



DOI:10.22144/ctujos.2024.441

ẢNH HƯỞNG CỦA VI SÓNG VÀ SÓNG SIÊU ÂM ĐẾN HIỆU QUẢ TRÍCH LY CHẤT XƠ TỪ VỎ XOÀI CÁT CHU (*Mangifera indica* L.) BẰNG CÔNG NGHỆ ENZYME

Trần Chí Nhân¹, Kiều Minh Vương¹, Lê Uyên Nhi¹, Lưu Thái Danh², Nguyễn Bảo Lộc¹ và Nguyễn Nhật Minh Phương^{1*}

¹Viện Công nghệ Sinh học và Thực Phẩm, Trường Đại học Cần Thơ

²Trường Nông nghiệp, Trường Đại học Cần Thơ

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): nnpuong@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 01/04/2024

Sửa bài (Revised): 17/06/2024

Duyệt đăng (Accepted): 19/08/2024

Title: Effects of microwave and ultrasound on extraction efficiency of dietary fiber from Cat Chu mango (*Mangifera indica* L.) peel using enzymatic technology

Author(s): Tran Chi Nhan¹, Kieu Minh Vuong¹, Le Uyen Nhi¹, Luu Thai Danh², Nguyen Bao Loc¹ and Nguyen Nhat Minh Phuong^{1*}

Affiliation(s): ¹Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University;

²College of Agriculture, Can Tho University

TÓM TẮT

Một lượng lớn vỏ loại bỏ khỏi quy trình sản xuất các sản phẩm từ xoài gây ô nhiễm môi trường khi không được xử lý hợp lý. Nghiên cứu này nhằm phân tích thành phần, đặc tính nguyên liệu và thu nhận chất xơ bằng trích ly hỗ trợ enzyme tích hợp vi sóng (MEAE: 100÷500 W, 30÷90 giây) hoặc sóng siêu âm (UEAE: 100÷220 W, 15 phút). Kết quả cho thấy vỏ xoài Cát Chu chủ yếu là carbohydrate (74,13±0,47%), trong đó có 37,22±1,61% chất xơ tổng số (TDF), 11,64±1,34% chất xơ hòa tan (SDF) và 25,55±0,78% chất xơ không hòa tan (IDF). Nguyên liệu giữ nước và dầu tương đối tốt (7,55±0,07 và 1,64±0,08 g/g) nhưng khó tan (43,10±0,85%) và trương nở (2,50±0,01 mL/g). MEAE ở 300 W trong 90 giây cho hiệu suất thu hồi (18,39±0,32%) và thành phần chất xơ (71,63±1,22% TDF, 65,15±0,51% SDF và 6,48±0,70% IDF) tốt hơn của UEAE ở 150 W trong 15 phút (17,67±0,27% hiệu suất, 64,53±0,39% TDF, 53,34±0,11% SDF và 11,18±0,5% IDF). Như vậy, vỏ xoài Cát Chu là nguồn giàu chất xơ mà MEAE hỗ trợ khai thác hiệu quả.

Từ khóa: Chất xơ hòa tan, chất xơ không tan, chất xơ tổng số, công nghệ enzyme, vỏ xoài

ABSTRACT

A large amount of peels removed from the manufacturing process of mango products cause environmental pollution without proper treatment. This study aimed to analyze the material's proximate compositions and properties and to obtain dietary fiber using enzyme-assisted extraction integrated with microwave (MEAE: 100÷500 W, 30÷90 s) or ultrasound (UEAE: 100÷220 W, 15 min). The results showed that Cat Chu mango peels mainly contained carbohydrates (74.13±0.47%), where there was 37.22±1.61% total dietary fiber (TDF), 11.64±1.34% soluble dietary fiber (SDF), and 25.55±0.78% insoluble dietary fiber (IDF). This material retained water and oil relatively well (7.55±0.07 and 1.64±0.08 g/g), but it isn't easy to dissolve (43.10±0.85%) and swell (2.50±0.01 mL/g). MEAE at 300 W for 90 s provided dietary fiber with a better recovery yield (18.39±0.32%) and components (71.63±1.22% TDF, 65.15±0.51% SDF and 6.48±0.70% IDF) than those of UEAE at 150 W for 15 min (17.67±0.27% yield, 64.53±0.39% TDF, 53.34±0.11% SDF and 11.18±0.5% IDF, respectively). In conclusion, Cat Chu mango peel is an abundant source of dietary fiber, which MEAE can effectively support to exploit.

Keywords: Soluble dietary fiber, insoluble dietary fiber, total dietary fiber, enzymatic technology, mango peels

1. GIỚI THIỆU

Xoài (*Mangifera indica* L.) được xem là “Vua trái cây” và được trồng thương mại trên hơn 87 quốc gia (Brecht & Sidhu, 2017). Năm 2020, sản lượng xoài toàn cầu đạt khoảng 41 triệu tấn vào (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2021), chủ yếu từ Ấn Độ, Trung Quốc và Thái Lan. Việt Nam đang là nhà cung cấp xoài lớn thứ 13 với tổng sản lượng khoảng 900 nghìn tấn từ hơn 50 giống xoài khác nhau (Ministry of Agriculture and Rural Development [MARD], 2021). Trong đó, xoài Cát Chu được trồng với số lượng lớn và tiêu thụ rộng rãi do có mùi vị thơm ngon, đặc trưng, mọng nước và giàu dinh dưỡng (Brecht & Sidhu, 2017; MARD, 2021). Xoài chủ yếu được chế biến thành thịt quả tươi cắt sẵn, nước ép, nectar, puree, leather, mứt, ngâm giấm, đóng hộp và bột gia vị (Brecht & Sidhu, 2017). Tuy nhiên, cùng với sự phát triển của công nghiệp chế biến xoài, có đến 15÷25 triệu tấn phụ phẩm (vỏ, hạt,...) thải ra môi trường hằng năm (FAO, 2021); trong đó vỏ là phụ phẩm chính, chiếm khoảng 15÷20% tổng khối lượng quả (Serna-Cock et al., 2016). Sự tồn đọng của chúng tại các bãi chôn lấp gây thiệt hại kinh tế và các vấn đề môi trường nghiêm trọng như phát thải khí nhà kính và ô nhiễm nguồn nước (Serna-Cock et al., 2016). Hiện nay, việc xử lý phụ phẩm còn khá truyền thống, chủ yếu được dùng làm thức ăn chăn nuôi và phân bón phối trộn, trong khi vỏ xoài chứa nhiều hợp chất có giá trị gia tăng. Chất xơ được tìm thấy với hàm lượng cao đáng kể trong vỏ xoài, khoảng 40,6÷72,5%, tùy thuộc vào giống và độ thuần thực (Larrauri et al., 1996). Điều này cho thấy cơ hội tái sử dụng và tăng giá trị vỏ xoài Cát Chu bằng việc trích ly chất xơ, tuy nhiên thành phần hóa học và đặc tính của vỏ xoài Cát Chu cần được xác định để tạo cơ sở cho thiết kế quy trình trích ly chất xơ.

Các phương pháp trích ly truyền thống, bao gồm phương pháp vật lý, hóa học và enzyme đã được sử dụng để thu nhận chất xơ từ nhiều nguồn khác nhau. Tuy nhiên, trong hầu hết các trường hợp, thời gian kéo dài và nhiệt độ cao được sử dụng trong các phương pháp trích ly trên có thể làm thay đổi cấu trúc và tính chất của chất xơ theo hướng không mong muốn (Tejada-Ortigoza et al., 2016). Phương pháp trích ly bằng acid nóng thường được sử dụng để thu nhận chất xơ từ vỏ xoài (Wang et al., 2016; Sommano et al., 2018; Kaur et al., 2021). Mặt khác, vi sóng và sóng siêu âm đang được sử dụng rộng rãi như một giải pháp bền vững hỗ trợ quá trình trích ly chất xơ (Li et al., 2014; Wang et al., 2016; Sommano

et al., 2018; Dong et al., 2020; Kaur et al., 2021). Nhiệt độ tăng nhanh khi tiếp xúc với bức xạ vi sóng làm giảm độ nhớt của dung dịch và phá vỡ màng tế bào thực vật, giúp cải thiện hiệu quả trích ly; trong khi đó, sóng siêu âm tạo ra các chu kỳ áp suất từ cao đến thấp liên tục, dẫn đến sự hình thành của vô số bong bóng khí. Dưới tác dụng của sự gia tăng nhiệt độ, các bong bóng khí này sẽ tăng dần kích thước và dần bị phá vỡ, gây ra hiện tượng xâm thực. Hiện tượng này tạo ra lực cắt mạnh cho phép dung môi thấm sâu hơn vào chất rắn, do đó làm tăng tốc độ khuếch tán (Tejada-Ortigoza et al., 2016). Gần đây, Wang et al. (2016) cho thấy trích ly pectin từ vỏ xoài bằng acid citric hỗ trợ siêu âm ở 20 kHz, 500 W cho hiệu suất (17,15%) tương đương với chi trích ly bằng acid citric (16,70%) nhưng với thời gian ngắn hơn 8 lần (15 phút so với 2 giờ). Trích ly bằng acid hydrochloric trong 90 phút, sau đó hỗ trợ vi sóng ở 500 W trong 3 phút cho hiệu suất thu hồi pectin vỏ xoài (10,45%) cao hơn so với chi trích ly bằng acid hydrochloric (8,77%) (Sommano et al., 2018). Sau khi phân giải tinh bột và đạm trong vỏ xoài bằng α -amylase, protease và amyloglucosidase, hỗn hợp được đánh siêu âm ở 25°C trong 9 phút với cường độ 40% cho hiệu suất thu hồi chất xơ cao nhất (71%) (Kaur et al., 2021). Thành phần, cấu trúc và đặc tính của chất xơ vỏ xoài cũng được ghi nhận là khác nhau khi thay đổi công suất và thời gian áp dụng vi sóng hoặc sóng siêu âm (Wang et al., 2016; Sommano et al., 2018; Kaur et al., 2021). Tuy nhiên, việc sử dụng kết hợp enzyme phân giải thành tế bào thực vật với năng lượng vi sóng/sóng siêu âm để hỗ trợ quá trình trích ly chất xơ từ vỏ xoài chưa được thực hiện.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá thành phần, đặc tính của vỏ xoài Cát Chu, tạo tiền đề cho các nghiên cứu trích ly chất xơ. Bên cạnh đó, khả năng trích ly chất xơ từ vỏ xoài Cát Chu bằng phương pháp hỗ trợ enzyme kết hợp vi sóng và sóng siêu âm ở các điều kiện khác nhau cũng được đánh giá và so sánh.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương tiện nghiên cứu

2.1.1. Nguyên liệu

Vỏ xoài Cát Chu chín được thu nhận từ quy trình chế biến các sản phẩm từ xoài của Công ty TNHH Rau quả Hùng Hậu, huyện Lai Vung, tỉnh Đồng Tháp. Vỏ xoài được thu nhận sau mỗi ca sản xuất (trong khoảng 4÷6 giờ), đóng gói trong bao bì polyamide (PA) (10 kg), vận chuyển về phòng thí nghiệm trong vòng 2 giờ ở điều kiện nhiệt độ môi trường.

2.1.2. Hóa chất

Pectinex® Ultra SP-L (dạng lỏng, 3.300 PGNU/g) là hỗn hợp pectinase, hemicellulase và beta-glucanase được cung cấp từ Novozymes (Đan Mạch) và phân phối bởi Công ty TNHH Cemaco (chi nhánh Cần Thơ, Việt Nam); tất cả hóa chất khác là các hóa chất phân tích.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Chuẩn bị bột vỏ xoài Cát Chu

Vỏ xoài sau khi vận chuyển về phòng thí nghiệm được rửa 3 lần bằng nước chảy tràn, để ráo và ngâm chìm trong ethanol 96% qua đêm (18 giờ) trong kho mát ($4\pm 1^\circ\text{C}$) để loại bỏ các tạp chất, các thành phần hòa tan (sắc tố, đường,...) và vô hoạt enzyme. Vỏ xoài được rửa lại bằng ethanol 70% (2 lần) và sấy ở 65°C đến độ ẩm cân bằng, sau đó được nghiền mịn và rây qua sàng 80 mesh. Bột vỏ xoài được bảo quản trong túi PA (90% độ chân không) ở $-18\pm 2^\circ\text{C}$ đến khi phân tích.

2.2.2. Trích ly hỗ trợ enzyme kết hợp vi sóng

Bột vỏ xoài (10 g) được trộn với 209 mL dung dịch đệm acetate 50 mM (pH 5,5) chứa Pectinex® Ultra SP-L (44 U/100 mL). Quá trình trích ly chất xơ với sự hỗ trợ của Pectinex® Ultra SP-L được thực hiện ở $40,77^\circ\text{C}$ trong 30 phút. Hỗn hợp được đưa vào lò vi sóng (J-Tech Inverter R-C932XVN-BST, Công ty TNHH Điện tử Sharp, Việt Nam) để tiếp tục trích ly ở các công suất (100, 300 và 500 W) và thời gian (30, 60 và 90 giây) khác nhau. Hỗn hợp được làm nguội về nhiệt độ phòng và ly tâm ở 3.000 vòng/phút trong 20 phút để thu nhận dịch trích. Dịch trích được kết tủa với ethanol 96% (tỷ lệ thể tích dịch trích và ethanol là 1: 4) và hỗn hợp được để yên qua đêm ở 4°C . Phân kết tủa được thu nhận bằng cách lọc chân không và sấy ở 65°C đến khối lượng không đổi. Chất xơ thu nhận được nghiền mịn và rây qua sàng 80 mesh. Bột chất xơ được bảo quản trong túi PA (90% độ chân không) ở $-18\pm 2^\circ\text{C}$ cho các phân tích tiếp theo.

2.2.3. Trích ly hỗ trợ enzyme kết hợp siêu âm

Các bước trích ly hỗ trợ enzyme được thực hiện như 2.2.2. Quá trình trích ly hỗ trợ siêu âm được thực hiện bằng bể siêu âm (UCP-10, Jeio Tech, Hàn Quốc). Hỗn hợp được xử lý ở 40 kHz trong 15 phút ở các công suất khác nhau (100, 150 và 220 W). Quy trình thu nhận chất xơ được thực hiện như 2.2.2.

2.3. Phương pháp phân tích

Thành phần hóa học của bột vỏ xoài được phân tích theo phương pháp chuẩn của AOAC (AOAC, 2000): độ ẩm theo AOAC 950.46; hàm lượng đạm

theo AOAC 2001.11; hàm lượng chất béo theo AOAC 920.39; hàm lượng khoáng theo AOAC 923.03; hàm lượng carbohydrate được tính bằng cách trừ đi các thành phần khác.

Khả năng trương nở (SC, mL/g), khả năng hòa tan (WS, %), khả năng giữ nước (WRC, g/g), khả năng giữ dầu (ORC, g/g), khả năng tạo nhũ (EC, %) và độ bền nhũ (ES, %) của bột vỏ xoài được thực hiện theo phương pháp của Dong et al. (2020).

Hiệu suất thu hồi chất xơ được tính theo công thức: $Y (\%) = (M_1/M_0) \times 100$. Trong đó: Y (%) là hiệu suất thu hồi; M_0 là khối lượng bột vỏ xoài đem đi trích ly; và M_1 là khối lượng chất xơ sau khi sấy.

Phương pháp AOAC 991.43, AOAC 991.42 và AOAC 993.19 (AOAC, 2000) được sử dụng để xác định hàm lượng TDF, SDF và IDF trong bột vỏ xoài và chất xơ.

2.4. Phương pháp phân tích dữ liệu

Dữ liệu được phân tích thống kê bằng phần mềm Statgraphics Centurion (phiên bản 19.1, Statgraphics Technologies, Inc., Virginia). Sự khác biệt giữa các giá trị trung bình của ba lần lặp lại được đánh giá bằng phân tích phương sai (ANOVA) với kiểm định sự khác biệt nhỏ nhất có ý nghĩa (LSD) ở mức ý nghĩa 5%.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thành phần hóa học và đặc tính lý hóa của vỏ xoài Cát Chu

Thành phần hóa học của bột vỏ xoài Cát Chu được trình bày ở Bảng 1. Bột vỏ xoài Cát Chu bao gồm $13,74\pm 0,29\%$ ẩm, $5,38\pm 0,25\%$ đạm, $4,14\pm 0,32\%$ chất béo, $2,62\pm 0,10\%$ khoáng và $74,13\pm 0,47\%$ carbohydrate. Các kết quả này tương đồng với kết quả của một số nghiên cứu trước đây, cho thấy bột vỏ xoài gồm $1,6\div 6,5\%$ chất béo, $1,6\div 6,6\%$ đạm, $1,4\div 4,2\%$ khoáng và $52,3\div 73,6\%$ carbohydrate (Larrauri et al., 1996; Aziz et al., 2012; Umbreen et al., 2015; Onuh et al., 2017; Sanchez-Camargo et al., 2019). Larrauri et al. (1996) kết luận rằng cellulose, pectin và β -glucan là ba thành phần chính cấu tạo nên chất xơ từ vỏ xoài. Kết quả phân tích thành phần chất xơ cho thấy TDF chiếm trên 1/3 ($37,22\pm 1,61\%$) tổng khối lượng chất khô của bột vỏ xoài; trong đó, SDF chiếm $11,64\pm 1,34\%$ (tương đương 31,27% so với TDF) và IDF chiếm $25,55\pm 0,78\%$. Do đó, bột vỏ xoài Cát Chu được xem là một nguồn giàu chất xơ với tỷ lệ chất xơ cân bằng theo đề xuất của Schneeman (1987). Schneeman cho rằng tỷ lệ chất xơ cân bằng bao gồm $30\div 50\%$ SDF và $50\div 70\%$ IDF mang đến nhiều lợi ích sức khỏe kết

hợp. Hàm lượng các thành phần chất xơ trong bột vỏ xoài Cát Chu tương đồng với giống xoài Sugar ở Colombia (Sanchez-Camargo et al., 2019), nhưng thấp hơn so với các giống xoài khác (Larrauri et al., 1996; Umbreen et al., 2015).

Bảng 2. Thành phần hóa học của bột vỏ xoài Cát Chu (tính trên căn bản khô)

Thành phần hóa học (%)	Giá trị
Âm	13,74±0,29
Đạm	5,38±0,25
Chất béo	4,14±0,32
Khoáng	2,62±0,10
Carbohydrate	74,13±0,47
TDF	37,22±1,61
IDF	25,55±0,78
SDF	11,64±1,34

Dữ liệu được trình bày dưới dạng trung bình±độ lệch chuẩn, n=3. TDF: Chất xơ tổng số; IDF: Chất xơ không hòa tan; SDF: Chất xơ hòa tan

Một số đặc tính lý hóa của bột vỏ xoài Cát Chu cũng được đánh giá (Bảng 3). Kết quả cho thấy bột vỏ xoài ít trương nở (2,5±0,01 mL/g), có thể được giải thích do WS tương đối cao (43,10±0,85%) của nó. WRC và ORC của bột vỏ xoài Cát Chu được ghi nhận lần lượt là 7,55±0,07 và 1,64±0,08 g/g, thấp hơn đáng kể so với kết quả của Larrauri et al. (1996) (11,4±0,5 và 2,7±0,1 g/g). Bên cạnh đó, EC và ES của bột vỏ xoài Cát Chu cũng được đánh giá. Kết quả cho thấy bột vỏ xoài có đặc tính nhũ hóa kém (42,81±0,79% EC và 29,83±0,72% ES). Các kết quả này được xác nhận trong nghiên cứu của Umbreen et al. (2015) với EC và ES của bột vỏ xoài chỉ khoảng 36,02±1,22% và 41,91±0,86%. Khả năng hình thành nhũ tương tốt hơn được ghi nhận ở bột vỏ xoài Chokanan chín (89,80±2,73% EC), nhưng nhũ tương tạo thành vẫn kém bền nhiệt (26,75±0,83% ES) (Aziz et al., 2012). Các kết quả khác nhau được ghi nhận trong các nghiên cứu là do sự khác biệt về giống, điều kiện canh tác và độ thuần thực.

Kết quả thu nhận cho thấy bột vỏ xoài Cát Chu là một nguồn giàu chất xơ với tỷ lệ cân bằng và WRC và ORC tương đối tốt. Vì vậy, bột vỏ xoài Cát Chu đã được tận dụng để bổ sung vào các sản phẩm từ bột mì như bánh mì, mì sợi và bánh quy, nhằm tạo ra các sản phẩm thực phẩm giàu chất xơ mà không làm giảm chất lượng cảm quan (Serna-Cock et al., 2016). Tuy nhiên, bột vỏ xoài Cát Chu cho thấy tính ứng dụng kém trong các sản phẩm từ sữa hoặc từ thịt do WS và EC kém của nó. Do đó, việc trích ly chất xơ từ bột vỏ xoài Cát Chu là một giải pháp hữu hiệu có thể giúp giải quyết những bất lợi

hiện có và tăng tính khả dụng của bột vỏ xoài Cát Chu trong công nghiệp thực phẩm.

Bảng 4. Một số đặc tính lý hóa của bột vỏ xoài Cát Chu

Đặc tính lý hóa	Giá trị
SC (mL/g)	2,50±0,01
WRC (g/g)	7,55±0,07
ORC (g/g)	1,64±0,08
WS (%)	43,10±0,85
EC (%)	42,81±0,79
ES (%)	29,83±0,72

Dữ liệu được trình bày dưới dạng trung bình±độ lệch chuẩn, n=3. SC: Khả năng trương nở; WRC: Khả năng giữ nước; ORC: Khả năng giữ dầu; WS: Khả năng hòa tan; EC: Khả năng tạo nhũ; ES: Độ bền nhũ

3.2. Ảnh hưởng của công suất và thời gian hỗ trợ vi sóng đến hiệu suất thu hồi và thành phần chất xơ

3.2.1. Ảnh hưởng của công suất và thời gian hỗ trợ vi sóng đến hiệu suất thu hồi chất xơ

Kết quả ANOVA hai nhân tố cho thấy cả công suất và thời gian hỗ trợ vi sóng đều ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất thu hồi chất xơ (p-A = 0,0080 và p-B = 0,0059); tuy nhiên không có sự tương tác giữa hai nhân tố này (p-A*B = 0,0906). Do đó, hiệu suất thu hồi chất xơ ở các điều kiện trích ly khác nhau được trình bày theo ANOVA một nhân tố như được thể hiện ở Bảng 3.

Bảng 3. Ảnh hưởng của công suất và thời gian hỗ trợ vi sóng đến hiệu suất thu hồi

Công suất - A (W)	Thời gian - B (giây)	Hiệu suất thu hồi (%)
100	30	16,45±0,63 ^{bc}
	60	17,24±0,25 ^b
	90	16,52±0,66 ^{bc}
300	30	17,01±0,87 ^b
	60	17,42±0,71 ^{ab}
	90	18,39±0,32 ^a
500	30	15,77±0,66 ^c
	60	17,41±0,54 ^{ab}
	90	16,97±0,55 ^b

Dữ liệu được trình bày dưới dạng trung bình±độ lệch chuẩn, n=3. Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột (a,b,c...) biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức, p<0,05

Ở công suất 100 W, hiệu suất thu hồi khác biệt không có ý nghĩa thống kê giữa các thời gian hỗ trợ vi sóng, dao động trong khoảng 16,45÷17,24%. Khi tăng công suất lên 300÷500 W, hiệu suất thu hồi có xu hướng tăng với sự gia tăng thời gian hỗ trợ vi

sóng; trong đó, hiệu suất thu hồi ở nghiệm thứ 60 và 90 giây khác biệt không có ý nghĩa thống kê. Hiện tượng này cũng được ghi nhận trong quá trình trích pectin với hỗ trợ vi sóng từ vỏ xoài (Sommano et al., 2018). Sự gia tăng nhiệt độ nhanh chóng của nguyên liệu dưới tác động của bức xạ vi sóng làm lỏng lẻo cấu trúc mô thực vật do sự thoát hơi nước bên trong cấu trúc xốp mao dẫn của nguyên liệu thực vật. Điều này giúp tăng sự tương tác giữa dung môi và nguyên liệu, do đó quá trình truyền khối của nguyên liệu vào dung môi cũng tăng lên đáng kể, dẫn đến tăng hiệu quả trích ly (Bagherian et al., 2011; Sommano et al., 2018).

Mặt khác, công suất sử dụng quá cao có thể làm tăng lượng nhiệt tích tụ trong dịch trích, dẫn đến sự phân hủy của chất xơ dưới tác động nhiệt (Bảng 3). Chẳng hạn, hiệu suất thu hồi chất xơ của mẫu được trích ly trong 90 giây ở 100 đến 500 W lần lượt là 16,52±0,66%, 18,39±0,32% và 16,97±0,55%. Do đó, công suất và thời gian hỗ trợ vi sóng trong trích ly chất xơ cần được kiểm soát cẩn thận để tránh hiện tượng trên xảy ra. Giữa các điều kiện hỗ trợ vi sóng

được khảo sát trong nghiên cứu này, hiệu suất thu hồi đạt giá trị cao nhất (17,41±18,39%) ở công suất 300 W trong 60÷90 giây hoặc ở công suất 500 W trong 60 giây.

3.2.2. Ảnh hưởng của công suất và thời gian hỗ trợ vi sóng đến thành phần chất xơ

Trong quá trình trích ly chất xơ, các thành phần đồng trích ly có thể là đạm, chất béo và khoáng chất; chúng được xem như là các tạp chất và cần được loại bỏ để tăng độ tinh khiết của chất xơ thu nhận (Dong et al., 2020). Nói theo cách khác, chất xơ thu nhận có hàm lượng TDF càng cao chứng tỏ nó có độ tinh khiết cao. Trong nghiên cứu này, chất xơ thu nhận mong muốn có hàm lượng SDF và TDF cao, đồng thời hàm lượng IDF thấp do SDF có đặc tính công nghệ (khả năng hòa tan, khả năng tạo nhũ,...) vượt trội hơn so với IDF (Dong et al., 2020). Thành phần chất xơ thu nhận từ vỏ xoài Cát Chu bằng MEAE được thể hiện ở Bảng 4. Kết quả cho thấy công suất và thời gian vi sóng là hai nhân tố quan trọng, tương tác mạnh mẽ với nhau và ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng SDF và IDF của chất xơ (p<0,05).

Bảng 4. Ảnh hưởng của công suất và thời gian hỗ trợ vi sóng đến thành phần chất xơ

Thành phần chất xơ	Công suất – A (W)	Thời gian – B (giây)			Trung bình (A)
		30	60	90	
SDF	100	60,76±0,85	62,48±0,86	63,74±0,58	62,32±1,47 ^b
	300	63,04±0,64	62,92±0,48	65,15±0,51	63,70±1,20 ^a
	500	63,51±0,04	66,88±0,62	62,99±0,36	64,46±1,72 ^a
	Trung bình (B)	62,44±1,40 ^B	64,09±2,23 ^A	63,96±1,05 ^A	
IDF	100	6,82±0,61	6,86±0,67	7,82±0,24	7,16±0,65 ^b
	300	8,74±0,29	8,09±0,14	6,48±0,70	7,77±1,10 ^a
	500	7,54±0,42	5,89±0,21	5,69±0,07	6,38±0,93 ^c
	Trung bình (B)	7,70±0,94 ^A	6,95±1,03 ^B	6,66±1,02 ^B	
TDF	100	67,57±1,46	69,34±1,52	71,55±0,82	69,49±2,05 ^b
	300	71,77±0,92	71,01±0,33	71,63±1,22	71,47±0,79 ^a
	500	71,05±0,39	72,77±0,83	68,68±0,43	70,83±1,89 ^a
	Trung bình (B)	70,13±2,16 ^{NS}	71,04±1,72	70,62±1,65	

p-A-SDF: 0,0005; p-B-SDF: 0,0016; p-A*B-SDF: 0,0004
 p-A-IDF: 0,0012; p-B-IDF: 0,0069; p-A*B-IDF: 0,0025
 p-A-TDF: 0,0183; p-B-TDF: 0,3207; p-A*B-TDF: 0,0047

Dữ liệu được trình bày dưới dạng trung bình±độ lệch chuẩn, n=3. Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột (a,b,c...) hoặc hàng (A, B...) theo từng cụm thành phần chất xơ biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức, p<0,05. ^{NS}: khác biệt không có ý nghĩa thống kê, p>0,05

Nhìn chung, hàm lượng SDF tăng đáng kể theo sự gia tăng công suất và thời gian vi sóng; trong đó, hàm lượng SDF thu được cao nhất ở công suất 500 W trong thời gian 60 giây (66,88±0,62%); tiếp theo là mẫu được xử lý ở 300 W trong thời gian 90 giây (65,15±0,51%). Cụ thể, hàm lượng SDF tăng từ 62,32±1,47% lên 63,70±1,20% khi tăng công suất từ 100 W lên 300 W; tuy nhiên, ở công suất 500 W,

hàm lượng SDF có khuynh hướng giảm khi xử lý trong 90 giây (Bảng 4). Tương tự, hàm lượng SDF tăng từ 62,44±1,40% lên 63,96±1,05% khi kéo dài thời gian vi sóng đến 90 giây; trong đó, không có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa mẫu được trích ly trong 60 giây và 90 giây. Gan et al. (2020) cũng cho thấy trích ly có sự hỗ trợ của vi sóng ở điều kiện

kiểm soát giúp tăng hàm lượng SDF và cải biến đặc tính cấu trúc và chức năng của chất xơ từ vỏ bưởi.

Năng lượng vi sóng làm tăng áp suất nội bào, phá vỡ thành tế bào và giải phóng các chất tan, đồng thời phân cắt các đại phân tử thành các phân tử nhỏ hơn, nên làm cho hàm lượng SDF tăng lên và hàm lượng IDF giảm xuống (Wei et al., 2019). Thật vậy, sự phân hủy IDF cũng được nhận thấy rõ ràng hơn khi sử dụng công suất và thời gian vi sóng cao hơn (Bảng 4). Ở công suất 100 W, hàm lượng IDF trung bình là $7,16 \pm 0,65\%$, sau đó tăng lên $7,77 \pm 1,10\%$ ở công suất 300 W trước khi bị phân hủy còn $6,38 \pm 0,93\%$ ở công suất 500 W. Mặt khác, sự suy giảm IDF được phát hiện ngay khi tăng thời gian hỗ trợ vi sóng trên 30 giây. Tóm lại, trích ly vỏ xoài bằng MEAE ở 500 W trong 90 giây cho chất xơ có hàm lượng IDF thấp nhất ($5,69 \pm 0,07\%$).

Mặt khác, hàm lượng TDF ít chịu ảnh hưởng bởi sự thay đổi công suất và thời gian vi sóng so với hàm lượng SDF và IDF; trong đó chỉ có công suất vi sóng ảnh hưởng đáng kể đến hàm lượng TDF (p-A-TDF: 0,0183; p-B-TDF: 0,3207; p-A*B-TDF: 0,0047). Hàm lượng TDF dao động trong khoảng $70,13 \div 71,04\%$ khi được trích ly ở các thời gian khác nhau ($p > 0,05$). Tuy nhiên, sự gia tăng TDF đã được ghi nhận ở công suất 300 W và 500 W so với ở công suất 100 W được cho là kết quả từ sự gia tăng SDF và giảm IDF ở điều kiện tương ứng (Bagherian et al., 2011). Hàm lượng TDF ở công suất 100, 300 và 500 W tương ứng là $69,49 \pm 2,05\%$, $71,47 \pm 0,79\%$ và $70,83 \pm 1,89\%$ (Bảng 4). Hàm lượng TDF cao nhất ($72,77\%$) được ghi nhận ở mẫu được trích ly ở 500 W trong 60 giây.

Như vậy, MEAE ở 300 W trong 90 giây cho hiệu suất thu hồi ($18,39 \pm 0,32\%$) và thành phần chất xơ ($65,15 \pm 0,51\%$ SDF; $6,48 \pm 0,70\%$ IDF và $71,63 \pm 1,22\%$ TDF) tốt nhất. Ảnh hưởng của công suất hỗ trợ sóng siêu âm đến hiệu suất thu hồi và thành phần chất xơ

3.2.3. Ảnh hưởng của công suất hỗ trợ sóng siêu âm đến hiệu suất thu hồi chất xơ

Kết quả ở Bảng 5 cho thấy hiệu suất thu hồi chất xơ đạt giá trị cao nhất ($17,67 \pm 0,27\%$) ở công suất sóng siêu âm 150 W và thấp nhất ($15,93 \pm 0,08\%$) ở 220 W. Sóng siêu âm tạo ra hàng loạt các bong bóng khí và dưới tác dụng của nguồn năng lượng này sẽ phá vỡ các bong bóng, làm tăng nhiệt độ của dung môi và phá vỡ thành tế bào, giúp tăng tốc độ truyền khối và giải phóng vật chất tế bào vào dung môi (Bagherian et al. 2011). Tuy nhiên, hiệu ứng nhiệt và ứng suất cắt được tạo ra từ sự phá vỡ của bong bóng khí cũng có thể dẫn đến sự suy giảm hàm lượng của chất xơ (Li et al., 2014). Li et al. (2014) cho thấy khi trích ly SDF từ bã táo bằng acid citric với sự hỗ trợ của sóng siêu âm ở 400 W trong 40 phút cho hiệu suất thu hồi cao nhất ($16,4\%$). Đồng thời, nhóm tác giả cũng kết luận rằng công suất sóng siêu âm lớn hơn 400 W được cho là không phù hợp để trích ly SDF từ bã táo do sự suy giảm đáng kể hiệu suất thu hồi được ghi nhận ở 450 W (Li et al., 2014). Các kết luận tương tự cũng được báo cáo bởi các nghiên cứu trước đây (Sommano et al., 2018; Kaur et al., 2021); tuy nhiên, công suất và thời gian siêu âm tối ưu/phù hợp để trích ly chất xơ giữa các nghiên cứu phụ thuộc đáng kể vào loại nguyên liệu, thiết kế của thiết bị và loại dung môi trích ly.

Bảng 5. Ảnh hưởng của công suất hỗ trợ sóng siêu âm đến hiệu suất thu hồi và thành phần chất xơ

Mức năng lượng (W)	Hiệu suất thu hồi (%)	SDF (%)	IDF (%)	TDF (%)
100	$15,93 \pm 0,08^{ab}$	$52,01 \pm 0,30^c$	$10,54 \pm 0,83^a$	$62,55 \pm 1,14^{ns}$
150	$17,67 \pm 0,27^a$	$53,34 \pm 0,11^b$	$11,18 \pm 0,50^a$	$64,53 \pm 0,39$
220	$15,30 \pm 0,98^b$	$56,07 \pm 0,38^a$	$7,33 \pm 0,20^b$	$63,54 \pm 0,76$

Dữ liệu được trình bày dưới dạng trung bình ± độ lệch chuẩn, n=3. Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột (a,b,c...) biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức, $p < 0,05$; ns: khác biệt không có ý nghĩa thống kê, $p > 0,05$

3.2.4. Ảnh hưởng của công suất hỗ trợ sóng siêu âm đến thành phần chất xơ

Ảnh hưởng của công suất hỗ trợ sóng siêu âm đến thành phần chất xơ được trình bày ở Bảng 5. Kết quả cho thấy việc hỗ trợ sóng siêu âm giúp cải thiện hàm lượng SDF và giảm hàm lượng IDF. SDF là thành phần chính của chất xơ thu nhận, có xu hướng tăng dần từ $52,01 \pm 0,30\%$ lên $56,07 \pm 0,38\%$ khi tăng công suất siêu âm từ 100 W lên 220 W. Ngược lại, hàm lượng IDF chỉ chiếm phần nhỏ và giảm dần khi tăng công suất sóng siêu âm trong khoảng 100÷220

W. IDF đạt giá trị cao nhất ở công suất 150 W ($11,18 \pm 0,5\%$) và thấp nhất ở 220 W ($7,33 \pm 0,2\%$). Hàm lượng TDF cho thấy sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê giữa các mẫu ($p > 0,05$), dao động trong khoảng $62,55 \div 64,53\%$. Xu et al. (2022) cho thấy chất xơ trích ly từ đậu Adzuki bằng enzyme có hàm lượng TDF, SDF và IDF lần lượt là $74,91 \pm 0,85\%$, $16,61 \pm 0,46\%$ và $56,72 \pm 1,16\%$, trong khi chất xơ được trích ly bằng enzyme sau đó sử dụng siêu âm có thành phần chất xơ tương ứng là $86,30 \pm 1,70\%$ TDF, $25,99 \pm 1,18\%$ SDF và

57,48±1,29% IDF. Các kết quả cho thấy việc sử dụng kết hợp sóng siêu âm giúp tăng cường khả năng sản xuất các polysaccharide giàu chất xơ với tỷ lệ IDF/SDF giảm đáng kể (Xu et al., 2022). Giữa các công suất siêu âm sử dụng, chất xơ trích ly hỗ trợ sóng siêu âm ở 220 W cho hàm lượng SDF cao nhất; tuy nhiên khi tính đến hiệu suất thu hồi, chất xơ trích ly hỗ trợ sóng siêu âm ở 150 W có % khối lượng SDF cao hơn (hiệu suất x %SDF = 17,67% x 53,34% = 9,43%). Do đó, UEAE ở 150 W trong 15 phút là điều kiện phù hợp nhất để thu nhận chất xơ giàu SDF từ vỏ xoài Cát Chu.

Cả vi sóng và siêu âm đều có tiềm năng hỗ trợ phân hủy cấu trúc thành tế bào thực vật nhờ hiệu ứng tích tụ nhiệt hoặc xâm thực, do đó chúng được dùng phổ biến như một phương pháp xanh hỗ trợ cho quá trình trích ly các hợp chất sinh học có nguồn gốc thực vật (Bagherian et al., 2011). Trong nghiên cứu này, MEAE là phương pháp hiệu quả hơn để thu nhận chất xơ so với UEAE. Thứ nhất, MEAE ở 300 W trong 90 giây thu hồi chất xơ với hiệu suất (18,39±0,32%) cao hơn so với của UEAE ở 150 W trong 15 phút (17,67±0,27%) ($p < 0,05$). Đồng thời, hàm lượng SDF (65,15±0,51%), IDF (6,48±0,70%) và TDF (71,63±1,22%) của chất xơ được thu nhận bằng MEAE cũng tốt hơn so với của UEAE (53,34±0,11%, 11,18±0,50% và 64,53±0,39%, tương ứng). Thứ hai, MEAE còn sử dụng năng lượng thấp hơn 5 lần [(300 W x 90 giây)/(150 W x 15 phút x 60 giây) = 1/5] so với UEAE để trích ly chất xơ. Tuy nhiên, MEAE cần được thực hiện ở điều kiện kiểm soát ở 300 W trong 90 giây như đề

xuất của nghiên cứu này. Điều này là do MEAE tạo ra sự phân bố nhiệt không đồng đều, dẫn đến sự phá hủy cấu trúc chất xơ và giải phóng tạp chất, làm ảnh hưởng đến hiệu suất và thành phần của chất xơ thu nhận (được chứng minh ở Bảng 3 và Bảng 4) (Bagherian et al., 2011). Hỗ trợ vi sóng cũng được cân nhắc là giải pháp hiệu quả hơn so với sóng siêu âm trong nghiên cứu của Bagherian et al. (2011) khi trích ly pectin từ nho.

4. KẾT LUẬN

Bột vỏ xoài Cát Chu là một nguồn cung cấp chất xơ cân bằng tự nhiên với WRC và ORC tốt, cho thấy tiềm năng đầy hứa hẹn trong việc trích ly chất xơ. MEAE ở 300 W trong 90 giây cho hiệu quả trích ly chất xơ tốt hơn về cả hiệu suất (18,39±0,32%), thành phần (71,63±1,22% TDF, 65,15±0,51% SDF và 6,48±0,70% IDF) và năng lượng sử dụng so với UEAE ở 150 W trong 15 phút. Do đó, MEAE là phương pháp hiệu quả về mặt công nghệ và kinh tế để thu nhận chất xơ, đặc biệt là SDF, từ vỏ xoài Cát Chu. Các nghiên cứu tiếp theo nên tập trung vào đánh giá đặc tính lý hóa của chất xơ thu nhận nhằm định hướng sử dụng trong sản phẩm thực phẩm phù hợp. Đồng thời, các phương pháp tinh sạch cũng cần được thực hiện để tăng độ tinh khiết mà không ảnh hưởng tiêu cực đến đặc tính của chất xơ.

LỜI CẢM ƠN

Đề tài được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ (Mã số: T2022-92) và Bộ Khoa học và Công nghệ (Mã số: B2022-TCT-12).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- AOAC. 2000. *Official Methods of Analysis of AOAC International* (17th edition). USA: Gaithersburg, MD.
- Aziz, N. A., Wong, L. M., Bhat, R., & Cheng, L. H. (2012). Evaluation of processed green and ripe mango peel and pulp flours (*Mangifera indica* var. Chokanan) in terms of chemical composition, antioxidant compounds and functional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 92(3), 557-563. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4606>
- Bagherian, H., Ashtiani, F. Z., Fouladitajar, A., & Mohtashamy, M. (2011). Comparisons between conventional, microwave-and ultrasound-assisted methods for extraction of pectin from grapefruit. *Chemical engineering and processing: Process Intensification*, 50(11-12), 1237-1243. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2011.08.002>
- Brecht, J. K., & Sidhu, J. S. (Eds.). (2017). *Handbook of mango fruit: Production, postharvest science, processing technology and nutrition*. John Wiley & Sons.
- Dong, W., Wang, D., Hu, R., Long, Y., & Lv, L. (2020). Chemical composition, structural and functional properties of soluble dietary fiber obtained from coffee peel using different extraction methods. *Food Research International*, 136, 109497. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109497>
- FAO. (2021). *Major tropical fruits - statistical compendium 2020*. Rome.
- Gan, P. G., Sam, S. T., Abdullah, M. F., Omar, M. F., & Tan, L. S. (2020). An alkaline deep eutectic solvent based on potassium carbonate and glycerol as pretreatment for the isolation of cellulose nanocrystals from empty fruit bunch. *BioResources*, 15(1), 1154-1170.
- Kaur, B., Panesar, P. S., & Thakur, A. (2021). Extraction and evaluation of structural and physicochemical properties of dietary fiber

- concentrate from mango peels by using green approach. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-10.
- Larrauri, J. A., Rupérez, P., Borroto, B., & Saura-Calixto, F. (1996). Mango peels as a new tropical fibre: Preparation and characterization. *LWT-Food Science and Technology*, 29(8), 729-733. <https://doi.org/10.1006/fstl.1996.0113>
- Li, X., He, X., Lv, Y., & He, Q. (2014). Extraction and functional properties of water-soluble dietary fiber from apple pomace. *Journal of Food Process Engineering*, 37, 293-298. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12085>
- MARD (2021). Vietnam is the 13th biggest mango producer in the world. <https://www.mard.gov.vn/en/Pages/vietnam-is-the-13th-biggest-mango-producer-in-the-world.aspx>. Truy cập ngày 11/07/2021.
- Onuh, J. O., Momoh, G., Egwujuh, S., & Onuh, F. (2017). Evaluation of the nutritional, phytochemical and antioxidant properties of the peels of some selected mango varieties. *American Journal of Food Science and Technology*, 5(5), 176-181. DOI:10.12691/ajfst-5-5-2
- Sanchez-Camargo, A. del P., Gutiérrez, L. F., Vargas, S. M., Martínez-Correa, H. A., Parada-Alfonso, F., & Narváez-Cuenca, C. E. (2019). Valorisation of mango peel: Proximate composition, supercritical fluid extraction of carotenoids, and application as an antioxidant additive for an edible oil. *Journal of Supercritical Fluids*, 152. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2019.104574>
- Schneeman, B. O. (1987). Soluble vs insoluble fiber: different physiological responses. *Food Technology*, 41.
- Serna-Cock, L., García-Gonzales, E., & Torres-León, C. (2016). Agro-industrial potential of the mango peel based on its nutritional and functional properties. *Food Reviews International*, 32(4), 364-376. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1094815>
- Sommano, S. R., Ounamornmas, P., Nisoa, M., Sriwattana, S., Page, P., & Colelli, G. (2018). Characterisation and physicochemical properties of mango peel pectin extracted by conventional and phase control microwave-assisted extractions. *International Food Research Journal*, 25(6), 2657-2665.
- Tejada-Ortigoza, V., Garcia-Amezquita, L. E., Serna-Saldívar, S. O., & Welti-Chanes, J. (2016). Advances in the functional characterization and extraction processes of dietary fiber. *Food Engineering Reviews*, 8(3), 251-271.
- Umbreen, H., Arshad, M. U., Saeed, F., Bhatti, N., & Hussain, A. I. (2015). Probing the functional potential of agro-industrial wastes in dietary interventions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1665-1671. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12396>
- Wang, M., Huang, B., Fan, C., Zhao, K., Hu, H., Xu, X., Pan, S., & Liu, F. (2016). Characterization and functional properties of mango peel pectin extracted by ultrasound assisted citric acid. *International Journal of Biological Macromolecules*, 91, 794-803. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.06.011>
- Wei, W., Shao, Z., Zhang, Y., Qiao, R., & Gao, J. (2019). Fundamentals and applications of microwave energy in rock and concrete processing - A review. *Applied Thermal Engineering*, 157, 113751. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.113751>
- Xu, F., Zhang, S., Zhou, T., Waterhouse, G. I. N., Du, Y., Sun-Waterhouse, D., & Wu, P. (2022). Green approaches for dietary fibre-rich polysaccharide production from the cooking liquid of Adzuki beans: Enzymatic extraction combined with ultrasonic or high-pressure homogenisation. *Food Hydrocolloids*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107679>