

NGHIÊN CỨU THU NHẬN CHIẾT XUẤT GIÀU POLYPHENOL VÀ SAPONIN TỪ QUẢ CHUỐI HỘT (*Musa balbisiana*)

Hoàng Thị Ngọc Nhon, Ngô Thị Huyền Trang, Lê Thị Hồng Ánh*

Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

*Email: anhth@huit.edu.vn

Ngày nhận bài: 29/4/2025; Ngày chấp nhận đăng: 09/6/2025

TÓM TẮT

Quả chuối hột (*Musa balbisiana*) chứa nhiều chất có hoạt tính sinh học, trong đó hàm lượng polyphenol và saponin chiếm tỉ lệ cao. Nghiên cứu này được tiến hành để đánh giá hiệu quả của phương pháp trích ly có hỗ trợ của sóng siêu âm (UAE), vi sóng (MAE) và ngâm tĩnh đến hiệu quả thu nhận chiết xuất giàu polyphenol và saponin từ quả chuối hột. Từ đó, phương pháp có hiệu quả cao nhất được tiếp tục nghiên cứu sàng lọc và tối ưu hóa các điều kiện trích ly. Kết quả nghiên cứu cho thấy, phương pháp MAE cho hiệu quả cao hơn hai phương pháp còn lại với các thông số khảo sát thu nhận được là dung môi methanol 70%, công suất vi sóng 360 W với tần suất vi sóng 4 giây/phút trong thời gian 40 phút, chiết xuất thu được có hàm lượng polyphenol (TPC) và saponin (TSC) lần lượt là 71,03 mgGAE/gCK và 60,62 mg/gCK. Kết quả thử nghiệm sàng lọc cho thấy yếu tố công suất vi sóng, tần suất vi sóng và thời gian vi sóng có ảnh hưởng đến quá trình trích ly thu nhận dịch chiết. Ở điều kiện tối ưu hàm lượng polyphenol và saponin đạt giá trị cao nhất lần lượt cực đại với 74,04 mgGAE/gCK và 64,65 mg/gCK khi được trích ly với công suất vi sóng 360,02 W, tần suất vi sóng 4,17 giây/phút và thời gian vi sóng 41,93 phút. Phổ FT-IR và phổ Raman của chiết xuất thu nhận được có các đỉnh trên sắc ký đồ đặc trưng của các hợp chất polyphenol và saponin.

Keywords: Chuối hột, *Musa balbisiana*, polyphenol, saponin, tối ưu hóa.

1. GIỚI THIỆU

Chuối hột (*Musa balbisiana*) thuộc chi *Musa*, nguồn gốc hoang dại, là một loại trái cây phổ biến từ vùng nhiệt đới Ấn Độ - Malaysia, Châu Á và Châu Úc. Chuối hột có nhiều lợi ích cho sức khỏe con người nhờ vào hàm lượng dinh dưỡng phong phú và các hợp chất có giá trị dược liệu [1]. Quả chuối hột có chứa nhiều các hợp chất chuyển hóa thứ cấp như flavonoid, polyphenol, tannin, monoterpene và sesquiterpene, quinon và saponin, cũng như là nguồn cung cấp kali, chloride, calcium và carbonate [2]. Sự trao đổi chất thứ cấp ở thực vật tạo thành các hợp chất có hoạt tính sinh học có nhiều tiềm năng điều trị khác nhau. Phần thịt quả chuối hột chứa α -carotene, β -carotene và β -cryptoxanthin; các carotenoid khác, chẳng hạn như lycopene và lutein được biết là có tác dụng cải thiện khả năng miễn dịch và giảm nguy cơ mắc nhiều bệnh như ung thư, tiểu đường loại 2 và các vấn đề về tim mạch [3]. Chiết xuất trong methanol từ bột quả chuối hột có chứa acid chlorogenic, (-)-epicatechin, catechol, kaempferol 3-O-sophoroside, quercetin 3-O-[2-O- β -D glucopyranosyl]- α -L rhamnopyranoside, rutin và apigenin-6-C glucoside-7-O-glucoside. Những hoạt chất này có vai trò quan trọng quyết định các hoạt tính sinh học và những tác động có lợi đến sức khỏe [4].

Quả chuối hột chứa hàm lượng saponin và polyphenol cao hơn các hoạt chất còn lại [5]. Saponin và polyphenol được biết đến là những hợp chất tự nhiên phổ biến xuất hiện trong nhiều loại thảo dược quý và được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, đặc biệt là trong dược phẩm [6]. Polyphenol là chất chuyển hóa thứ cấp quan trọng, là thành phần chức năng trong thực phẩm vì chúng có thể ngăn chặn quá trình oxy hóa lipid, ngăn ngừa nấm mốc và sự phát triển của vi khuẩn. Thịt quả và vỏ chuối chứa nhiều hợp chất polyphenol khác nhau như acid gallic, catechin, epicatechin, tannin và anthocyanin. Do đó, chúng thể hiện được khả năng kháng oxy hóa cao, kháng khuẩn và kháng mốc. Chuối chứa một lượng đáng kể polyphenol tổng và các hợp chất flavonol. Hàm lượng phenolic tổng trong chuối chiếm khoảng 7 mg/100 g trọng lượng tươi [7]. Saponin là chất chuyển hóa thứ cấp giúp chi *Musa* có hoạt tính chống loét, làm lành vết thương, trị đái tháo đường, làm thuốc giải độc cho nọc độc crotalidae, hoạt tính

chống sỏi, hoạt động cơ cơ xương. Những hợp chất thuộc nhóm saponin trong cây chuối hột đã được công bố bao gồm protopanaxadiol (nhóm steroidal saponin), gypsogenin, acid gypsogenic, acid quillaic, hederagenin (nhóm triterpenoid saponin) [8]. Như vậy, quả chuối hột có chứa hàm lượng cao các hợp chất nhóm polyphenol và saponin, góp phần thể hiện nhiều hoạt tính sinh học quan trọng.

Hiện nay, nhiều phương pháp được sử dụng để chiết xuất các hoạt chất từ nguyên liệu thực vật như chiết Soxhlet, siêu âm, vi sóng, enzyme và siêu tới hạn. Trong đó, các kỹ thuật chiết xuất “xanh” như vi sóng và siêu âm ngày càng được ưa chuộng nhờ hiệu quả cao, tiết kiệm dung môi và thân thiện với môi trường [9]. Phaiphan và cộng sự thực hiện thu nhận pectin từ vỏ chuối bằng phương pháp trích ly có hỗ trợ siêu âm. Ở điều kiện pH 3,68, nhiệt độ 33,12 °C và thời gian siêu âm là 17,12 phút; hiệu suất pectin thu được 2,62% và acid galacturonic 87% [10]. Ishak và cộng sự (2020) thực hiện trích ly có hỗ trợ siêu âm vỏ *M. acuminata* cho hàm lượng polyphenol 119,2 mgGAE/gCK, hàm lượng flavonoid 29,0 mgRE/gCK với hoạt tính kháng oxy hóa DPPH là 80,8% và ABTS là 84,7% [11]. Phương pháp trích ly vi sóng được Billman và cộng sự (2023) sử dụng để trích ly các chất phytochemical từ quả chuối *M. sapientum* chưa chín. Tổng hàm lượng phenolic, flavonoid, vitamin C và vitamin E thu được lần lượt là 39 mgGAE/100 gCK, 26 mgQE/100 g, 10,47 mg/100 g và 4,77 mg/100 g. Ngoài ra, chiết xuất thu được còn có hoạt tính kháng oxy hóa DPPH khoảng 50,62% và được chứng minh là không gây độc tế bào [12].

Bên cạnh đó, phương pháp ngâm chiết sử dụng dung môi hữu cơ vẫn được sử dụng phổ biến. Dung môi methanol và ethanol được nhiều tác giả sử dụng trong các nghiên cứu thu nhận các chiết xuất từ các loại chuối hột khác nhau. Tác giả Fajrih và cộng sự [13] cũng như Revadigar và cộng sự [14] đã thực hiện thu nhận chiết xuất trong ethanol từ củ và quả *M. balbisiana*. Genatrika và cộng sự [15] thu chiết xuất ethanol từ vỏ *M. acuminata*. Kumari và cộng sự [16] thu nhận chiết xuất trong nước giàu polyphenol từ quả *M. balbisiana* có khả năng kháng viêm, ức chế tế bào ung thư H9c2. Ngoài ra, Hossain và cộng sự (2011) thu chiết xuất từ hạt *M. sapientum* trong methanol có hàm lượng polyphenol ($15,94 \pm 0,12$ mgGAE/gCK), flavonoid ($29,98 \pm 0,32$ mg/gCK) với hoạt tính kháng oxy hóa DPPH ($IC_{50}: 12,32 \pm 0,33$ μ g/mL) và NO ($IC_{50}: 18,96 \pm 1,01$ μ g/mL) [17]. Dung môi methanol cũng được các tác giả Manita và cộng sự [18], Onyema và cộng sự [19], Gurumayum [20], Basumatary và cộng sự [21] thu nhận các chiết xuất từ các bộ phận tương ứng là: củ *M. balbisiana*, thân *M. acuminata*, hạt *M. balbisiana* và hoa *M. balbisiana*. Bên cạnh đó, các dung môi khác cũng được dùng trong một số nghiên cứu như acetone được dùng trong nghiên cứu của Gopalan và cộng sự [22] thu chiết xuất từ quả *M. balbisiana* hay Kapadia và cộng sự [23] thu chiết xuất có khả năng kháng khuẩn từ vỏ *M. paradisiaca*. Như vậy, các phương pháp có sử dụng sóng siêu âm, vi sóng hay dung môi đều thể hiện được hiệu quả trong việc thu nhận chiết xuất giàu hoạt chất từ các bộ phận các loại chuối hột khác nhau. Việc lựa chọn phương pháp trích ly phù hợp cho từng nguyên liệu là điều cần thiết.

Nghiên cứu này được thực hiện để đánh giá hiệu quả của các phương pháp trích ly có hỗ trợ sóng siêu âm, vi sóng và phương pháp ngâm tĩnh đến khả năng thu nhận chiết xuất giàu polyphenol và saponin từ quả chuối hột (*M. balbisiana*) đồng thời nghiên cứu điều kiện tối ưu của quá trình trích ly. Chiết xuất thu nhận được được đánh giá các phổ FT-IR và Raman để đánh giá các đặc trưng của hợp chất polyphenol và saponin. Kết quả của nghiên cứu cung cấp thông tin cho các nghiên cứu điều kiện chiết xuất thu nhận các hoạt chất từ quả chuối hột từ đó có thể định hướng ứng dụng trong các sản phẩm thực phẩm và dược phẩm.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Quả chuối hột khi đạt độ chín khoảng 80-85% được thu hoạch từ cây sau khoảng 115-120 ngày tính từ khi ra hoa. Nguyên liệu chuối hột được trồng ở xã An Hòa, huyện Tam Nông, tỉnh Đồng Tháp. Quả tươi được làm sạch, loại tạp chất, cắt lát nhỏ, sấy khô ở 60°C đến độ ẩm dưới 10% trước khi nghiền thành bột có kích thước nhỏ hơn 80 mesh. Nguyên liệu bột được bảo quản trong túi kín ở nhiệt độ 4 °C và sử dụng cho toàn bộ thí nghiệm [24].

Hóa chất: Acid oleanolic, vanillin, acid acetic khan, acid perchloric, ethanol (EtOH), ethyl acetate (EtOAc), n-butanol (BuOH), thuốc thử Folin-Ciocalteu, dung dịch gallic acid (GA), dung dịch H₂O₂, quercetin (QE). Các hóa chất và chất chuẩn sử dụng trong nghiên cứu đạt chuẩn phân tích, có nguồn gốc từ Merck (Đức) và Sigma – Aldrich (Hoa Kỳ).

2.2. Phương pháp

2.2.1. Khảo sát ảnh hưởng của các phương pháp trích ly

Cân 1,0 g nguyên liệu bột quả chuối hột (tính theo chất khô), thực hiện trích ly bằng các phương pháp khảo sát: Phương pháp trích ly ngâm tĩnh (thời gian 90 phút ở nhiệt độ 60 °C và tỷ lệ nguyên liệu/dung môi (NL/DM) là 1:25 w/v); phương pháp trích ly có hỗ trợ sóng siêu âm (Thời gian siêu âm: 8 phút, biên độ dao động siêu âm: 30% và tỷ lệ NL/DM là 1/50 w/v); phương pháp trích ly có hỗ trợ vi sóng (tần suất vi sóng là 4 giây/phút với công suất 300 W và tỷ lệ NL/DM là 1/50 w/v trong thời gian 30 phút). Hàm mục tiêu là hàm lượng polyphenol tổng số (TPC, mgGAE/gCK) và hàm lượng saponin tổng số (TSC, mg/gCK).

2.2.2. Khảo sát điều kiện trích ly phương pháp MAE

Cân 1,0 g bột quả chuối (tính theo khối lượng chất khô), bổ sung dung môi methanol (40, 50, 60, 70, 80%) với tỷ lệ NL/DM là 1/50 w/v và khảo sát các thông số với công suất vi sóng (90, 180, 270, 360 và 450 W), tần suất vi sóng (2, 3, 4, 5 giây/phút) và thời gian vi sóng (20, 30, 40, 50, 60 phút). Sau đó, mẫu được tiếp tục ngâm tĩnh ở nhiệt độ 60 °C, 60 phút trong bể ổn nhiệt. Kết thúc quá trình trích ly, hỗn hợp được làm nguội về nhiệt độ phòng, toàn bộ dịch trích được ly tâm ở tốc độ 5.000 vòng/phút trong 15 phút. Dịch sau ly tâm được lọc qua giấy lọc Ø110 mm và được định mức đến thể tích thích hợp để xác định hàm lượng TPC, TSC bằng phương pháp đo quang phổ UV-VIS.

2.2.3. Sàng lọc, tối ưu điều kiện trích ly phương pháp MAE

Thí nghiệm sàng lọc: Trong thí nghiệm này, để nghiên cứu điều kiện chiết xuất tối ưu tiến hành sàng lọc 4 yếu tố ảnh hưởng bao gồm nồng độ dung môi (%), công suất vi sóng (W), tần suất vi sóng (giây/phút) và thời gian vi sóng (phút). Phương pháp quang phổ được áp dụng để xác định TPC và TSC để đánh giá hiệu quả quá trình chiết xuất. Số liệu thực nghiệm được xử lý bằng phần mềm Minitab 19 (Minitab LLC., Hoa Kỳ). Kết quả xử lý số liệu đưa ra các thông số biểu thị mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố.

Thí nghiệm tối ưu: Trong thí nghiệm này, phương pháp RSM được sử dụng để nghiên cứu điều kiện chiết xuất tối ưu. Quá trình chiết xuất được tiến hành trong bể điều nhiệt. Phương pháp quang phổ được áp dụng để xác định TPC và TSC để đánh giá hiệu quả quá trình chiết xuất. Mô hình thiết kế Box-Behnken được sử dụng để xây dựng ma trận thực nghiệm, với ba yếu tố và ba mức (-1, 0, +1), thực hiện trên phần mềm JMP 10 (SAS Institute Inc., Hoa Kỳ) Ba yếu tố ảnh hưởng nhiều hơn được sàng lọc từ 4 yếu tố được khảo sát ở trên nồng và biến phụ thuộc được theo dõi là hàm lượng polyphenol tổng (Y1, mgGAE/gCK) và hàm lượng saponin tổng (Y2, mg/gCK). Mô hình hồi quy bậc hai đầy đủ được biểu diễn trong phương trình (Eq.1).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^k \sum_{j=i+1}^{k-1} \beta_{ij} X_i X_j \quad (\text{Eq.1})$$

Trong đó Y là phản ứng dự đoán, β_0 , β_i , β_{ii} và β_{ij} là hệ số hồi quy cho các số hạng chặn, tuyến tính, bậc hai và tương tác; X_i và X_j là các biến độc lập. Kết quả thí nghiệm theo thiết kế BBK thu được sẽ được nhập vào chương trình JMP 10 để thực hiện phân tích.

2.2.4. Phương pháp phân tích

- *Hàm lượng polyphenol (TPC):* Hàm lượng polyphenol được thực hiện theo phương pháp Folin-Ciocalteu được mô tả bởi Feduraev và cộng sự (2019) với một số hiệu chỉnh. Độ hấp thụ được ghi nhận ở bước sóng 765 nm [25]. Thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Hàm lượng polyphenol tổng được tính theo công thức:

$$P = a \times V/m \quad (\text{Eq.2})$$

Trong đó, P là hàm lượng polyphenol tổng (mg gallic acid/g chiết xuất), A là giá trị x từ đường chuẩn với acid gallic ($\mu\text{g/mL}$), V là thể tích dung dịch cao chiết (mL) và M là khối lượng cao chiết có trong thể tích V (g).

- *Hàm lượng saponin (TSC):* Hàm lượng saponin được xác định theo phương pháp của Chen và cộng sự [26]. Hàm lượng saponin được tính toán dựa theo đường chuẩn (chất chuẩn acid oleanolic. Hàm lượng saponin được tính bằng đơn vị mg/g chất khô (mg/gCK) theo công thức:

$$\text{Hàm lượng saponin (mg/gCK)} = (C_x \times V \times N \times 1000) / m_{ck} \quad (\text{Eq.3})$$

Trong đó: C_x là nồng độ saponin từ đường chuẩn, V là thể tích của dịch chiết (mL), F là hệ số pha loãng và m_{ck} là khối lượng chất khô trong mẫu nguyên liệu (g).

- *Xác định phổ FT-IR và Raman:* Dịch trích quả chuối hột được tinh sạch sơ bộ bằng sắc ký lỏng lỏng bằng petroleum ether và sau đó là n-butanol trước khi xác định phổ FT-IR và Raman.

Phổ hồng ngoại FT-IR của mẫu chiết xuất quả chuối hột được ghi nhận trên máy Tensor 37 (Bruker, Đức) sử dụng viên nén, hoạt động ở chế độ hấp thụ trong khoảng bước sóng từ 400-4.000 cm^{-1} [27].

Phổ Raman của mẫu chiết xuất chuối hột được ghi nhận trên máy quang phổ Raman Cora 5X00 (Anton Paar, Áo), sử dụng bước sóng laser kích thích 785 nm, phù hợp cho phân tích các hợp chất hữu cơ tự nhiên

2.3. Phương pháp xử lý số liệu

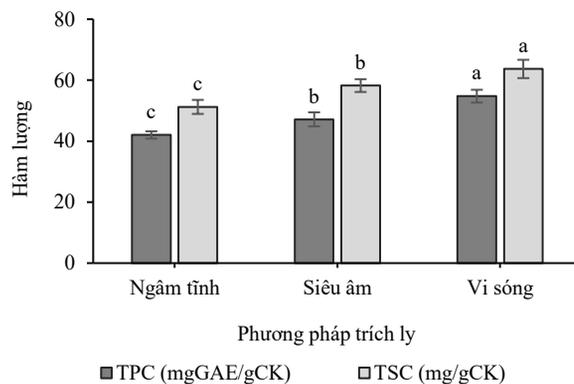
Tất cả các thử nghiệm được thực hiện ba lần. Phương sai được phân tích bằng hệ thống phần mềm SPSS Statistic 20 (IBM Corporation, Hoa Kỳ) và JMP 10 (SAS Institute Inc., Hoa Kỳ). Các thử nghiệm đa phạm vi mới của Duncan đã được sử dụng để xác định sự khác biệt trung bình và kết quả được coi là có ý nghĩa với $p < 0,05$. Các biểu đồ được vẽ bằng Excel 2019 (Microsoft Corporation, Hoa Kỳ).

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Kết quả khảo sát điều kiện trích ly polyphenol và saponin từ quả chuối hột

3.1.1. Ảnh hưởng của phương pháp thu nhận chiết xuất quả chuối hột

Kết quả ảnh hưởng của phương pháp trích ly có hỗ trợ của sóng siêu âm, vi sóng và ngâm tĩnh đến hiệu quả thu nhận chiết xuất giàu TPC và TSC từ quả chuối hột được thể hiện qua Hình 1. Kết quả cho thấy phương pháp MAE thu được có hàm lượng polyphenol (TPC) và saponin (TSC) lần lượt là 63,67 mgGAE/gCK và 54,74 mg/gCK cao hơn so với phương pháp trích ly truyền thống bằng dung môi cho kết quả hàm lượng polyphenol và saponin đạt giá trị với 51,25 mgGAE/gCK và 41,08 mg/gCK cũng như phương pháp có hỗ trợ sóng siêu âm. Ưu điểm chính của MAE là giảm đáng kể thời gian chiết so với các phương pháp thông thường, từ đó nâng cao hiệu quả thu nhận polyphenol và saponin [28]. Theo nghiên cứu của Li và cộng sự (2010) ở cả hai phương pháp có hỗ trợ của sóng siêu âm (6,48%) và trích ly hồi lưu nhiệt (10,25%) đều cho thấy hiệu quả chiết xuất saponin triterpene thấp hơn so với MAE (11,62%) [29]. Hiệu ứng tạo lỗ rỗng là cơ chế chính của UAE, nhưng có thể do cường độ cơ học tạo ra không đủ mạnh để phá vỡ thành tế bào để giải phóng triterpene saponin. Do đó, hiệu quả của phương pháp UAE thấp hơn và thời gian dài hơn [30]. Hiệu quả chiết xuất tốt hơn của MAE liên quan đến các hiệu ứng cơ học của quá trình gia nhiệt bên trong dựa trên sự dẫn điện và phân cực điện môi do chiếu xạ vi sóng gây ra và áp suất tích tụ bên trong các tế bào của mẫu dẫn đến việc phân phối hiệu quả đến vật liệu thực vật thông qua tương tác phân tử với trường điện từ và truyền năng lượng nhanh chóng đến dung môi chiết xuất và nguyên liệu thực vật thô [31].

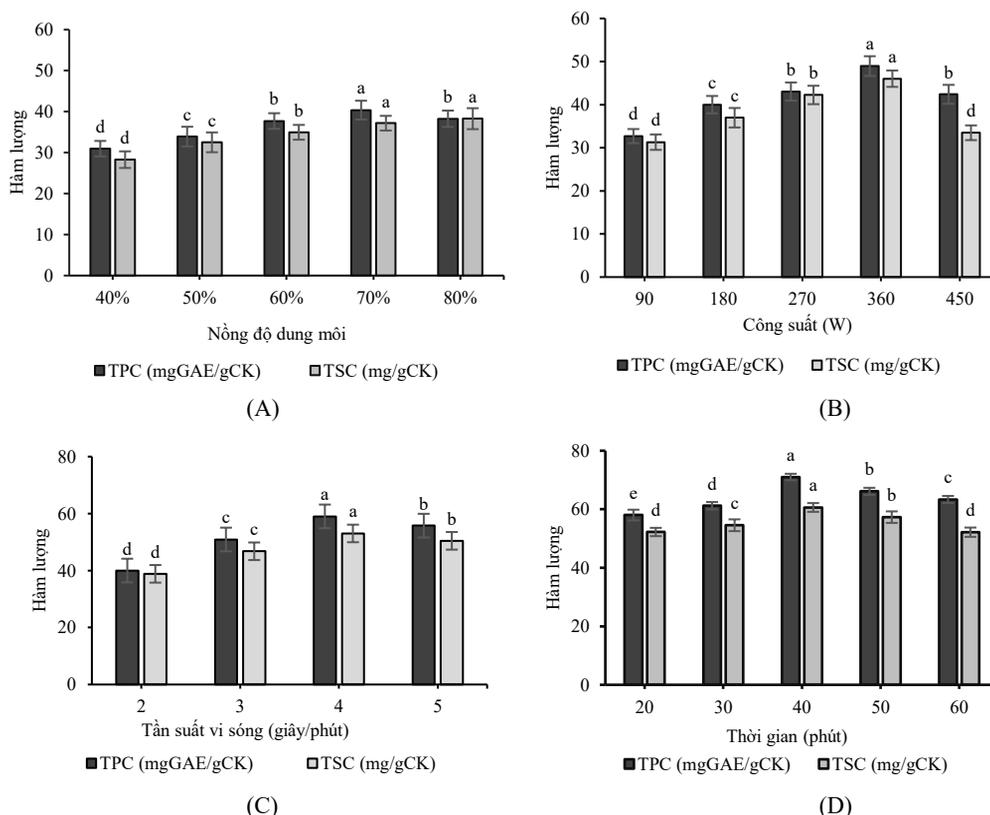


Hình 1. Hàm lượng TPC và TSC trong dịch chiết quả chuối hột bằng các phương pháp trích ly khác nhau
Ghi chú: Trong cùng hàm mục tiêu (TPC, TSC), các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác nhau về mặt thống kê ($p < 0,05$)

Như vậy, phương pháp chiết xuất có hỗ trợ vi sóng MAE được lựa chọn để thu nhận chiết xuất giàu hoạt chất từ các bộ phận chuối hột, các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình trích ly của phương pháp này được tiếp tục khảo sát ở nội dung tiếp theo.

3.1.2. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình thu nhận chiết xuất giàu polyphenol và saponin bằng phương pháp MAE

Các thông số khảo sát chính như nồng độ dung môi, công suất vi sóng, tần suất vi sóng và thời gian trích ly ảnh hưởng đến hiệu suất trích ly thu chiết xuất giàu TPC và TSC từ quả chuối hột được trình bày kết quả ở Hình 2. Kết quả thực nghiệm cho thấy, methanol 70% là nồng độ dung môi phù hợp được thể hiện thông qua giá trị TPC và TSC đạt lần lượt là 40,36 mgGAE/gCK và 37,17 mg/gCK, TPC và TSC có xu hướng tăng với methanol 70%, đối với TPC giảm có ý nghĩa thống kê và TSC khác biệt không ý nghĩa thống kê với methanol 80%, nên nồng độ dung môi được lựa chọn là methanol 70% thu được ở Hình 2A.



Hình 2. Ảnh hưởng của các yếu tố trích ly có hỗ trợ vi sóng đến thu nhận chiết xuất giàu TPC và TSC từ quả chuối hột; Ghi chú: (A) - nồng độ dung môi (%), (B) - công suất vi sóng (W), (C) - tần suất vi sóng (giây/phút) và (D) - thời gian vi sóng. Trong cùng hàm mục tiêu (TPC, TSC), các chữ cái khác nhau biểu thị sự khác nhau về mặt thống kê ($p < 0,05$)

Nồng độ dung môi có ảnh hưởng lớn đến quá trình trích ly như hiệu quả trích ly, tốc độ trích ly và các hợp chất chiết. Nồng độ dung môi càng lớn, tốc độ thẩm thấu vào tế bào càng mạnh, dung môi dễ thẩm thấu vào sâu bên trong tế bào và thực hiện quá trình trích ly các hợp chất tự nhiên. Tuy nhiên, nồng độ dung môi quá cao có thể làm hỏng cấu trúc của các hợp chất mong muốn, từ đó làm giảm hoặc mất các hoạt tính sinh học [26]. Ngược lại, nồng độ dung môi thấp có thể dẫn đến hiệu suất trích ly thấp, do sự bão hòa chưa đạt được, khả năng lôi các chất từ mẫu ra bên ngoài kém. Ngoài ra, công suất vi sóng cũng có thể làm thay đổi trạng thái cân bằng chiết và điều kiện truyền khối [32]. Hiệu quả chiết xuất polyphenol và saponin tăng khi tăng công suất vi sóng TPC và TSC tăng dần khi tăng công suất từ 180 W lên 360 W thu được TPC từ 40,01 mgGAE/gCK đến 48,96 mgGAE/gCK và TSC từ 36,98 mg/gCK đến 46,04 mg/gCK. Công suất cho hiệu quả trích ly cao nhất là 360 W. Khi tăng cao hơn ở công suất vi sóng 450 W, TPC và TSC giảm lần lượt còn 42,67 mgGAE/gCK và 33,49 mg/gCK, có thể đã gây ra sự phân hủy hóa học của các hợp chất hoạt tính sinh học trong chiết xuất, làm giảm hiệu quả thu nhận TPC và TSC (Hình 2B). Kết quả thực nghiệm của Hismath và cộng sự cho thấy khi tăng nhiệt độ vượt quá giá trị nhất định có thể đồng thời làm phân hủy các hợp chất polyphenol đã được thu nhận hoặc thậm chí phá vỡ cấu trúc polyphenol vẫn còn trong các tế bào thực vật. Bên cạnh đó, công suất vi sóng cao còn làm bay hơi dung môi, tăng chi phí trong quá trình nghiên cứu [33].

Một số nghiên cứu đã chỉ ra rằng hiệu quả chiết xuất có xu hướng tăng khi tần suất vi sóng tăng trong phương pháp MAE; tuy nhiên, tiếp xúc nhiều hơn với công suất vi sóng có thể gây ra sự phân hủy các hợp chất hoạt tính sinh học [34]. Do đó, việc lựa chọn tần suất vi sóng thích hợp trong MAE là cần thiết để đạt được khả năng phục hồi cao về chất lượng và số lượng. Dựa trên kết quả Hình 2C, việc thu nhận các hợp chất TPC và TSC được khảo sát ở các tần suất vi sóng khác nhau là từ 2 đến 5 giây/phút. Ở tần suất vi sóng từ 2 đến 4 giây/phút cho thấy TPC và TSC lần lượt tăng từ 40,01 mgGAE/gCK đến 59,02 mgGAE/gCK và từ 38,85 mg/gCK đến 53,03 mg/gCK. của các nguyên liệu có sự thay đổi đáng kể và đạt cao nhất ở mức 4 giây/phút. Tuy nhiên, khi tăng tần suất vi sóng lên 5 giây/phút, TPC và TSC thu được có xu hướng giảm rõ rệt xuống còn 55,77 mgGAE/gCK và 50,44 mg/gCK. Thời gian vi sóng tăng từ 20 đến 40 phút thì hiệu quả thu nhận TPC và TSC cũng tăng từ 58,02 mgGAE/gCK đến 71,03 mgGAE/gCK và saponin (TSC) từ 52,23 mg/gCK đến 60,62 mg/gCK. Tuy nhiên, thời gian kéo dài đến 50 phút thì TPC và TSC lại có xu hướng giảm và đến 60 phút thì hàm lượng TPC đạt 63,35 mgGAE/gCK và TSC thu được là 53,16 mg/gCK (Hình 2D).

Điều này được giải thích rằng chiết xuất đã đạt được trạng thái cân bằng cuối cùng giữa nồng độ chất tan trong nguyên liệu và dung dịch theo định luật khuếch tán thứ hai của Fick [35]. Như vậy, thời gian trích ly tăng cũng không làm tăng lượng TPC và TSC thu nhận được do lượng polyphenol và saponin trong nguyên liệu là cố định. Mặt khác thời gian xử lý vi sóng lâu hơn, lượng polyphenol và saponin vốn đã nhạy cảm với nhiệt độ cao lại tiếp xúc lâu hơn với nhiệt nên một phần chúng sẽ bị phân hủy dẫn đến giảm lượng TPC và TSC [36]. Kết quả trong thí nghiệm này cũng tương đồng với nghiên cứu của Liu và cộng sự (2019) đã tối ưu các điều kiện trích ly flavonoid từ lá khoai lang với tỷ lệ NL/DM là 1/40, w/v, sử dụng dung môi ethanol 72% ở nhiệt độ 57 °C trong thời gian là 76 giây, thu được hàm lượng flavonoid cao nhất là 91,65% [37].

Như vậy, từ các kết quả trên cho thấy các điều kiện trích ly thích hợp được lựa chọn cho các thí nghiệm tiếp theo với nồng độ methanol 70%, công suất vi sóng 360 W, tần suất vi sóng 4 giây/phút và thời gian xử lý tổng cộng là 40 phút.

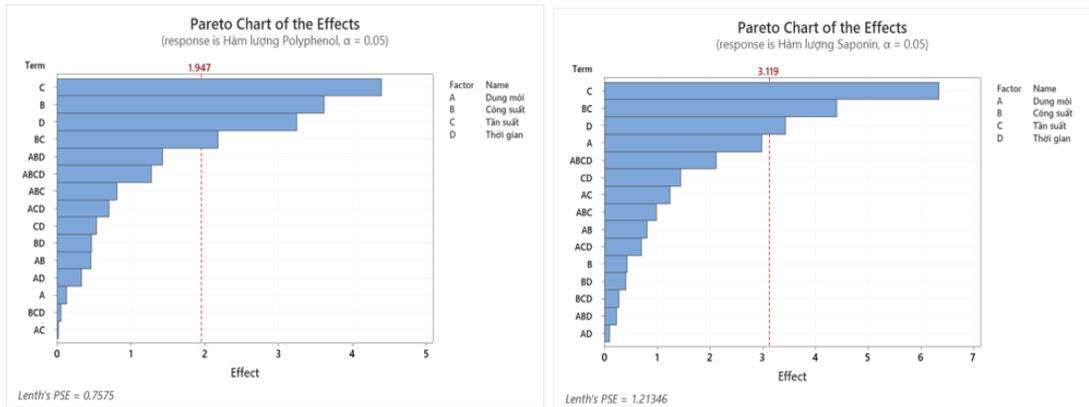
3.2. Sàng lọc và tối ưu hóa quá trình thu nhận chiết xuất từ quả chuối hột

3.2.1. Kết quả sàng lọc các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình chiết xuất

Thí nghiệm sàng lọc được thực hiện để xác định sự tác động và tương tác của các yếu tố khảo sát đến hàm lượng TPC và TSC từ quả chuối hột. Nghiên cứu sử dụng thiết kế thử nghiệm 2 giai thừa toàn phần (2-level full factorial experiment) với 4 yếu tố ảnh hưởng gồm nồng độ dung môi (X_1 , %), công suất vi sóng (X_2 , W), tần suất vi sóng (X_3 , giây/phút), thời gian vi sóng (X_4 , phút). Kết quả của thử nghiệm sàng lọc có hàm lượng polyphenol lần lượt từ 61,77 đến 74,21 mgGAE/gCK và hàm lượng saponin đạt từ 49,92 đến 65,85 mg/gCK trong các mức yếu tố khác nhau được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Kết quả thử nghiệm sàng lọc các yếu tố ảnh hưởng trích ly TPC (mgGAE/gCK) và TSC (mg/gCK) từ quả chuối hột

STT	Mã hóa				Hàm lượng	
	X_1	X_2	X_3	X_4	TPC	TSC
1	60	180	3	30	61,77±0,58	55,18±0,77
2	80	180	3	30	63,11±0,91	56,41±0,62
3	60	360	3	30	62,98±0,36	50,30±0,10
4	80	360	3	30	63,94±0,71	51,34±0,16
5	60	180	5	30	66,27±0,45	55,11±0,59
6	80	180	5	30	62,07±0,34	57,98±0,94
7	60	360	5	30	67,56±0,69	56,23±0,74
8	80	360	5	30	71,32±0,17	63,45±0,43
9	60	180	3	50	64,94±0,62	58,32±0,55
10	80	180	3	50	64,53±0,89	56,98±0,12
11	60	360	3	50	67,29±0,94	49,92±0,15
12	80	360	3	50	65,87±0,37	55,95±0,79
13	60	180	5	50	66,45±0,63	57,78±0,78
14	80	180	5	50	68,41±0,53	61,73±0,44
15	60	360	5	50	72,21±0,29	62,96±1,06
16	80	360	5	50	73,30±0,45	63,85±0,47



Hình 3. Mức độ ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát đến hàm lượng TPC và TSC trích ly từ quả chuối hột

Giá trị ảnh hưởng của nồng độ dung môi, công suất vi sóng, tần suất vi sóng và thời gian vi sóng được tính toán bằng phần mềm Minitab 19. Giá trị nào có ảnh hưởng dương và lớn sẽ ảnh hưởng đến hàm lượng saponin và polyphenol thu nhận được. Ba yếu tố công suất vi sóng, tần suất vi sóng và thời gian vi sóng thể hiện mức độ ảnh hưởng mạnh đến hàm lượng TPC và TSC từ quả chuối hột. Vì vậy ba yếu tố ảnh hưởng được lựa chọn để tiến hành tối ưu hóa.

3.2.2. Tối ưu hóa các yếu tố ảnh hưởng theo mô hình Box-Behnken

Tối ưu hóa điều kiện trích ly có hỗ trợ vi sóng với hai hàm mục tiêu, 3 yếu tố ảnh hưởng được mã hóa theo Bảng 2 và kết quả được hiển thị theo Bảng 3. Trong thí nghiệm này, ba yếu tố ảnh hưởng quá trình chiết xuất thu nhận chiết xuất giàu polyphenol và saponin gồm có công suất vi sóng (X_1 , phút), tần suất vi sóng (X_2 , giây/phút), thời gian vi sóng (X_3 , phút) đã được tối ưu hóa bằng RSM. Kết quả phân tích ANOVA bằng phần mềm JMP 10 cho thấy sự ảnh hưởng tuyến tính, bình phương của các biến độc lập, sự tương tác của các biến và các hệ số hồi quy được thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 2. Các mức thí nghiệm được sử dụng trong mô hình

Biến	X_1 (W)	X_2 (giây/phút)	X_3 (phút)
Mức -1	270	3	30
Mức 0	360	4	40
Mức 1	450	5	50

Bảng 3. Kết quả tối ưu theo mô hình quy hoạch thực nghiệm RSM-BBK

STT	Mã hóa			Hàm lượng	
	X_1	X_2	X_3	TPC (mgGAE/gCK)	TSC (mg/gCK)
1	-1	-1	0	63,86±0,72	55,81±0,48
2	-1	1	0	67,07±0,46	56,15±0,67
3	1	-1	0	65,67±0,28	53,52±0,50
4	1	1	0	68,43±0,39	60,21±0,70
5	0	-1	-1	62,17±0,43	53,45±0,81
6	0	-1	1	65,13±0,71	56,54±0,34
7	0	1	-1	63,54±1,10	52,78±1,07
8	0	1	1	68,01±0,41	59,65±0,77
9	-1	0	-1	64,19±0,77	55,18±0,78
10	1	0	-1	64,95±1,18	52,75±0,87
11	-1	0	1	67,07±0,09	58,43±0,78
12	1	0	1	66,42±0,49	55,49±0,37
13	0	0	0	73,89±0,46	64,05±0,42
14	0	0	0	74,63±0,57	63,86±0,62
15	0	0	0	72,96±0,19	65,07±0,66

Mức độ phù hợp của mô hình hồi quy được xác định thông qua hệ số xác định R^2 , một chỉ số phản ánh tỷ lệ biến thiên của biến phụ thuộc được giải thích bởi các biến độc lập trong mô hình. Theo Guan và Yao (2008), mô hình có giá trị R^2 lớn hơn 0,8 được xem là có khả năng dự đoán tốt [38]. Trong nghiên cứu này, các mô hình xây dựng từ dữ liệu thực nghiệm cho thấy giá trị R^2 đạt 0,98 đối với polyphenol và 0,95 đối với saponin, cho thấy mức độ giải thích rất cao của mô hình đối với biến động trong dữ liệu đầu ra (Bảng 4). Điều này có nghĩa là mô hình đã lý giải được lần lượt 98% và 95% sự biến thiên của các dữ liệu đo được, trong khi chỉ còn lại 2% và 5% là do các yếu tố chưa được đưa vào mô hình. Hệ số R^2 cao cũng cho thấy mức độ tương đồng cao giữa dữ liệu thực nghiệm và các giá trị dự đoán từ mô hình, khẳng định khả năng mô tả sát thực tế mối quan hệ giữa các biến của mô hình. Bên cạnh đó, kiểm định độ phù hợp (Lack of fit) cho kết quả p-value lần lượt là 0,46 và 0,1055 (đều lớn hơn 0,05), cho thấy không có sai lệch có ý nghĩa thống kê giữa mô hình và dữ liệu thực nghiệm. Điều này càng củng cố tính phù hợp và độ tin cậy của mô hình trong việc mô phỏng và dự đoán các giá trị thực tế.

Bảng 4. Phân tích hồi quy

Nguồn (Source)	Df	SS	MS	F value	Prob >F
TPC					
Mô hình (model)	9	202,42	22,49	27,25	0,001*
Sai số (error)	5	4,13	0,82		
Tổng cộng (C. total)	14	206,55			
Sai số do mô hình không phù hợp (lack of fit)	3	2,73	0,91	1,3	0,46
Sai số thuần (pure error)	2	1,4	0,7		
Tổng sai số (total error)	5	4,13			
$R^2 = 0,98$; R^2 hiệu chỉnh = 0,94					
TSC					
Mô hình (model)	9	233,76	25,97	10,98	0,0084*
Sai số (error)	5	11,82	2,36		
Tổng cộng (C. total)	14	245,58			
Sai số do mô hình không phù hợp (lack of fit)	3	10,98	3,66	8,64	0,1055
Sai số thuần (pure error)	2	0,85	0,42		
Tổng sai số (total error)	5	11,82			
$R^2 = 0,95$; R^2 hiệu chỉnh = 0,86					

*Ghi chú: Có ý nghĩa thống kê ở mức 0,05 ($p < 0,05$)

Theo Caporaso và cộng sự, giá trị $R^2 > 0,8$ cho biết mức độ phù hợp của mô hình [39]. R^2 hiệu chỉnh cũng được dùng để phản ánh mức độ phù hợp của mô hình, tuy nhiên, giá trị luôn nhỏ hơn hoặc bằng R^2 thường được sử dụng hơn vì giá trị này phản ánh sát hơn mức độ phù hợp của mô hình hồi quy tuyến tính đa biến. Hơn nữa, mức độ phù hợp của mô hình cũng được đánh giá thông qua giá trị F của Lack of fit (sự không phù hợp). Mô hình tương quan tốt cần sự phù hợp giữa số liệu thực tế và lý thuyết, vì vậy mô hình thu được với kiểm định Lack of fit không có ý nghĩa thống kê là điều mong muốn. Điều này xảy ra ngược lại đối với các giá trị ANOVA (phân tích phương sai), vì giá trị này cần phải đạt mức có ý nghĩa để mô hình có tính thực nghiệm (Bảng 5).

Các yếu tố công suất vi sóng, tần suất vi sóng và thời gian vi sóng cho thấy tác động đáng kể đến quá trình chiết xuất TPC và TSC từ quả và được chọn trong khoảng tương ứng là 270-450 W và 3-5 giây/phút, 30-50 phút. Từ đó, phương trình hồi quy có dạng:

$$\text{TPC: } Y_1 = 73,83 + 1,28X_2 + 1,47X_3 - 3,31X_1^2 - 4,26X_2^2 - 4,86X_3^2$$

$$\text{TSC: } Y_2 = 64,33 + 1,99X_3 - 4,02X_1^2 - 3,88X_2^2 - 4,84X_3^2$$

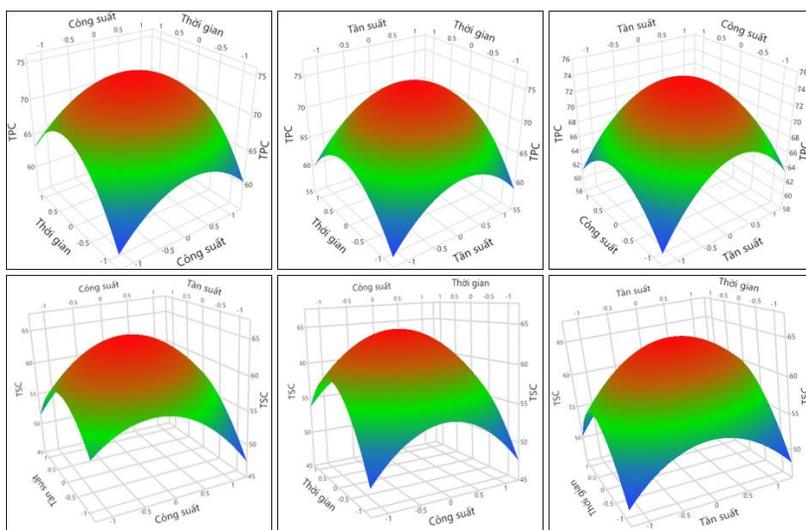
Từ kết quả của phương trình hồi quy có thể nhận thấy hầu hết các yếu tố đều ảnh hưởng nhất định đến hàm mục tiêu. Kết quả phân tích ANOVA bằng JMP cho thấy các kết quả sau: hàm lượng polyphenol và saponin đạt giá trị cao nhất lần lượt là 74,04 mgGAE/gCK và 64,65 mg/gCK khi được trích ly với các điều kiện: công suất vi sóng 360,02 W, tần suất vi sóng 4,17 giây/phút và thời gian vi

sóng 41,93 phút. Mô hình bề mặt đáp ứng thể hiện ảnh hưởng của các yếu tố khảo sát lên hàm lượng polyphenol và saponin và mô hình dự đoán điều kiện tối ưu được mô phỏng tại Hình 4.

Bảng 5. Ảnh hưởng tuyến tính, bình phương của các biến độc lập và sự tương tác của các biến và các hệ số hồi quy

Thông số	TPC	TSC	Thông số	TPC	TSC
X ₀	73,83*	64,33*	X ₁₁	-3,31*	-4,02*
X ₁	0,41	-0,45	X ₂₂	-4,25*	-3,89*
X ₂	1,28*	1,18	X ₃₃	-4,86*	-4,84*
X ₃	1,47*	1,99*	R ²	0,98	0,95
X ₁₂	-0,11	1,58	F value (model)	27,25*	10,98*
X ₁₃	-0,35	-0,13	F value (Lack of fit)	1,3	8,64
X ₂₃	0,38	0,95			

Ghi chú: Các hệ số có * có ý nghĩa thống kê ở mức 0,05 ($p < 0,05$)



Hình 4. Biểu đồ bề mặt đáp ứng mô tả ảnh hưởng của các yếu tố lên hàm lượng TPC, TSC trích ly từ quả chuối hột

Bảng 6. Giá trị tối ưu của TPC và TSC từ dự đoán của mô hình và từ thực nghiệm ở điều kiện chiết xuất tối ưu

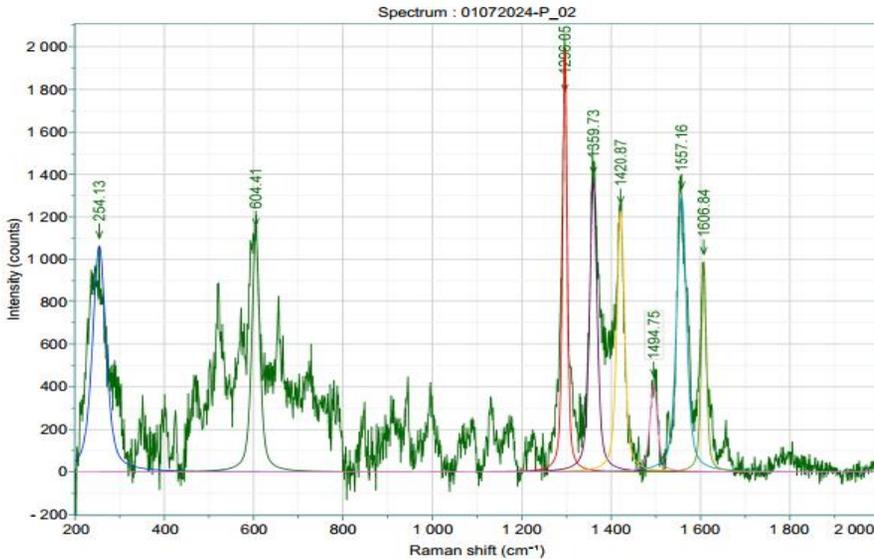
Kết quả dự đoán		Kết quả thực nghiệm	
TPC (mgGAE/gCK)	TSC (mg/gCK)	TPC (mgGAE/gCK)	TSC (mg/gCK)
74,04 ^a	64,65 ^b	72,74±0,18 ^a	62,59±0,45 ^b

Chú ý: Các chữ cái khác nhau theo TPC và TSC biểu thị sự khác nhau về mặt thống kê ($p < 0,05$)

Từ kết quả TPC và TSC ở thí nghiệm thực nghiệm chênh lệch <5% so với kết quả được dự đoán từ mô hình hồi quy bậc 2 (Bảng 6). Dịch chiết xuất với thành phần TPC và TSC được trích ly từ quả chuối hột ở điều kiện tối ưu (công suất vi sóng 360,02 W, tần suất vi sóng 4,17 giây/phút và thời gian vi sóng 41,93 phút), được thể hiện để chuẩn bị cho đánh giá phổ FT-IR, Raman nhằm xác định các nhóm chức đặc trưng của polyphenol và saponin.

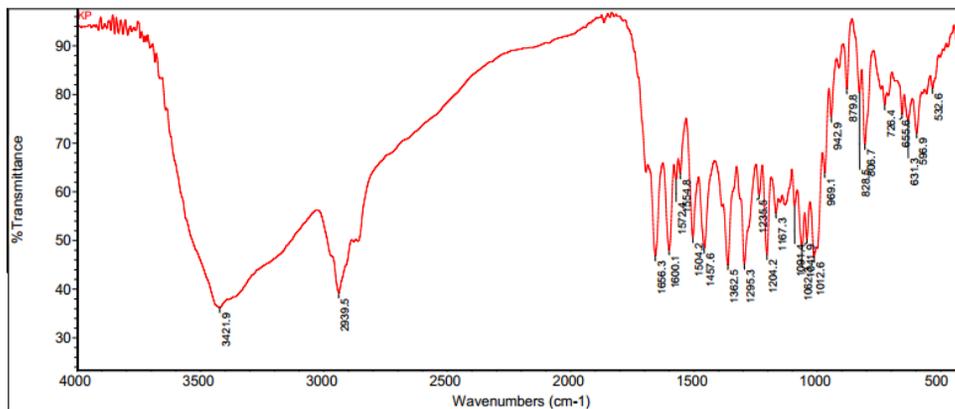
3.3. Xác định phổ Raman và phổ hồng ngoại FT-IR của chiết xuất quả chuối hột

Phổ Raman là một kỹ thuật phân tích hóa học cung cấp thông tin chi tiết về cấu trúc phân tử của các hợp chất hữu cơ trong chiết xuất thực vật. Nó dựa trên sự tương tác của ánh sáng với các liên kết hóa học trong vật liệu. Phổ Raman của chiết xuất quả được thể hiện ở Hình 5.



Hình 5. Phổ RAMAN của chiết xuất từ quả chuối hột

Kết quả cho thấy ở các dao động $1.359,73\text{ cm}^{-1}$, $1.494,75\text{ cm}^{-1}$, $1.537,16\text{ cm}^{-1}$ và $1.606,84\text{ cm}^{-1}$ được ghi nhận các tín hiệu đặc trưng cho các liên kết C=C, điển hình cho các hợp chất thuộc nhóm carotenoid và flavonoid. Tại đỉnh trên sắc ký đồ $1494,75\text{ cm}^{-1}$ và $1.537,16\text{ cm}^{-1}$ đặc biệt đặc trưng cho các dao động kéo giãn stretching của liên kết C=C trong chuỗi polyene liên hợp, đặc điểm nổi bật của carotenoid như β -carotene, lutein hoặc lycopene. Ở dao động 1.359 cm^{-1} , cho thấy sự hiện diện của các biến dạng trong hệ liên hợp hoặc những thành phần carbon không có trật tự trong mẫu. Ngoài ra, ở đỉnh trên sắc ký đồ 1.606 cm^{-1} phản ánh chuyển động kéo giãn của liên kết C=C trong vòng thơm, củng cố giả thuyết về sự hiện diện của các hợp chất flavonoid. Các đỉnh trên sắc ký đồ tại 254 và 604 cm^{-1} có thể liên quan đến dao động mạng hoặc dao động uốn của các liên kết kim loại–phi kim, vòng thơm. Các dao động kéo giãn C=O và C=C được thấy trong vùng $1.710 - 1.530\text{ cm}^{-1}$ và một cặp đôi ở $1.557,16\text{ cm}^{-1}$ và $1.606,84\text{ cm}^{-1}$, được gán cho các dao động kéo dài phenyl kết hợp với các chế độ uốn cong trong mặt phẳng O–H và CH, có thể nhìn thấy được [40].



Hình 6. Phổ FT-IR của chiết xuất quả chuối hột

Phổ FT-IR của chiết xuất quả ở Hình 6 cho thấy xuất hiện phổ hấp thụ đặc trưng của nhóm -OH quan sát được tại $3.421,9\text{ cm}^{-1}$, trong khoảng từ $3.550 - 3.400\text{ cm}^{-1}$ có sự hiện diện của acid carboxylic. Trong vùng $2.940 - 2.925\text{ cm}^{-1}$ các dao động kéo dài -CH, -CH₂ và -CH₃ được phát hiện tại $2.939,5\text{ cm}^{-1}$. Tại vùng $1.680 - 1.450\text{ cm}^{-1}$ có tín hiệu hấp thụ của nhóm C=O đặc trưng. Độ hấp thụ kéo dài C=C được quan sát thấy ở $1.656,3\text{ cm}^{-1}$. Ở khoảng $1.560-1.465\text{ cm}^{-1}$, dài được dao động của vòng C liên kết đôi C có mặt đối với tất cả các nhóm flavonoid ngoại trừ flavanol. Đỉnh tại $1.445,5\text{ cm}^{-1}$ tương ứng với dao động biến dạng của nhóm -CH₂ và/hoặc dao động vòng thơm, có thể liên quan đến các

nhóm flavonol và anthocyanin. Tương tự như vậy, dải ở khoảng $1.380 - 1.350 \text{ cm}^{-1}$ (được gán cho liên kết đôi C=C) có mặt trong nhóm flavone và isoflavone. Các dải khác được quy về vòng có mặt ở khoảng $1.310 - 1.200 \text{ cm}^{-1}$ đối với tất cả các nhóm flavonoid ngoại trừ anthocyanin, ở khoảng $1.225 - 1.180 \text{ cm}^{-1}$ chỉ có mặt đối với phổ isoflavone, flavonol và flavanol, phổ hấp thụ đối với liên kết oligosaccharide với sapogenin, tức là C–O–C, thể hiện ở $1.091,4 \text{ cm}^{-1}$ và $1.062,3 \text{ cm}^{-1}$. Ở khoảng $1.046 - 970 \text{ cm}^{-1}$ chỉ có mặt đối với isoflavone, polyphenol và anthocyanin. Các tín hiệu đối với mỗi nhóm polyphenol tuy nhiên chủ yếu là do sự gán ghép của chúng, không phải do vị trí của chúng, tức là C–O–C thể hiện rõ ở $1.091,4 \text{ cm}^{-1}$, -COOH tại $1.657,42 \text{ cm}^{-1}$ có 2 dao động ở $678,58 \text{ cm}^{-1}$ và $725,92 \text{ cm}^{-1}$ [41].

4. KẾT LUẬN

Kết quả của nghiên cứu này cho thấy phương pháp trích ly có hỗ trợ vi sóng MAE cho hiệu quả trích ly thu dịch chiết giàu TPC và TSC từ quả chuối hột. Hàm lượng TPC và TSC thu được ở điều kiện tối ưu tương ứng là $74,04 \text{ mgGAE/gCK}$ và $64,65 \text{ mg/gCK}$ khi được trích ly tại các điều kiện với công suất vi sóng $360,02 \text{ W}$, tần suất vi sóng $4,17 \text{ giây/phút}$ và thời gian vi sóng $41,93 \text{ phút}$. Các thành phần chính trong chiết xuất từ quả chuối hột được khẳng định thuộc nhóm chất polyphenol và saponin được thông qua phổ FT-IR và RAMAN nhờ vào các peak đặc trưng của polyphenol và saponin. Kết quả nghiên cứu cho thấy quả chuối là một nguồn tiềm năng để tiếp tục nghiên cứu và ứng dụng vào các chế phẩm thực phẩm chức năng, mỹ phẩm và dược phẩm. Các nghiên cứu mở rộng thêm về các hoạt tính sinh học cũng như độc tính của chiết xuất từ quả chuối hột cần được nghiên cứu để hướng đến ứng dụng vào thực tiễn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nelson S. C., Ploetz R. C., & Kepler A. K. - *Musa* species (banana and plantain), Species profiles for Pacific Island agroforestry. Traditional Tree Initiative **15** (2) (2006) 251-259.
2. Deka P., Kashyap A., Sharma D., & Baruah C. - A review on *Musa balbisiana* Colla. International Journal of Pharmaceutical Science Invention **7** (7) (2019) 14-17.
3. Englberger L., Wills R. B., Blades B., Dufficy L., Daniells J. W., & Coyne T., - Carotenoid content and flesh color of selected banana cultivars growing in Australia. Food and Nutrition Bulletin **27** (4) (2006) 281-291. <https://doi.org/10.1177/156482650602700401>.
4. Swargiary A., Boro H., Roy M. K., & Akram M. - Phytochemistry and pharmacological property of *Musa balbisiana* Colla: A mini-review. Pharmacognosy Reviews **15** (29) (2021) 91-95. <https://doi.org/10.5530/phrev.2021.15.11>.
5. Hoang Thi Ngoc Nhon, Phan Thi Thuan, Phan Thi Kim Lien, Nguyen Ngoc Hoang Van, Dong Thi Anh Dao, Le Thi Hong Anh - Phytochemical screening, extraction, and determination of the bioactivities of the extract-enriched polyphenols and saponins from *Musa balbisiana* fruit. Journal of Food Processing and Preservation **2023** (1) (2023) 2581641. <https://doi.org/10.1155/2023/2581641>.
6. Sakagami, H., Kushida, T., Makino, T., Hatano, T., Shirataki, Y., Matsuta, T., ... & Mimaki, Y. - Functional analysis of natural polyphenols and saponins as alternative medicines, in A Compendium of Essays on Alternative Therapy, InTech Rijeka, Croatia 2012.
7. Mattila P., Hellstrom J., and Torronen R. - Phenolic acids in berries, fruits, and beverages, Journal Agricultural Food Chemistry **54** (19) (2006) 7193-9. <https://doi.org/10.1021/jf0615247>.
8. Begashaw T., Dagne A., & Yibeltal D. - Review on Phytochemistry, Medicinal Properties, and Toxicities of the Genus *Musa*. Traditional Medicine **4** (2) (2023). <https://doi.org/10.35702/Trad.10017>.
9. Boldinova E. O., Wanrooij P. H., Shilkin E. S., Wanrooij S., and Makarova A. V. - DNA Damage Tolerance by Eukaryotic DNA Polymerase and Primase PrimPol. International Journal of Molecular Sciences **18** (7) (2017). <https://doi.org/10.3390/ijms18071584>.
10. Phaiphon A. - Ultrasound assisted extraction of pectin from banana peel waste as a potential source for pectin production. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria **21** (1) (2022) 17-30. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2022.0974>.

11. Ishak, N. A., Razak, N. A. A., Dek, M. S. P., & Baharuddin, A. S. - Production of high tannin content and antioxidant activity extract from an unripe peel of *Musa acuminata* (Cavendish) using ultrasound-assisted extraction (UAE). *BioResources* **15** (1) (2020) 1877-1893.
12. Billhman, S., Ramanathan, S., Dumjun, K., Wunnoo, S., Lethongkam, S., Waen-ngoan, T., ... & Voravuthikunchai, S. P. - Value-added from microwave-assisted extraction of *Musa sapientum* waste as an alternative safe and effective agent for the treatment of hyperpigmentation. *Waste and Biomass Valorization* **14** (5) (2022) 1477-1488.
13. Fajrih N., Wiryawan K. G., Sumiati S., Syahpura S. K., & Winarsih W. - Identification of bioactive compounds of banana corm (*Musa paradisiaca*) using GC-MS and its inhibitory effect against pathogenic bacteria. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity* **23** (1) (2021). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230125>.
14. Revadigar V., Al-Mansoub M. A., Asif M., Hamdan M. R., Majid A. M., Asmawi M. Z. & Murugaiyah V. - Anti-oxidative and cytotoxic attributes of phenolic rich ethanol extract of *Musa balbisiana* Colla inflorescence. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* **7** (5) (2017) 103-110. <https://dx.doi.org/10.7324/JAPS.2017.70518>.
15. Genatrika E., Laksari V. N. H., & Tjptasurasa T. - Antidiabetic activity of *Musa acuminata* Colla fruit peel (MACFP) ethanol extract in glucose-induced diabetic rats. *MATEC Web of Conferences* **197** (2018). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819707007>.
16. Kumari, S., Katare, P. B., Elancheran, R., Nizami, H. L., Paramesha, B., Arava, S., ... & Banerjee, S. K. - *Musa balbisiana* fruit rich in polyphenols attenuates isoproterenol-induced cardiac hypertrophy in rats via inhibition of inflammation and oxidative stress. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* **2020** (2020). <https://doi.org/10.1155/2020/7147498>.
17. Hossain M. S., Alam M. B., Asadujjaman M., Zahan R., Islam M. M., Mazumder M. E. H., & Haque M. E. - Antidiarrheal, antioxidant and antimicrobial activities of the *Musa sapientum* seed. *Avicenna Journal of Medical Biotechnology* **3** (2) (2011) 95.
18. Daimari M. & Swargiary A. - Study of phytochemical content and antioxidant properties of *Musa balbisiana* corm extract. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences* **82** (4) (2020). <https://doi.org/10.36468/pharmaceutical-sciences.698>.
19. Onyema C., Ofor C., Okudo V., and Ogbuagu A. - Phytochemical and antimicrobial analysis of banana pseudostem (*Musa acuminata*). *British Journal of Pharmaceutical Research* **10** (1) (2016) 1-9. <https://doi.org/10.9734/BJPR/2016/22593>.
20. Gurumayum, N., Sarma, P. P., Khound, P., Jana, U. K., & Devi, R. - Nutritional composition and pharmacological activity of *Musa balbisiana* Colla seed: an insight into phytochemical and cellular bioenergetic profiling. *Plant Foods for Human Nutrition* **78** (3) (2023) 520-525. <https://doi.org/10.1007/s11130-023-01080-8>.
21. Basumatary S. & Nath N. - Assessment of chemical compositions and *in vitro* antioxidant properties of *Musa balbisiana* Colla inflorescence. *International Journal of Pharmaceutical Research* **10** (1) (2018) 80-85.
22. Gopalan, G., Prabha, B., Joe, A., Reshmitha, T. R., Sherin, D. R., Abraham, B., ... & Nisha, P. - Screening of *Musa balbisiana* Colla. seeds for antidiabetic properties and isolation of apiforol, a potential lead, with antidiabetic activity. *Journal of the Science of Food Agriculture* **99** (5) (2019) 2521-2529. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9462>.
23. Kapadia S., Pudakalkatti P., & Shivanaikar S. - Detection of antimicrobial activity of banana peel (*Musa paradisiaca* L.) on *Porphyromonas gingivalis* and *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*: An *in vitro* study. *Contemporary Clinical Dentistry* **6** (4) (2015). <https://doi.org/10.4103/0976-237X.169864>.
24. Nhon Hoàng Thị Ngọc, Ngọc Ho Le Bao, Nguyet Nguyen Kim Nhat, Dao Dong Thi Anh, and Anh Le Thi Hong - The inhibition activity on tyrosinase, xanthine oxidase, and lipase of *Musa balbisiana* parts grown in Vietnam. *Food Science Nutrition* **12** (10) (2024) 7428-7437. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4364>.
25. Feduraev P., Chupakhina G., Maslennikov P., Tacenko N., and Skrypnik L. - Variation in phenolic compounds content and antioxidant activity of different plant organs from *Rumex crispus* L. and

- Rumex obtusifolius* L. at different growth stages. *Antioxidants (Basel)* **8** (7) (2019). <https://doi.org/10.3390/antiox8070237>.
26. Chen Y., Xie M.-Y., & Gong X.-F. - Microwave-assisted extraction used for the isolation of total triterpenoid saponins from *Ganoderma atrum*. *Journal of Food Engineering* **81** (1) (2007) 162-170. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.10.018>.
 27. Võ Thị Tuyết Hoa, Nguyễn Trí Khôi, Hoàng Thị Ngọc Nhon - Nghiên cứu tinh sạch fucoidan thu nhận từ rong *Ceratophyllum submersum*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ và Thực phẩm* **19** (1) 104-113.
 28. Nour A. H., Oluwaseun A. R., Nour A. H., Omer M. S., & Ahmed N. - Microwave-assisted extraction of bioactive compounds (Review), in: *Microwave heating - Electromagnetic fields causing thermal and non-thermal effects*, 2021. <https://dx.doi.org/10.5772/intechopen.96092>.
 29. Li, J., Zu, Y. G., Fu, Y. J., Yang, Y. C., Li, S. M., Li, Z. N., & Wink, M. - Optimization of microwave-assisted extraction of triterpene saponins from defatted residue of yellow horn (*Xanthoceras sorbifolia* Bunge.) kernel and evaluation of its antioxidant activity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies* **11** (4) (2010) 637-643. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.06.004>.
 30. Xia T., Shi S., & Wan X. - Impact of ultrasonic-assisted extraction on the chemical and sensory quality of tea infusion. *Journal of Food Engineering* **74** (4) (2006) 557-560.
 31. Rostagno M. A., Palma M., and Barroso C. G. - Microwave assisted extraction of soy isoflavones. *Analytica Chimica Acta* **588** (2) (2007) 274-82. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.02.010>
 32. Routray W. & Orsat V. - Microwave-Assisted Extraction of Flavonoids: A Review. *Food and Bioprocess Technology* **5** (2) (2011) 409-424.
 33. Hismath I. , Aida W.M. Wan & Ho C.W. - Optimization of extraction conditions for phenolic compounds from neem (*Azadirachta indica*) leaves. *International Food Research Journal* **18** (2011) 931-939.
 34. S Akbari S., Abdurahman N. H., & Yunus R. M. - Optimization of saponins, phenolics, and antioxidants extracted from fenugreek seeds using microwave-assisted extraction and response surface methodology as an optimizing tool. *Comptes Rendus Chimie* **22** (11-12) (2019) 714-727. <https://doi.org/10.1016/j.crci.2019.07.007>.
 35. Cacace J. E. & Mazza G. - Mass transfer process during extraction of phenolic compounds from milled berries. *Journal of Food Engineering* **59** (4) (2003) 379-389. [https://doi.org/10.1016/s0260-8774\(02\)00497-1](https://doi.org/10.1016/s0260-8774(02)00497-1).
 36. Barve K.H., Laddha K.S. & Jayakumar B. - Extraction of saponins from safed musli. *Pharmacognosy Journal* **2** (13) (2010) 561-564. [https://doi.org/10.1016/S0975-3575\(10\)80060-4](https://doi.org/10.1016/S0975-3575(10)80060-4).
 37. Liu J., Mu T., Sun H., & Fauconnier M. L. - Optimization of ultrasonic-microwave synergistic extraction of flavonoids from sweet potato leaves by response surface methodology. *Journal of Food Processing and Preservation* **43** (5) (2019). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13928>.
 38. Guan X., & Yao H. - Optimization of Viscozyme L-assisted extraction of oat bran protein using response surface methodology. *Food Chemistry* **106** (1) (2008) 345-351. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.05.041>.
 39. Caporaso N., Genovese A., Burke R., Barry-Ryan C., & Sacchi R. - Effect of olive mill wastewater phenolic extract, whey protein isolate and xanthan gum on the behaviour of olive O/W emulsions using response surface methodology. *Food Hydrocolloids* **61** (2016) 66-76. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.04.040>.
 40. Smith E., & Dent G. - *Modern Raman spectroscopy: a practical approach*, John Wiley & Sons, pp. (2019).
 41. Lin-Vien D., Colthup N. B., Fateley W. G., & Grasselli J. G. - *The handbook of infrared and Raman characteristic frequencies of organic molecules*, Elsevier (1991).

ABSTRACT

STUDY ON THE EXTRACTION OF POLYPHENOLS AND SAPONINS FROM (*Musa balbisiana*)

Hoang Thi Ngoc Nhon, Ngo Thi Huyen Trang, Le Thi Hong Anh*

Ho Chi Minh City University of Industry and Trade

*Email: anhth@huit.edu.vn

Wild banana fruit (*Musa balbisiana*) is rich in bioactive compounds, particularly polyphenols and saponins. This study aimed to evaluate the effectiveness of ultrasound-assisted extraction (UAE), microwave-assisted extraction (MAE), and static maceration methods in obtaining the extract-enriched polyphenols and saponins from wild banana fruit. Subsequently, assessment and optimization of the most effective extraction method were conducted. The results showed that microwave-assisted extraction outperformed the other two methods. The obtained extraction conditions included 70% methanol, microwave power 360 W, and time of 4 sec/min in 40 min. Under these conditions, the total polyphenol content (TPC) and total saponin content (TSC) of the extract reached 71.03 mgGAE/gDM (dried mass) and 60.62 mg/gDM, respectively. Screening experiments indicated that microwave power, microwave frequency, and extraction time significantly influenced extraction efficiency. At optimized conditions of 360.02 W, 4.17 sec/min in 41.93 min, the highest TPC and TSC were 74.04 mg GAE/gDM and 64.65 mg/gDM, respectively. The FT-IR and Raman spectroscopy confirmed the presence of characteristic peaks corresponding to polyphenols and saponins, verifying the success of the extraction process.

Keywords: *Musa balbisiana*, optimization, polyphenols, saponins.