

ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ TRONG QUY TRÌNH THU NHẬN BỘT KHOAI MỠ ĐẾN HÀM LƯỢNG TINH BỘT KHÁNG CỦA SẢN PHẨM

Trần Thị Thúy An¹, Lê Thị Vĩnh Bình¹, Nguyễn Thị Quỳnh Hoa¹, Trịnh Quốc Thắng¹,
Phan Văn Mẫn², Trần Chí Hải^{1*}

¹Khoa Công nghệ Thực phẩm, Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh

²Khoa Du lịch, Trường Cao đẳng Kỹ thuật Công nghệ Bà Rịa-Vũng Tàu

*Email: haitec@huit.edu.vn

Ngày nhận bài: 11/6/2025; Ngày nhận bài sửa: 25/7/2025; Ngày chấp nhận đăng: 31/7/2025

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm đánh giá tác động của các thông số công nghệ gồm độ dày lát cắt, nồng độ acid citric, thời gian hấp, nhiệt độ và thời gian sấy đến hàm lượng tinh bột kháng (RS) và độ ẩm của bột khoai mỡ (*Dioscorea alata*). Kết quả cho thấy điều kiện tối ưu để thu nhận hàm lượng RS cao nhất (24,28%) là: lát cắt dày 6 mm, ngâm acid citric 0,5% trong 30 phút, hấp 15 phút và sấy ở 70 °C trong 5 giờ. Phân tích hiển vi điện tử quét (SEM) cho thấy cấu trúc bề mặt tinh bột sau xử lý trở nên chặt chẽ hơn, với sự xuất hiện của các vùng phòng đặc trưng cho quá trình biến tính vật lý. Phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) xác nhận cả hai mẫu trước và sau xử lý đều thuộc dạng tinh thể loại C, tuy nhiên chỉ số kết tinh giảm từ 46,7% xuống còn 40%, phản ánh sự gia tăng của vùng vô định hình – yếu tố thuận lợi cho sự hình thành RS loại III dưới tác động của nhiệt. Khi ứng dụng vào sản xuất bánh mì, việc bổ sung 10% bột khoai mỡ vào công thức được đánh giá là phù hợp, góp phần cải thiện màu sắc và độ mềm của ruột bánh, đồng thời nâng cao giá trị dinh dưỡng mà không làm ảnh hưởng đáng kể đến kết cấu tổng thể của sản phẩm so với mẫu đối chứng.

Từ khóa: Bột khoai mỡ, tinh bột kháng, độ ẩm.

1. MỞ ĐẦU

Khoai mỡ (*Dioscorea alata*), hay còn gọi là khoai tím, là một trong những cây lương thực truyền thống được trồng phổ biến tại Nam Á, Đông Nam Á và châu Phi. Tổ chức Nông Lương Liên Hợp Quốc (FAO) đã xác định khoai mỡ là một trong những loại cây trồng có tiềm năng chiến lược trong việc đảm bảo an ninh lương thực toàn cầu, nhờ khả năng thích nghi tốt với điều kiện khí hậu nhiệt đới và giá trị dinh dưỡng cao. Trong số các loài thuộc chi *Dioscorea*, khoai mỡ nổi bật bởi thành phần dinh dưỡng đa dạng, bao gồm hàm lượng cao chất xơ, anthocyanin và 18 loại axit amin, trong đó có 8 axit amin thiết yếu – yếu tố tạo nên sự khác biệt đáng kể so với các nguồn tinh bột truyền thống như khoai tây, khoai lang hay sắn [1].

Đặc biệt, khoai mỡ là nguồn tinh bột giàu chất xơ hòa tan và anthocyanin – hai thành phần quan trọng có khả năng làm chậm hấp thu glucose, hỗ trợ điều hòa lipid máu và tăng cường khả năng chống oxy hóa [2, 3]. Bên cạnh đó, khoai mỡ còn chứa hàm lượng kali cao, giúp điều hòa huyết áp và hỗ trợ chức năng tim mạch [1]. Một đặc điểm được quan tâm gần đây là hàm lượng tinh bột kháng (Resistant Starch – RS), đặc biệt là RS type III – dạng tinh bột được hình thành thông qua quá trình hồ hóa – làm nguội và tái kết tinh, có tác dụng cải thiện sức khỏe đường ruột, hỗ trợ chuyển hóa năng lượng và kiểm soát đường huyết [6].

Các nghiên cứu gần đây cho thấy quá trình chế biến có thể làm thay đổi đáng kể hàm lượng RS trong thực phẩm giàu tinh bột. Faridah cộng sự (2022) báo cáo rằng quá trình sấy kết hợp làm nguội có thể thúc đẩy tái kết tinh amylose và làm tăng lượng RS [7]. Nugraheni cộng sự (2021) cho thấy xử lý bằng acid citric và sấy ở 60–70 °C có thể duy trì tốt đặc tính cảm quan và sinh học của bột khoai mỡ [8], trong khi Rosida cộng sự (2015) ghi nhận hàm lượng RS tăng đáng kể tùy theo điều kiện chế biến [9].

Tuy nhiên, tại Việt Nam, khoai mỡ vẫn chủ yếu được tiêu thụ tươi hoặc chế biến đơn giản, chưa được tận dụng đầy đủ trong lĩnh vực thực phẩm chức năng. Trong khi đó, các yếu tố công nghệ như độ dày lát cắt, nồng độ dung dịch acid citric, thời gian hấp, nhiệt độ và thời gian sấy có thể ảnh hưởng đáng kể đến mức độ biến tính tinh bột và sự hình thành RS type III. Độ dày lát cắt ảnh hưởng đến tốc độ truyền nhiệt và mức độ hồ hóa, acid citric là chất biến tính nhẹ làm thay đổi cấu trúc tinh bột, trong khi điều kiện hấp và sấy có thể kiểm soát mức độ tái kết tinh tinh bột sau hồ hóa. Mặc dù các yếu tố này đã được nghiên cứu riêng lẻ trong một số tài liệu, nhưng chưa có nhiều nghiên cứu khảo sát hệ thống trên khoai mỡ trong điều kiện địa phương. Vì vậy, nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá ảnh hưởng riêng lẻ của từng thông số công nghệ – bao gồm độ dày lát cắt, nồng độ acid citric, thời gian hấp, nhiệt độ và thời gian sấy – đến hàm lượng tinh bột kháng và độ ẩm của bột khoai mỡ. Thông qua đó, nghiên cứu góp phần làm sáng tỏ vai trò của từng yếu tố công nghệ trong việc gia tăng giá trị dinh dưỡng của khoai mỡ, phục vụ định hướng phát triển các sản phẩm thực phẩm chức năng giàu tinh bột kháng trong nước.

2. NGUYÊN LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

2.1.1. Nguyên liệu

Khoai mỡ được trồng và thu mua phổ biến tại các vườn thuộc khu vực Long An. Khoai mỡ sử dụng cần đảm bảo còn nguyên vẹn, không bị cắt ra, củ to đều, độ dài củ khoảng từ 15-20 cm với đường kính từ 7-10 cm, không bị hư hỏng, dập nát, màu sắc khoai mỡ được lựa chọn trong khoảng cố định, có chụp hình để so sánh. Khoai được cắt theo các kích thước khảo sát, sau đó tiến hành khảo sát các điều kiện sản xuất ra bột thành phẩm.

2.1.2. Hóa chất

Acid citric ($C_6H_8O_7$) (99,5%), Acid axetic băng (CH_3COOH) (99,5%), Amyloglucosidaza (99,5%), Canxi clorua hydrate ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$) (99,5%), Ethanol absolute (C_2H_5OH), cồn tuyệt đối (99%), Sulfuric acid (H_2SO_4) (98%), Sodium hydroxide (NaOH) (96%). Các hóa chất còn lại đều có độ tinh khiết đáp ứng yêu cầu phân tích.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Khảo sát độ dày lát cắt

Độ dày lát cắt là yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến quá trình truyền nhiệt và khuếch tán ẩm trong quá trình sấy. Để đánh giá ảnh hưởng này, khoai mỡ được cắt thành các lát có độ dày lần lượt là 3 mm, 6 mm, 9 mm và 12 mm. Các mẫu được ngâm trong dung dịch acid citric 0,5% trong 30 phút [10]. Sau đó, khoai được hấp bằng bếp điện từ trong thời gian 15 phút [11] để làm chín đồng đều. Các mẫu sau hấp được sấy ở 70 °C trong 5 giờ. Sản phẩm sau khi sấy được mang đi nghiền mịn bằng máy xay công nghiệp với công suất lớn, sau đó được rây qua rây với lỗ lọc 125 μm , sau đó mang đi phân tích hàm lượng tinh bột kháng cùng độ ẩm để lựa chọn độ dày lát cắt tối ưu cho thí nghiệm tiếp theo.

2.2.2. Khảo sát nồng độ acid citric

Acid citric ảnh hưởng đến quá trình hồ hóa và thoái hóa tinh bột, gián tiếp làm tăng hàm lượng tinh bột kháng trong sản phẩm sau sấy thông qua tương tác với cấu trúc phân tử amylose và amylopectin [12]. Do đó, thí nghiệm khảo sát nồng độ acid citric được thực hiện với các mức 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75% và 1%, ngâm trong 30 phút [10]. Sau quá trình ngâm, mẫu được hấp trong 15 phút và tiếp tục sấy ở 70 °C trong 5 giờ. Khoai mỡ sau khi sấy được mang đi nghiền và rây thu lấy bột phục vụ cho việc phân tích hàm lượng tinh bột kháng.

2.2.3. Khảo sát thời gian hấp

Quá trình hấp có vai trò quan trọng trong việc biến đổi cấu trúc mô thực vật, góp phần làm mềm nguyên liệu, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình thoát ẩm trong giai đoạn sấy và giúp duy trì hình thái sản phẩm sau xử lý nhiệt. Trong nghiên cứu này, mẫu khoai mỡ được chuẩn bị với độ dày lát cắt và nồng độ acid citric đã được xác định là phù hợp từ các thí nghiệm trước đó, sau đó được hấp trong các khoảng thời gian khác nhau (10, 15, 20 và 25 phút), tính từ thời điểm nước bắt đầu sôi ở 100 °C. Sau khi hấp, mẫu được sấy ở 70 °C trong 5 giờ, sau đó đem nghiền và rây để thu bột. Mẫu bột thu được được phân tích hàm lượng tinh bột kháng và độ ẩm, nhằm xác định thời gian hấp thích hợp cho các khảo nghiệm tiếp theo.

2.2.4. Khảo sát điều kiện sấy (thời gian và nhiệt độ)

Quá trình sấy đóng vai trò quan trọng quyết định trong việc loại bỏ ẩm, duy trì chất lượng cảm quan và cấu trúc sản phẩm, đồng thời ảnh hưởng đến khả năng hình thành tinh bột kháng. Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của thời gian và nhiệt độ sấy đến đặc tính sản phẩm được khảo sát đồng thời nhằm xác định điều kiện tối ưu. Mẫu khoai mỡ sau khi được xử lý sơ bộ (lát cắt, nồng độ acid citric và thời gian hấp phù hợp) được sấy ở nhiệt độ 50 °C, 60 °C, 70 °C và 80 °C, tương ứng với các mốc thời gian 4, 5, 6, và 7 giờ. Khoai mỡ sau khi sấy được mang đi nghiền và rây và phân tích hàm lượng tinh bột kháng.

2.3. Các phương pháp phân tích đặc tính vật lý – hóa học của bột khoai mỡ

Sau khi được nghiền nhỏ và rây qua lưới 0,5 mm, bột khoai mỡ thành phẩm được đem đi phân tích bằng nhiều kỹ thuật nhằm đánh giá đặc tính vật liệu. Hình thái bề mặt được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét SEM (Quanta 650-FEG, FEI, USA) ở độ phóng đại 10.000 lần, sau khi mẫu được phủ vàng bằng phương pháp sputter coating để tăng độ dẫn điện. Song song đó, cấu trúc tinh thể của mẫu được xác định bằng nhiễu xạ tia X (XRD) sử dụng thiết bị D2 Phaser (Bruker, Đức), từ đó tính toán chỉ số kết tinh theo công thức của Segal et al. (1959) [13] nhằm làm rõ mức độ tái kết tinh của tinh bột sau xử lý.

$$CI (\%) = \frac{I_{002} - I_{am}}{I_{002}} \times 100$$

Trong đó: I_{002} , I_{am} là cường độ của các đỉnh kết tinh và vùng vô định hình

Hàm lượng tinh bột kháng (RS) – tiêu chí chính của nghiên cứu – được xác định bằng bộ kit K-RAPRS của Megazyme, theo chuẩn AOAC 2017.1. Ngoài ra, hàm lượng ẩm được đo bằng phương pháp sấy hồng ngoại và hàm lượng xơ hòa tan được xác định theo AOAC Official Method 962.09 [14]. Các chỉ tiêu này được sử dụng để phân tích mối tương quan giữa điều kiện xử lý (kích thước lát cắt, thời gian sấy, nồng độ acid) với hiệu quả hình thành tinh bột kháng và đặc điểm vi cấu trúc sản phẩm.

Cấu trúc của sản phẩm - độ cứng bánh mì được đo bằng máy phân tích cấu trúc CTX Brookfield, sử dụng đầu dò hình trụ TA25/1000, dữ liệu được xử lý bằng phần mềm Texture Pro phiên bản 1.0.19. Thông số thiết lập được chọn: tốc độ nén: 1 mm/s và độ biến dạng 40%.

Đánh giá cảm quan sản phẩm ứng dụng:

Bài kiểm tra đánh giá sự chấp nhận của bánh mì bổ sung bột khoai mỡ có sự tham gia của 60 người không chuyên. Mỗi người được cung cấp một mẫu giấy có 9 thang điểm (9-rất thích đến 1-rất không thích). Mỗi người được phát 4 mẫu bánh mì với công thức lần lượt, bánh mì làm từ 100% bột mì, 10%, 20%, 30% bột khoai mỡ bổ sung. Các mẫu được phục vụ trong đĩa nhựa dùng một lần màu trắng; được mã hóa bằng ba con số ngẫu nhiên. Các mẫu được đánh giá theo các tính chất cảm quan của chúng: cảm nhận chung, hương thơm, hương vị, màu sắc và kết cấu. Người tham gia được khuyến cáo luôn súc miệng bằng nước trước khi thử mẫu tiếp theo. Sau đó dữ liệu được xử lý bằng phần mềm Minitab với mức ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$)

2.4. Xử lý số liệu

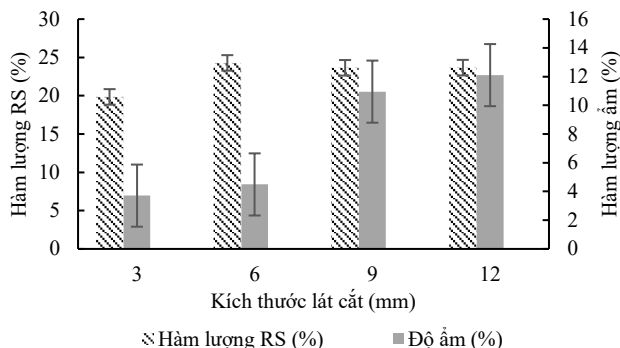
Trong nghiên cứu này, mỗi thí nghiệm được lặp lại 3 lần. Kết quả được thể hiện dưới dạng giá trị trung bình $\pm$ độ lệch chuẩn. Để đánh giá sự khác biệt giữa các nghiệm thức tại mức ý nghĩa 5%, phân tích phương sai một yếu tố và kiểm định LSD được sử dụng với sự hỗ trợ của phần mềm Minitab Statistical 19.0.

3. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của kích thước lát cắt đến hàm lượng tinh bột kháng RS

Hình 1 thể hiện sự ảnh hưởng của kích thước lát cắt đến sự hình thành tinh bột kháng và độ ẩm của bột thành phẩm. Kích thước lát cắt được xác định là một trong những yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến cả hàm lượng tinh bột kháng (RS) và độ ẩm còn lại sau sấy. Kết quả trình bày tại Hình 1 cho thấy xu hướng thay đổi rõ rệt của hàm lượng RS theo độ dày lát cắt. Khi độ dày giảm từ 12 mm xuống 6 mm, hàm lượng RS tăng đáng kể và đạt cực đại ở độ dày 6 mm với giá trị 24,28%. Tuy nhiên, khi lát cắt tiếp tục mỏng hơn xuống 3 mm, hàm lượng RS lại giảm còn 19,84%. Ở chiều ngược lại, lát cắt dày nhất (12 mm) cho giá trị RS đạt 23,67%. Mức tăng hàm lượng RS tại độ dày 6 mm có thể được giải thích bởi sự tối ưu trong quá trình xử lý nhiệt – ẩm: độ dày này cho phép sự gelatin hóa xảy ra vừa đủ để phá vỡ

trật tự hạt tinh bột, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình tái kết tinh (retrogradation) – cơ chế chính hình thành RS loại III [31]. Trong khi đó, các lát cắt dày hơn (9–12 mm) có khả năng truyền nhiệt thấp, đặc biệt tại vùng trung tâm mẫu, dẫn đến quá trình hồ hóa không hoàn toàn, làm hạn chế sự chuyển đổi tinh bột thành dạng RS [15].



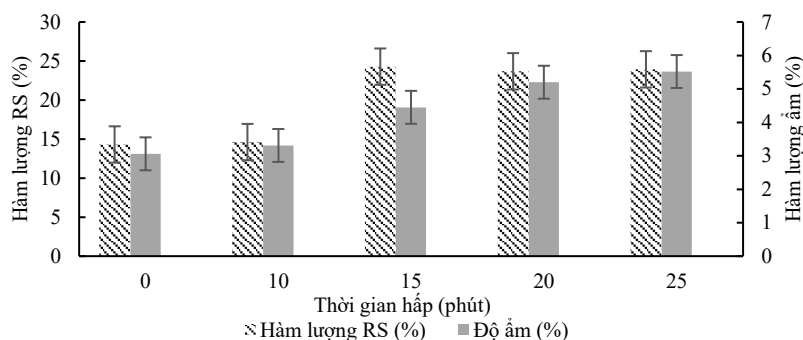
Hình 1. Ảnh hưởng của kích thước lát cắt đến hàm lượng tinh bột kháng

Về mặt độ ẩm sản phẩm, kết quả lại thể hiện xu hướng ngược lại so với RS. Độ ẩm sau sấy tăng dần khi độ dày lát cắt tăng lên: lát có độ dày 3 mm có độ ẩm thấp nhất là 3,71% sau đó là 6 mm đạt 4,49%, trong khi lát có độ dày 9 mm và 12 mm độ ẩm cao hơn đáng kể, lần lượt là 10,95% và 12,1%. Điều này là do các lát cắt dày có tỷ lệ bề mặt tiếp xúc với không khí sấy thấp hơn, cản trở sự thoát ẩm và kéo dài thời gian sấy [27]. So sánh đồng thời giữa hai chỉ tiêu cho thấy độ dày lát cắt 6 mm là điều kiện thích hợp, giúp nâng cao hàm lượng tinh bột kháng trong khi đảm bảo độ ẩm thấp, thuận lợi cho việc bảo quản và kéo dài thời hạn sử dụng.

3.2. Ảnh hưởng của thời gian hấp đến hàm lượng tinh bột kháng

Trong Hình 2 trình bày sự ảnh hưởng của yếu tố thời gian hấp đến sự hình thành tinh bột kháng và độ ẩm của bột khoai mỡ. Kết quả nghiên cứu cho thấy thời gian hấp có ảnh hưởng rõ rệt đến cả hàm lượng tinh bột kháng (RS) và độ ẩm của bột khoai mỡ. Hàm lượng RS tăng đáng kể từ 14,31% khi không hấp lên mức cao nhất là 24,28% ở 15 phút, sau đó giảm nhẹ ở 20 và 25 phút, lần lượt còn 23,68% và 23,93%. Sự gia tăng RS đến thời điểm 15 phút có thể được giải thích do quá trình gelatin hóa xảy ra hoàn chỉnh, giúp giải phóng amylose – thành phần đóng vai trò chính trong sự hình thành RS thông qua hiện tượng tái kết tinh khi làm nguội. Đây là thời điểm mà tinh bột được phá vỡ đủ để tạo điều kiện hình thành cấu trúc RS mà không bị mất đi quá nhiều amylose. Tuy nhiên, khi thời gian hấp tiếp tục kéo dài đến 20 và 25 phút, hàm lượng RS bắt đầu giảm nhẹ. Hiện tượng này phù hợp với nhận định của Bavaneethan và cộng sự (2015), cho rằng thời gian nhiệt phân quá lâu có thể làm phá hủy cấu trúc tinh bột quá mức, dẫn đến sự mất mát amylose vào nước hấp hoặc làm giảm khả năng tái kết tinh do các chuỗi phân tử bị cắt ngắn [16]. Đồng thời, theo Akinwande và cộng sự (2019), sự gia tăng thời gian hấp cũng làm giảm hàm lượng amylose do hòa tan vào pha lỏng, từ đó ảnh hưởng đến sự hình thành RS [17].

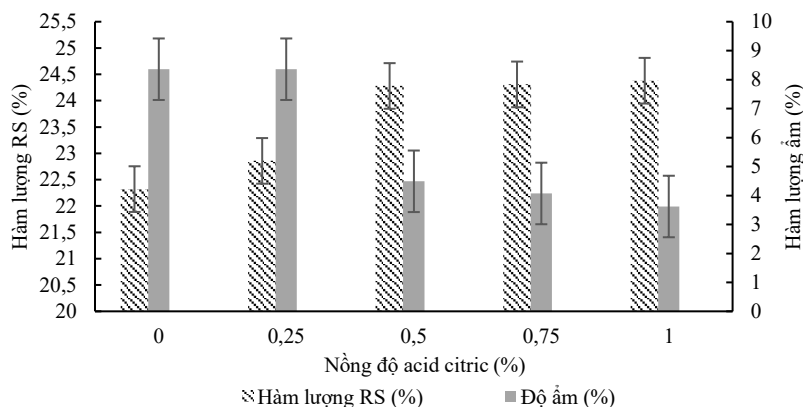
Bên cạnh đó, độ ẩm của bột khoai mỡ có xu hướng tăng từ 3,31% (10 phút) tăng lên 4,45–5,52% ở các thời gian còn lại (15–25 phút). Sự gia tăng này có thể liên quan đến những biến đổi trong cấu trúc tinh bột dưới tác động của nhiệt và hơi nước trong quá trình hấp, từ đó ảnh hưởng đến khả năng giữ nước của bột sau khi sấy. Mặc dù sự thay đổi độ ẩm không quá lớn, nhưng mức độ này vẫn có thể ảnh hưởng đến tính chất lưu trữ và độ ổn định của sản phẩm cuối cùng. Như vậy, thời gian hấp 15 phút được xem là tối ưu, vừa đảm bảo quá trình gelatin hóa hiệu quả, làm tăng hàm lượng RS, vừa giữ độ ẩm ở mức vừa phải, góp phần nâng cao chất lượng và giá trị dinh dưỡng của bột khoai mỡ.



Hình 2. Ảnh hưởng của thời gian hấp đến hàm lượng tinh bột kháng

3.3. Ảnh hưởng của nồng độ acid citric đến hàm lượng tinh bột kháng

Ảnh hưởng của nồng độ acid citric (0–1%) đến hàm lượng tinh bột kháng (RS) sau quá trình xử lý nhiệt – ẩm thể hiện ở Hình 3. Kết quả cho thấy xu hướng tăng của RS khi nồng độ acid citric tăng dần. Cụ thể ở mẫu đối chứng không ngâm acid, hàm lượng RS đạt mức thấp nhất là 22,32%. Khi tăng nồng độ acid citric lên 0,25%, 0,5%, 0,75% và 1%, hàm lượng RS lần lượt đạt 22,86%, 24,28%, 24,31% và 24,38%. Đáng chú ý, mức tăng rõ rệt nhất ghi nhận trong khoảng từ 0% đến 0,5%, trong khi từ 0,75% đến 1%, mức tăng đã bắt đầu chậm lại và không có sự khác biệt về mặt ý nghĩa thống kê ($p < 0,05$). Sự gia tăng RS có thể được lý giải bởi vai trò xúc tác nhẹ của acid citric trong quá trình thủy phân tinh bột, giúp cắt đứt một phần liên kết glycosidic, tạo thành các đoạn mạch ngắn có khả năng tái sắp xếp và kết tinh tốt hơn trong giai đoạn làm lạnh sau hồ hóa – đặc trưng của tinh bột kháng type III (RS3). Cơ chế này phù hợp với kết luận của Hùng và cộng sự (2015) và Ye và cộng sự (2019), tiền xử lý bằng acid hữu cơ có thể làm tăng khả năng kết tinh lại của amylose và amylopectin, từ đó gia tăng tỷ lệ RS trong sản phẩm bột [12, 18].



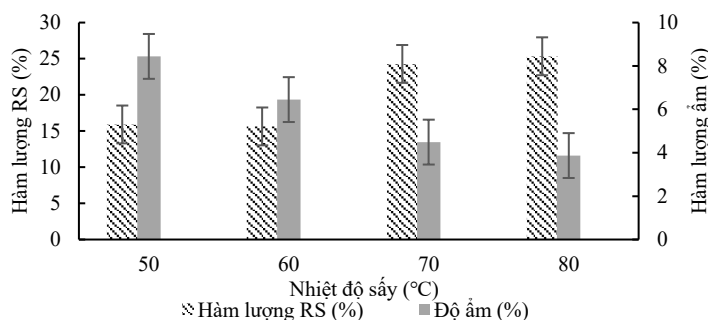
Hình 3. Ảnh hưởng của nồng độ acid citric đến hàm lượng tinh bột kháng

Bên cạnh đó, khi xét đến độ ẩm sản phẩm sau sấy – một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến thời gian bảo quản và độ giòn của sản phẩm – kết quả lại cho thấy xu hướng ngược lại. Cụ thể, độ ẩm giảm dần khi nồng độ acid citric tăng từ 0% đến 1% (8,36% xuống còn 3,62%) cho thấy quá trình ngâm acid đã hỗ trợ phá vỡ cấu trúc tế bào, làm tăng khả năng thoát ẩm trong quá trình sấy [19]. Ở nồng độ 1% cho thấy hàm lượng ẩm trong bột khoai mỡ là thấp nhất, tuy nhiên xét về lượng RS lại không có sự khác biệt so với nồng độ 0,5%. Do đó, nồng độ acid citric 0,5% được lựa chọn làm điều kiện xử lý tối ưu cho các thí nghiệm tiếp theo, hướng đến mục tiêu cải thiện đồng thời hàm lượng tinh bột kháng và đặc tính bảo quản sản phẩm.

3.4. Ảnh hưởng của nhiệt độ sấy tới hàm lượng tinh bột kháng

Kết quả về ảnh hưởng của nhiệt độ sấy đến sự hình thành tinh bột kháng và độ ẩm của sản phẩm được trình bày trong Hình 4. Nhiệt độ sấy là một yếu tố then chốt ảnh hưởng đến cấu trúc và tính chất lý hóa của tinh bột, đặc biệt trong quá trình biến tính nhằm nâng cao hàm lượng tinh bột kháng (RS), cụ thể là RS type 3 – dạng tinh bột kháng hình thành từ quá trình gelatin hóa và tái kết tinh khi làm

nguội. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự thay đổi nhiệt độ sấy ảnh hưởng rõ rệt đến cả độ ẩm còn lại và hàm lượng RS trong bột khoai mỡ.



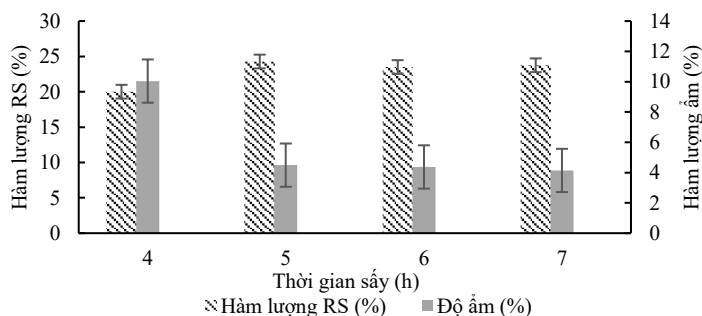
Hình 4. Ảnh hưởng của nhiệt sấy đến hàm lượng tinh bột kháng trong khoai mỡ

Cụ thể, độ ẩm còn lại giảm dần khi nhiệt độ sấy tăng, từ 8,44% ở 50 °C xuống còn 3,87% ở 80 °C. Mức giảm này phản ánh hiệu quả tách ẩm tăng theo nhiệt độ – phù hợp với quy luật khuếch tán ẩm trong vật liệu sinh học dưới tác động nhiệt. Việc giảm độ ẩm có ý nghĩa quan trọng trong bảo quản sản phẩm: khi hàm lượng ẩm thấp hơn ngưỡng ẩm cân bằng, hoạt độ nước (*aw*) của sản phẩm cũng giảm, từ đó ức chế sự phát triển của vi sinh vật, nấm mốc và phản ứng hóa học không mong muốn [20, 21]. Theo nghiên cứu của Yue và cộng sự (1999), ẩm cân bằng đối với bột khoai mỡ dao động trong khoảng 6–8% [21]. Như vậy, mẫu sấy ở 60–70 °C với độ ẩm còn lại khoảng 5,21–4,26% có thể xem là phù hợp để kéo dài thời gian bảo quản mà không cần dùng thêm chất bảo quản hóa học. Đây cũng là khoảng nhiệt độ cho thấy hiệu quả rõ rệt trong việc nâng cao hàm lượng RS: từ mức thấp ban đầu, RS tăng đáng kể (~8,64%) khi nhiệt độ tăng từ 60 lên 70 °C, cho thấy đây là vùng nhiệt thích hợp thúc đẩy quá trình hồ hóa một phần và tái kết tinh các chuỗi amylose – cơ chế đã được mô tả trong các nghiên cứu trước đây [20, 21]. Tuy nhiên, khi tăng nhiệt độ sấy lên 80 °C, hàm lượng RS chỉ tăng nhẹ thêm 1,06% so với mẫu ở 70 °C, trong khi màu sắc và hình thái sản phẩm bắt đầu thay đổi rõ rệt – biểu hiện của các phản ứng Maillard và caramen hóa ở nhiệt độ cao, như đã được báo cáo bởi Widyastuti và cộng sự (2022) [22]. Ngoài ra, sự gia tăng nhiệt quá mức có thể gây phân hủy cấu trúc tinh bột, làm suy giảm khả năng sắp xếp lại trật tự không gian cần thiết để hình thành RS type III, từ đó làm hiệu suất chuyển hóa RS bị giới hạn.

Như vậy trong điều kiện thí nghiệm hiện tại, nhiệt độ sấy 70 °C được xác định là thích hợp khi đạt được sự cân bằng giữa hiệu suất bay hơi nước, bảo toàn cấu trúc tinh bột và nâng cao giá trị dinh dưỡng của sản phẩm thông qua tăng hàm lượng tinh bột kháng.

3.5. Ảnh hưởng của thời gian sấy đến hàm lượng tinh bột kháng

Kết quả thể hiện trong Hình 5 cho thấy thời gian sấy ảnh hưởng có ý nghĩa đến sự thay đổi của hàm lượng tinh bột kháng (RS) và độ ẩm còn lại trong sản phẩm. Khi thời gian sấy được kéo dài từ 4 lên 5 giờ, hàm lượng RS tăng mạnh từ 20,01% lên 24,28%, trong khi độ ẩm giảm đáng kể từ 10,04% xuống còn 4,49%. Sự thay đổi đồng thời này cho thấy rằng giai đoạn sấy 5 giờ tạo ra điều kiện thuận lợi để các chuỗi amylose trong tinh bột sắp xếp lại theo trật tự tinh thể – một đặc trưng của quá trình hình thành RS type 3. Cơ chế này phù hợp với các nghiên cứu trước đó của Yue và cộng sự (1999) và Tribess và cộng sự (2009), trong đó nhấn mạnh vai trò quyết định của độ ẩm thích hợp trong việc kiểm soát cấu trúc và chức năng của tinh bột sau xử lý nhiệt [21, 23].



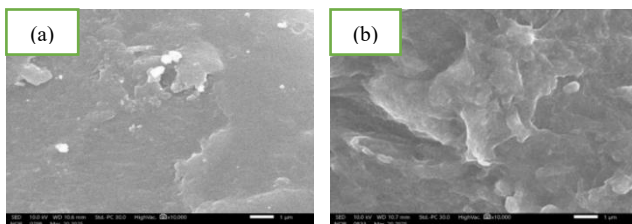
Hình 5. Ảnh hưởng của thời gian sấy đến hàm lượng RS thu được của bột khoai mỡ

Tuy nhiên, khi thời gian sấy tiếp tục tăng lên 6 và 7 giờ, độ ẩm (4,37% và 4,14%) và hàm lượng tinh bột kháng RS (23,50% và 23,75%) tiếp tục giảm xuống nhưng không đáng kể. Hiện tượng này cho thấy rằng vượt qua ngưỡng thời gian tối ưu, tác động nhiệt kéo dài gây biến tính các mạch amylose không đáng kể. Ngoài ra, độ ẩm thấp có thể khiến các phân tử tinh bột mất tính linh động, làm cản trở quá trình sắp xếp lại – vốn cần thiết cho sự hình thành RS. Tribess và cộng sự (2009) chỉ ra, điều kiện sấy kéo dài quá mức có thể dẫn đến thoái hóa phân tử, từ đó làm suy giảm hiệu suất tạo RS [23].

Như vậy, thời gian sấy 5 giờ được xác định là điều kiện phù hợp trong phạm vi nghiên cứu này, mang lại sự cân bằng hài hòa giữa hai mục tiêu công nghệ: (i) tối đa hóa hàm lượng tinh bột kháng, và (ii) giảm độ ẩm đến mức an toàn cho bảo quản.

3.6. Đánh giá chất lượng bột khoai mỡ qua kết quả hình thái bề mặt vật liệu (SEM) và XRD

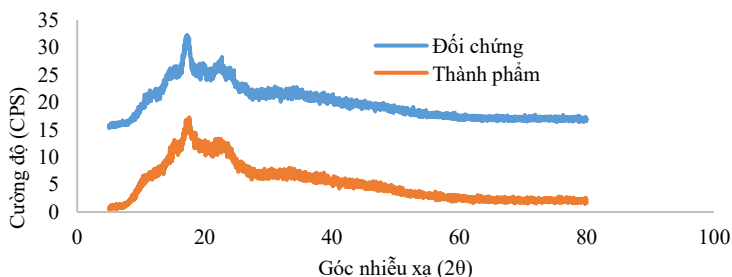
Kết quả quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) ở độ phóng đại 10.000 lần (Hình 6) cho thấy sự biến đổi đáng kể về hình thái bề mặt của tinh bột khoai mỡ trước và sau xử lý. Ở mẫu đối chứng, các hạt tinh bột có bề mặt tương đối trơn, với một số vết lõm và xước nhỏ, cho thấy cấu trúc hạt chủ yếu còn nguyên vẹn và ít bị biến tính. Ngược lại, mẫu sau xử lý thể hiện các đặc điểm cấu trúc thay đổi rõ rệt, với sự xuất hiện của các vùng sưng phồng và cấu trúc mạng không đồng nhất. Những đặc điểm này phản ánh sự tái sắp xếp của các chuỗi amylose và amylopectin dưới tác động của xử lý nhiệt – ẩm, góp phần tạo thành mạng tinh bột ổn định hơn về mặt hình thái. Quan sát này phù hợp với nhận định của các nghiên cứu trước đó, rằng các phương pháp xử lý vật lý có thể làm biến đổi hình thái và nâng cao độ bền cấu trúc, từ đó cải thiện khả năng kháng enzym tiêu hóa [24, 25].



Hình 6. Kết quả hình thái bề mặt vật liệu (SEM) của mẫu khoai mỡ: (a) trước và (b) sau xử lý qua các điều kiện phù hợp đã khảo sát

Sự thay đổi cấu trúc vi mô quan sát được qua SEM cũng được củng cố bởi kết quả phân tích nhiễu xạ tia X (XRD) (Hình 7). Cả hai mẫu – đối chứng và đã xử lý – đều xuất hiện các đỉnh nhiễu xạ đặc trưng tại $2\theta \approx 15,1^\circ$ và $17,0^\circ$, tương ứng với mô hình tinh thể loại C – dạng lai giữa cấu trúc A (có trong ngũ cốc) và B (có trong củ) [26]. Mặc dù vị trí các đỉnh không thay đổi sau xử lý, cường độ phản xạ tăng rõ rệt ở mẫu đã xử lý, cho thấy sự gia tăng mức độ kết tinh tinh bột. Tuy nhiên, chỉ số kết tinh tính toán từ phổ XRD lại giảm từ 46,7% ở mẫu đối chứng xuống còn 40% ở mẫu sau xử lý. Điều này cho thấy sự đồng tồn tại của hai quá trình: một mặt, các vùng tinh thể sẵn có được tổ chức lại theo hướng trật tự hơn, góp phần tăng cường độ phản xạ; mặt khác, một phần cấu trúc tinh thể bị phá vỡ, làm gia tăng tỷ lệ pha vô định hình trong mẫu. Hiện tượng này phản ánh sự tái tổ chức cấu trúc tinh bột sau xử lý, phù hợp với nhận định của Mutungi và cộng sự (2009) rằng các xử lý vật lý có thể làm biến đổi mức độ kết tinh mà không làm thay đổi kiểu tinh thể đặc trưng [25].

Từ các kết quả từ SEM và XRD cho thấy quá trình xử lý đã làm thay đổi cấu trúc vi mô và mức độ sắp xếp trật tự trong tinh bột khoai mỡ, qua đó ảnh hưởng đến tính chất chức năng của sản phẩm, đặc biệt là khả năng kháng tiêu hóa.



Hình 7. Biểu đồ nhiễu xạ tia X của bột khoai mỡ đối chứng (không xử lý) và bột khoai mỡ sản xuất theo các điều kiện đã khảo sát

3.7. Thử nghiệm ứng dụng bổ sung bột khoai mỡ vào sản xuất bánh mì

Việc ứng dụng bột khoai mỡ đã qua xử lý vào công thức bánh mì không chỉ mang lại tiềm năng cải thiện giá trị dinh dưỡng mà còn ảnh hưởng rõ rệt đến đặc tính cơ lý và cảm quan của sản phẩm. Kết quả đo độ cứng bánh mì tại các mức bổ sung khác nhau (Bảng 1) cho thấy sự thay đổi đáng kể tùy theo tỷ lệ bột khoai mỡ được thay thế cho bột mì.

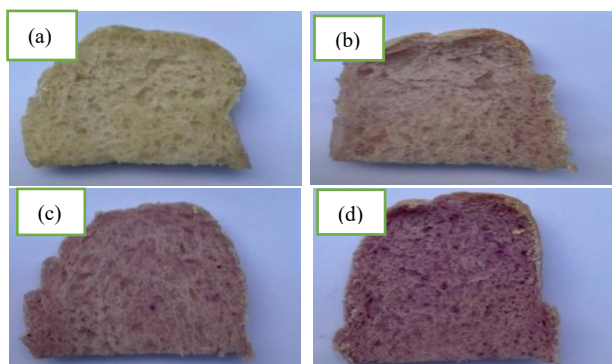
Cụ thể, khi bổ sung 10% bột khoai mỡ, độ cứng bánh giảm xuống 226,50 g, thấp hơn so với mẫu đối chứng (275,60 g) làm từ 100% bột mì. Điều này cho thấy ở mức thay thế thấp, bột khoai mỡ có thể đóng vai trò như một tác nhân giúp cải thiện độ mềm xốp của sản phẩm, có thể nhờ sự hiện diện của pha vô định hình và khả năng giữ nước cao, giúp tăng độ ẩm nội tại trong cấu trúc bánh. Tuy nhiên, khi nâng tỷ lệ thay thế lên 20% và 30%, độ cứng tăng lên tương ứng 336,20 g và 361,70 g, tức tăng khoảng 31,2% so với mẫu đối chứng, phản ánh sự giảm tính đàn hồi và độ xốp của bánh. Nguyên nhân chính là do bột khoai mỡ không chứa gluten [29], dẫn đến sự suy giảm mạng gluten tự nhiên trong bột mì, vốn giữ vai trò quyết định trong việc giữ khí và tạo cấu trúc mềm mại của bánh mì. Hiện tượng này phù hợp với quan sát của Chikpah và cộng sự [28], việc thay thế bột mì bằng các loại bột không chứa gluten làm giảm chất lượng kết cấu của sản phẩm bánh.

Bảng 1. Độ cứng của các mẫu bánh mì với các tỉ lệ bột khoai mỡ bổ sung

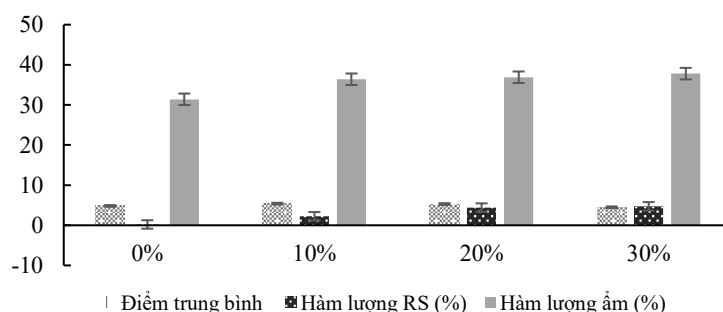
Mẫu bánh mì tỉ lệ bột khoai mỡ:bột mì (%)	Độ cứng (g)
0	275,60 ^c ± 0,04
10	226,50 ^d ± 0,05
20	336,20 ^b ± 0,03
30	361,70 ^a ± 0,01

Ở mỗi cột, các ký tự nhỏ ^{a, b, c} thể hiện sự khác biệt có ý nghĩa với mức ý nghĩa $p < 0,05$.

Kết quả khảo sát ảnh hưởng của tỷ lệ bột khoai mỡ bổ sung đến chất lượng bánh mì được trình bày trong Hình 7 Bên cạnh các chỉ tiêu về cảm quan, nghiên cứu còn đánh giá thêm độ ẩm và hàm lượng tinh bột kháng (RS) nhằm xác định tỷ lệ phối trộn phù hợp nhất giữa bột mì và bột khoai mỡ trong sản xuất bánh mì chức năng (Hình 8). Hàm lượng tinh bột kháng tăng rõ rệt khi tăng tỷ lệ bột khoai mỡ bổ sung. Cụ thể, bánh làm từ 100% bột mì (mẫu đối chứng) có RS thấp nhất, chỉ đạt 0,21%, trong khi các mẫu bổ sung 10%, 20% và 30% bột khoai mỡ lần lượt có hàm lượng RS là 2,25%, 4,42% và 4,73%. Kết quả này phù hợp với xu hướng được báo cáo bởi Juan và cộng sự [32], cho thấy việc bổ sung bột khoai mỡ – một nguồn tinh bột giàu RS type III – có thể nâng cao giá trị dinh dưỡng cho bánh mì. Độ ẩm của bánh cũng tăng theo tỷ lệ bột khoai mỡ bổ sung, từ 31,4% (0%) lên lần lượt 36,4% (10%), 36,9% (20%) và 37,8% (30%). Sự gia tăng độ ẩm này một phần do bột khoai mỡ có khả năng giữ nước tốt hơn bột mì thông thường nhờ cấu trúc chất xơ và polysaccharide giàu amylose. Độ ẩm cao hơn giúp cải thiện cảm giác mềm ẩm cho bánh, đồng thời hỗ trợ kéo dài thời gian bảo quản nếu nằm trong khoảng độ ẩm an toàn (dưới 38%).



Hình 7. Hình ảnh bánh mì sandwich với tỷ lệ bột khoai mỡ thay thế bột mì lần lượt: (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, và (d) 30%



Hình 8. Kết quả điểm cảm quan trung bình, hàm lượng RS và độ ẩm của các mẫu bánh mì sandwich bổ sung bột khoai mỡ ở các tỷ lệ thay thế bột mì: 0%, 10%, 20% và 30%

Về cảm quan, điểm trung bình đánh giá của 60 người tham gia khảo sát cho thấy mẫu bổ sung 10% bột khoai mỡ có điểm cao nhất (khoảng 6,3/9 điểm), tiếp theo là mẫu 20%, mẫu đối chứng và thấp nhất là mẫu 30% (Hình 8). Mẫu 0% (đối chứng) đạt tổng điểm dưới 300, tương ứng điểm trung bình dưới 5,0 – thấp hơn mức trung bình của thang 9 điểm. Nguyên nhân mẫu đối chứng có điểm cảm quan thấp hơn mức trung bình được cho là do yếu tố màu sắc: sản phẩm có màu vàng nhạt đơn điệu của bột mì, trong khi các mẫu có bổ sung khoai mỡ chuyển sang màu tím nhạt đến tím đậm – bắt nguồn từ anthocyanin có trong khoai mỡ – giúp tăng tính hấp dẫn và tạo ấn tượng mới lạ cho người tiêu dùng. Trong bối cảnh xu hướng tiêu dùng hiện đại ngày càng quan tâm đến thực phẩm có nguồn gốc tự nhiên, màu sắc đẹp và giàu chất chống oxy hóa, màu tím đặc trưng của bột khoai mỡ có thể là lợi thế thị giác rõ rệt. Điểm cảm quan cao nhất ở mẫu 10% có thể lý giải bởi sự cân bằng giữa cảm giác mềm, độ ẩm phù hợp (36,4%), màu sắc hấp dẫn và kết cấu không bị ảnh hưởng tiêu cực. Tại tỷ lệ này, độ cứng của bánh vẫn ở mức dễ chấp nhận, gần với mẫu đối chứng, trong khi màu sắc được cải thiện đáng kể. Khi tăng hàm lượng bột khoai mỡ lên 20% và 30%, dù RS và độ ẩm tiếp tục tăng, nhưng độ cứng bánh cũng tăng theo, làm giảm cảm giác ngon miệng – đây là lý do tổng điểm cảm quan giảm dần. Mẫu 30% bị đánh giá thấp nhất do độ cứng cao nhất và sự biến đổi cảm quan vượt ngưỡng chấp nhận.

Tổng hợp các kết quả cho thấy: bổ sung 10% bột khoai mỡ là tỷ lệ phù hợp nhất để ứng dụng trong sản xuất bánh mì, vừa cải thiện hàm lượng RS và màu sắc cảm quan, vừa giữ được độ mềm và độ ẩm lý tưởng (36,4%) cho bảo quản, đồng thời đạt mức chấp nhận cao nhất từ người tiêu dùng.

4. KẾT LUẬN

Kết quả nghiên cứu cho thấy, các yếu tố công nghệ như độ dày lát cắt, nồng độ dung dịch acid citric, thời gian hấp và nhiệt độ sấy có ảnh hưởng rõ rệt đến chất lượng bột khoai mỡ tím, đặc biệt là hàm lượng tinh bột kháng (RS). Trong số các tổ hợp khảo sát, điều kiện tối ưu gồm: lát cắt dày 6 mm, ngâm acid citric 0,5% trong 30 phút, hấp 15 phút và sấy ở 70 °C trong 5 giờ. Ở điều kiện này, sản phẩm thu được có hàm lượng RS cao nhất (24,28%) và cao hơn gần 10% so với mẫu bột khoai mỡ trước khi được khảo sát các tổ hợp yếu tố trên, bên cạnh đó độ ẩm phù hợp cho bảo quản. Quan sát hình thái học bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM) cho thấy sự hình thành các vùng spongiform và mạng lưới cấu trúc mới trên bề mặt hạt tinh bột sau xử lý, cho thấy sự tái sắp xếp của phân tử amylose và amylopectin. Khi ứng dụng bột khoai mỡ vào sản xuất bánh mì, mức bổ sung 10% được xác định là phù hợp nhất. Sản phẩm bánh mì có thêm bột khoai mỡ không chỉ cải thiện màu sắc tự nhiên và độ mềm của ruột bánh với độ ẩm lý tưởng, mà còn giữ được cấu trúc ổn định và độ nở tương đương mẫu đối chứng. Kết quả này cho thấy tiềm năng của bột khoai mỡ như một nguyên liệu giàu dinh dưỡng, có thể ứng dụng hiệu quả trong các sản phẩm thực phẩm chức năng, đặc biệt là bánh nướng.

Tuyên bố về đóng góp của các tác giả

Trần Thị Thúy An: Lên ý tưởng và thiết kế phương pháp nghiên cứu, thu thập và phân tích dữ liệu; Lê Thị Vĩnh Bình: Thu thập, phân tích dữ liệu; Nguyễn Thị Quỳnh Hoa: Thu thập dữ liệu; Trịnh Quốc Thắng: Thu thập dữ liệu; Phan Văn Mẫn: Thu thập, phân tích dữ liệu, viết bản thảo (draft); Trần Chí Hải: Viết bản thảo, định dạng và trả lời phản biện

Tuyên bố về xung đột lợi ích

Các tác giả tuyên bố không có xung đột lợi ích liên quan đến việc thực hiện nghiên cứu và công bố bài báo này.

Tuyên bố về sử dụng trí tuệ nhân tạo (AI)

Trong quá trình thực hiện nghiên cứu và chuẩn bị bản thảo, các tác giả sử dụng công cụ trí tuệ nhân tạo (AI) để viết phần tóm tắt tiếng Anh. Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về tính chính xác, tính toàn vẹn và nội dung khoa học của bài báo.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này do Trường Đại học Công Thương Thành phố Hồ Chí Minh bảo trợ và cấp kinh phí theo hợp đồng số 182/HD-DCT ngày 01 tháng 09 năm 2023.

ORCID: Trần Chí Hải: <https://orcid.org/0009-0008-4994-1502>

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. Yang and Y. Shi, “Effect of different harvest stages on nutritional components of purple yam,” *Advance Journal of Food Science and Technology*, vol. 5, no. 5, pp. 650–654, 2013, doi: <https://doi.org/10.19026/ajfst.5.3142>
- [2] N. D. Turner and J. R. Lupton, “Dietary fiber,” *Advances in Nutrition*, vol. 2, no. 2, pp. 151–152, 2011, doi: <https://doi.org/10.3945/an.110.000281>
- [3] R. M. Kay, “Dietary fiber,” *Journal of Lipid Research*, vol. 23, no. 2, pp. 221–242, 1982, doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)38151-7](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)38151-7)
- [4] A. Adoménienė and P. R. Venskutonis, “Dioscorea spp.: Comprehensive review of antioxidant properties and their relation to phytochemicals and health benefits,” *Molecules*, vol. 27, no. 8, Art. no. 2530, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/molecules27082530>
- [5] S. Srivichai and P. Hongprabhas, “Profiling anthocyanins in Thai purple yams (*Dioscorea alata* L.),” *International Journal of Food Science*, vol. 2020, Art. no. 1594291, 2020, doi: <https://doi.org/10.1155/2020/1594291>
- [6] T. Li, H. Teng, F. An, Q. Huang, L. Chen, and H. Song, “The beneficial effects of purple yam (*Dioscorea alata* L.) resistant starch on hyperlipidemia in high-fat-fed hamsters,” *Food & Function*, vol. 10, no. 5, pp. 2642–2650, 2019, doi: <https://doi.org/10.1039/C8FO02502A>
- [7] D. N. Faridah, R. F. Silitonga, D. Indrasti, F. A. Afandi, A. Jayanegara, and M. P. Anugerah, “Verification of autoclaving-cooling treatment to increase the resistant starch contents in food starches based on meta-analysis result,” *Frontiers in Nutrition*, vol. 9, Art. no. 904700, 2022, doi: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.904700>
- [8] N. F. Nugraheni et al., “Effect of various drying methods on the physical characteristics of purple yam powder,” *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 644, no. 1, Art. no. 012079, 2021, doi: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/644/1/012079>
- [9] Rosida, Harijono, T. Estiasih, and E. Sriwahyuni, “Physicochemical properties and starch digestibility of autoclaved-cooled water yam (*Dioscorea alata* L.) flour,” *International Journal of Food Properties*, vol. 19, no. 8, pp. 1659–1670, 2016, doi: <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1105818>
- [10] Z. Huang, H. Li, K. A. Addo, and Y. Yu, “Optimization of preparation technology of purple yam slices by response surface methodology and study of its antioxidant activity,” *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, vol. 95, no. 1, pp. 105–116, 2025, doi: <https://doi.org/10.1007/s40011-024-01598-0>
- [11] C. S. Utama, B. Sulistiyanto, and S. Kismiati, “The effect of water addition and steaming duration on starch composition of wheat pollard,” *Reaktor*, vol. 17, no. 4, pp. 221–225, 2017, doi: <https://doi.org/10.14710/reaktor.17.4.221-225>
- [12] P. V. Hung, N. L. Vien, and N. T. Lan Phi, “Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments,” *Food Chemistry*, vol. 191, pp. 67–73, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.002>
- [13] L. Segal, J. J. Creely, A. E. Martin, and C. M. Conrad, “An empirical method for estimating the degree of crystallinity of native cellulose using the X-ray diffractometer,” *Textile Research Journal*, vol. 29, no. 10, pp. 786–794, 1959, doi: <https://doi.org/10.1177/004051755902901003>
- [14] AOAC International, “AOAC Official Method 962.09: Fiber (crude) in animal feed and pet food—Ceramic fiber filter method,” in *Official Methods of Analysis of AOAC INTERNATIONAL*, Oxford University Press. [Online]. Available: <https://academic.oup.com/aoac-publications/book/45491>

- [15] J. Xing, D. Li, L. Wang, and B. Adhikari, "Temperature thresholds and time-temperature dependence of gelatinization for heat-moisture treated corn starch," *Journal of Food Engineering*, vol. 217, pp. 43–49, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.08.019>
- [16] Y. Bavaneethan, S. Vasantharuba, S. Balakumar, and K. Thayananthan, "Effect of different processing time on resistant starch content of selected tubers," *World Journal of Agricultural Sciences*, vol. 11, no. 4, pp. 244–246, 2015, doi: <https://doi.org/10.5829/idosi.wjas.2015.11.4.1875>
- [17] B. A. Akinwande, O. A. Abiodun, and I. A. Adeyemi, "Effect of steaming on properties of yam flour," *Nutrition & Food Science*, vol. 43, no. 1, pp. 31–39, 2013, doi: <https://doi.org/10.1108/00346651311295888>
- [18] J. Ye, S. Luo, A. Huang, J. Chen, C. Liu, and D. J. McClements, "Synthesis and characterization of citric acid esterified rice starch by reactive extrusion: A new method of producing resistant starch," *Food Hydrocolloids*, vol. 92, pp. 135–142, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.064>
- [19] A. Surendra Babu, R. Parimalavalli, and S. G. Rudra, "Effect of citric acid concentration and hydrolysis time on physicochemical properties of sweet potato starches," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 80, pp. 557–565, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.07.020>
- [20] N. Donlao, Y. Matsushita, and Y. Ogawa, "Influence of postharvest drying conditions on resistant starch content and quality of non-waxy long-grain rice (*Oryza sativa* L.)," *Drying Technology*, vol. 36, no. 8, pp. 952–964, 2018, doi: <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1366505>
- [21] P. Yue, P. Rayas-Duarte, and E. Elias, "Effect of drying temperature on physicochemical properties of starch isolated from pasta," *Cereal Chemistry*, vol. 76, no. 4, pp. 541–547, 1999, doi: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1999.76.4.541>
- [22] S. R. Widyastuti, A. R. Wibowo, and S. R. Rahayu, "Chemical and functional properties of preparation before drying purple yam (*Dioscorea alata* L.) flour," *AIP Conference Proceedings*, vol. 2596, no. 1, Art. no. 040027, 2022, doi: <https://doi.org/10.1063/5.0119218>
- [23] T. B. Tribess, J. P. Hernández-Urbe, M. G. C. Méndez-Montealvo, E. W. Menezes, L. A. Bello-Perez, and C. C. Tadini, "Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions," *LWT - Food Science and Technology*, vol. 42, no. 5, pp. 1022–1025, 2009, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.12.017>
- [24] S. Li, R. Ward, and Q. Gao, "Effect of heat-moisture treatment on the formation and physicochemical properties of resistant starch from mung bean (*Phaseolus radiatus*) starch," *Food Hydrocolloids*, vol. 25, no. 7, pp. 1702–1709, 2011, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2011.03.009>
- [25] C. Mutungi, F. Rost, C. Onyango, D. Jaros, and H. Rohm, "Crystallinity, thermal and morphological characteristics of resistant starch type III produced by hydrothermal treatment of debranched cassava starch," *Starch/Stärke*, vol. 61, no. 11, pp. 634–645, 2009, doi: <https://doi.org/10.1002/star.200900167>
- [26] A. Buléon, P. Colonna, V. Planchot, and S. Ball, "Starch granules: Structure and biosynthesis," *International Journal of Biological Macromolecules*, vol. 23, no. 2, pp. 85–112, 1998, doi: [https://doi.org/10.1016/S0141-8130\(98\)00040-3](https://doi.org/10.1016/S0141-8130(98)00040-3)
- [27] H. Meng, C. Xu, M. Wu, and Y. Feng, "Effects of potato and sweet potato flour addition on properties of wheat flour and dough, and bread quality," *Food Science & Nutrition*, vol. 10, no. 3, pp. 689–697, 2022, doi: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2693>
- [28] S. K. Chikpah, J. K. Korese, O. Hensel, B. Sturm, and E. Pawelzik, "Rheological properties of dough and bread quality characteristics as influenced by the proportion of wheat flour substitution with orange-fleshed sweet potato flour and baking conditions," *LWT*, vol. 147, Art. no. 111515, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111515>
- [29] Q.-M. Li, Y. Li, J.-H. Zou, S.-Y. Guo, F. Wang, P. Yu, and X.-J. Su, "Influence of adding Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) flour on dough rheology, gluten structure, baking performance, and antioxidant properties of bread," *Foods*, vol. 9, no. 3, Art. no. 256, 2020, doi: <https://doi.org/10.3390/foods9030256>

- [30] A. Jose and R. Muhammed, “Extraction and evaluation of anthocyanin from *Dioscorea alata* (L.) for its application as a natural food colour,” *The International Journal of Science & Technology*, vol. 3, no. 9, pp. 41–47, 2015. [Online]. Available: <https://internationaljournalcorner.com/index.php/theijst/article/view/124649>
- [31] H. Li, H. Li, Y. Liu, R. Liu, and S. Siriamornpun, “Optimization of heat-moisture treatment conditions for high-amylose starch and its application in high-resistant starch tritcale noodles,” *Foods*, vol. 13, no. 17, Art. no. 2724, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/foods13172724>
- [32] J. M. Sanz-Penella, M. Wronkowska, M. Soral-Śmietana, C. Collar, and M. Haros, “Impact of the addition of resistant starch from modified pea starch on dough and bread performance,” *European Food Research and Technology*, vol. 231, no. 4, pp. 499–508, 2010, doi: <https://doi.org/10.1007/s00217-010-1294-7>

ABSTRACT

EFFECTS OF PROCESSING PARAMETERS ON THE PRODUCTION OF RESISTANT STARCH-ENRICHED PURPLE YAM FLOUR

Tran Thi Thuy An¹, Le Thi Vinh Binh¹, Nguyen Thi Quynh Hoa¹, Trinh Quoc Thang¹,
Phan Van Man², Tran Chi Hai^{1*}

¹*Faculty of Food Science and Technology,*

Ho Chi Minh City University of Industry and Trade, Viet Nam

²*Faculty of Tourism, Ba Ria–Vung Tau College of Technology, Viet Nam*

*Email: haitc@huit.edu.vn

This study evaluated the effects of processing parameters—including slice thickness, citric acid concentration, steaming time, drying temperature, and duration—on the resistant starch content and moisture content of purple yam (*Dioscorea alata*) flour. The suitable conditions for achieving the highest resistant starch (RS) content (24.28%) were identified as follows: 6 mm slice thickness, soaking in 0.5% citric acid for 30 minutes, steaming for 15 minutes, and drying at 70 °C for 5 hours. Scanning electron microscopy (SEM) analysis revealed that the treated starch exhibited a more compact network structure with characteristic swollen regions, indicating physical modification. X-ray diffraction (XRD) patterns confirmed a type-C crystalline structure in both control and treated samples. However, the crystallinity index decreased from 46.7% to 40% after treatment, suggesting an increase in the amorphous regions due to thermal processing—an important factor in promoting the formation of RS type III. When applied to bread making, the incorporation of 10% purple yam flour was considered appropriate, improving crumb softness and color while enhancing nutritional value, without compromising the product’s texture compared to the control sample.

Keywords: *Dioscorea alata*, resistant starch, moisture.