

3.2. Ảnh hưởng của điều kiện sấy đến chất lượng bột bưởi

Sự thay đổi các chỉ số vật lý của bột bưởi và hiệu suất thu hồi theo nhiệt độ và tốc độ bơm cấp liệu được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy và tốc độ bơm đến sự thay đổi của ẩm độ, a_w , độ hòa tan và độ khác màu

Nhiệt độ sấy và tốc độ bơm	a_w	Ẩm độ (%)	Thời gian hòa tan (s)	Độ khác màu (ΔE)	Hiệu suất thu hồi (%)
160-3	0,40±0,01 ^{bc}	5,83±0,62 ^b	29,19±0,21 ^h	5,77±0,71 ^a	61,05±1,43 ^a
160-4	0,42±0,01 ^b	5,98±0,07 ^b	24,16±0,97 ^f	5,57±0,24 ^a	57,33±1,23 ^{bc}
160-5	0,45±0,02 ^c	8,69±0,13 ^d	17,76±0,33 ^d	8,40±1,60 ^a	51,82±1,11 ^b
170-3	0,39±0,01 ^{ab}	4,78±0,06 ^a	28,09±0,19 ^e	5,71±0,43 ^a	60,52±0,65 ^a
170-4	0,40±0,01 ^{bc}	4,87±0,03 ^a	22,66±0,39 ^c	5,80±0,16 ^a	55,73±1,13 ^c
170-5	0,42±0,02 ^b	8,42±0,13 ^d	13,80±0,48 ^c	6,62±0,06 ^{ab}	52,13±1,01 ^{ab}
180-3	0,38±0,01 ^a	4,52±0,06 ^a	22,22±0,49 ^c	6,25±0,28 ^a	54,24±1,23 ^d
180-4	0,38±0,01 ^{ab}	4,80±0,05 ^a	12,32±0,99 ^b	5,32±0,75 ^a	53,42±0,47 ^c
180-5	0,40±0,01 ^{ab}	7,46±0,21 ^c	8,77±0,25 ^a	6,85±0,34 ^{ab}	53,01±0,66 ^c

Ghi chú: số liệu trung bình của 3 lần lặp lại. Các kí tự a, b, c, d, ... theo cột thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa ($P < 0,05$).

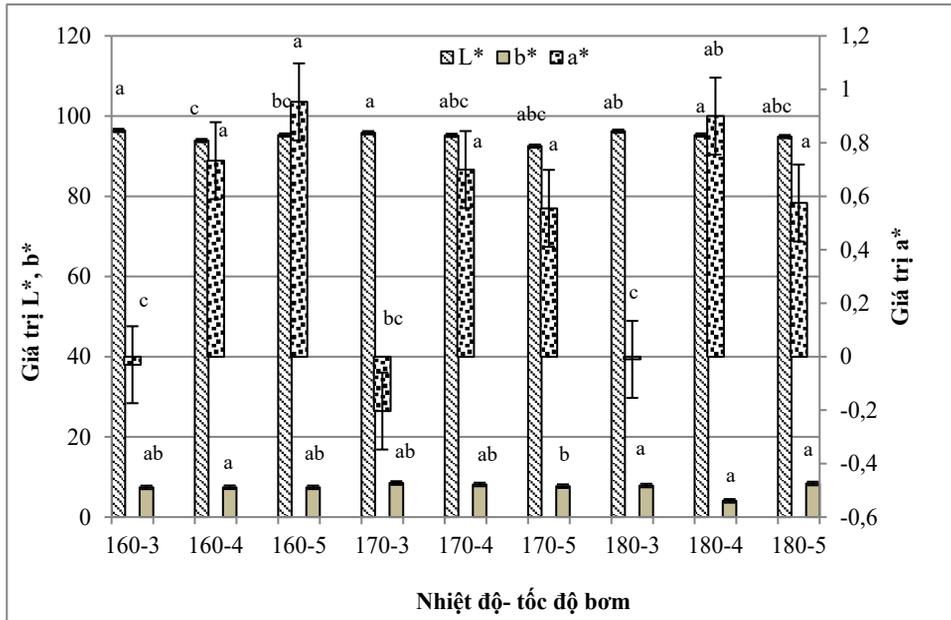
Bảng 3 cho thấy có sự khác biệt đáng kể ($p < 0,05$) về hiệu suất thu hồi đối với cả nhiệt độ không khí đầu vào và tốc độ cấp liệu. Hiệu suất thu hồi bột giảm khi tăng tốc độ cấp liệu từ 3 RPM lên 5 RPM xảy ra ở cả ba mức nhiệt độ đầu vào. Hiệu suất bột thay đổi từ 51,82 đến 61,05% và suất cao nhất được tìm thấy ở nhiệt độ không khí đầu vào 160°C và tốc độ cấp liệu là 3 RPM và thấp nhất ở nhiệt độ không khí vào là 160°C, 5 RPM. Bên cạnh đó, hiệu suất thu hồi giảm dần khi tăng nhiệt độ đầu vào. Sự thay đổi về hiệu suất bột này có thể liên quan đến sự hình thành cặn lắng trong buồng sấy. Các cặn bán ướt được quan sát thấy ở tất cả các mức nhiệt độ 160°C và 170°C ở tốc độ bơm cấp liệu 5 RPM và giảm đi khi tăng nhiệt độ đến 180°C và ở tốc độ cấp liệu 4 và 5 RPM. Tuy nhiên, ở nhiệt độ đầu vào cao (180°C) cũng dẫn đến sự thất thoát bột, điều này có thể là do hiệu quả của quá trình lắng xoáy trong việc thu giữ các hạt khô không đủ dẫn đến hiệu suất thu hồi thấp (Sallam et al., 2007). Tốc độ nạp cấp liệu cao hơn làm tăng khối lượng sấy vì mẫu được hút vào buồng sấy và phun với tốc độ nhanh hơn. Do đó, lượng dịch cao hơn không được sấy khô do tích tụ trong buồng sấy dẫn đến hiệu suất giảm. Theo luận giải của Maskat et al. (2014) nhiệt độ không có hiệu quả nhiều ở tốc độ cấp liệu thấp hơn do tốc độ sấy thấp. Do đó, công suất sấy đủ để làm khô tất cả các hạt. Tuy nhiên, ở tốc độ cấp liệu cao hơn, khối lượng sấy (tải trọng sấy) tăng lên và nhiệt độ không khí

đầu vào thấp tạo ra công suất sấy thấp, dẫn đến năng suất thấp hơn.

Bảng 3 cho thấy nhiệt độ đầu vào và tốc độ bơm nhập liệu có ảnh hưởng rõ rệt đến độ ẩm và hoạt độ nước của bột ($p < 0,05$). Khi tăng nhiệt độ thì độ ẩm, a_w và độ hòa tan của bột có xu hướng giảm và ngược lại. Độ ẩm của bột thu hồi dao động trong khoảng từ 4,52 - 8,69% tương ứng với giá trị a_w trung bình của bột sản phẩm dao động từ 0,31 đến 0,43. Phạm vi này chỉ ra rằng bột an toàn về mặt vi sinh (Patil et al., 2014). Nhiệt độ càng cao thì hàm lượng ẩm có trong bột thu được càng thấp trong cùng một tốc độ cấp liệu. Sự gia tăng nhiệt độ đầu vào dẫn đến tốc độ bốc hơi nước trong quá trình sấy phun ngày càng tăng. Điều này có thể là do tốc độ truyền nhiệt vào các hạt lớn hơn ở nhiệt độ đầu vào cao hơn cải thiện hiệu quả loại bỏ độ ẩm và làm giảm độ ẩm trong bột sấy phun (Quek et al., 2007). Kết quả, bột sấy phun ở nhiệt độ 160°C có trung bình độ ẩm cao nhất, trong khi đó bột sấy ở 180°C có giá trị trung bình độ ẩm thấp nhất. Kết quả này cũng phù hợp với báo cáo của Chang et al. (2020) về độ ẩm của bột me và bột dứa giảm (-17%) được quan sát thấy khi nhiệt độ đầu vào tăng lên. Kết quả này tương đồng với nhiều nghiên cứu trước đó khi tăng nhiệt độ đầu vào sẽ làm giảm a_w nhưng có khác so với công bố của (Quek et al., 2007) đối với bột dưa hấu sấy phun là a_w không bị thay đổi đáng kể bởi nhiệt độ đầu vào từ 145 đến 175°C.

Bên cạnh đó, khi tốc độ bơm tăng, thời gian hòa tan của bột (được tính thông qua thời gian hoàn nguyên, giây) cũng sẽ nhanh dần. Bột được sấy ở tốc độ bơm 4 RPM có thời gian hòa tan lâu (22 – 29 giây), thời gian được rút ngắn đáng kể ở tốc độ bơm 5 (15 – 22 giây) và nhanh nhất là khoảng 10 giây ở tốc độ bơm 5 RPM và nhiệt độ 180°C. Khi nhiệt độ và tốc độ bơm tăng, thời gian hòa tan của bột cũng sẽ nhanh dần. Khi nhiệt độ sấy tăng, tốc độ hoàn nguyên bột thành nước tăng và do đó thời

gian hòa tan giảm. Bột được sấy ở 160°C; tốc độ bơm 4 RPM có thời gian hòa tan lâu nhất 29,95 giây, nhiệt độ 170°C; tốc độ bơm 5 RPM nhanh hơn là 22,45 giây, nhanh nhất ở nhiệt độ 180°C; tốc độ 5 RPM là 10,42 giây. Theo Solval et al. (2012) bột có độ ẩm cao hơn có xu hướng kết tụ cao hơn; do đó làm tăng tốc độ hoàn nguyên của bột. Các luận giải này cũng được thể hiện đối với công bố của (Quek et al., 2007).



Hình 5. Sự thay đổi chỉ số màu theo nhiệt độ sấy và tốc độ bơm nhập liệu



160°C-3rpm 170°C-3rpm 180°C-3rpm 160°C-4rpm 170°C-4rpm 180°C-4rpm 160°C-5rpm 170°C-5rpm 80°C-5rpm

Hình 6. Sản phẩm bột bươi với các nhiệt độ sấy và tốc độ bơm nhập liệu

Hình 5 cho thấy các giá trị L* của bột bươi sấy phun ở nhiệt độ và tốc độ cấp liệu khác nhau. Độ sáng (L*) trong khoảng 92,09 - 96,08 và thể hiện sự khác biệt không có ý nghĩa ($p = 0,17$). Giá trị độ sáng L* của bột giảm khi tăng nhiệt độ không khí đầu vào. Điều này ám chỉ rằng bột trở nên sẫm màu hơn khi gia tăng nhiệt độ sấy. Một lý giải cho sự thay đổi này là do dịch bươi có chứa đường và là nguyên nhân của sự sẫm màu của bột ở nhiệt độ sấy cao hơn (Quek et al., 2007). Trong khi đó, chỉ số độ sáng L* giảm khi gia tăng tốc độ bơm nhập liệu. Cơ chế giải thích cho hiện tượng này có thể liên quan đến kích thước giọt phun. Ở tốc độ bơm cao hơn, các giọt phun có xu hướng lớn hơn, dẫn đến quá trình sấy

không đồng nhất. Bề mặt của các giọt lớn này có thể bị khô và quá nhiệt trong khi phần lõi vẫn còn ẩm, tạo điều kiện thuận lợi cho các phản ứng Maillard và caramel hóa diễn ra mạnh mẽ hơn trên bề mặt hạt, dẫn đến sản phẩm sẫm màu hơn (Shishir & Chen, 2017).

Độ đỏ (a*) trong khoảng -0,12 đến 0,83 và khác biệt có ý nghĩa ($P < 0,05$) và độ vàng (b*) từ 5,68 đến 8,75 nhưng khác biệt không có ý nghĩa ($P = 0,27$). Đối với chỉ số a* và b*, khi nhiệt độ đầu vào tăng lên thì màu đỏ (a*) của bột giảm đi, trong khi đó độ vàng (b*) tăng lên ở nhiệt độ sấy cao (180°C). Điều này được lý giải là do sự phân hủy đáng kể của các hợp chất tạo màu ở nhiệt độ cao. Chiều hướng

tương tự cũng được ghi nhận bởi VisakaAnantawat (2015) khi sấy phun bột gạo. Đối với tác động của tốc độ bơm cấp liệu, khi tăng tốc độ cấp liệu sẽ làm tăng giá trị a*, trong khi đó chỉ số b* không bị tác động bởi ba tốc độ cấp liệu được sử dụng. Theo công bố của Lee et al. (2017), sự biến đổi của a* và b* liên quan đến hàm lượng phenolic, độ đỏ và độ vàng

có tương quan với tổng hàm lượng phenol. Trong đó, giá trị L* và b* có mối tương quan cao với tổng hàm lượng phenolic trong khi giá trị a* thì ít hơn. Bên cạnh đó, giá trị L* và b* cũng bị ảnh hưởng bởi phản ứng caramen hóa và phản ứng Millard xảy ra khi có mặt đường ở nhiệt độ cao trong quá trình sấy (Mudau et al., 2023).

Bảng 4. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy và tốc độ bơm đến sự thay đổi của TPC, vitamin C, hàm lượng acid tổng và flavonoid

Nhiệt độ sấy - tốc độ bơm	TPC (mgGAE/gck)	Vitamin C (mg/100gck)	Flavonoid (mgQE/gck)
160-3	1,83±0,01 ^c	178,93±3,05 ^d	5,11±0,01 ^c
170-3	1,44±0,01 ^b	147,64±1,46 ^b	4,51±0,01 ^b
180-3	1,06±0,01 ^a	126,12±1,46 ^a	4,33±0,01 ^a
160-4	2,44±0,01 ⁱ	181,86±0,84 ^d	5,22±0,05 ^f
170-4	1,66±0,01 ^d	149,58±1,47 ^b	4,80±0,01 ^c
180-4	1,52±0,01 ^c	147,64±0,85 ^c	4,30±0,01 ^a
160-5	2,87±0,02 ^h	204,36±31,49 ^e	6,04±0,01 ^h
170-5	2,18±0,01 ^g	162,31±2,24 ^c	5,50±0,01 ^g
180-5	2,05±0,01 ^f	160,43±2,93 ^c	4,86±0,01 ^d

Ghi chú: số liệu trung bình của 3 lần lặp lại. Các kí tự a, b, c, d, ... theo cột thể hiện sự khác nhau có ý nghĩa (P<0,05).

Nhiệt độ sấy và tốc độ bơm cấp dịch đều có ảnh hưởng quá trình sấy dịch bưởi (Bảng 4). Việc tăng nhiệt độ sấy phun dẫn đến làm giảm tổng hàm lượng flavonoid, vitamin và polyphenol của bột sản phẩm (P < 0,05). Flavonoid đạt được cao nhất là 6,04 mgQE/gck ở nhiệt độ 160°C; tốc độ 5 và thấp nhất đạt được là 4,30 ở 180°C; tốc độ 4 RPM. Các kết quả tương tự khi đánh giá về hàm lượng flavonoid tổng số trong bột lá đu đủ sấy phun khi nhiệt độ không khí vào tăng làm tăng sự mất đi hàm lượng flavonoid tổng số. Trong công bố của Tran & Nguyen, (2018), TFC của bột chiết xuất lá sả giảm khi tăng nhiệt độ sấy phun. Do các hợp chất flavonoid là phân nhóm của các hợp chất phenolic, rất nhạy cảm với nhiệt nên việc tăng nhiệt độ sấy phun dẫn đến sự phân hủy các hợp chất flavonoid. Mặt khác, ở tốc độ dòng cấp liệu cao hơn, quá trình truyền nhiệt kém hiệu quả hơn và do đó hàm lượng flavonoid tổng số sẽ nhiều hơn đối. Kết quả này tương đồng với công bố của Babu et al. (2018) đối với sữa bột mật ong sấy phun.

Hàm lượng vitamin C giảm đáng kể (P < 0,05) khi nhiệt độ không khí đầu vào tăng lên và khi tăng tốc độ bơm dịch thì hàm lượng vitamin C sẽ cao hơn. Hàm lượng vitamin C thấp nhất là 126,31 mg/100g (180°C, 3 RPM) và cao nhất là 204,36 mg/100g (160°C, 5 RPM). Trong cùng một nhiệt độ sấy thì hàm lượng vitamin C sẽ cao hơn khi tăng tốc độ bơm dịch. Các quan sát tương tự cũng được tìm thấy bởi Pati et al. (2014) cho bột nước ép ôi sấy phun; bởi Muzaffar et al. (2016) cho bột nước trái lựu đỏ và

bột nước ép lê xương rồng sấy phun. Nguyên nhân của chiều hướng này là do bản chất dễ bị phá hủy bởi nhiệt làm quá trình oxy hóa diễn ra mạnh hơn, làm hao hụt chất dinh dưỡng sản phẩm. Với sự gia tăng nhiệt độ không khí đầu vào, tốc độ chuyển đổi acid ascorbic thành acid 2,3-diketogulonic tăng lên, do đó làm giảm hàm lượng vitamin C.

Đối với TPC, cùng nhiệt độ sấy hàm lượng TPC tăng dần theo tốc độ bơm, ở nhiệt độ 180°C với 3 RPM thì hàm lượng TPC đạt thấp nhất (1,06 mgGAE/g) và cao nhất ở 160°C-5RMP (2,87 mgGAE/g). Các hợp chất phenolic đã được báo cáo là rất nhạy cảm với nhiệt độ, do đó chúng dễ dàng bị phân hủy khi tiếp xúc với xử lý nhiệt. Việc tăng nhiệt độ sấy phun dẫn đến làm giảm tổng hàm lượng phenol của bột sản phẩm. Silva et al. (2018) báo cáo rằng tổng hàm lượng flavonoid và tổng hàm lượng phenol giảm trong quá trình sấy phun. Ở tốc độ dòng nhập liệu cao hơn, dẫn đến sự tiếp xúc ngắn hơn giữa chất lỏng và không khí sấy làm cho việc truyền nhiệt kém hiệu quả hơn và do đó tổng hàm lượng TPC sẽ nhiều hơn (Babu et al., 2018).

4. KẾT LUẬN

Kết quả thực nghiệm cho thấy sấy phun có thể được sử dụng thành công để vi bao dịch chiết bưởi, với các điều kiện sấy và tỷ lệ βCD khác nhau ảnh hưởng đến thành phần của bột bưởi, tạo ra các sản phẩm bột bưởi hòa tan có các tính chất hóa lý khác nhau. Với tỷ lệ 4% (w/v) βCD đem lại hiệu quả sấy

tốt nhất với hiệu suất thu hồi, hàm lượng polyphenol tổng (TPC), vitamin C, flavonoid tổng (TFC) và điểm cảm quan cao nhất. Hơn nữa, bột được sấy ở nhiệt độ 160°C và tốc độ bơm 750 mL/giờ mặc dù cho hiệu suất thu hồi thấp (51,82%) tuy nhiên khả năng lưu giữ các thành phần TPC, vitamin C và TFC là cao hơn các điều kiện sấy còn lại. Kết quả nghiên

cứu góp phần nâng cao giá trị sử dụng và kinh tế của quả bưởi lông Cổ Cò tại địa phương.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Cử nhân Nguyễn Thị Kim Ngân đã hỗ trợ việc tiến hành thí nghiệm và Trường Đại học Tiền Giang đã hỗ trợ kinh phí và thiết bị cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Akbarmehr, A., Peighambardoust, S. H., Pourhasan, L., & Sarabandi, K. (2024). Spray-drying encapsulation of sunflower pollen peptides using carbohydrate polymers: Physicochemical, antioxidant, structural and morphological analysis. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 8(November), 100622. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2024.100622>
- Akdeniz, B., Sumnu, G., & Sahin, S. (2017). The effects of maltodextrin and gum Arabic on encapsulation of onion skin phenolic compounds. *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1891–1896. <https://doi.org/10.3303/CET1757316>
- Babu, T. A., Kumar, S., Smith, D. D., & Lakshmiathy, R. (2018). Temperature and Feed Flow Rate Effects Properties of Spray Dried Papaya Leaf Powder. *International Journal of Chemical Studies*, 6(5), 2885–2889.
- Baysan, U., Elmas, F., & Koç, M. (2019). The effect of spray drying conditions on physicochemical properties of encapsulated propolis powder. *Journal of Food Process Engineering*, 42(4), E13-24. <http://dx.doi.org/10.1111/jfpe.13024>
- Chang, L. S., Tan, Y. L., & Pui, L. P. (2020). Production of spray-dried enzyme-liquefied papaya (*Carica papaya* L.) powder. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, e2019181. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.18119>
- Do, H. T. T., & Nguyen, H. V. H. (2018). Effects of spray-drying temperatures and ratios of gum arabic to microcrystalline cellulose on antioxidant and physical properties of mulberry juice powder. *Beverages*, 4(4), 101. <https://doi.org/10.3390/beverages4040101>
- Escobar-Avello, D., Avendaño-Godoy, J., Santos, J., Lozano-Castellón, J., Mardones, C., von Baer, D., Luengo, J., Lamuela-Raventós, R. M., Vallverdú-Queralt, A., & Gómez-Gaete, C. (2021). Encapsulation of phenolic compounds from a grape cane pilot-plant extract in hydroxypropyl beta-cyclodextrin and maltodextrin by spray drying. *Antioxidants*, 10(7), 1–18. <https://doi.org/10.3390/antiox10071130>
- Feguš, U., Žigon, U., Petermann, M., & Knez, Ž. (2015). Effect of drying parameters on physicochemical and sensory properties of fruit powders processed by PGSS-, vacuum- and spray-drying. *Acta Chimica Slovenica*, 62(2), 479–487. <https://doi.org/10.17344/acsi.2014.969>
- Hedges, A. (2009). *Cyclodextrins: Properties and Applications (Starch: Chemistry and Technology, Third Edition)*. 833-851. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-746275-2.00022-7>
- Hui Ni, Yuan Fan Yang, Feng Chen, Hai Feng Ji, Hu Yang, Wu Ling, and Hui Nong Ca. (2014). *Food Sci. Biotechnol.* 23(3): 739-746.
- Idris, Y. M. A., Ibrahim, Y. A., & Mariod, A. A. (2013). Color of dehydrated tomato: Effects of gum arabic. *International Journal of Food Properties*, 16(4), 838–851. <https://doi.org/10.1080/10942912.2011.565535>
- Jović, T., Elez Garofulić, I., Čulina, P., Pedisić, S., Dobrosravić, E., Cegledi, E., Dragović-Uzelac, V., & Zorić, Z. (2023). The effect of spray-drying conditions on the characteristics of powdered pistacia lentiscus leaf extract. *Processes*, 11, 1129. <https://doi.org/10.3390/pr11041229>
- Khanh, N., Linh, T., Thi, P., & Thu, H. (2023). Khảo sát hàm lượng phenolic tổng, flavonoid tổng và tác dụng chống oxy hóa của vỏ quả gấc (*Momordica cochinchinensis*). *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Duy Tân*, 02(57) 74-80.
- Lee, C. G., Ahmed, M., Jiang, G. H., & Eun, J. B. (2017). Color, bioactive compounds and morphological characteristics of encapsulated Asian pear juice powder during spray drying. *Journal of Food Science and Technology*, 54(9), 2717–2727. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2708-3>
- Nguyen Phuoc Mai TO, Thanh Toan HA, Van Muoi NGUYEN, Thanh Truc TRAN. (2021). Production of instant pomelo peel powder by spray drying: Optimization of wall material composition to microencapsulate phenolic compounds. *Food Sci. Technol*, 42, 1-8.

- Maskat, M. Y., Lung, C. K., Momeny, E., Khan, M. J., & Siddiqui, S. A. (2014). Temperature and feed rate effects properties of spray dried Hibiscus sabdariffa powder. *International Journal of Drug Development and Research*, 6(4), 28–34.
- Ministry of Industry and Trade. (2020). <https://thuongmaibienhoiomiennui.gov.vn/san-pham-vung-mien/mien-nam/2020/11/tien-giang-mo-rong-dien-tich-trong-buoi-long-co-co>.
- Muzaffar, K., Dinkarrao, B. V., & Kumar, P. (2016). Optimization of spray drying conditions for production of quality pomegranate juice powder. *Cogent Food & Agriculture*, 2: 1127583. <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1127583>
- Patil, V., Chauhan, A. K., & Singh, S. P. (2014). Influence of Spray Drying Technology on the Physical and Nutritional Properties of Guava Powder. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(9), 1224–1237.
- Pradana, A. T., Nawatila, R., Alkindi, F. F., Darmayani, N. P. R., & Susanti, E. D. (2021). The effect of spray-drying temperature on Centella asiatica extract-β cyclodextrin-maltodextrin nanoparticle characteristics and stability. *Pharmaciana*, 11(3), 394. <https://doi.org/10.12928/pharmaciana.v11i3.21534>
- Cegledi, E.; Garofuli'c, I.E.; Zori'c, Z.; Roje, M.; Dragovi'c-Uzelac, V. (2022). Effect of Spray Drying Encapsulation on Nettle Leaf Extract Powder Properties, Polyphenols and Their Bioavailability. *Foods*, 11, 2852. 1–21. <https://doi.org/10.3390/foods11182852>.
- Quek, S. Y., Chok, N. K., & Swedlund, P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46(5), 386–392. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2006.06.020>
- Quoc, L. P. T. (2020). Effect of different carrier agents on physicochemical properties of spray-dried pineapple (*Ananas comosus* Merr.) powder. *Journal of the Korean Chemical Society*, 64(5), 259–266. <https://doi.org/10.5012/jkcs.2020.64.5.259>
- Sallam, Y., Fahmy, A., Aly, M., & Abd El-Sallam, E. (2007). Effect of spray drying conditions on the yield and physicochemical properties of roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Journal of Food and Dairy Sciences*, 32(2), 1229–1243. <https://doi.org/10.21608/jfds.2007.198702>
- Silva F, Torres L, Silva L, Figueiredo R, Garruti D, Araujo T (2018). Cashew gum and maltodextrin particles for green tea (*Camellia sinensis* var *Assamica*) extract encapsulation. *Food Chem*. 245:169–175. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.028>
- Philip E. Shaw, James H. Tatum, and Charles W. Wilson. (1984). Improved Flavor of Navel Orange and Grapefruit Juices by Removal of Bitter Components with P-Cyclodextrin Polymer. *J. Agric. Food Chem*, 32, 832-836.
- Shishir, M. R. I., & Chen, W., 2017. Trends of spray drying: a critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science & Technology*, 65, 49–67.
- Singh, A., Swami, S., Panwar, N. R., Kumar, M., Shukla, A. K., Roupael, Y., Sabatino, L., & Kumar, P. (2022). Development changes in the physicochemical composition and mineral profile of red-fleshed dragon fruit grown under semi-arid conditions. *Agronomy*, 12(2), 355. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020355>.
- Solval, K. M., Sundararajan, S., Alfaro, L., & Sathivel, S. (2012). Development of cantaloupe (*Cucumis melo*) juice powders using spray drying technology. *LWT - Food Science and Technology*, 46(1), 287–293. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.017>
- Suhag, Y., Nayik, G. A., & Nanda, V. (2016). Effect of gum arabic concentration and inlet temperature during spray drying on physical and antioxidant properties of honey powder. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 10(2), 350–356. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9313-4>
- J. Szejtli, L. Szenté. (2005). Elimination of bitter, disgusting tastes of drugs and foods by cyclodextrins. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 61, 115–125.
- T.A. Tran, T., & V.H. Nguyen, H. (2018). Effects of Spray-Drying Temperatures and Carriers on Physical and Antioxidant Properties of Lemongrass Leaf Extract Powder. *Beverages*, 4(4), 84. <https://doi.org/10.3390/beverages4040084>
- Tatasciore, S., Santarelli, V., Neri, L., Di Mattia, C. D., Di Michele, A., Mastrocola, D., & Pittia, P. (2024). Microencapsulation of hop bioactive compounds by spray drying: Role of inlet temperature and wall material. *Current Research in Food Science*, 8(April), 100769. <https://doi.org/10.1016/j.crf.2024.100769>
- Tuan Azlan, T. N. N., Hamzah, Y., & Mohd Abd Majid, H. A. (2020). Effect of gum arabic (*Acacia senegal*) addition on physicochemical properties and sensory acceptability of roselle juice. *Food Research*, 4(2), 449–458. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.4\(2\).293](https://doi.org/10.26656/fr.2017.4(2).293)
- VisakaAnantawat. (2015). Effects of Spray Drying Conditions on Characteristics, Nutritional Value and Antioxidant Activity of Gac Fruit Aril Powder. *Bus. Econ. Res. Online*, 4, 2304–1013.

- C. J. Wagner Jr., c. W. Wilson, iii, and p. E. Shaw. (1988). Reduction of grapefruit bitter components in a fluidized beta-cyclodextrin polymer bed. *Journal of Food Science*, 53(2), 516-518.
- Ung Minh Anh Thư và Nguyễn Tấn Hùng. (2025). Khảo sát ảnh hưởng của các thông kỹ thuật đến

chất lượng bột bưởi (*Citrus grandis* (L.) Osbeck) sấy phun. *Tạp chí Khoa học & Công nghệ Đại học Nguyễn Tất Thành*, 8(1), 79-91.

- Vietnam Industry and Trade Information Center. (2024). <https://thongtincongtuong.vn/phan-tich-tinh-hinh-cung-cau-va-du-bao-mat-hang-trai-cay-co-mui-thang-8-va-8-thang-nam-2024>