

NGHIÊN CỨU BIẾN TÍNH TINH BỘT KHOAI MỠ (*Dioscorea alata* L.) TẠO TINH BỘT THỦY PHÂN CHẬM BẰNG PHƯƠNG PHÁP THỦY PHÂN ACID

Võ Minh Hoàng^{1*}, Dương Thị Yến Nhi²

STUDY ON MODIFICATION OF YAM STARCH (*Dioscorea alata* L.) CREATING SLOW DIGESTING STARCH BY ACID HYDROLYSIS

Vo Minh Hoang^{1*}, Duong Thi Yen Nhi²

Tóm tắt – Nghiên cứu được thực hiện nhằm biến tính tinh bột khoai mỡ tạo tinh bột thủy phân chậm (SDS) bằng phương pháp acid tạo tinh bột SDS cao nhất trên cơ sở đánh giá ảnh hưởng của nồng độ acid citric (15 – 45%), nhiệt độ (37,5 – 52,5°C) và thời gian thủy phân (1,5 – 10,5 giờ) được thực hiện dựa trên mô hình đa biến theo phương pháp CCD, và hàm lượng tinh bột SDS_{max} là đáp ứng phụ thuộc. Kết quả nghiên cứu cho thấy mô hình bậc hai thu được có ý nghĩa ($p < 0,05$), độ tin cậy của mô hình $R^2 = 0,979$ phù hợp với tập dữ liệu 97,9%. Hàm lượng tinh bột SDS cao nhất là 18,052% ở nồng độ acid là 40,009%, nhiệt độ 39,962°C và thời gian 8,933 giờ. Độ hòa tan tăng theo nhiệt độ và độ trương nở tăng 50 – 70°C và giảm 70 – 90°C, độ nhớt của tinh bột có xu hướng giảm sau biến tính.

Từ khóa: biến tính tinh bột, tinh bột khoai mỡ, tinh bột thủy phân chậm, thủy phân bằng acid.

Abstract – This study was conducted to modify yam starch to create slowly digestible starch (SDS) by the acid method to create the highest SDS starch on the basis of evaluating the effect of citric acid concentration (15 – 45%), temperature (37.5 – 52.5°C) and hydrolysis time (1.5 – 10.5 h) was performed based on the multivariable model by CCD method, and the starch content SDS_{max} was the dependent response. The results showed that the quadratic model obtained is significant ($p < 0.05$), the reliability of the model $R^2 = 0.979$ showed that the built regression model is suitable for the data set whether 97.9%. As a result, the highest SDS starch content is 18.052% at an acid concentration of 40.009%, a temperature of 39.962°C and a hydrolysis time of 8.933 h. Solubility increases due to temperature, swelling increases in the range temperature of 50 – 70°C and decreases from 70 – 90°C; the viscosity of starch tends to decrease after denaturation.

Keywords: acid hydrolysis, slowly digestible starch, starch modification, yam starch.

¹Khoa Nông Nghiệp - Thủy sản, Trường Đại học Trà Vinh, Việt Nam

²Sinh viên Khoa Nông Nghiệp - Thủy sản, Trường Đại học Trà Vinh, Việt Nam

Ngày nhận bài: 31/7/2022; Ngày nhận bài chỉnh sửa: 25/12/2022; Ngày chấp nhận đăng: 28/12/2022

*Tác giả liên hệ: vmhoang@tvu.edu.vn

¹School of Agriculture and Aquaculture, Tra Vinh University, Vietnam

²Student of School of Agriculture and Aquaculture, Tra Vinh University, Vietnam

Received date: 31st July 2022; Revised date: 25th December 2022; Accepted date: 28th December 2022

*Corresponding author: vmhoang@tvu.edu.vn

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khoai mỡ (*Dioscorea alata* L.) là loại cây lương thực được trồng phổ biến từ Bắc đến Nam ở nước ta. Khoai mỡ có hàm lượng tinh bột ở khoảng 21,34 – 24,63% là nguồn nguyên liệu thích hợp để sản xuất tinh bột [1]. Tinh bột là nguồn cung cấp năng lượng quan trọng thông qua chế độ ăn uống của con người. Dựa theo tốc độ thủy phân trong ruột non bởi tác động của enzyme tiêu hóa, tinh bột được phân thành: tinh bột thủy phân nhanh (RDS – Rapidly Digestible

Starch), tinh bột thủy phân chậm (SDS – Slowly Digestible Starch) và tinh bột không thủy phân (RS – Resistant Starch) [2]. Trong đó, SDS tiêu hóa trong ruột non chậm, dẫn đến việc giải phóng glucose vào máu chậm và kéo dài, cùng với phản ứng đường huyết thấp, có ích trong việc kiểm soát và ngăn ngừa các bệnh liên quan đến tăng đường huyết [3].

Béo phì và tiểu đường là vấn đề sức khỏe nhận được sự quan tâm lớn của con người hiện nay. Những nghiên cứu mới nhất của các nhà khoa học thực phẩm và dinh dưỡng học đã đưa ra kết luận rằng làm chậm tốc độ tiêu hóa glucose từ các nguồn tinh bột ăn vào sẽ giúp làm giảm đường huyết, giảm nhu cầu insulin và gây cảm giác no [4, 5]. Trên thế giới, một số công trình nghiên cứu làm giảm sự thủy phân tinh bột thành glucose bằng các phương pháp biến tính vật lý, hóa học và sinh học để làm biến đổi các tinh bột thủy phân nhanh thành tinh bột thủy phân chậm hoặc tinh bột không thủy phân [4, 6].

Tại Việt Nam, tinh bột biến tính đã sử dụng rộng rãi trong công nghiệp sản xuất. Tuy nhiên, nghiên cứu về biến tính tinh bột để tạo tinh bột SDS còn khá hạn chế. Nghiên cứu này được thực hiện với mục đích tối ưu hóa các thông số của quá trình thủy phân tinh bột bằng acid nhằm tạo hàm lượng tinh bột SDS cao nhất cung cấp nguồn nguyên liệu mới ứng dụng trong lĩnh vực công nghiệp chế biến mang lại lợi ích về sức khỏe cho con người.

II. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

Nguyễn Văn Hùng và cộng sự [7] nghiên cứu về tác động của việc kết hợp xử lý acid và nhiệt – ẩm đến các đặc điểm hóa lý và hàm lượng tinh bột kháng của tinh bột khoai lang tím và khoai mỡ. Kết quả nghiên cứu cho thấy SDS và RS trong tinh bột khoai lang tăng từ 6,6% và 14,7% lên 13,2% và 42,1% tương ứng. Tương tự, SDS và RS trong tinh bột khoai mỡ tăng từ 4,7% và 21,6% lên 11,3% và 46,4% tương ứng. Khả năng trương nở và độ nhớt của tinh bột giảm, trong khi độ hòa tan tăng lên sau khi xử lý.

Xie et al. [8] nghiên cứu biến tính tinh bột ngô bằng acid citric, tinh bột ngô có hàm lượng amylose cao được sử dụng phối trộn với acid citric 40% (w/w) với thời gian phản ứng khác

nhau (3 – 9 giờ). Kết quả cho thấy độ nhớt của tinh bột giảm sau khi thủy phân.

Mei et al. [9] đã so sánh khả năng tiêu hóa, cấu trúc tinh bột và đặc tính lý hóa của các mẫu tinh bột ban đầu với tinh bột sau khi biến tính bằng acid citric. Nhóm tác giả sử dụng acid citric 10 – 40% (w/w) để phản ứng với tinh bột sắn. Kết quả chỉ ra rằng xử lý bằng acid citric làm tăng đáng kể hàm lượng RS và SDS trong các mẫu tinh bột, và đạt giá trị cao nhất ở nồng độ acid là 40% (69,53% RS và 14,24% SDS). Sự trương nở và độ hòa tan của các mẫu tinh bột sau xử lý thấp hơn so với các mẫu tinh bột ban đầu.

Babu et al. [10] nghiên cứu về sự thay đổi đặc tính hóa lý của tinh bột khoai lang được xử lý bằng acid citric. Với các nồng độ khác nhau (1 và 5%) và thời gian (1 và 11 giờ) ở 45°C, kết quả cho thấy độ bền gel, độ nhớt giảm so với tinh bột ban đầu.

Zehra et al. [11] so sánh hai loại tinh bột biến tính là cao lương trắng và hạt ngô. Cả hai loại tinh bột đều được biến tính ở nồng độ acid citric là 20% và 40%. Kết quả sau khi biến tính độ trong của hai loại tinh bột đều giảm so với tinh bột ban đầu, từ 9,78% xuống 2,196% ở tinh bột cao lương trắng, và từ 20,12% xuống 2,55% ở tinh bột ngô. Độ hòa tan sau khi biến tính tăng lên.

Navaf et al. [12] nghiên cứu biến tính tinh bột từ thân cây cọ talipot (*Corypha umbraculifera* L.) bằng acid citric với các nồng độ 5%, 10%, 20% và 40% (w/w). Kết quả cho thấy hàm lượng tinh bột SDS và tinh bột RS tăng lên sau khi biến tính, đạt giá trị cao nhất ở nồng độ acid citric 40%, hàm lượng SDS tăng từ 31,71% lên 39,43% và hàm lượng RS tăng từ 37,55% lên 53,38%.

III. PHƯƠNG PHÁP VÀ PHƯƠNG TIỆN NGHIÊN CỨU

A. Nguyên liệu và hóa chất

Khoai mỡ (*Dioscorea alata* L.) mua từ đại lý ở chợ Trà Vinh, có khối lượng 0,6 – 1 kg/củ, đường kính khoảng 8 – 10 cm, dài khoảng 20 – 22 cm; khoai mỡ được chọn là khoai mỡ ruột tím, có vỏ tối màu, củ cứng, không có nước nhớt.

DNS (3,5 – dinitrosalicilic acid) từ Ấn Độ, $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ (muối seignette), D-glucose, NaOH, acid citric 99,5%, $Na_2S_2O_5$ -

natri metabisulfite, CH_3COOH - acid acetic, CH_3COONa - sodium acitac, KOH.

B. Phương pháp nghiên cứu

Quá trình thực hiện qua hai bước:

(1) – Xác định thành phần hóa học của tinh bột khoai mỡ: nguyên liệu khoai mỡ sẽ được tách chiết bằng cách gọt vỏ, rửa sạch, xay nhuyễn với nước tỉ lệ 1:2, lắng, lọc (hỗn hợp pha nước tỉ lệ 1:4 nhằm giảm độ nhớt dịch lọc), sấy khô ở nhiệt độ phòng 12 giờ rồi đem sấy $50^\circ C$ cho đến độ ẩm đạt 10 – 13%, đem nghiền mịn thu được tinh bột khoai mỡ.

(2) – Tinh bột khoai mỡ sau đó biến tính bằng acid để tạo tinh bột SDS bằng mô hình đa biến. Bố trí thí nghiệm tối ưu được thực hiện theo mô hình *Central composite design* với ba yếu tố nồng độ acid citric, thời gian và nhiệt độ, năm mức độ cho mỗi yếu tố (Bảng 1). Dữ liệu được mã hóa cho ba yếu tố như sau: nồng độ acid citric (A), thời gian thủy phân (B) và nhiệt độ thủy phân (C) là các biến độc lập và hàm lượng tinh bột SDS (Y_{max}) là đáp ứng phụ thuộc, phương trình hồi quy đa thức được áp dụng đề xuất như phương trình (1).

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j=1}^n \sum_{i < j=1} \beta_{ij} X_i X_j + e \quad (1)$$

Trong đó: Y là biến phụ thuộc, β_0 là hệ số chặn; β_i là hệ số phương trình bậc 1, β_{ii} là hệ số phương trình bậc 2 của biến X_i , β_j là hệ số tương tác và e là sai số ngẫu nhiên.

Yếu tố cố định: Lượng mẫu: 50 g, pH: 5,5.

C. Phương pháp phân tích

Từ mô hình toán học, tác giả tính toán được thông số tối ưu cho điều kiện biến tính. Mẫu tinh bột tối ưu sau đó sẽ được đánh giá hàm lượng SDS và so sánh với mẫu thực tế trong cùng điều kiện. Hàm lượng SDS trong các mẫu nghiên cứu này được xác định dựa theo phương pháp Englyst et al. [2] và có sửa đổi theo Juansang et al. [13]. Công thức xác định hàm lượng SDS như sau: $SDS = (G120 - G20) * 0,9$

Trong đó: G20 – hàm lượng glucose sau thủy phân 20 phút; G120 – hàm lượng glucose sau thủy phân 120 phút; 0,9 là hệ số chuyển đổi.

Độ hòa tan của tinh bột được tính theo Schoch et al. [14]:

$$\text{Độ hòa tan}(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m} * 100$$

Trong đó: m: Khối lượng tinh bột đem phân tích, m_1 : Khối lượng vật chứa trước sấy, m_2 : Khối lượng vật chứa sau sấy.

Độ trương nở của tinh bột được tính theo Hung et al. [15].

$$\text{Độ trương nở}(g/g) = \frac{m_2 - m_0}{m_1}$$

Trong đó: m_0 : Khối lượng ống li tâm, m_1 : Khối lượng tinh bột để phân tích, m_2 : Khối lượng mẫu sau khi xử lí.

Độ nhớt (cP) bằng nhớt kế mao quản, được tính theo công thức [16]:

$$\frac{\mu}{\rho} = k.t$$

Trong đó: μ : Độ nhớt (cP), ρ : Khối lượng riêng mẫu (Kg/m^3), k: Hằng số công cụ, t: Thời gian dung dịch chảy trong ống mao quản

Protein tổng số được xác định theo phương pháp Micro – Kjendahl, lipid tổng được xác định theo phương pháp Soxhlet, độ ẩm được xác định theo phương pháp sấy đến khối lượng không đổi, tro toàn phần xác định bằng phương pháp nung cháy hoàn toàn [17, 18].

Xác định hàm lượng amylose theo TCVN 5716-2-2017 [19].

D. Phân tích thống kê

Kết quả được xử lí bằng phần mềm thống kê SPSS Statistics 20 IBM, thí nghiệm tối ưu hóa được xử lí bằng phần mềm Design-Expert 11.0.4.0 from Stat-Ease.

IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

A. Thành phần hóa học tinh bột khoai mỡ

Bảng 1: Mã hóa dữ liệu theo mô hình Central composite desing

Kí hiệu	Nhân tố	Đơn vị	Mức độ				
			-1,5	-1	0	1	+1,5
A	Acid citric	% (w/w)	15	20	30	40	45
B	Thời gian	h	1,5	3	6	9	10,5
C	Nhiệt độ	°C	37,5	40	45	50	52,5

Hàm lượng protein, lipid, tro của tinh bột khoai mỡ đều ở mức thấp và hàm lượng amylose ở mức tương đối cao. Điều này cho thấy mức tinh khiết và chất lượng của tinh bột chiết xuất từ khoai mỡ. Bên cạnh đó, độ ẩm 12% của tinh bột được xem là ở mức thấp, ở độ ẩm này vẫn dưới 13%, phù hợp với phạm vi độ ẩm được khuyến nghị để an toàn để bảo quản [20].

Bảng 2: Các thành phần hóa học của tinh bột khoai mỡ

Thành phần	Hàm lượng (%)
Protein	0,269
Lipid	1,357
Amylose	22,328
Tro	0,017
Độ ẩm	12,500

Amylose là thành phần chính trong tinh bột, đóng vai trò quan trọng trong các đặc tính và công dụng của tinh bột [21]. Hàm lượng amylose trong tinh bột sẽ thay đổi, nó phụ thuộc vào kỹ thuật trồng và chăm sóc, thời điểm thu hoạch và thời gian bảo quản [1]. Trong khi đó, tro là thành phần dùng để đánh giá độ tinh sạch của tinh bột sau khi tách chiết. Hàm lượng tro nhỏ hơn 0,2% sẽ được xem là phương pháp tách chiết hiệu quả [21].

B. Kết quả xác định các điều kiện biến tính tinh bột khoai mỡ tạo tinh bột SDS

Ma trận thực nghiệm mô tả quá trình xử lý theo mô hình Central composite design thu được giá trị quan sát và giá trị dự đoán như Bảng 3.

Kết quả phân tích ANOVA được thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4 cho thấy mô hình hồi quy có ý nghĩa với p -value < 0,0001. Lack of fit (p -value > 0,05), điều này chỉ ra rằng mô hình phù hợp cho tất cả dữ liệu. Độ tin cậy của mô hình $R^2 = 0,9795$, $R_{Adj}^2 = 0,9711$ tương đương với R^2 cho thấy các yếu tố khảo sát đã giải thích phần lớn kết quả thí nghiệm. $R_{dự đoán}^2$ là thước đo mức độ phù hợp của mô hình dự đoán, trong phạm vi 0,20 của R_{Adj}^2 là phù hợp.

Kết quả của phương trình hồi quy có dạng:

$$Y = 10,7871 + 1,5302A + 0,8786B - 0,4048C + 0,7037AB + 0,8437AC - 1,2675BC + 1,1597A^2 + 0,7841B^2 + 1,4119C^2$$

Kết quả của phương trình hồi quy được tìm ra từ việc giải phương trình trong mô hình chỉ là các biến mã hóa nhận giá trị khi p -value < 0,05, do cần chuyển sang biến số thực.

Phương trình hồi quy theo biến số thực có dạng như sau:

$$SDS = 140,2096 - 1,4429A_1 + 2,3461B_1 - 5,1631C_1 + 0,0234A_1B_1 + 0,0168A_1C_1 - 0,0845B_1C_1 + 0,0115A_1^2 + 0,0871B_1^2 + 0,0564C_1^2$$

Trong đó: A_1 (%): Biến thực của giá trị nồng độ acid citric; B_1 (°C): Biến thực của giá trị nhiệt độ; C_1 (giờ): Biến thực của giá trị thời gian.

Từ phương trình toán học, tiến hành tối ưu hóa quá trình thủy phân mà tại đó hàm lượng SDS tạo thành là cao nhất theo yêu cầu đặt ra (Bảng 6).

Kết quả thực nghiệm cho thấy, nhờ vào việc tối ưu hóa bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm, tác giả xác định được nồng độ acid, nhiệt độ và thời gian xử lý mà tại đó có thể đảm bảo hàm lượng SDS là cao nhất. Bề mặt đáp ứng trong không gian ba chiều cho thấy sự tương tác lẫn nhau giữa ba yếu tố đến giá trị khảo sát được thể hiện như Hình 1.

Bảng 3: Giá trị quan sát và giá trị dự đoán trong mô hình hóa

ID	RUN ORDER	SPACE TYPE	A	B	C	Hàm lượng SDS (%)	
						Quan sát	Dự đoán
6	5	Factorial	40	3	50	15,76	15,80
3	6	Factorial	20	9	40	15,77	15,30
6	7	Factorial	40	3	50	15,77	15,80
8	10	Factorial	40	9	50	16,89	16,43
5	12	Factorial	20	3	50	12,39	12,46
7	13	Factorial	20	9	50	10,14	10,27
2	16	Factorial	40	3	40	12,39	12,38
5	17	Factorial	20	3	50	12,39	12,46
3	18	Factorial	20	9	40	14,64	15,30
2	22	Factorial	40	3	40	12,38	12,38
4	23	Factorial	40	9	40	18,02	18,08
4	26	Factorial	40	9	40	18,02	18,08
8	27	Factorial	40	9	50	15,76	16,43
7	28	Factorial	20	9	50	10,14	10,27
1	29	Factorial	20	3	40	12,39	12,42
1	31	Factorial	20	3	40	12,39	12,42
13	3	Axial	30	6	37,5	14,64	14,57
14	8	Axial	30	6	52,5	13,52	13,36
11	9	Axial	30	1,5	45	11,26	11,23
9	14	Axial	15	6	45	11,26	11,10
9	15	Axial	15	6	45	11,26	11,10
10	19	Axial	45	6	45	15,77	15,69
10	20	Axial	45	6	45	15,76	15,69
14	21	Axial	30	6	52,5	13,52	13,36
12	24	Axial	30	10,5	45	13,51	13,87
13	25	Axial	30	6	37,5	14,64	14,57
12	30	Axial	30	10,5	45	14,64	13,87
11	32	Axial	30	1,5	45	11,26	11,23
15	1	Center	30	6	45	11,26	10,79
15	2	Center	30	6	45	11,26	10,79
15	4	Center	30	6	45	10,14	10,79
15	11	Center	30	6	45	10,14	10,79

Khi tăng nồng độ acid ở 40%, thời gian 9 giờ và nhiệt độ thủy phân ở 40°C thì hàm lượng SDS sẽ đạt cao nhất là 18,052%. Tiếp tục tăng nồng độ acid, thời gian và nhiệt độ thủy phân thì hàm lượng SDS lại có xu hướng giảm. Trong quá trình thủy phân, acid citric sẽ bị chuyển hóa thành anhydride citric, tạo liên kết ester với các nhóm hydroxyl của tinh bột. Khi nồng độ acid tăng, SDS sẽ tăng do sự gia tăng cản trở steric không gian làm chậm quá trình xúc tác của enzyme với tinh bột. Khi nồng độ acid tăng lên quá cao, cụ thể trong thí nghiệm là nồng độ 45%, SDS sẽ giảm do steric không gian tạo thành bởi quá nhiều acid citric đã cản trở sự tiếp xúc thêm tinh bột và acid citric [9].

Thí nghiệm kiểm chứng được tiến hành để kiểm chứng tính chính xác của giá trị nhận được từ phương trình hồi quy, ba thí nghiệm được tiến hành lặp lại độc lập ở điều kiện nồng độ acid citric 40%, nhiệt độ 40°C và thời gian thủy phân 9 giờ, kết quả thu được như Bảng 7.

Bảng 7 cho thấy hàm lượng SDS ở thí nghiệm kiểm chứng là 18,020% tương đương với kết quả tối ưu hóa theo mô hình lí thuyết là 18,052% ở cùng điều kiện và không có sự khác biệt ý nghĩa về mặt thống kê ở mức độ tin cậy là 95%. Như vậy, kết quả kiểm định đã khẳng định tính chính xác cao của mô hình đã được xây dựng.

Bảng 4: Phân tích thống kê ANOVA cho hàm lượng SDS

Nguồn	SS ^a	đf ^b	MS ^c	F-value	p-value	
Model	167,24	9	18,58	116,61	< 0,0001	*
A	58,54	1	58,54	367,34	< 0,0001	
B	19,30	1	19,30	121,10	< 0,0001	
C	4,10	1	4,10	25,71	< 0,0001	
AB	7,92	1	7,92	49,73	< 0,0001	
AC	11,39	1	11,39	71,48	< 0,0001	
BC	25,70	1	25,70	161,30	< 0,0001	
A ²	19,94	1	19,94	125,14	< 0,0001	
B ²	9,12	1	9,12	57,21	< 0,0001	
C ²	29,56	1	29,56	185,49	< 0,0001	
Residual	3,51	22	0,1594			
Lack of Fit	0,3360	5	0,0672	0,3604	0,8685	ns
Pure Error	3,17	17	0,1865			
R ²	0,9795					
Adjusted R ²	0,9711					
Predicted R ²	0,9586					
Adequate Precision	35,0089					

Ghi chú: ^a tổng bình phương, ^b bậc tự do, ^c trung bình bình phương, *có ý nghĩa thống kê, ns: không có ý nghĩa

Bảng 5: Phân tích hồi quy của mô hình đa thức bậc hai đầy đủ

	Hệ số	A	B	C	AB	AC	BC	A ²	B ²	C ²
SDS	10,7871	1,5302	0,8786	-0,4048	0,70375	0,84375	-1,2675	1,15969	0,784132	1,41191
p-values		< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

Bảng 6: Kết quả điều kiện tối ưu

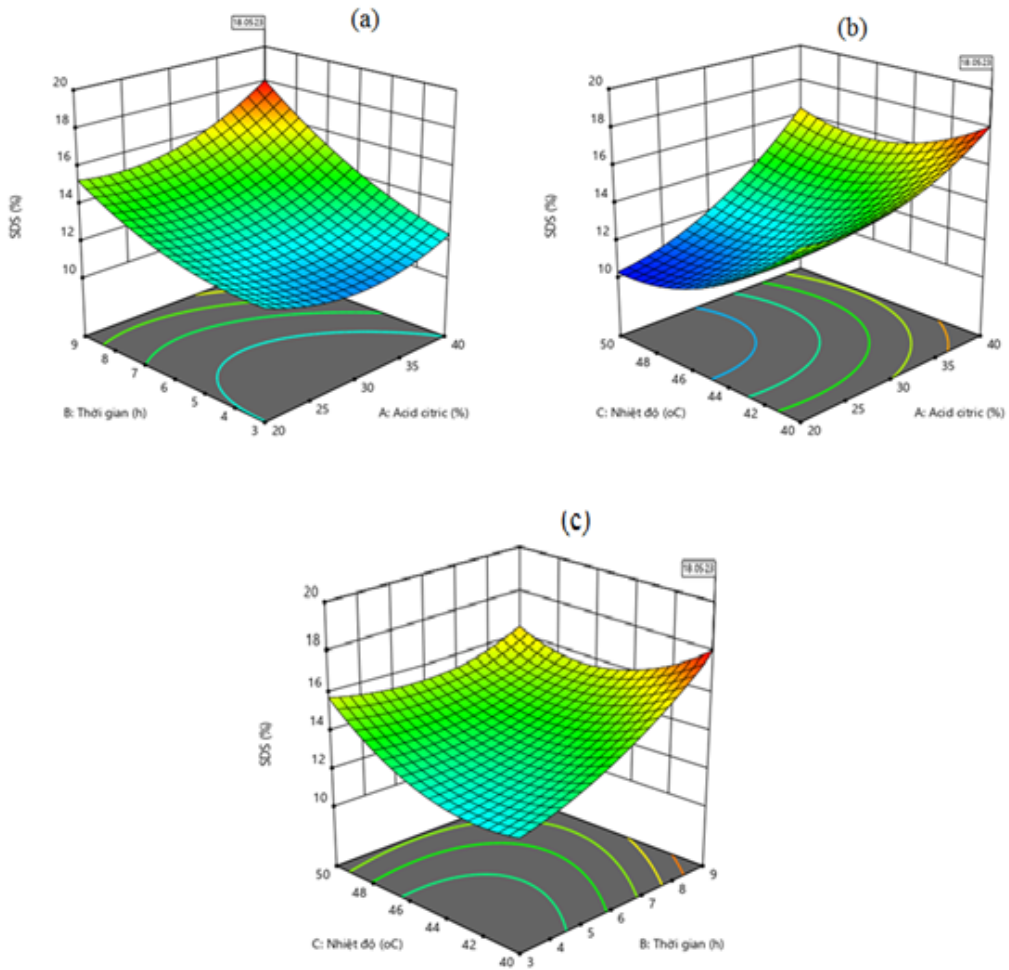
Mẫu tối ưu	Điều kiện tối ưu			Hàm lượng SDS (%)
	Nhiệt độ (°C)	Thời gian (giờ)	Acid citric (%w/w)	
	39,962	8,993	40,009	18,052

C. Ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ hòa tan của tinh bột và tinh bột biến tính

Quá trình biến tính tinh bột bằng acid sẽ làm thay đổi đáng kể một số tính chất của nó. Kết quả của quá trình thí nghiệm được trình bày ở Hình 2, độ hòa tan của cả hai loại tinh bột đều tăng khi tăng nhiệt độ phản ứng 40°C – 90°C.

Trong đó, độ hòa tan của tinh bột biến tính cao hơn so tinh bột tự nhiên. Sự gia tăng độ hòa tan của tinh bột biến tính là do lượng lớn các amylose chuỗi ngắn được tạo thành bởi quá trình thủy phân bằng acid dễ dàng phân li và khuếch tán ra khỏi hạt trong quá trình trương nở [7].

Ở nhiệt độ dưới 70°C, độ hòa tan của cả hai loại tinh bột đều không có sự thay đổi nhiều. Tuy nhiên, khi nhiệt độ dao động từ 70°C đến 90°C, độ hòa tan tăng lên đáng kể từ 1,80% lên 9,10% và 5,23% lên 26,19% tương ứng với tinh bột tự nhiên và tinh bột biến tính.



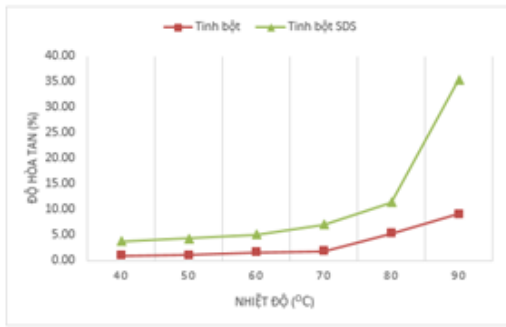
Hình 1: Đồ thị bề mặt đáp ứng của hàm lượng SDS

- (a) Đồ thị bề mặt đáp ứng của hàm lượng SDS theo thời gian và nồng độ acid
- (b) Đồ thị bề mặt đáp ứng của hàm lượng SDS theo nhiệt độ và nồng độ acid
- (c) Đồ thị bề mặt đáp ứng của hàm lượng SDS theo nhiệt độ và thời gian

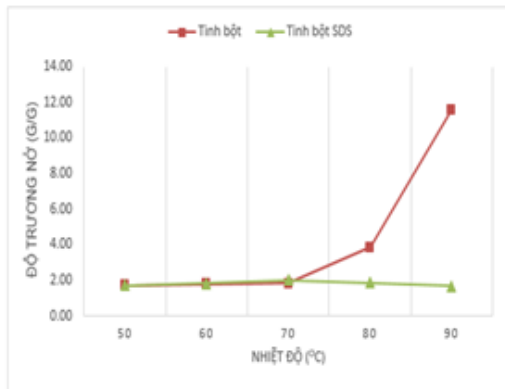
Bảng 7: Kết quả Y từ phương trình hồi quy và thực nghiệm

		Mô hình li thuyết	Mô hình thực tế	Mẫu tự nhiên
Biến	Acid citric, %(w/w)	39,962	40	
	Nhiệt độ, °C	40,009	40	
	Thời gian xử lí, h	8,993	9	
Đáp ứng Y	Hàm lượng SDS, %	18,052 ^a	18,020 ^a ± 0,0025	7,884 ^b ± 0,0025

Ghi chú: Các kí tự trong cùng một dòng giống nhau không có sự khác biệt ý nghĩa thống kê ở 95%.



Hình 2: Biểu đồ thể hiện độ hòa tan của tinh bột tự nhiên và biến tính theo nhiệt độ



Hình 3: Biểu đồ thể hiện độ trương nở của tinh bột tự nhiên và biến tính theo nhiệt độ

D. Kết quả ảnh hưởng của nhiệt độ đến độ trương nở của tinh bột và tinh bột biến tính

Theo kết quả Hình 3 độ trương nở của cả hai loại tinh bột đều thay đổi theo nhiệt độ. Ở tinh bột tự nhiên, độ trương nở tăng lên đáng kể khi nhiệt độ tăng ở khoảng 70°C đến 90°C, tăng từ 1,84 (g/g) lên 15,58 (g/g).

Ở tinh bột biến tính, độ trương nở tăng ở khoảng từ 50°C đến 70°C (1,72 (g/g) lên 2,03 (g/g)) và có xu hướng giảm khi tiếp tục tăng nhiệt độ lên 90°C, từ 2,03 ở 70°C xuống 1,83 (g/g) ở 90°C.

Tinh bột biến tính có độ trương nở thấp hơn so với mẫu tự nhiên là do khi biến tính một phần cấu trúc của amylose và amylopectin ở cả vùng tinh thể và vùng vô định hình thay đổi, các cấu tử mạch ngắn trong cấu trúc tinh bột khi được giải phóng ra ngoài tạo thành thể hòa tan sẽ làm

Bảng 8: Độ nhớt của tinh bột và tinh bột biến tính

Mẫu	Độ nhớt (cP)
Tinh bột	0,8376 ± 0,0012
Tinh bột biến tính	0,8276 ± 0,004

Ghi chú: Giá trị trên là trung bình của ba lần lặp lại

giảm thành phần trong cấu trúc chuỗi bị hydrate hóa của tinh bột, do đó làm giảm mức độ hydrate hóa, vì vậy làm giảm khả năng trương nở của tinh bột [7]. Kết quả này giống với nghiên cứu trước đây của Xie et al. [8].

E. Độ nhớt của dung dịch tinh bột

Độ nhớt là một trong những tính chất quan trọng của tinh bột ảnh hưởng đến chất lượng và kết cấu của thực phẩm chứa tinh bột.

Nhờ các liên kết hydro giữa các nhóm hydroxy, tinh bột có khả năng tập hợp lại với nhau và giữ được nhiều phân tử nước, điều này làm cho dung dịch tinh bột có độ nhớt cao [22]. Bảng 8 cho thấy độ nhớt của tinh bột giảm là do sự phân hủy amylopectin và amylose tạo ra các chuỗi mạch thẳng và nhánh ngắn ở cả vùng tinh thể và vùng vô định hình dẫn đến sự giảm độ nhớt [22].

V. KẾT LUẬN

Thiết kế thí nghiệm theo mô hình Central Composite Design giúp cho việc tối ưu các điều kiện biến tính tinh bột khoai mỡ đạt kết quả như mong đợi. Kết quả tối ưu được thực hiện ở điều kiện nồng độ acid citric 39,962%, nhiệt độ 40,009°C và thời gian 8,993 giờ cho hàm lượng SDS ở mức cao nhất là 18,052%. Khi tăng nhiệt độ, độ hòa tan tinh bột biến tính tăng từ 2,88% lên 26,19%, độ trương nở tăng từ 1,72 (g/g) lên 1,83 (g/g). Độ nhớt giảm sau khi biến tính từ 0,8376 cP xuống còn 0,8276 cP.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Nguyễn Mạnh Dũng. *Góp phần nghiên cứu khoai mỡ (Dioscorea alata) và các yếu tố ảnh hưởng trong quá trình sơ chế, chế biến* [Luận án Tiến sĩ]. Hà Nội: Đại học Bách khoa Hà Nội; 1996.

[2] Englyns, H. N., Kingman S. M., Cummings J. H. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 1992;46(2): 33–50. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2010.01627.x.

- [3] Miao M., Jiang B., Cui S. W., Zhang T., Jin Z. Slowly digestible starch—A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition Slowly Digestible Starch*. 2015;55(12): 1642–1657. Available from: DOI: 10.1080/10408398.2012.704434
- [4] Thorburn A. W., Brand J. C., Truswell A. S. Slowly digested and absorbed carbohydrate in traditional bushfoods: A protective factor against diabetes. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 1987;45(1): 98–106. Available from: DOI: 10.1093/ajcn/45.1.98.
- [5] Björck I., Asp N. G. (1994). Controlling the nutritional properties of starch in foods – a challenge to the food industry. *Trends in Food Science & Technology*. 1994;5(7): 213–218. Available from: DOI: 10.1016/0924-2244(94)90251-8.
- [6] Dupuis J. H., Liu Q., Yada R. Y. Methodologies for increasing the resistant starch content of food starches: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2014;13(6): 1219–1234. Available from: DOI: 10.1111/1541-4337.12104.
- [7] Pham Van Hung, Nguyen Thi Huyen My, Nguyen Thi Lan Phi. Impact of acid and heat-moisture treatment combination on physicochemical characteristics and resistant starch contents of sweet potato and yam starches. *Starch-Stärke*. 2014;66(11–12): 1013–1021. Available from: DOI: 10.1002/star.201400104.
- [8] Xie X., Liu Q. Development and physicochemical characterization of new resistant citrate starch from different corn starches. *Starch-Stärke*. 2004;56(8): 364–370. Available from: DOI: 10.1002/star.200300261.
- [9] Mei J. Q., Zhou D. N., Jin Z. Y., Xu X. M., Chen H. Q. Effects of citric acid esterification on digestibility, structural and physicochemical properties of cassava starch. *Food Chemistry*. 2015;187: 378–384. Available from: DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.04.076.
- [10] Babu A. S., Parimalavalli R., Rudra S. G.. Effect of citric acid concentration and hydrolysis time on physicochemical properties of sweet potato starches. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2015;80: 557–565. Available from: DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2015.07.020.
- [11] Zehra N., Ali T. M., Hasnain, A. Comparative study on citric acid modified instant starches (alcoholic alkaline treated) isolated from white sorghum and corn grains. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020;150: 1331–1341. Available from: DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.143.
- [12] Navaf M., Sunooj K. V., Aaliya B., Sudheesh C., Akhila P. P., Sabu S. et al.. Talipot palm (*Corypha umbraculifera* L.) a nonconventional source of starch: Effect of citric acid on structural, rheological, thermal properties and in vitro digestibility. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2021;182: 554–563. Available from: DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2021.04.035.
- [13] Juansang J., Puttanlek C., Rungsardthong V., Panchanron S., Uttapap D. Effect of gelatinisation on slowly digestible starch and resistant starch of heat-moisture treated and chemically modified canna starches. *Food Chemistry*. 2012;131(2): 500–507. Available from: DOI: 10.1016/j.foodchem.2011.09.013.

- [14] Leach H. W., McCowen L. D., Schoch T. J. Swelling power and solubility of granular starches. *Cereal Chemistry*. 1959;36: 534–544.
- [15] Pham Van Hung, Morita N. Physicochemical properties of hydroxypropylated and cross-linked starches from A-type and B-type wheat starch granules. *Carbohydrate Polymers*. 2005;59(2): 239–246. Available from: DOI: 10.1016/j.carbpol.2004.09.016.
- [16] Igathinathane C., Malleswar V. K., Appa Rao U., Pordesimo L. O., Womac A. R. Viscosity measurement technique using standard glass burette for newtonian liquids. *Instrumentation Science & Technology*. 2005;33(1): 101–125. Available from: DOI: 10.1081/CI-200040881.
- [17] Nguyễn Văn Mùi. *Thực hành hóa sinh học, tái bản lần 2*. Hà Nội: Nhà Xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội; 2007.
- [18] Nguyễn Thị Hiền, Từ Việt Phú và Trần Thanh Đại. *Phân tích thực phẩm*. Hà Nội: Nhà Xuất bản Lao động Hà Nội; 2010.
- [19] TCVN 5716-2:2017 (ISO 6647-2:2015). *Tiêu chuẩn quốc gia về gạo - Xác định hàm lượng amylose - Phần 2: Phương pháp thông dụng (xuất bản lần 2)*; 2017.
- [20] Oliveira A. R., Ribeiro A. E. C., Gondim Í. C., dos Santos E. A., de Oliveira É. R., Coutinho G. S. M. et al. Isolation and characterization of yam (*Dioscorea alata* L.) starch from Brazil. *Food Science and Technology*. 2021;149(5). Available from: DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111843.
- [21] Zhu F. Isolation, composition, structure, properties, modifications, and uses of yam starch. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2015;14(4): 357–386. Available from: DOI: 10.1111/1541-4337.12134.
- [22] Hoàng Kim Anh. *Hóa học thực phẩm*. Hà Nội: Nhà Xuất bản Khoa học và Kỹ thuật; 2007.

