

TỐI ƯU HÓA QUÁ TRÌNH THU NHẬN TINH BỘT CỦ ẤU (*Trapa natans*) BẰNG PHƯƠNG PHÁP BỀ MẶT ĐÁP ỨNG

Lê Minh Chiến^{1,3}, Nguyễn Hữu Nghị¹, Lâm Ngọc Thảo Vi¹, Nguyễn Tuấn Anh¹, Cao Thanh Bình¹, Đỗ Thị Tuyết Nhung², Nguyễn Nhật Minh Phương¹, Trần Chí Nhân^{1,*}

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

² Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ

³ Trung tâm Chất lượng, Chế biến và Phát triển thị trường vùng 6

*Email: tcnhan@ctu.edu.vn

TÓM TẮT

Nghiên cứu được thực hiện nhằm tối ưu hóa quá trình thu nhận tinh bột từ củ ấu bằng dung dịch sodium hydroxide (NaOH) theo mô hình Central Composite Design. Bốn yếu tố ảnh hưởng bao gồm: tỷ lệ dung môi: Nguyên liệu (2: 1 - 4: 1, w/w), nồng độ dung dịch NaOH (0,15 - 0,35%), thời gian ngâm khuấy (40 - 90 phút) và tốc độ khuấy (750 - 1.250 vòng/phút) được khảo sát nhằm xác định các điều kiện tối ưu để có hiệu suất thu nhận tinh bột và khả năng duy trì độ trắng (WI) của tinh bột ở mức tối đa cũng như hiệu suất thu hồi bột sơ thấp nhất. Tỷ lệ dung môi: nguyên liệu 3,55: 1 (w/w), nồng độ dung dịch NaOH 0,25%, thời gian ngâm khuấy 73 phút và tốc độ khuấy 1.022 vòng/phút được xác định là điều kiện tối ưu để thu nhận tinh bột từ củ ấu. Ở điều kiện này, hiệu suất thu nhận tinh bột (61,09%) và WI (95,11) đạt giá trị cao nhất, đồng thời tối thiểu được hiệu suất thu nhận bột xơ (26,49%). Kết quả nghiên cứu cho thấy, dung dịch NaOH có khả năng hỗ trợ hiệu quả quá trình tách tinh bột ra khỏi thành phần xơ của củ ấu, góp phần cải thiện hiệu suất thu nhận và chất lượng tinh bột thành phẩm.

Từ khóa: Củ ấu, độ trắng, hiệu suất thu nhận, phương pháp bề mặt đáp ứng, tối ưu hóa, tinh bột.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tinh bột là thành phần quan trọng trong nhiều loại thực phẩm. Sản lượng tinh bột hằng năm thu nhận từ ngũ cốc đạt khoảng 2.050 triệu tấn và từ rễ, củ là 679 triệu tấn [1]. Nhiều nghiên cứu cho thấy, tinh bột thu nhận từ củ ấu (*Trapa natans*) chiếm 80% khối lượng chất khô, được đánh giá là nguồn tinh bột tiềm năng thay thế các nguồn tinh bột truyền thống (ngô, lúa mì và củ sắn) cũng như có tiềm năng phát triển sản phẩm trong nhiều lĩnh vực [2, 3]. Bên cạnh tinh bột, một phần bột chứa hàm lượng tinh bột thấp, giàu chất xơ, được gọi là bột xơ, là sản phẩm được thu nhận đồng thời từ quá trình trích ly tinh bột. Việc giảm thiểu khối lượng bột xơ thu được trong quá trình trích ly tinh bột là rất quan trọng, điều này phản ánh việc thu nhận được tối đa khối lượng tinh bột còn lẫn trong bột xơ. Tuy nhiên, trong cấu trúc mô thực vật, tinh bột thường liên kết với protein và các hợp chất phi tinh bột khác, gây khó khăn cho quá trình trích ly và làm giảm độ

tinh khiết của sản phẩm thu được [4]. Việc sử dụng phương pháp trích ly phù hợp là cần thiết nhằm nâng cao hiệu suất thu nhận và chất lượng tinh bột.

Trong các phương pháp phổ biến, xử lý bằng dung dịch sodium hydroxide (NaOH) được chứng minh là có khả năng loại bỏ protein liên kết với hạt tinh bột và làm thay đổi cấu trúc vùng vô định hình thông qua quá trình ion hóa các nhóm hydroxyl, từ đó làm tăng khả năng trương nở và hòa tan của tinh bột. Ngoài ra, phương pháp này còn giúp phá vỡ cấu trúc mô nguyên liệu, tạo điều kiện giải phóng tinh bột liên kết [4]. Tuy nhiên, hiệu quả của quá trình trích ly còn phụ thuộc rất nhiều vào tỷ lệ và nồng độ dung dịch NaOH sử dụng. Ở nồng độ thấp, NaOH ít ảnh hưởng đến cấu trúc tinh thể của tinh bột, trong khi nồng độ cao hơn có thể làm biến đổi hình thái hạt và gây hồ hóa một phần tinh bột. Đồng thời, việc tăng nồng độ dung dịch NaOH có thể làm thay đổi hàm lượng amylose và các tính chất chức năng của tinh bột [5, 6]. Tỷ lệ dung môi: nguyên liệu là

yếu tố quan trọng quyết định khả năng khuếch tán tinh bột ra khỏi mô thực vật. Khi tăng lượng dung môi, độ loãng của hệ huyền phù tăng, độ nhớt giảm, quá trình tiếp xúc giữa bề mặt nguyên liệu và dung môi được cải thiện, giúp tinh bột được giải phóng ra dễ dàng hơn [7]. Bên cạnh đó, các yếu tố công nghệ như thời gian ngâm khuấy và tốc độ khuấy trong quá trình xử lý cũng ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất thu nhận. Thời gian ngâm khuấy quyết định mức độ tiếp xúc giữa nguyên liệu và dung dịch kiềm, từ đó ảnh hưởng đến khả năng hòa tan protein và giải phóng tinh bột. Thời gian ngâm khuấy dài hơn có thể giúp dung dịch NaOH thâm nhập sâu hơn vào mô, phá vỡ cấu trúc tế bào hiệu quả hơn, nhờ đó nâng cao hiệu suất thu nhận [8]. Ngoài ra, tốc độ khuấy có thể dẫn đến sự khác biệt đáng kể về hiệu suất thu nhận và tính chất hóa lý của tinh bột, ảnh hưởng đến sự phân tán của nguyên liệu trong dung môi và hiệu quả trong quá trình tách tinh bột [7, 9]. Mặc dù phương pháp trích ly tinh bột bằng dung dịch NaOH đã được nghiên cứu trên nhiều nguồn nguyên liệu như gạo và ngũ cốc, các nghiên cứu chuyên sâu đối với củ ấu vẫn còn hạn chế, đặc biệt là ảnh hưởng đồng thời của tỷ lệ dung môi: nguyên liệu, nồng độ dung dịch NaOH, thời gian ngâm khuấy và tốc độ khuấy. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm khảo sát ảnh hưởng của các thông số trên đến quá trình trích ly tinh bột từ củ ấu, từ đó xác định điều kiện tối ưu nhằm nâng cao hiệu suất thu nhận tinh bột và chất lượng sản phẩm.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguyên liệu và hóa chất

Thịt củ ấu (*Trapa naptans*) đã tách vỏ được lựa chọn và thu mua trực tiếp từ các vùng trồng tại tỉnh Đồng Tháp, đóng gói trong bao bì PA/PE hút chân không (500 g/túi) và vận chuyển bằng thùng giữ nhiệt ở khoảng 3°C về địa điểm thực hiện thí nghiệm. Sau khi tiếp nhận, thịt củ ấu được bảo quản ở -18°C cho đến khi sử dụng nhằm hạn chế sự biến đổi hóa lý và vi sinh trong quá trình lưu trữ.

Các hóa chất được sử dụng trong nghiên cứu được cung cấp từ Công ty TNHH Cemaco Việt Nam - Chi nhánh Cần Thơ, bao gồm: Sodium hydroxide - NaOH, sodium hydrogen sulfite - NaHSO₃, axit citric - C₆H₈O₇, iodine - I₂ (Xilong, Trung Quốc) đáp ứng yêu cầu và tiêu chuẩn kỹ thuật trong phòng thí nghiệm.

2.2. Quy trình trích ly tinh bột củ ấu

Thịt củ ấu (500 g) được xác định độ ẩm ban đầu sau đó xay nhuyễn bằng máy xay SHD5112 (Sunhouse, Việt Nam) và nghiền theo tỷ lệ dung môi: nguyên liệu (2: 1 - 4: 1, w/w) [7] và nồng độ dung dịch NaOH (0,15 - 0,35%) [8]. Sau đó, tiến hành ngâm kết hợp khuấy hỗn hợp (750 - 1.250 vòng/phút) trong các khoảng thời gian khác nhau (20 - 45 phút) [7]. Hỗn hợp được trung hòa bằng axit citric khan để điều chỉnh pH đạt 7, tiếp tục xử lý hỗn hợp với NaHSO₃ khan (0,1%, w/w), sau đó khuấy đều và để yên trong 10 phút nhằm giảm hàm lượng tannin và giữ màu trắng đặc trưng của tinh bột, đồng thời hỗ trợ quá trình trích ly [9]. Tiếp theo, NaHSO₃ được loại bỏ bằng cách thêm nước vào hỗn hợp, khuấy đều và để lắng trong 1 giờ. Kiểm tra lại dư lượng NaHSO₃ bằng dung dịch I₂ 0,1%, nếu tinh bột chuyển sang màu xanh tím, chứng tỏ đã loại bỏ hết NaHSO₃ dư. Sau đó, hỗn hợp được lọc bằng vải lọc để thu dịch lọc 1 và bã, phần bã được rửa với nước theo tỷ lệ 1: 2 (w/v). Trong đó, số lần rửa bã cố định là 2, tiếp tục lọc hỗn hợp thu được dịch lọc 2 và bột xơ ướt. Tiến hành phối trộn dịch lọc 1 và dịch lọc 2 tạo thành hỗn hợp đồng nhất, sau đó để lắng tự nhiên hỗn hợp này trong 12 giờ và loại bỏ phần dịch phía trên nhằm thu nhận tinh bột thô. Phần tinh bột thô này được tiếp tục hòa tan với nước theo tỷ lệ 1: 2 (w/v) và để ổn định trong 2 giờ, quá trình hòa tan được thực hiện 2 lần để thu được tinh bột có độ tinh khiết cao hơn. Trong suốt quá trình ngâm, hỗn hợp được giữ ở nhiệt độ phòng (30 ± 2°C). Cuối cùng, tinh bột ướt và bột xơ ướt được sấy đối lưu ở 50 ± 2°C (UF 55, Đức) đến khi độ ẩm đạt khoảng 13% theo TCVN 10546:2014 [10]. Sau đó, tiến hành cân khối lượng để tính hiệu suất thu hồi. Tiếp theo, tinh bột và bột xơ được nghiền và rây qua lưới 100 mesh để thu được tinh bột và bột xơ sử dụng trong xác định độ trắng.

2.3. Bố trí thí nghiệm

Thí nghiệm được thiết kế theo phức hợp điểm trung tâm với 4 nhân tố: Tỷ lệ dung môi: nguyên liệu (w/w) - X₁, nồng độ dung dịch NaOH (%) - X₂, thời gian ngâm khuấy (phút) - X₃ và tốc độ khuấy (vòng/phút) - X₄, mỗi nhân tố được mã hóa mỗi nhân tố được mã hóa với 5 mức độ (+α, +1, 0, -1, -α) với mô hình Central Composite Design (CCD) và điểm trung tâm dựa trên các nghiên cứu liên quan và được lặp lại 6 lần. Điều kiện tối ưu

được xác định dựa trên các hàm mục tiêu, trong đó và hiệu suất thu nhận bột xơ đạt giá trị thấp nhất. hiệu suất thu nhận tinh bột, WI đạt giá trị cao nhất

Bảng 1. Bố trí thí nghiệm theo mô hình CCD và kết quả các hàm mục tiêu

STT	Nhân tố				Hàm mục tiêu		
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	Y ₁	Y ₂	Y ₃
1	2 (-1)	0,35 (+1)	90 (+1)	1.250 (+1)	58,03	39,94	91,46
2	2 (-1)	0,15 (-1)	40 (-1)	750 (-1)	51,00	34,83	95,68
3	4 (+1)	0,35 (+1)	40 (-1)	1.250 (+1)	57,75	40,71	96,24
4	4 (+1)	0,15 (-1)	40 (-1)	1.250 (+1)	55,65	38,45	91,4
5	2 (-1)	0,15 (-1)	40 (-1)	1.250 (+1)	51,48	33,38	94,77
6	3 (0)	0,25 (0)	65 (0)	1.000 (0)	60,68	25,98	94,49
7	2 (-1)	0,35 (+1)	40 (-1)	1.250 (+1)	55,79	38,40	93,42
8	3 (0)	0,25 (0)	65 (0)	1.000 (0)	61,94	28,98	93,22
9	4 (+1)	0,35 (+1)	90 (+1)	1.250 (+1)	56,79	31,05	96,46
10	4 (+1)	0,15 (-1)	40 (-1)	750 (-1)	54,05	36,25	94,99
11	3 (0)	0,25 (0)	65 (0)	1.000 (0)	60,58	25,91	95,25
12	2 (-1)	0,15 (-1)	90 (+1)	1.250 (+1)	53,52	31,71	95,79
13	2 (-1)	0,35 (+1)	90 (+1)	750 (-1)	51,03	44,72	90,03
14	3 (0)	0,05 (-α)	65 (0)	1.000 (0)	59,12	35,65	95,11
15	5 (+α)	0,25 (0)	65 (0)	1.000 (0)	55,03	36,18	95,36
16	4 (+1)	0,15 (-1)	90 (+1)	750 (-1)	54,47	30,98	96,46
17	1 (-α)	0,25 (0)	65 (0)	1.000 (0)	51,00	46,77	93,47
18	2 (-1)	0,35 (+1)	40 (-1)	750 (-1)	52,99	36,17	93,19
19	3 (0)	0,25 (0)	65 (0)	1.500 (+α)	56,60	35,67	93,97
20	3 (0)	0,25 (0)	15 (-α)	1.000 (0)	49,85	35,02	92,65
21	4 (+1)	0,35 (+1)	90 (+1)	750 (-1)	54,44	34,77	95,58
22	3 (0)	0,25 (0)	65 (0)	500 (-α)	51,92	35,92	95,82
23	3 (0)	0,45 (+α)	65 (0)	1.000 (0)	58,47	39,15	93,91
24	3 (0)	0,25 (0)	65 (0)	1.000 (0)	60,60	26,00	95,43
25	3 (0)	0,25 (0)	115 (+α)	1.000 (0)	54,08	27,21	92,6
26	2 (-1)	0,15 (-1)	90 (+1)	750 (-1)	51,28	37,43	95,09
27	4 (+1)	0,15 (-1)	90 (+1)	1.250 (+1)	56,68	26,95	94,5
28	4 (+1)	0,35 (+1)	40 (-1)	750 (-1)	54,11	33,10	98,03
29	3 (0)	0,25 (0)	65 (0)	1.000 (0)	61,61	28,19	94,59
30	3 (0)	0,25 (0)	65 (0)	1.000 (0)	62,08	27,61	95,35

2.4. Phương pháp phân tích

Hiệu suất thu nhận tinh bột được xác định là tỷ lệ khối lượng tinh bột thu được so với khối lượng thịt củ ấu tươi trên căn bản khô. Tương tự, hiệu suất thu nhận bột xơ được xác định dựa trên khối lượng bột xơ thu được trên căn bản khô. Trước khi xác định khối lượng tinh bột và bột xơ, các nghiệm thức được cân bằng ẩm trong 24 giờ nhằm đảm bảo độ ẩm là không khác biệt giữa các nghiệm thức.

Độ trắng (WI) của tinh bột được xác định thông qua công thức sau [11]:

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}}$$

Trong đó: L* thể hiện độ sáng (0 = đen, 100 = trắng), a* thể hiện trục màu đỏ - xanh và b* thể hiện trục màu vàng - xanh dương, được đo trực tiếp bằng máy đo màu cầm tay CR-410 (Minolta, Nhật Bản).

2.5. Phương pháp thu thập và xử lý số liệu

Phần mềm Design Expert (phiên bản 13.0.5, Stat-Ease, Inc., Hoa Kỳ) được sử dụng để thiết lập mô hình toán học mô tả sự thay đổi của các hàm mục tiêu theo giá trị thực tế của các nhân tố

khảo sát. Dữ liệu được phân tích thống kê bằng phần mềm thống kê Statgraphics Centurion (phiên bản 19.1, Statgraphics Technologies, Inc., Virginia). Sự khác biệt giữa các giá trị thực tế và giá trị dự đoán trung bình được đánh giá bằng kiểm định t ở mức ý nghĩa 5%.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tối ưu hóa hiệu suất thu nhận tinh bột

Bảng 2 cho thấy mô hình có ý nghĩa thống kê ($p < 0,0001$) với độ không phù hợp rất cao ($p = 0,1205$), trong đó các nhân tố có ảnh hưởng ý nghĩa đến hiệu suất thu nhận tinh bột lần lượt là tỷ lệ dung môi: nguyên liệu ($p = 0,0001$), nồng độ dung dịch

NaOH ($p = 0,0448$), thời gian ngâm khuấy ($p = 0,0388$) và tốc độ khuấy ($p < 0,0001$). Bên cạnh đó, phương trình hồi quy đa biến bậc hai Y_1 phù hợp để dự đoán sự thay đổi hiệu suất thu nhận tinh bột khi thực hiện ở các điều kiện khác nhau.

$$Y_1 = -16,34406 + 15,93021X_1 + 36,20108X_2 + 0,495305X_3 + 0,055025X_4 + 0,023160X_2X_4 - 2,09088X_1^2 - 64,58750X_2^2 - 0,003765X_3^2 - 0,000028X_4^2$$

Trong đó: X_1 , X_2 , X_3 , X_4 lần lượt là giá trị thực tế của tỷ lệ dung môi: nguyên liệu (w/w), nồng độ dung dịch NaOH (%), thời gian ngâm khuấy (phút) và tốc độ khuấy (vòng/phút).

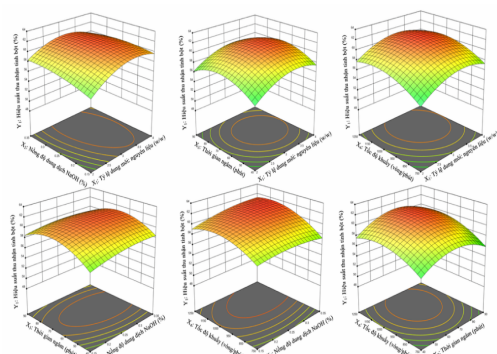
Bảng 2. Các tham số của phương trình hồi quy mô tả sự thay đổi của các hàm mục tiêu

Nguồn	Y_1		Y_2		Y_3	
	Trung bình bình $p^\circ C$ hương	Giá trị p	Trung bình bình phương	Giá trị p	Trung bình bình phương	Giá trị p
Mô hình	377,24	< 0,0001	836,53	< 0,0001	78,49	< 0,0001
X_1	30,15	0,0001	86,27	< 0,0001	13,52	< 0,0001
X_2	5,51	0,0448	53,69	0,0004	1,85	0,0586
X_3	5,90	0,0388	35,90	0,0020	0,2501	0,4637
X_4	41,76	< 0,0001	2,78	0,3149	3,16	0,0174
X_1X_2	4,32	0,0717	13,81	0,0350	30,77	< 0,0001
X_1X_3	0,19	0,6867	80,03	< 0,0001	3,09	0,0185
X_1X_4	0,46	0,5365	8,66	0,0863	3,91	0,0095
X_2X_3	1,06	0,3527	20,12	0,0135	9,53	0,0003
X_2X_4	5,36	0,0474	6,65	0,1286	2,65	0,0272
X_3X_4	1,75	0,2361	51,93	0,0004	3,16	0,0174
X_1^2	119,91	< 0,0001	324,90	< 0,0001	$7,440 \times 10^{-6}$	0,9968
X_2^2	11,44	0,0065	161,13	< 0,0001	0,0148	0,8573
X_3^2	151,89	< 0,0001	19,96	0,0138	5,51	0,0030
X_4^2	86,86	< 0,0001	112,14	< 0,0001	0,3916	0,3617
Sự không phù hợp	14,77	0,1205	29,69	0,2967	3,13	0,8693

Bề mặt đáp ứng (Hình 1) minh họa trực quan tác động của các nhân tố ảnh hưởng đến hiệu suất thu nhận tinh bột. Hiệu suất thu nhận tinh bột đạt giá trị cao nhất (61,63%) khi tỷ lệ dung môi: nguyên liệu là 3,01: 1, nồng độ dung dịch NaOH 0,31%, ngâm khuấy trong 63,71 phút với tốc độ khuấy là 1.156,10 vòng/phút. Ngược lại, hiệu suất thu nhận tinh bột thấp nhất (50,82%) khi xử lý ở tỷ lệ dung môi: nguyên liệu là 2: 1 với nồng độ dung dịch NaOH 0,15%, ngâm trong 40 phút, tốc độ khuấy là 750 vòng/phút. Khi tăng dần tỷ lệ dung môi: nguyên liệu, chênh lệch nồng độ giữa nguyên liệu và dung môi giúp quá trình trích ly

diễn ra hiệu quả [7], bên cạnh đó, dung dịch NaOH ở nồng độ phù hợp phá vỡ liên kết giữa protein và tinh bột giúp giải phóng tối đa hàm lượng tinh bột bên trong [12, 13]. Thời gian ngâm khuấy phù hợp giúp cho quá trình tương tác giữa nguyên liệu và dung môi diễn ra hiệu quả từ đó tăng đáng kể hiệu suất thu nhận tinh bột [14]. Đồng thời, khuấy càng nhanh giúp phân tán đều trong hỗn hợp giúp quá trình tương tác trở nên hiệu quả, hỗ trợ phá vỡ cấu trúc giúp giải phóng hạt tinh bột ra bên ngoài, tăng hàm lượng tinh bột thu được [8]. Mặt khác, khi tiếp tục tăng các mức khảo sát, hàm lượng tinh bột thu được có xu

hướng giảm xuống do nồng độ NaOH cao và phản ứng trong thời gian dài làm cho hàm lượng amylose trong tinh bột bị rửa trôi dẫn đến giảm hiệu suất thu nhận [15]. Kết quả nghiên cứu của Maniglia và Tapia-Blacido (2016) [16] cũng cho thấy xu hướng gia tăng hiệu suất thu nhận tinh bột khi trích ly từ quả babassu, xử lý bằng dung dịch NaOH với tỷ lệ 2: 1 và nồng độ dung dịch NaOH 0,25% cho hiệu suất thu nhận tinh bột cao hơn đến 20% so với trích ly với nước ở cùng tỷ lệ nguyên liệu: dung môi. Nghiên cứu của Wang và cs (2022) [14] khi khảo sát trích ly tinh bột trên đậu Hà Lan cũng chứng minh xu hướng tương tự, khi tăng tỷ lệ nguyên liệu: dung môi (1: 2 - 1: 6 w/v) và nồng độ dung dịch NaOH (0,1 - 0,3%), hiệu suất thu nhận tinh bột tăng đáng kể. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng các nhân tố, hiệu suất thu hồi tinh bột có xu hướng giảm. Nghiên cứu của Darma và cs (2014) [17] khi khảo sát ảnh hưởng của tốc độ khuấy đến khả năng thu nhận tinh bột từ hạt sago cũng khẳng định, khi tăng tốc độ khuấy từ 100 - 200 vòng/phút làm tăng hàm lượng tinh bột thu nhận.



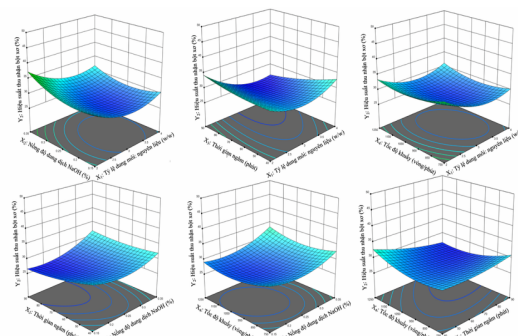
Hình 1. Bề mặt đáp ứng cho ảnh hưởng của điều kiện trích ly đến hiệu suất thu nhận tinh bột

3.2. Tối ưu hóa hiệu suất thu nhận bột xơ

Bảng 2 cho thấy tỷ lệ dung môi: nguyên liệu ($p < 0,0001$), nồng độ dung dịch NaOH ($p = 0,0004$), thời gian ngâm khuấy ($p = 0,002$) cũng như tương tác giữa tỷ lệ dung môi: nguyên liệu với thời gian ngâm khuấy, giữa tỷ lệ dung môi: nguyên liệu với nồng độ dung dịch NaOH, giữa nồng độ dung dịch NaOH và thời gian ngâm khuấy và giữa thời gian ngâm khuấy với tốc độ khuấy có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất thu nhận bột xơ ($p < 0,05$), trong khi đó tốc độ khuấy cũng như tương tác còn lại của các nhân tố ảnh hưởng không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$).

$$Y_2 = 97,25655 - 17,35227X_1 - 133,29542X_2 + 0,218176X_3 - 9,29X_1X_2 - 0,08946X_1X_3 + 0,4486X_2X_3 - 0,000288X_3X_4 + 3,44171X_1^2 + 242,37083X_2^2 + 0,001364X_3^2 + 0,000032X_4^2$$

Trong đó: X_1 , X_2 , X_3 , X_4 lần lượt là giá trị thực tế của tỷ lệ dung môi: nguyên liệu (w/w), nồng độ dung dịch NaOH (%), thời gian ngâm khuấy (phút) và tốc độ khuấy (vòng/phút).



Hình 2. Bề mặt đáp ứng cho ảnh hưởng của điều kiện trích ly đến hiệu suất thu nhận bột xơ

Bên cạnh đó, phương trình hồi quy đa biến bậc hai Y_2 có khả năng dự đoán chính xác sự thay đổi hiệu suất thu nhận bột xơ khi thực hiện ở các điều kiện khác nhau, với $R^2 = 0,9559$. Cụ thể, hiệu suất thu nhận bột xơ đạt giá trị cao nhất (44,54%) khi tỷ lệ dung môi: nguyên liệu là 2: 1 với nồng độ NaOH là 0,35%, ngâm khuấy trong 90 phút và tốc độ là 750 vòng/phút. Hiệu suất thu nhận bột xơ thấp nhất (25,78%) khi tỷ lệ dung môi: nguyên liệu là 3,28: 1 với nồng độ NaOH là 0,21%, ngâm khuấy trong 75,79 phút và tốc độ khuấy là 1.039,67 vòng/phút. Đánh giá các tác động lẫn nhau giữa các nhân tố đến hiệu suất thu nhận bột xơ (Hình 2), kết quả cho thấy, các nhân tố khảo sát đều có tác động mạnh mẽ đến khối lượng bột xơ thu được. Khi tăng tỷ lệ dung môi: nguyên liệu và nồng độ dung dịch NaOH, hiệu suất thu nhận bột xơ có xu hướng giảm dần do dung dịch kiềm loãng có khả năng phá vỡ lớp protein giúp giải phóng các hạt tinh bột ra bên ngoài làm tăng hiệu suất thu nhận tinh bột, giảm khối lượng tinh bột lẫn trong bột xơ, từ đó làm giảm khối lượng bột xơ thu nhận [18]. Bên cạnh đó, thời gian ngâm khuấy và tốc độ khuấy phù hợp giúp dung môi tương tác hiệu quả và khuếch tán đồng đều trong nguyên liệu, từ đó giúp giải phóng tối đa khối lượng tinh bột thu được, giảm khối lượng tinh bột lẫn trong bột xơ, từ đó tối

thiếu được hiệu suất thu nhận bột xơ [7, 14]. So sánh với kết quả nghiên cứu của Wang và cs (2022) [14] khi khảo sát trích ly tinh bột từ đậu Hà Lan cho thấy có sự tương đồng, ở tỷ lệ nguyên liệu: dung môi là 1: 6, nồng độ dung dịch NaOH 0,3%, hiệu suất thu nhận tinh bột đạt cao nhất (52%), từ đó giảm thiểu hiệu quả khối lượng bột xơ. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng các nhân tố trên, xu hướng đối nghịch có thể xảy ra do sự gia tăng độ nhớt dung môi và hiện tượng hồ hóa tinh bột.

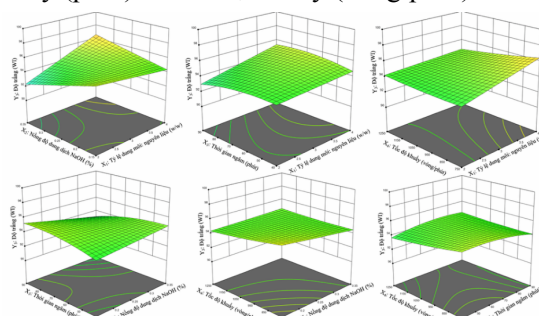
3.3. Tối ưu hóa độ trắng của tinh bột

Bảng 2 cho thấy, mô hình có thể dự đoán chính xác sự thay đổi WI của tinh bột trong điều kiện khảo sát ($p < 0,0001$). Trong đó, tỷ lệ dung môi: nguyên liệu ($p < 0,0001$), tốc độ khuấy ($p = 0,0174$) cũng như tương tác của các nhân tố ảnh hưởng đáng kể đến WI trong quá trình xử lý. Mặt khác, nồng độ dung dịch NaOH và thời gian ngâm khuấy ảnh hưởng không có ý nghĩa thống kê đến WI của tinh bột ($p > 0,05$). Mô hình dự đoán cho giá trị R^2 cao (92,21%), từ đó độ trắng có thể được dự đoán thông qua phương trình Y_3 . WI đạt giá trị cao nhất (98,03) khi tỷ lệ dung môi: nguyên liệu là 4: 1 với nồng độ dung dịch NaOH là 0,35%, ngâm khuấy trong 41 phút và tốc độ khuấy là 750 vòng/phút. Mặt khác, WI thấp nhất (89,93) khi tỷ lệ dung môi: nguyên liệu là 2,03: 1 với nồng độ NaOH là 0,348%, ngâm khuấy trong 90 phút và tốc độ khuấy là 770 vòng/phút (Hình 3). Các nghiên cứu thu nhận tinh bột từ nguyên liệu thực vật đều cho thấy, các yếu tố như tỷ lệ dung môi: nguyên liệu, nồng độ dung môi, thời gian xử lý và tốc độ khuấy trong quá trình có ảnh hưởng rõ rệt đến WI của tinh bột thu nhận. Trong đó, ở tỷ lệ dung môi: nguyên liệu, nồng độ dung dịch NaOH thích hợp, tinh bột thu nhận có WI cũng như độ tinh sạch cao do vai trò loại bỏ tạp

chất của dung dịch kiềm [19, 20]. Bên cạnh đó, thời gian xử lý quá dài hay tốc độ khuấy quá cao cũng góp phần giảm thiểu WI của tinh bột do các phản ứng hóa nâu do enzyme xảy ra hiệu quả ở các điều kiện này [21].

$$Y_3 = 105,47508 - 1,87852X_1 - 0,008033X_4 + 13,86875X_1X_2 + 0,017575X_1X_3 - 0,001977X_1X_4 - 0,308750X_2X_3 + 0,016275X_2X_4 + 0,000071X_3X_4 - 0,000717X_3^2$$

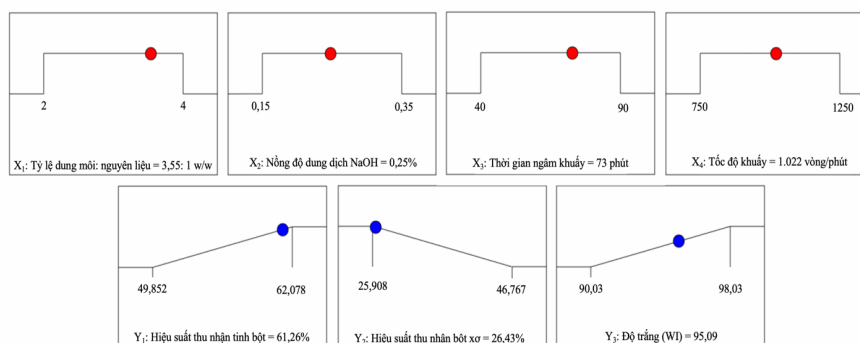
Trong đó: X_1 , X_2 , X_3 , X_4 lần lượt là giá trị thực tế của tỷ lệ dung môi: nguyên liệu (w/w), nồng độ dung dịch NaOH (%), thời gian ngâm khuấy (phút) và tốc độ khuấy (vòng/phút).



Hình 3. Bề mặt đáp ứng cho ảnh hưởng của điều kiện trích ly đến độ trắng của tinh bột

3.4. Tối ưu hóa đa mục tiêu

Mô hình tối ưu hóa đề xuất điều kiện trích ly tinh bột từ củ ấu bằng phương pháp xử lý kiềm: Tỷ lệ dung môi: nguyên liệu là 3,55: 1 (w/w), nồng độ dung dịch NaOH là 0,25%, thời gian ngâm khuấy trong 73 phút và tốc độ khuấy là 1.022 vòng/phút. Ở điều kiện này, hiệu suất thu nhận bột xơ được giảm xuống đến mức thấp nhất (26,43%), trong khi hiệu suất thu nhận tinh bột (61,26%) và WI (95,09) được duy trì ở mức tối đa.



Hình 4. Điều kiện tối ưu dự đoán từ mô hình

Bảng 3. Giá trị dự đoán và thực tế của các mục tiêu ở điều kiện tối ưu

Mục tiêu	Giá trị dự đoán (μ_1)	Giá trị thực tế (μ_2)	Giá trị p
Hiệu suất thu nhận tinh bột (%)	61,26 $\pm$ 0,00	61,09 $\pm$ 0,13	0,15
Hiệu suất thu nhận bột xơ (%)	26,43 $\pm$ 0,00	26,49 $\pm$ 0,08	0,30
WI	95,09 $\pm$ 0,00	95,11 $\pm$ 0,09	0,72

Ghi chú: Dữ liệu được trình bày dưới dạng trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn của 3 lần lặp lại. $H_0 = \mu_1 - \mu_2 = 0$; $H = \mu_1 - \mu_2 \neq 0$; giá trị p được kiểm định bằng kiểm định t ($p > 0,05$).

Kiểm chứng sự khác biệt giữa dữ liệu thu nhận từ mô hình và dữ liệu được thực hiện nhằm đánh giá độ chính xác trong việc dự đoán của mô hình được đề xuất. Bảng 3 cho thấy, các kết quả thực nghiệm rất gần với các giá trị dự đoán và sự khác biệt không có ý nghĩa thống kê ($p > 0,05$), chứng minh rằng, mô hình có thể dự đoán chính xác hiệu suất thu nhận tinh bột, bột xơ và WI trong các điều kiện xử lý với độ chính xác đạt cao.

4. KẾT LUẬN

Quy trình trích ly tinh bột từ củ ấu ở tỷ lệ dung môi: nguyên liệu là 3,55: 1 (w/w) với nồng độ dung dịch NaOH là 0,25%, ngâm khuấy trong 73 phút và tốc độ khuấy là 1.022 vòng/phút cho hiệu suất thu nhận tinh bột và độ trắng đạt mức cao nhất trong khi hiệu suất thu nhận bột xơ đạt giá trị thấp nhất. Việc sử dụng phương pháp trích ly bằng dung dịch kiềm gia tăng đáng kể lượng tinh bột thu cũng như giữ được độ trắng của sản phẩm. Kết quả nghiên cứu có thể được ứng dụng trong quy trình sản xuất tinh bột ở quy mô công nghiệp, góp phần nâng cao giá trị kinh tế của củ ấu, đồng thời mở rộng hướng sử dụng nguồn nguyên liệu bản địa trong ngành công nghiệp thực phẩm. Các nghiên cứu tiếp theo nên tập trung vào việc tinh sạch tinh bột cũng như ứng dụng các sản phẩm đặc thù từ tinh bột ấu.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo với mã số đề tài B2026-TCT-07.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Tester, R. F. & Karkalas, J. (2002). Starch. In E. J. Vandamme, S. De Baets & A. Steinbüchel (Eds.), *Biopolymers* (vol. 6, *Polysaccharides II: Polysaccharides from eukaryotes*, pp. 381 - 438). Wiley - VCH.

[2]. Chiang, P. Y., Li, P. H., Huang, C. C. & Wang, C. R. (2009). Chemical composition and physical characteristics of water caltrop during growth. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89, 1298 - 1306.

[3]. Zhu, F. (2016). Chemical composition, health effects, and uses of water caltrop. *Trends in Food Science & Technology*, 49, 136 - 145.

[4]. Xu, Z., Liu, X., Zhang, C., Ma, M., Sui, Z. & Corke, H. (2024). Effect of mild alkali treatment on the structure and physicochemical properties of normal and waxy rice starches. *Foods*, 13(15): 1 - 12.

[5]. Carvalho, A. J. F., Job, A. E., Alves, N., Curvelo, A. A. S. & Gandini, A. (2007). Influence of alkali concentration on rice starch. *Carbohydrate Polymers*, 70(3): 283 - 289.

[6]. Chi, H., Xu, K., Xue, D., Song, C., Zhang, W. & Wang, P. (2014). Effect of alkali treatment on structure and functional properties of starch. *Food Chemistry*, 146, 291 - 297.

[7]. El Halal, S. L. M., Kringel, D. H., Zavareze, E. D. R. & Dias, A. R. G. (2019). Methods for extracting cereal starches from different sources: A review. *Starch - Stärke*, 71(11 - 12): 1 - 14.

[8]. Uthumporn, U., Shariffa, Y. N., Fazilah, A. & Karim, A. A. (2012). Effects of NaOH treatment of cereal starch granules on the extent of granular starch hydrolysis. *Colloid and Polymer Science*, 290(15): 1481 - 1491.

[9]. Nguyễn Thị Mai Hương, Phan Ngọc Hòa & Phạm Văn Hùng (2022). Tính chất lý-hóa của tinh bột đậu xanh tách bằng phương pháp sử dụng các hỗ trợ khác nhau. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Thành phố Hồ Chí Minh*, 55, 55 - 65.

[10]. Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 10546:2014. Tinh bột sắn.

[11]. Pathare, P. B., Opara, U. L., & Al-Said, F. A.-J. (2013). Colour measurement and analysis in fresh and processed foods: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 6(1), 36-60.

[12]. Shanise, L. M. E. H., Dianini, H. K., Elessandra, D. R. Z. & Alvaro, R. G. D. (2019).

Methods for extracting cereal starches from different sources: A Review. *Starch Journal*, 71, 1 - 14.

[13]. Usman, M., Ishfaq, M. T., Malik, S. R., Iqbal, M. & Ishfaq, B. (2014). Alkaline extraction of starch from broken rice of Pakistan. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 7(1): 146 - 152.

[14]. Wang, N., Shi, N., Fei, H., Liu, Y., Zhang, Y., Li, Z., Ruan, C. & Zhang, D. (2022). Physicochemical, structural, and digestive properties of pea starch obtained via ultrasonic-assisted alkali extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 89, 1 - 10.

[15]. Zina, H. A. M. & Khalida A. S. (2026). Effect of extraction methods on functional and physicochemical properties of rice and wheat starch. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 57(3): 1013 - 1027.

[16]. Maniglia, B. C. & Tapia-Blacido, D. R. (2016). Isolation and characterization of starch from babassu mesocarp. *Food Hydrocolloids*, 55, 47 - 55.

[17]. Darma, Wang, X. & Kito, K. (2014). Development of sago starch extractor with stirrer rotary blade for improving extraction performance. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, 6(5): 2472 - 2482.

[18]. Lumdubwong, N. & Seib, P. A. (2000). Rice starch isolation by alkaline protease digestion of wet-milled rice flour. *Journal of Cereal Science*, 31(1): 63 - 74.

[19]. Sodhi, N. S. & Singh, N. (2003). Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. *Food Chemistry*, 80, 99 - 108.

[20]. Tilley, A., McHenry, M. P., McHenry, J. A., Solah, V. & Bayliss, K. (2023). Enzymatic browning: The role of substrates in polyphenol oxidase mediated browning. *Current Research in Food Science*, 7, 1 - 10.

[21]. Patindol, J. & Wang, Y. J. (2003). Fine structures and physicochemical properties of starches from chalky and translucent rice kernels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(9): 2777 - 2784.

OPTIMIZATION OF THE STARCH EXTRACTION PROCESS FROM WATER CALTROP (*Trapa natans*) USING RESPONSE SURFACE METHODOLOGY

Le Minh Chien^{1,3}, Nguyen Huu Nghi¹,
Lam Ngoc Thao Vi¹, Nguyen Tuan Anh¹, Cao Thanh Binh¹,
Do Thi Tuyet Nhung², Nguyen Nhat Minh Phuong¹, Tran Chi Nhan¹

¹Institute of Food and Biotechnology, Can Tho University

²Can Tho University of Technology

³National Authority for Agro-Forestry-Fishery Quality,
Processing and Market Development Center 6

Abstract

This study aimed to optimise the extraction of starch from water caltrop using sodium hydroxide (NaOH) solution based on a Central Composite Design model. Four processing factors, including solvent-to-material ratio (2: 1 - 4: 1, w/w), NaOH concentration (0.15 - 0.35%), stirring time (40 - 90 min), and stirring speed (750 - 1,250 rpm), were investigated to determine the optimal conditions for starch extraction while maintaining the highest whiteness index (WI) of the obtained starch and the lowest starch pulp yield. The optimal extraction conditions were identified as a solvent-to-material ratio of 3.55: 1 (w/w), NaOH concentration of 0.25%, stirring time of 73 min and a stirring speed of 1,022 rpm. Under these conditions, the starch recovery yield and WI reached the highest values of 61.09% and 95.09, respectively, while the fibre powder recovery yield was minimised to 26.49%. The results demonstrated that NaOH solution effectively facilitated the separation of starch from the fibrous components of water caltrop, thereby improving both starch recovery yield and the quality of the final starch product.

Keywords: Response surface methodology, optimisation, starch, water caltrop, whiteness index, yield recovery.

Ngày nhận bài: 4/5/2026

Ngày chuyển phản biện: 14/5/2026

Ngày thông qua phản biện: 11/6/2026

Ngày duyệt đăng: 01/7/2026