

TRÍCH LY CHẤT XƠ TỪ PHỤ PHẨM CAM SÀNH (*Citrus sinensis*) BẰNG ACID CITRIC VỚI SỰ HỖ TRỢ VI SÓNG VÀ SIÊU ÂM

Nguyễn Cẩm Hương^{1,2}, Trần Chí Nhân¹, Trần Thanh Trúc^{1,*}

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

² Khoa Công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

*Email: tttruc@ctu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu này khảo sát thành phần hóa học của phụ phẩm cam sành (*Citrus sinensis*) và đánh giá hiệu quả thu nhận chế phẩm giàu SDF bằng phương pháp trích ly có hỗ trợ vi sóng (AMAE) và siêu âm (AUAE) trong dung dịch acid citric. Phụ phẩm cam sành chứa hàm lượng carbohydrate cao (89,06% cbk), trong đó chất xơ tổng số chiếm 75,22% với tỷ lệ SDF/IDF cân đối. Kết quả cho thấy, AMAE ở 40-60 W/g, 300-420 giây cho hiệu suất thu nhận 24,31-34,56% với thành phần chất xơ ở điều kiện tối ưu 50,30% SDF và 18,08% IDF, cùng các đặc tính hóa lý như độ hòa tan 73,30% WS và độ bền nhũ 79,78% ES tốt hơn AUAE ở 12-40 W/g, 5-15 phút (23,91-32,56% hiệu suất, 41,45% SDF và 20,44% IDF), kém hơn ở khả năng giữ nước (WHC), trương nở (WSC) và tạo nhũ (EC). Nhìn chung, AMAE là phương pháp hiệu quả hơn để thu nhận chế phẩm giàu SDF từ phụ phẩm cam sành, mở ra tiềm năng ứng dụng trong sản xuất thực phẩm giàu xơ hòa tan.

Từ khóa: Trích ly, vi sóng, siêu âm, chất xơ hòa tan, chất xơ không hòa tan, phụ phẩm cam sành.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cam quýt thuộc loài cây ăn quả quan trọng được trồng nhiều nhất thế giới với sản lượng hàng năm hơn 124 triệu tấn [1], trong đó cam chiếm 56%, quýt chiếm 17%, chanh chiếm 11% và bưởi chiếm 6% trong tổng sản lượng hàng năm của chi Cam chanh [2]. Vỏ và cùi cam quýt là sản phẩm phụ của các ngành công nghiệp chế biến nước ép và chiếm 55-60% khối lượng trái cây tươi và lượng chất thải hàng năm ước tính hơn 15 triệu tấn trên toàn cầu [3]. Tuy nhiên, vỏ cam là một nguồn giàu các hợp chất hoạt tính sinh học, bao gồm các chất chống oxy hóa tự nhiên như: Phenolic, flavonoid, tinh dầu và chất xơ [2, 4].

Chất xơ thực phẩm được phân loại thành các phân hòa tan (SDF) và không hòa tan (IDF) [5], mỗi phần mang lại những lợi ích sức khỏe riêng biệt như cải thiện sức khỏe tiêu hóa, giảm cholesterol và kiểm soát đường huyết. Ngoài những lợi ích sức khỏe này, chất xơ thực phẩm còn có các đặc tính chức năng như giữ nước, giữ dầu và tạo gel, khiến nó trở thành một chất phụ gia thực phẩm công nghiệp có giá trị để cải thiện hàm lượng dinh dưỡng và kết cấu [6, 7].

Phương pháp chiết xuất hóa học, chẳng hạn như xử lý bằng acid hoặc bazơ tương đối đơn giản và tiết kiệm chi phí. Chúng có thể được áp dụng cho nhiều loại nguyên liệu thô, có hiệu suất chiết xuất cao và làm thay đổi cấu trúc cũng như tính chất của chất xơ [6, 8]. Hạn chế của phương pháp hóa học là sự chuyển đổi SDF thấp và được xem là nhóm độc hại khi thực hiện ở điều kiện khắc nghiệt [9]. Quá trình thực hiện có thể dẫn đến sự phân hủy các polysaccharide có các nhóm chức như nhóm hydroxyl và carboxyl ảnh hưởng đến thành phần cấu trúc và đặc tính chức năng của chất xơ thu được [10, 11].

Phương pháp xử lý bằng vi sóng (MAE) và siêu âm (UAE) là các kỹ thuật hỗ trợ trích ly đã được ứng dụng rộng rãi nhằm tăng cường truyền khối, rút ngắn thời gian xử lý và điều chỉnh đặc tính của chất xơ thu được như trích ly từ bã táo [12], vỏ cà phê [13], vỏ xoài [14]. Năng lượng vi sóng có thể xuyên trực tiếp qua vật liệu thành tế bào để đến trung tâm mẫu, giúp mẫu được làm nóng nhanh, do đó tiết kiệm thời gian và năng lượng hơn [15, 16]. Ngoài ra, vi sóng có thể làm tăng áp suất nội bào trong mô, phá vỡ thành tế bào và giải phóng các hoạt chất [17]. Bên cạnh

đó, xử lý bằng sóng siêu âm tạo ra hiện tượng vỡ bong bóng khí làm tăng sự khuếch tán dung môi, giảm trở lực truyền khối và làm suy yếu cấu trúc mô thực vật, ảnh hưởng đến hình thái của polymer carbohydrate [18], dẫn đến sự hòa tan tốt hơn của các thành phần trong nguyên liệu. Mặc dù, việc kết hợp xử lý acid với vi sóng/siêu âm để thu pectin hoặc polysaccharide từ nhiều nguồn phụ phẩm quả có múi đã được thực hiện, nhưng các nghiên cứu so sánh trực tiếp hiệu quả của acid citric kết hợp MAE và UAE để hỗ trợ trích ly chế phẩm giàu SDF từ phụ phẩm cam sành vẫn còn hạn chế. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá và so sánh hai kỹ thuật hỗ trợ trong cùng điều kiện acid citric và nguyên liệu đầu vào.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu nghiên cứu

2.1.1. Nguyên liệu

Phụ phẩm cam sành được thu nhận trực tiếp từ Công ty TNHH MTV VinaGreenCo (phường Cái Vồn, tỉnh Vĩnh Long). Phụ phẩm được thu nhận sau mỗi ca sản xuất (4-6 giờ), đóng gói trong bao nhựa PA (10 kg), vận chuyển về phòng thí nghiệm trong vòng 2 giờ trong điều kiện nhiệt độ môi trường.

2.1.2. Dụng cụ và hóa chất

Hóa chất: Bộ kit phân tích chất xơ (Megazyme, Ireland), acid 2-(N-morpholino) ethanesulfonic (Merck, Đức), tris (hydroxymethyl) aminomethane (Merck, Đức), acid clohydric (Merck, Đức), acid citric khan (Trung Quốc), acetone (VietChem, Việt Nam), ethanol (Việt Nam).

Thiết bị: Lò vi sóng (J-Tech Inverter R-C932XVN-BST, Sharp, Việt Nam), bể siêu âm (UCP-10, Jeio Tech, Hàn Quốc), máy ly tâm (Z206A Hermle, Đức), máy đồng hóa ULTRA-TURRAX® T (IKA, Đức) và một số thiết bị, dụng cụ thủy tinh thông thường trong phòng thí nghiệm.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Chuẩn bị mẫu

Phụ phẩm cam sành sau khi thu nhận, vỏ xanh được loại bỏ. Phần vỏ trắng, cùi và bao tép còn lại được rửa sạch bằng nước chảy tràn để loại bỏ phần thịt quả còn sót lại, để ráo. Sau đó, các thành phần này được thái nhỏ và xử lý bằng cách ngâm trong ethanol 96% với tỷ lệ 1:3 (w/v) trong

30 phút ở 60°C bằng hệ thống chưng hoàn lưu với ống sinh hàn ruột gà 40 cm và nhiệt kế, tương ứng vào 2 cổ của bình cầu. Sau khi xử lý bằng ethanol, mẫu được rửa lại bằng ethanol 70% (v/v) và sấy khô ở 60°C đến khi đạt khối lượng không đổi (độ ẩm khoảng 4%). Nguyên liệu khô được nghiền bằng máy xay SK200 (SEKA, Tokyo, Nhật Bản) và bột thu nhận được sàng qua lưới lọc 80 mesh để đảm bảo kích thước hạt đồng đều [19]. Bột cam sành được bảo quản hút chân không trong túi PA ở nhiệt độ phòng (30°C) để sử dụng cho các phân tích tiếp theo trong 4 tuần.

2.2.2. Phương pháp bố trí thí nghiệm

- Trích ly acid kết hợp vi sóng:

Bột phụ phẩm cam sành (10 g) được trộn với 400 mL dung dịch acid citric 4%. Hỗn hợp thực hiện ở lò vi sóng (J-Tech Inverter R-C932XVN-BST, Sharp, Việt Nam) trong bình cầu 1.000 mL, chiết hoàn lưu với hệ thống sinh hàn lò xo 50 cm. Chế độ 1 phút dừng 3 giây để tránh sôi trào, không khuấy ở các công suất (40, 50, 60 W/g) và thời gian (300, 360, 420 giây) khác nhau. Sau chiết xuất, hỗn hợp được làm nguội về nhiệt độ phòng và ly tâm bằng máy ly tâm có rotor góc 6x50 (Z206A Hermle, Đức) với lực 3.070 x g trong 10 phút, thu phần nổi. Tiếp theo, dịch trích ly được kết tủa với ethanol 96% (v/v, tỷ lệ dịch trích và ethanol là 1:2) và để yên trong 2 giờ. Kết tủa được lọc và sấy khô ở 60°C đến khối lượng không đổi (độ ẩm khoảng 4%). Chế phẩm giàu SDF thu nhận được nghiền và rây qua lưới lọc 80 mesh, được gọi là AMAE. Bột thu được bảo quản trong túi PA ở nhiệt độ phòng (30°C) để sử dụng cho các phân tích tiếp theo.

- Trích ly acid kết hợp siêu âm:

Các bước thực hiện với acid citric tương tự acid kết hợp vi sóng. Quá trình trích ly hỗ trợ siêu âm thực hiện trong cốc thủy tinh 1.000 mL bịt kín bằng giấy nhôm và được thực hiện bằng bể siêu âm (UCP-10, Jeio Tech, Hàn Quốc) ở các công suất (12, 24, 40 W/g) và thời gian (5, 10, 15 phút) khác nhau. Quy trình thu nhận chế phẩm giàu SDF được thực hiện như acid kết hợp vi sóng và được gọi là AUAE.

2.3. Phương pháp phân tích các chỉ tiêu hóa lý

Hiệu suất thu nhận (Y, %) được tính theo phương trình:

$$Y (\%) = (M_1/M_0) \times 100$$

Trong đó: M_1 là khối lượng của chế phẩm xơ giàu SDF sau sấy (g); M_0 là khối lượng bột cam dùng để trích ly (g).

Khả năng giữ nước được xác định theo phương pháp được mô tả bởi Dong và cs (2019) [7], với một số sửa đổi nhỏ. Chế phẩm giàu SDF khô (W, 0,5 g) được trộn với 20 mL nước cất trong ống ly tâm 50 mL. Sau khi cân bằng ở nhiệt độ phòng trong 24 giờ, mẫu được ly tâm bằng máy ly tâm có rotor góc 6x50 (Z206A Hermle, Đức) với lực 3.070 x g trong 10 phút ở nhiệt độ phòng. Phần dịch nổi được loại bỏ và khối lượng của phần cặn ngâm nước (W_1) được ghi nhận. WHC (g/g) được tính bằng phương trình:

$$WHC (g/g) = (W_1 - W)/W$$

Khả năng giữ dầu được xác định theo phương pháp được mô tả bởi Sangnark và Noomhorm (2003) [20] với một số sửa đổi nhỏ. Chế phẩm giàu SDF khô (W, 0,5 g) được trộn với dầu đậu nành (5 mL) trong ống ly tâm 15 mL. Sau khi cân bằng ở 4°C trong 4 giờ, mẫu được ly tâm bằng máy ly tâm có rotor góc 12x15 (Z206A Hermle, Đức) với lực 3.070 x g trong 20 phút ở nhiệt độ phòng. Phần dầu không liên kết được loại bỏ và khối lượng của phần cặn dầu còn lại (W_1) được ghi nhận. OHC (g/g) được tính bằng phương trình:

$$OHC (g/g) = (W_1 - W)/W$$

Khả năng hòa tan được xác định theo phương pháp được mô tả bởi Wang và cs (2015) [11], với một số sửa đổi nhỏ. Một gam mẫu khô (W) được trộn với nước cất (5 mL) trong ống ly tâm 15 mL. Hỗn hợp được đun nóng ở 90°C trong 30 phút trong bể ổn nhiệt WNB10 (Mettler, Đức), khuấy đều mỗi 5 phút trong 30 giây và ly tâm bằng máy ly tâm có rotor góc 12 x 15 (Z206A Hermle, Đức) với lực 3.070 x g trong 10 phút ở nhiệt độ phòng. Phần dịch nổi được thu nhận, sấy khô ở 105°C đến khối lượng không đổi và cân (W_1). WS (%) được tính bằng phương trình:

$$WS (\%) = W_1/W$$

Khả năng nhũ hóa được đánh giá theo phương pháp của Nandi và Ghosh (2015) [21], với một số sửa đổi nhỏ. Cụ thể, 0,5 g chế phẩm giàu SDF khô được phân tán trong 50 mL nước cất ở cốc thủy tinh 100 mL và đồng hóa bằng

máy đồng hóa ULTRA-TURRAX® T (IKA, Đức) ở 10.000 vòng/phút trong 1 phút. Sau đó, thêm 50 mL dầu đậu nành và hỗn hợp được đồng hóa lại ở cùng tốc độ và thời gian. Nhũ tương thu được chuyển vào hai ống ly tâm 50 mL và ly tâm bằng máy ly tâm có rotor góc 6x50 (Z206A Hermle, Đức) với lực 3.070 x g trong 5 phút ở nhiệt độ phòng. Sau ly tâm, tổng thể tích của hệ thống (V_t) và thể tích của lớp nhũ tương (EL_{vi}) được ghi lại. EC (%) sau đó được tính toán theo phương trình:

$$EC (\%) = (EL_{vi} / V_t) \times 100$$

Để xác định độ ổn định của nhũ tương (ES), nhũ tương mới tạo ra (từ việc xác định EC) được đun nóng ở 80°C trong 30 phút, sau đó để nguội đến nhiệt độ phòng (30°C) và ly tâm bằng máy ly tâm có rotor góc 6x50 (Z206A Hermle, Đức) với lực 3.070 x g trong 5 phút. Thể tích của lớp nhũ tương còn lại sau khi đun nóng (EL_{vf}) được ghi nhận. ES được tính toán dưới dạng phần trăm thể tích nhũ tương ban đầu (EL_{vi}) theo phương trình:

$$ES (\%) = (EL_{vf} / EL_{vi}) \times 100$$

Thành phần chất xơ được thực hiện theo AOAC 991.43 [22]: Cân 2 mẫu, mỗi mẫu khô chính xác $1,0000 \pm 0,0005$ g vào cốc 500 mL, thêm 40 mL đệm MES/TRIS (pH 8,2), dùng thanh khuấy từ và khuấy trên máy cho đến khi mẫu phân tán đều trong dung dịch. Lần lượt thêm các loại enzyme khác nhau từ bộ kit phân tích chất xơ: 50 μ L α -amylase ở 98-100°C trong 30 phút trong bể ổn nhiệt WNB10 (Mettler, Đức). Lấy ra khỏi bể làm nguội 60°C, dùng thìa cạo gel xung quanh và tráng thành cốc với thìa bằng 10 mL nước cất bằng pipet và thêm 100 μ L protease ở 60°C, 30 phút. Sau đó, thêm 5 mL dung dịch HCl 0,561 N để đạt pH 4,1-4,6, thêm 200 μ L amyloglucosidase ở 60°C, 30 phút. Song song, chạy 2 mẫu trắng cùng với mẫu để xác định ảnh hưởng của hóa chất. Sau đó, lọc và rửa cặn 2 lần với 10 mL nước cất 70°C, giữ lại dịch lọc và nước rửa để xác định SDF. Rửa phần cặn 2 lần với 15 mL lần lượt ethanol 78%, ethanol 96% và acetone, sấy khô cặn qua đêm ở 105°C thu được xơ không tan (IDF). Dịch lọc với nước rửa thu nhận được cân và dự đoán thể tích, cho kết tủa với ethanol 96% (tỷ lệ dịch/ethanol là 1:4) ở nhiệt độ phòng trong 1 giờ và rửa cặn tương tự như IDF, sấy khô cặn qua đêm ở 105°C thu được xơ

tan (SDF). Đối với mẫu xác định chất xơ tổng số (TDF), được thực hiện tương tự khi cho enzyme bộ kit. Tiếp theo, thêm 4 lần thể tích ethanol 96% (~ 225 mL) 60°C để kết tủa và thực hiện lọc rửa tủa như trên. Một phần cặn của mỗi loại xơ được phân tích hàm lượng protein và phần còn lại được phân tích hàm lượng tro. TDF, IDF và SDF được hiệu chỉnh bằng protein, tro và mẫu trắng:

$$\text{Chất xơ, (\%)} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} - P - A - B}{\frac{M_1 + M_2}{2}} \times 100$$

Trong đó: R_1 là khối lượng cặn 1 có trong M_1 ; R_2 là khối lượng cặn 2 có trong M_2 ; M_1 là khối lượng mẫu 1; M_2 là khối lượng mẫu 2; A là khối lượng tro có trong R_2 ; P là khối lượng protein có trong R_1 và B .

$$B \text{ (mg)} = \text{Mẫu trắng} = \frac{BR_1 + BR_2}{2} - P_B - A_B \times 100$$

Trong đó: BR là khối lượng cặn của mẫu trắng; A_B là khối lượng tro của BR_2 ; P_B là khối lượng protein của BR_1 .

2.4. Xử lý số liệu

Thí nghiệm được bố trí với 3 lần lặp lại. Các kết quả được thể hiện dưới dạng trung bình của 3 lần lặp lại $\pm$ độ lệch chuẩn. Kết quả được thống kê, phân tích phương sai, kiểm định LSD ở mức ý nghĩa 5% bằng chương trình Statgraphics Centurion 16.1.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thành phần hóa học của bột phụ phẩm cam sành

Thành phần hóa học cơ bản của bột phụ phẩm cam sành, bao gồm: Độ ẩm, protein, lipid, khoáng và carbohydrate được trình bày ở bảng 1. Kết quả này tương đồng với một số nghiên cứu trước đây, cho thấy bột vỏ cam gồm ẩm 2,86-14,2%, đạm 3,3-8,5%, chất béo 0,89-5,35%, khoáng 0,09-4,78% và 70,60-86,35% carbohydrate [23-25]. Nghiên cứu của Dong và cs (2020) kết luận, so với IDF, SDF có phạm vi và tính chất chức năng rộng hơn, với hàm lượng SDF không dưới 10% có đặc tính chế biến, hoạt tính sinh lý và chức năng liên quan đến sức khỏe tốt hơn [7]. Thành phần xơ tổng (TDF) chiếm hơn 3/4 tổng khối lượng chất khô, trong đó SDF chiếm 28,58 $\pm$ 1,77%, IDF chiếm 46,64 $\pm$ 0,46%. TDF tương đồng với các giống cam khác (65,40-87,00%), nhưng SDF cao hơn (6,25-22,11) và

IDF thấp hơn (50,92-78,15%) [24, 26]. Do đó, bột phụ phẩm cam sành được xem là một nguồn giàu xơ với tỷ lệ chất xơ (SDF/IDF) cân bằng [14].

Bảng 1. Thành phần hóa học của bột phụ phẩm cam sành

Thành phần (% cbk)	Giá trị
Độ ẩm	3,91 $\pm$ 0,20
Protein	3,56 $\pm$ 0,02
Lipid	1,02 $\pm$ 0,03
Tro	2,45 $\pm$ 0,00
Carbohydrate	89,06 $\pm$ 0,18
TDF	75,22 $\pm$ 1,32
SDF	28,58 $\pm$ 1,77
IDF	46,64 $\pm$ 0,46

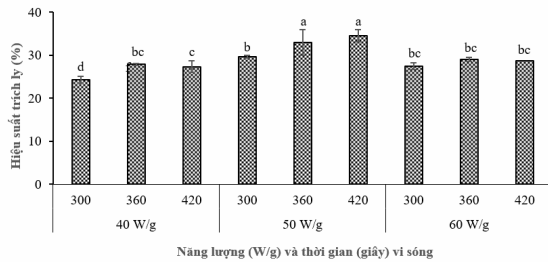
Ghi chú: Dữ liệu được thể hiện dưới dạng giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn của ba thí nghiệm độc lập. TDF: Chất xơ tổng số; IDF: Chất xơ không hòa tan; SDF: Chất xơ hòa tan.

3.2. Ảnh hưởng của công suất và thời gian hỗ trợ vi sóng đến hiệu quả thu nhận chế phẩm giàu SDF

3.2.1. Ảnh hưởng của công suất và thời gian hỗ trợ vi sóng

Năng lượng và thời gian vi sóng đều ảnh hưởng đến hiệu suất thu nhận. Trong cùng mức thời gian, hiệu suất có xu hướng tăng khi năng lượng tăng 40-50 W/g, giảm ở 60 W/g và có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Cụ thể, ở 300 giây, dao động 24,31-29,66% khi công suất 40-50 W/g, sau đó giảm còn 27,51% ở 60 W/g, tương tự ở các mốc thời gian 360 và 420 giây. Đồng thời, cùng mức năng lượng xu hướng biến đổi tương tự thời gian, tăng khi thời gian tăng 300-360 giây và giảm ở 420 giây (ngoại trừ ở 50 W/g) và không ghi nhận sự khác biệt ở 360-420 giây ($p > 0,05$). Chiều xạ vi sóng tạo gia nhiệt nhanh từ bên trong, làm tăng áp suất nội bào, phá vỡ thành tế bào và thúc đẩy sự giải phóng pectin vào dung môi [27]. Tuy nhiên, công suất cao hoặc thời gian kéo dài có thể gây phân hủy chuỗi pectin, làm giảm hiệu suất và chất lượng SDF [28, 29]. Ở các điều kiện khảo sát, hiệu suất thu nhận đạt cao nhất 34,56% ở công suất 50 W/g, 420 giây và sự khác biệt có ý nghĩa thống kê so với các nghiệm thức khác ($p < 0,05$). Tuy nhiên,

không có sự khác biệt hiệu suất tại 50 W/g ở 360 và 420 giây nên kết quả được chọn thủy phân là 50 W/g, 360 giây vì tiết kiệm được thời gian và nhiệt lượng.



Hình 1. Ảnh hưởng của thời gian và năng lượng vi sóng đến hiệu suất (%) thu nhận chế phẩm giàu SDF

3.2.2. Ảnh hưởng của công suất và thời gian hỗ trợ vi sóng đến tính chất hóa lý của chế phẩm giàu SDF

Khả năng giữ nước (WHC), giữ dầu (OHC) và độ tan (WS) đều ảnh hưởng trực tiếp đến cảm giác ngon miệng và đặc tính lưu biến của thực

phẩm giàu xơ [7]. WHC, OHC và WS có xu hướng tăng khi công suất tăng 40-60 W/g trong khoảng thời gian 300-360 giây và giảm tại 420 giây (Bảng 2). Giá trị WHC, OHC và WS khác biệt có ý nghĩa thống kê ở mức công suất 50-60 W/g ($p < 0,05$), và đạt cực đại ở 50 W/g, 360 giây với 13,15-1,56 g/g; 1,33-0,01 g/g và 73,30-0,07% tương ứng WHC, OHC và WS. Không ghi nhận sự khác biệt ý nghĩa ở 40 W/g ($p > 0,05$), ngoại trừ OHC và WS ở 40 W/g, 300 giây. Dưới tác dụng của vi sóng, quá trình gia nhiệt nội tại diễn ra nhanh chóng, làm tăng khả năng hydrate hóa của pectin. Tuy nhiên, việc xử lý ở cường độ mạnh sẽ phá hủy cấu trúc lỗ xốp và làm giảm khả năng giữ nước [30]. Kết quả nghiên cứu cho thấy, khả năng giữ nước (WHC) của mẫu đạt giá trị khả quan hơn so với các phụ phẩm trước đây như cam Kinnow (9,12 g/g) [31] và vỏ bưởi (khoảng 4 g/g) [32], mặc dù khả năng giữ dầu (OHC) lại thấp hơn cả hai đối tượng này.

Bảng 2. Ảnh hưởng của thời gian và năng lượng vi sóng đến đặc tính hóa lý của chế phẩm giàu SDF

Năng lượng (W/g)	Thời gian (giây)	WHC (g/g)	OHC (g/g)	WS (%)	EC (%)	ES (%)
40	300	10,77±0,30 ^{bc}	1,14±0,05 ^d	57,92±0,42 ^f	72,17±0,14 ^e	68,36±1,47 ^e
	360	10,81±1,32 ^{bc}	1,26±0,01 ^{bc}	64,03±1,05 ^e	74,17±0,29 ^{ab}	76,97±0,10 ^b
	420	9,78±0,73 ^c	1,24±0,01 ^{bc}	63,81±0,61 ^e	71,42±1,26 ^e	69,32±1,64 ^e
50	300	11,44±0,28 ^b	1,24±0,07 ^{bc}	71,66±0,22 ^b	73,83±0,38 ^{bcd}	74,57±0,46 ^c
	360	13,15±1,56 ^a	1,33±0,01 ^a	73,30±0,07 ^a	75,00±0,25 ^a	79,78±0,63 ^a
	420	10,93±0,53 ^{bc}	1,28±0,00 ^{ab}	70,19±0,47 ^c	74,08±0,29 ^{bc}	74,44±0,32 ^c
60	300	9,84±0,34 ^c	1,21±0,01 ^c	68,75±1,12 ^d	73,25±0,25 ^{cd}	65,41±0,75 ^f
	360	11,45±0,91 ^b	1,25±0,02 ^{bc}	70,88±0,66 ^{bc}	73,42±0,52 ^{bcd}	77,87±0,87 ^b
	420	10,29±0,88 ^{bc}	1,12±0,01 ^d	64,46±0,97 ^e	73,17±0,14 ^d	71,22±0,46 ^d

Ghi chú: Dữ liệu được thể hiện dưới dạng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn của 3 thí nghiệm độc lập. Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các thí nghiệm thức, $p < 0,05$.

Khả năng tạo nhũ (EC) của một chất biểu thị khả năng hỗ trợ quá trình hòa tan hoặc kết hợp hai chất lỏng không hòa tan với nhau, trong khi độ bền nhũ tương (ES) là khả năng duy trì nhũ tương và khả năng chống vỡ dưới các điều kiện nhiệt tác động [33]. Biến thiên của EC và ES tương tự như các đặc tính trên, EC của chế phẩm

giàu SDF của bột cam sành thu được trong nghiên cứu này dao động từ 71,42-75,00% và ES từ 65,41-79,78% (Bảng 2). Đồng thời, nghiệm thức EC và ES lớn nhất ở 50 W/g, 360 giây lần lượt là 75,00±0,25 và 79,78±0,63, cao hơn một số nguyên liệu khác [7, 34]. Chất xơ có hoạt động nhũ hóa hiệu quả nhờ vào khả năng hấp thụ liên

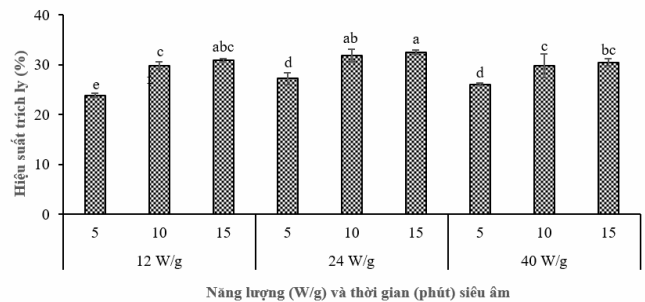
bề mặt và tạo ra các màng dày làm giảm sức căng bề mặt, ngăn sự phân tách giữa 2 pha dầu nước. Khả năng tạo nhũ của chất xơ được cho là phụ thuộc vào hàm lượng SDF, khả năng giữ dầu và giữ nước [7].

3.3. Ảnh hưởng của hỗ trợ siêu âm đến hiệu quả thu nhận chế phẩm giàu SDF

3.3.1. Ảnh hưởng của công suất và thời gian hỗ trợ siêu âm

Tác dụng của siêu âm lên quá trình chiết xuất chất xơ được nghiên cứu và dữ liệu thực nghiệm thu được trình bày ở hình 2. Hiệu suất thấp nhất ở thời gian 5 phút, công suất 12 W/g ($23,91 \pm 0,39\%$) và cao nhất ở 24 W/g, 15 phút ($32,56 \pm 0,42\%$), có sự khác biệt ý nghĩa thống kê giữa các thời gian trong cùng mức năng lượng ($p < 0,05$). Mặt khác, trong cùng mức năng lượng, hiệu suất chiết tăng theo thời gian nhưng ở thời gian cố định quá trình chiết giảm ở công suất 40 W/g. Chẳng hạn, cùng mức năng lượng 12 W/g theo thời gian 5-15 phút, hiệu suất biến thiên từ 23,91-30,96%; nhưng ở thời gian 5 phút, hiệu suất tăng từ 23,91-27,25% khi công suất tăng từ 12-24 W/g và giảm xuống 26,07% ở 40 W/g. Sóng siêu âm thúc đẩy truyền khối thông qua hiện tượng cavitation, khuấy trộn cơ học và làm

trương nở vật liệu, từ đó mở rộng lỗ rỗng thành tế bào và hỗ trợ giải phóng pectin [18, 35, 36]. Mặc dù công suất siêu âm cao thúc đẩy quá trình chiết xuất nhờ gia tăng mật độ bong bóng xâm thực, nhưng ứng suất cắt và hiệu ứng nhiệt sinh ra từ sự vỡ các bong bóng này có thể ảnh hưởng đến cấu trúc chất xơ. Kết quả nghiên cứu tương đồng với công bố của Li và cs (2014), khi tiến hành trích ly bã táo bằng acid citric, khi công suất vượt quá 40 W/g được xác định là không phù hợp do hiệu suất giảm đáng kể [12]. Các kết luận tương tự cũng được báo cáo bởi các nghiên cứu trước đây [14, 37].



Hình 2. Ảnh hưởng của thời gian và năng lượng siêu âm đến hiệu suất (%) thu nhận chất xơ

3.3.2. Ảnh hưởng của công suất và thời gian hỗ trợ siêu âm đến tính chất hóa lý của chế phẩm giàu SDF

Bảng 3. Ảnh hưởng của thời gian và năng lượng siêu âm đến đặc tính hóa lý của chế phẩm giàu SDF

Năng lượng (W/g)	Thời gian (phút)	WHC (g/g)	OHC (g/g)	WS (%)	EC (%)	ES (%)
12	5	10,77±0,95 ^c	1,20±0,04 ^g	43,98±0,77 ^e	70,17±0,29 ^f	64,49±0,18 ^{cd}
	10	12,08±0,83 ^c	1,48±0,01 ^c	50,60±0,95 ^c	75,75±0,25 ^d	65,68±0,77 ^c
	15	10,55±0,09 ^c	1,37±0,01 ^{ef}	49,57±0,18 ^{cd}	73,33±0,29 ^e	61,93±0,72 ^{ef}
24	5	14,76±1,68 ^{ab}	1,55±0,02 ^b	52,04±0,91 ^b	80,67±1,15 ^b	69,23±1,83 ^b
	10	15,88±0,21 ^a	1,62±0,03 ^a	53,61±0,41 ^a	82,83±0,29 ^a	71,77±0,31 ^a
	15	15,38±0,31 ^{ab}	1,39±0,04 ^e	52,89±0,20 ^{ab}	78,25±0,25 ^c	64,97±1,18 ^{cd}
40	5	11,88±0,86 ^c	1,44±0,01 ^{cd}	48,52±0,77 ^d	78,33±0,29 ^c	64,57±1,19 ^{cd}
	10	15,13±0,87 ^{ab}	1,43±0,01 ^d	52,92±0,52 ^{ab}	80,33±0,58 ^b	61,41±1,28 ^f
	15	14,28±1,25 ^b	1,34±0,01 ^f	49,70±0,17 ^c	74,08±0,14 ^e	63,55±0,28 ^{de}

Ghi chú: Dữ liệu được thể hiện dưới dạng giá trị trung bình ± độ lệch chuẩn của 3 thí nghiệm độc lập. Các chữ cái khác nhau trong cùng một cột biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức, $p < 0,05$.

Bảng 3 cho thấy, sự biến thiên của WHC và OHC tương tự như vi sóng, nghĩa là giá trị tăng khi công suất và thời gian tăng từ 12-24 W/g, 5-10 phút và giảm ở điều kiện cực đại (40 W/g hoặc 15 phút). Cụ thể, ở công suất 24 W/g, tăng theo thời gian 5-10 phút từ 14,76-15,88 và 1,55-1,62 g/g tương ứng cho WHC và OHC và cùng đạt cực đại ở 10 phút; sau đó giảm đều ở 15 phút với 15,38 và 1,39 g/g tương ứng WHC và OHC. Bên cạnh đó, AUAE hiệu quả hơn AMAE về WHC, OHC (ở mức năng lượng đạt giá trị trung bình cao nhất của vi sóng là $11,84 \pm 0,79$ và $1,28 \pm 0,03$ g/g, trong khi đó đối với siêu âm là $15,34 \pm 0,66$ và $1,52 \pm 0,03$ g/g tương ứng WHC và OHC). Các nhóm ưa nước và cấu trúc mạng lưới của chất xơ tạo nền cho WHC của xơ, trong khi OHC thường liên quan đến các tính chất bề mặt, mật độ điện tích tổng thể và thành phần polysaccharide của xơ. Chất xơ có OHC cao giúp cải thiện các đặc tính cảm quan của thực phẩm cũng như độ ổn định và thời hạn sử dụng của thực phẩm giàu chất béo [38]. Sóng siêu âm tạo ra hiệu ứng vỡ các bong bóng trong dung dịch làm ứng suất cắt tăng lên, dẫn đến sự phá hủy chuỗi pectin thành các thành phần nhỏ hơn tạo ra các lỗ nhỏ hoặc khoang trong vật liệu và làm tăng số lượng vị trí liên kết nước, do đó làm tăng tính ưa nước [18, 39]. Hơn nữa, kích thước hạt nhỏ hơn và cấu trúc xốp của SDF làm tăng diện tích tiếp xúc với dầu nên OHC tăng. Tuy nhiên, khi công suất và thời gian quá cao có thể gây phân cắt quá mức chuỗi polysaccharide, làm suy giảm cấu trúc mạng xơ và ảnh hưởng bất lợi đến tính chất [28, 40]. Giá trị WHC, OHC của nghiên cứu cao hơn so với báo cáo về vỏ cam ($3,10 \pm 0,12$ và $1,32 \pm 0,21$ g/g cho WHC, OHC tương ứng) [41].

Mặt khác, WS, EC và ES có xu hướng tương tự WHC, OHC (ngoại trừ ES ở 40 W/g). WS dao động 43,98-53,61%, EC 70,17-82,83%, ES 61,41-71,77% và cùng đạt giá trị lớn nhất ở 24 W/g, 10 phút và cực tiểu tại 12 W/g, 5 phút (ngoại trừ ES ở 40 W/g, 10 phút), sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức ($p < 0,05$). Ở mức năng lượng phù hợp, hiệu ứng cavitation làm giảm kích thước hạt, tăng diện tích bề mặt và vị trí liên kết nước/dầu, do đó WS, EC và ES tăng. Tuy nhiên, khi năng lượng quá cao, sự phân cắt quá mức các chuỗi polysaccharide có thể xảy ra làm suy giảm cấu trúc, ảnh hưởng đến các tính chất chức năng [28]. Dễ thấy rằng, các đặc tính hóa lý của chế phẩm giàu SDF thu được dưới sự hỗ trợ siêu âm đạt tốt ở 24 W/g, 10 phút và hiệu suất thu được không có sự khác biệt với thời gian 15 phút, nên điều kiện này sẽ được chọn cho siêu âm.

3.4. Đánh giá thành phần chất xơ thu nhận bằng phương pháp trích ly acid citric có hỗ trợ vi sóng và siêu âm

Hiệu quả của quá trình trích ly chất xơ thường được đánh giá thông qua hàm lượng chất xơ hoà tan (SDF) trong dịch trích, hàm lượng SDF càng cao chứng tỏ quá trình trích ly càng hiệu quả [42, 43]. Ngoài ra, thủy phân bằng acid chỉ làm đứt gãy một phần liên kết chuỗi polysaccharide và sự phá vỡ cấu trúc mạng tế bào có thể tạo ra dạng gel hoặc chất xơ không tan siêu nhỏ [7], đó là nguyên nhân IDF còn lại trong dịch trích. Chế phẩm giàu SDF thu nhận từ phụ phẩm cam sành thủy phân bằng dung dịch acid citric 4% có hỗ trợ vi sóng/siêu âm ở điều kiện tối ưu được chọn sử dụng để xác định thành phần xơ, kết quả thể hiện ở bảng 4.

Bảng 4. Thành phần chế phẩm giàu SDF trích ly từ phụ phẩm cam sành

Thành phần chất xơ (%)	Phương pháp	
	AMAE	AUAE
TDF	$68,37 \pm 0,60^a$	$61,90 \pm 0,91^b$
SDF	$50,30 \pm 0,36^a$	$41,45 \pm 0,63^b$
IDF	$18,08 \pm 0,34^b$	$20,44 \pm 0,29^a$

Ghi chú: Dữ liệu được thể hiện dưới dạng giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn của 3 thí nghiệm độc lập. Các chữ cái khác nhau trong cùng một hàng biểu thị sự khác biệt có ý nghĩa thống kê giữa các nghiệm thức, $p < 0,05$.

Chất xơ tổng (TDF) đạt $68,37\pm 0,60$ và $61,90\pm 0,91\%$, trong đó $50,30\pm 0,36\%$ SDF và $18,08\pm 0,34\%$ IDF; $41,45\pm 0,63\%$ SDF và $20,44\pm 0,29\%$ IDF, tương ứng với trích ly bằng acid citric có sự hỗ trợ vi sóng và siêu âm và có sự khác biệt có ý nghĩa thống kê ($p<0,05$) giữa hai phương pháp. Mặt khác, chế phẩm giàu SDF khai thác với sự hỗ trợ vi sóng và siêu âm giàu chất xơ thể hiện qua tỷ lệ SDF/IDF được khuyến nghị tốt cho hệ vi sinh vật đường ruột [44]. Kết quả nghiên cứu cao hơn và hoàn toàn tương đồng về hiệu quả của vi sóng/siêu âm hỗ trợ trích ly xơ hòa tan từ bã táo (18,7 và 14,9% tương ứng với MAE và UAE) [12], cùi trắng bưởi (27,81 và 17,92% tương ứng MAE và UAE) [18].

4. KẾT LUẬN

Bột phụ phẩm cam sành là một nguồn cung cấp chất xơ tự nhiên với hàm lượng carbohydrate cao và tỷ lệ SDF/IDF cân bằng, cho thấy tiềm năng cho việc trích ly chất xơ. AMAE ở 50 W/g trong 360 giây cho hiệu quả trích ly chất xơ tốt hơn về cả hiệu suất ($33,01\pm 0,01\%$), thành phần ($68,37\pm 0,60\%$ TDF, $50,30\pm 0,36\%$ SDF và $18,08\pm 0,34\%$ IDF) và năng lượng sử dụng so với UMAE ở 24 W/g trong 10 phút. Mặc dù AUAE cho thấy ưu thế ở một số chỉ tiêu hóa lý như khả năng giữ nước, giữ dầu và nhũ hóa, nhưng sự chênh lệch không lớn. Do đó, AMAE là phương pháp phù hợp về mặt công nghệ và kinh tế để thu nhận chế phẩm giàu SDF từ phụ phẩm cam sành, góp phần nâng cao giá trị sử dụng của nguồn phụ phẩm này trong sản xuất thực phẩm và phù hợp với xu hướng kinh tế tuần hoàn và phát triển bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. N. Liu *et al.* (2021). A review of chemical constituents and health-promoting effects of citrus peels. *Food Chem.*, 365, 92, 130585. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.130585.

[2]. M. Makni, R. Jemai, W. Kriaa, Y. Chtourou and H. Fetoui (2018). Citrus limon from Tunisia: Phytochemical and physicochemical properties and biological activities. *Biomed Res. Int.*, 2018(1), 6251546. DOI: 10.1155/2018/6251546.

[3]. N. Mahato, K. Sharma, M. Sinha and M. H. & Cho (2018). Citrus waste derived nutra/pharmaceuticals for health benefits: Current

trends and future perspectives. *J. Funct. Foods.*, 40, 307-316. DOI: 10.1016/j.jff.2017.11.015.

[4]. Phan Thị Thanh Quế, Dương Kim Thanh, Lê Duy Nghĩa, Nguyễn Lâm Thảo Vy, Kha Chân Tuyền, Nguyễn Văn Ấy và Dương Thị Phụng Liên (2021). Ảnh hưởng của quá trình tiền xử lý đến chất lượng cam sành (*Citrus sinensis*) sấy dẻo. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ*. Chuyên đề Công nghệ thực phẩm, 57, 151-160. DOI: 10.22144/ctu.jsi.2021.017.

[5]. D. Dhingra, M. Michael, H. Rajput and R. T. Patil (2012). Dietary fibre in foods: A review. *J. Food. Sci. Technol.*, 49(3), 255-266. DOI: 10.1007/s13197-011-0365-5.

[6]. V. Tejada-Ortigoza, L. E. Garcia-Amezquita, S. O. Serna-Saldívar and J. Welti-Chanes (2016). Advances in the functional characterization and extraction processes of dietary fiber. *Food Eng. Rev.*, 8(3), 251-271. DOI: 10.1007/s12393-015-9134-y.

[7]. W. Dong, D. Wang, R. Hu, Y. Long and L. Lv. (2020). Chemical composition, structural and functional properties of soluble dietary fiber obtained from coffee peel using different extraction methods. *Food Res. Int.*, 136, 109497. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.109497.

[8]. J. Qi, W. Yokoyama, K. G. Masamba, H. Majeed, F. Zhong and Y. Li (2015). Structural and physico-chemical properties of insoluble rice bran fiber: Effect of acid-base induced modifications. *RSC Adv.*, 5(97), 79915-79923. DOI: 10.1039/C5RA15408A.

[9]. L. wen Song, J. ru Qi, J. song Liao and X. quan Yang (2021). Enzymatic and enzyme-physical modification of citrus fiber by xylanase and planetary ball milling treatment. *Food Hydrocoll.*, 121, 107015. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2021.107015.

[10]. S. Berktaş and M. Cam (2025). Effects of acid, alkaline and enzymatic extraction methods on functional, structural and antioxidant properties of dietary fiber fractions from quince (*Cydonia oblonga* Miller). *Food Chem.*, 464, 141596. DOI: 10.1016/j.foodchem.2024.141596.

[11]. L. Wang, H. Xu, F. Yuan, R. Fan and Y. Gao (2015). Preparation and physicochemical properties of soluble dietary fiber from orange

peel assisted by steam explosion and dilute acid soaking. *Food Chem.*, 185, 90-98. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.03.112.

[12]. X. Li, X. He, Y. Lv and Q. He (2014). Extraction and functional properties of water-soluble dietary fiber from apple pomace. *J. Food Process Eng.*, 37 (3), 293-298. DOI: 10.1111/jfpe.12085.

[13]. L. Wen *et al.* (2020). Green extraction of soluble dietary fibre from coffee silverskin: Impact of ultrasound/microwave-assisted extraction. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 55(5), 2242-2250. DOI: 10.1111/ijfs.14477.

[14]. Trần Chí Nhân, Kiều Minh Vương, Lê Uyên Nhi, Lưu Thái Danh, Nguyễn Bảo Lộc và Nguyễn Nhật Minh Phương (2024). 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. *Tạp chí Khoa học, Đại học Cần Thơ*, 60(SDMS), 98-105. DOI: 10.22144/ctujos.2024.441.

[15]. M. A. Jamaluddin *et al.* (2013). Microwave-assisted pyrolysis of palm kernel shell: Optimization using response surface methodology (RSM). *Renew. Energy*, 55, 357-365. DOI: 10.1016/j.renene.2012.12.042.

[16]. F. Marra, M. V. De Bonis and G. Ruocco (2010). Combined microwaves and convection heating: A conjugate approach. *J. Food Eng.*, 97(1), 31-39. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2009.09.012.

[17]. E. Wei *et al.* (2019). Microwave-assisted extraction releases the antioxidant polysaccharides from seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries. *Int. J. Biol. Macromol.*, 123, 280-290. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.074.

[18]. H. Bagherian, F. Zokaee Ashtiani, A. Fouladitajar and M. Mohtashamy (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. DOI: 10.1016/j.cep.2011.08.002.

[19]. Nguyễn Cẩm Hương, Trần Chí Nhân và Trần Thanh Trúc (2024). Nghiên cứu điều kiện tiền xử lý thu nhận chất xơ từ phụ phẩm quả cam

sành. *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển nông thôn*. Số đặc biệt (9/2024), 23-31.

[20]. A. Sangnark, A. & Noomhorm (2003). Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse. *Food Chem.*, 80(2), 221-229. DOI: 10.1016/S0308-8146(02)00257-1.

[21]. I. Nandi and M. Ghosh (2015). Studies on functional and antioxidant property of dietary fibre extracted from defatted sesame husk, rice bran and flaxseed. *Bioact. Carbohydr. Diet.*, 5(2), 129-136. DOI: 10.1016/j.bcdf.2015.03.001.

[22]. AOAC International (1995). AOAC Official Method 991.43: Total, soluble, and insoluble dietary fiber in foods. *Official methods of analysis*, 2, Chapter 32, 7-9. DOI: <https://doi.org/10.1093/9780197610145.003.2941>.

[23]. M. Iñiguez-Moreno *et al.* (2024). Enhancing pectin extraction from orange peel through citric acid-assisted optimization based on a dual response. *Int. J. Biol. Macromol.*, 263, 130230. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2024.130230.

[24]. L. Zhou, J. Luo, Q. Xie, L. Huang, D. Shen and G. Li (2023). Dietary fiber from navel orange peel prepared by enzymatic and ultrasound-assisted deep eutectic solvents: Physicochemical and prebiotic properties. *Foods*, 12(10), 2007. DOI: 10.3390/foods12102007.

[25]. D. A. Zema, P. S. Calabrò, A. Folino, V. Tamburino, G. Zappia and S. M. Zimbone (2018). Valorisation of citrus processing waste: A review. *Waste Management*, 80, 252-273. DOI: 10.1016/j.wasman.2018.09.024.

[26]. Y. Zhang, J. Qi, W. Zeng, Y. Huang and X. Yang (2020). Properties of dietary fiber from citrus obtained through alkaline hydrogen peroxide treatment and homogenization treatment. *Food Chem.*, 311, 125873. DOI: 10.1016/j.foodchem.2019.125873.

[27]. B. Zhang, R. Yang and C. Z. Liu (2008). Microwave-assisted extraction of chlorogenic acid from flower buds of *Lonicera japonica* Thunb. *Sep. Purif. Technol.*, 62(2), 480-483. DOI: 10.1016/j.seppur.2008.02.013.

[28]. J. P. Maran, V. Sivakumar, K. Thirugnanasambandham and R. Sridhar (2014). Microwave assisted extraction of pectin from

waste *Citrullus lanatus* fruit rinds. *Carbohydr. Polym.*, 101(1), 786-791. DOI: 10.1016/j.carbpol.2013.09.062.

[29]. M. Bellumori, M. Innocenti, A. Binello, L. Boffa, N. Mulinacci and G. Cravotto (2016). Selective recovery of rosmarinic and carnosic acids from rosemary leaves under ultrasound-and microwave-assisted extraction procedures. *Comptes Rendus Chimie*, 19(6), 699-706. DOI: 10.1016/j.crci.2015.12.013.

[30]. M. Kazemi, F. Khodaiyan, M. Labbafi, S. Saeid Hosseini and M. Hojjati (2019). Pistachio green hull pectin: Optimization of microwave-assisted extraction and evaluation of its physicochemical, structural and functional properties. *Food Chem.*, 271, 663-672. DOI: 10.1016/j.foodchem.2018.07.212.

[31]. S. Kaur, V. Singh, P. S. Panesar and H. K. Chopra (2025). Microwave-assisted extraction of dietary fiber from kinnow mandarin by-products: impact on yield and functional, structural, and thermal properties. *Sustainable Food Technology*, 3(6), 2122-2133. DOI: 10.1039/d5fb00362h.

[32]. J. Gan *et al.* (2020). Microwave assisted extraction with three modifications on structural and functional properties of soluble dietary fibers from grapefruit peel. *Food Hydrocoll.*, 101, 105549. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2019.105549.

[33]. F. Ravera, K. Dziza, E. Santini, L. Cristofolini and L. Liggieri (2021). Emulsification and emulsion stability: The role of the interfacial properties. *Adv. Colloid Interface Sci.*, 288, 102344. DOI: 10.1016/j.cis.2020.102344.

[34]. B. M. Yap, C. Robert, I. Etienne, B. Wathelet and M. Paquot (2007). Effect of extraction conditions on the yield, purity and surface properties of sugar beet pulp pectin extracts. *Food Chem.*, 100(4), 1356-1364. DOI: 10.1016/j.foodchem.2005.12.012.

[35]. I. G. Moorthy, J. P. Maran, S. Ilakya, S. L. Anitha, S. P. Sabarima and B. Priya (2017). Ultrasound assisted extraction of pectin from waste *Artocarpus heterophyllus* fruit peel. *Ultrason. Sonochem.*, 34, 525-530. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.06.015.

[36]. J. P. Maran, B. Priya, N. A. Al-Dhabi, K. Ponmurugan, I. G. Moorthy and N.

Sivarajasekar (2017). Ultrasound assisted citric acid mediated pectin extraction from industrial waste of *Musa balbisiana*. *Ultrason. Sonochem.*, 35, 204-209. DOI: 10.1016/j.ultsonch. 2016. 09.019.

[37]. R. Minjares-Fuentes, A. Femenia, M. C. Garau, M. G. Candelas-Cadillo, S. Simal and C. Rosselló (2016). Ultrasound-assisted extraction of hemicelluloses from grape pomace using response surface methodology. *Carbohydr. Polym.*, 138, 180-191. DOI: 10.1016/j.carbpol. 2015.11.045.

[38]. J. Y. Huang, J. S. Liao, J. R. Qi, W. X. Jiang and X. Q. Yang (2021). Structural and physicochemical properties of pectin-rich dietary fiber prepared from citrus peel. *Food Hydrocoll.*, 110, 106140. DOI: 10.1016/j.foodhyd. 2020. 106140.

[39]. B. Chen *et al.* (2025). Effects of ultrasound-assisted extraction on the structural and functional properties of dietary Fiber from mulberry. *Food Chem.*, 496, 146821. DOI: 10.1016/j.foodchem.2025.146821.

[40]. M. Elleuch, D. Bedigian, O. Roiseux, S. Besbes, C. Blecker and H. Attia (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chem.*, 124(2), 411-421. DOI: 10.1016/j.foodchem.2010.06.077.

[41]. S. S. Hosseini, F. Khodaiyan, M. Kazemi and Z. Najari (2019). Optimization and characterization of pectin extracted from sour orange peel by ultrasound assisted method. *Int. J. Biol. Macromol.*, 125, 621-629. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.12.096.

[42]. L. E. Garcia-Amezquita, V. Tejada-Ortigoza, S. O. Serna-Saldivar, and J. Welti-Chanes (2018). Dietary fiber concentrates from fruit and vegetable by-products: Processing, modification, and application as functional ingredients. *Food Bioproc. Tech.*, 11(8), 1439-1463. DOI: 10.1007/s11947-018-2117-2.

[43]. M. Moczowska, S. Karp, Y. Niu and M. A. Kurek (2019). Enzymatic, enzymatic-ultrasonic and alkaline extraction of soluble dietary fibre from flaxseed - A physicochemical approach. *Food Hydrocoll.*, 90, 105-112. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.12.018.

[44]. L. Feng *et al.* (2024). Effects of different ratios of soluble to insoluble dietary fiber on growth performance and intestinal health of piglets. *Animal Nutrition*, 18, 257-271. DOI: 10.1016/j.aninu.2024.05.005.

MICROWAVE-AND ULTRASOUND-ASSISTED CITRIC ACID EXTRACTION OF DIETARY FIBER FROM SANH ORANGE (*Citrus sinensis*) BY-PRODUCTS

Nguyen Cam Huong^{1,2}, Tran Chi Nhan¹, Tran Thanh Truc¹

¹*Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University*

²*Faculty of Food Science and Technology,*

Ho Chi Minh City University of Industry and Trade

Abstract

This study investigated the chemical composition of sanh orange (*Citrus sinensis*) by-products and evaluated the efficiency of soluble dietary fiber-rich fraction using microwave-assisted extraction (AMAE) and ultrasound-assisted extraction (AUAE) in citric acid solution. The by-products contained a high carbohydrate level (89.06% db), including 75.22% total dietary fiber with a balanced SDF/IDF ratio. AMAE at 40-60 W/g, 300-420 seconds achieved an extraction yield of 24,31-34,56%, with fiber contents of 50.30% SDF and 18.08% IDF under optimal conditions, along with physicochemical properties including water solubility (73.30% WS) and emulsion stability (79.78% ES). It was better than AUAE at 12-40 W/g, 5-15 inutes (23.91-32.56% efficiency, 41.45% SDF and 20.44% IDF), but inferior in water holding apacity (WHC), water swelling capacity (WSC) and emulsifying capacity (EC). Overall, AMAE demonstrated better performance in extracting dietary fiber from orange byproducts, highlighting its potential for developing soluble dietary fiber-rich foods.

Keywords: *Fiber extraction, microwave, ultrasound, soluble dietary fiber-rich fraction, insoluble fiber, orange by-products.*

Ngày nhận bài: 15/5/2026

Ngày chuyển phản biện: 26/5/2026

Ngày thông qua phản biện: 29/6/2026

Ngày duyệt đăng: 28/7/2026