

TỔNG QUAN VỀ TINH BỘT KHÁNG TIÊU HÓA VÀ PHƯƠNG PHÁP THU NHẬN

Hồ Thị Hảo¹, Trần Thị Hương Thảo², Nguyễn Kim Phụng^{3*}

OVERVIEW OF RESISTANT STARCH AND ITS ACQUISITION METHODS

Ho Thi Hao¹, Tran Thi Huong Thao², Nguyen Kim Phung^{3*}

Tóm tắt – Tinh bột là một nguồn năng lượng quan trọng trong khẩu phần ăn của con người. Tinh bột kháng tiêu hóa là phần không thể tiêu hóa tại ruột non, được vi khuẩn phân hủy ở ruột kết, tạo thành axit béo chuỗi ngắn. Việc tiêu thụ tinh bột kháng tiêu hóa có tác động tích cực đến sức khỏe ruột, cân bằng đường huyết, chuyển hóa lipid và trọng lượng cơ thể. Về mặt vật lý, tinh bột kháng tiêu hóa có tính chất tương đương với tinh bột, do đó đã được ứng dụng rộng rãi trong công nghiệp chế biến thực phẩm. Mục tiêu của bài viết là tổng quan về các loại tinh bột kháng tiêu hóa, phương pháp vật lý, hóa học và kết hợp với enzyme, chất béo cùng các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình tạo thành các loại tinh bột kháng khác nhau.

Từ khóa: phương pháp thu nhận, tinh bột biến tính, tinh bột kháng tiêu hóa.

Abstract – Starch serves as a crucial energy source in the human diet. Resistant starch is the portion that remains undigested in the small intestine, undergoing fermentation by gut bacteria in the colon, resulting in the formation of short-chain fatty acids. Consuming resistant starch has positive impacts on gut health, blood sugar regulation, lipid metabolism, and body weight. Physically, resistant starch shares properties with

starch, leading to its widespread application in the food processing industry. This overview briefly covers resistant starches, physical, chemical, and combined methods with enzymes, fats, and factors affecting the formation of different types of resistant starch.

Keywords: acquisition methods, modified starch, resistant starch.

I. GIỚI THIỆU

Yêu cầu về an toàn thực phẩm và dinh dưỡng ngày càng tăng của người tiêu dùng đã thúc đẩy sự phát triển của công nghệ và các nghiên cứu về thực phẩm hiện đại. Thực phẩm chức năng cung cấp các lợi ích sinh lý quan trọng, giúp ngăn ngừa bệnh mãn tính và cung cấp các giá trị dinh dưỡng cần thiết [1].

Tinh bột là polysaccharide dự trữ quan trọng nhất trong thực vật, có nhiều ở quả, hạt, củ, lá, lõi thân và thân rễ [2]. Tinh bột có thể được phân loại là tinh bột tiêu hóa chậm (SDS- slowly digestible starch), tinh bột tiêu hóa nhanh (RDS - rapidly digestible starch), tinh bột kháng tiêu hóa (RS – resistant starch) hay còn gọi là tinh bột kháng [3]. Một số loại tinh bột không được thủy phân ở ruột non do nhiều yếu tố khác nhau như cấu trúc của hạt, tính chất vật lý của thực phẩm, sự hiện diện của các chất dinh dưỡng và thành phần kháng dinh dưỡng khác do trong quá trình chế biến tạo thành [4, 5].

Tinh bột kháng có tác dụng tích cực đến hoạt động của đường tiêu hóa, hệ vi sinh vật, mức cholesterol trong máu, chỉ số đường huyết, kiểm soát bệnh tiểu đường, tăng cảm giác no và giảm cân hiệu quả [6–8]. Ngoài lợi ích đối với sức khỏe, tinh bột kháng còn có một lợi thế tích cực

^{1,2}Trường Đại học Tây Nguyên, Việt Nam

³Trường Đại học Trà Vinh, Việt Nam

Ngày nhận bài: 09/4/2024; Ngày nhận bài chỉnh sửa: 20/5/2024; Ngày chấp nhận đăng: 24/5/2024

*Tác giả liên hệ: nphung@tvu.edu.vn

^{1,2}Tay Nguyen University, Vietnam

³Tra Vinh University, Vietnam

Received date: 09th April 2024; Revised date: 20th May 2024; Accepted date: 24th May 2024

*Corresponding author: nphung@tvu.edu.vn

khác. Nó có tác động thấp hơn đến tính chất cảm quan của thực phẩm so với các nguồn chất xơ truyền thống như ngũ cốc nguyên hạt, trái cây hoặc cám. Trong số các đặc tính hóa lí của tinh bột kháng như khả năng trương nở, độ nhớt, sự tạo gel và khả năng liên kết với nước đều thuận lợi trong chế biến các sản phẩm thực phẩm từ tinh bột [9]. Điều này chứng tỏ tinh bột kháng là nguồn nguyên liệu có thể thay thế hoặc bổ sung trong chế biến thực phẩm.

Bài viết khái lược các loại tinh bột kháng tiêu hóa hiện nay, tác dụng y học cũng như các kĩ thuật sản xuất loại tinh bột kháng này hiện nay.

II. ĐỊNH NGHĨA VÀ PHÂN LOẠI TINH BỘT KHÁNG

Tinh bột kháng tiêu hóa (RS) là tinh bột có khả năng chống lại sự thủy phân hoàn toàn bởi amylase và pullulanase trong ống nghiệm [10]. Dựa vào cấu trúc và khả năng chống lại sự thủy phân của hệ enzyme amylase, nó có thể được chia thành năm loại (Bảng 1), bao gồm:

- Tinh bột kháng tiêu hóa loại I (RS1): Có trong các loại hạt ngũ cốc và sản phẩm từ ngũ cốc có tác dụng chống lại sự tiêu hóa và sự hấp thu đường do nó được bao bọc xung quanh bởi các tế bào dạng sợi vững chắc.

- Tinh bột kháng tiêu hóa loại II (RS2): Có trong một số loại thực phẩm giàu tinh bột như khoai tây tươi, chuối xanh. Tinh bột của hai thực phẩm này thường có hàm lượng amylose khá cao.

- Tinh bột kháng tiêu hóa loại III (RS3): Được hình thành khi tinh bột (từ khoai tây, đậu, gạo, bánh mì) được nấu chín và sau đó được tiến hành làm lạnh.

- Tinh bột kháng tiêu hóa loại IV (RS4): Là loại tinh bột kháng tiêu hóa nhân tạo, được tạo ra bằng cách tổng hợp hóa học.

- Tinh bột kháng tiêu hóa loại V (RS5): Có nguồn gốc từ sự hình thành các phức hợp amyloza-lipid có thể được hình thành trong quá trình chế biến.

III. CÁC PHƯƠNG PHÁP THU NHẬN TINH BỘT KHÁNG TIÊU HÓA

Phương pháp vật lí

Trong phương pháp này, RS từ nguồn tự nhiên qua các chu trình làm nóng – làm lạnh lặp đi lặp

Bảng 1: Các loại tinh bột kháng tiêu hóa

Loại RS	Sự miêu tả	Ví dụ	Trích dẫn
RS1	Tinh bột không thể tiếp cận được về khía cạnh vật lí	Hạt thô hoặc hạt nguyên như các loại hạt ngũ cốc và các sản phẩm từ ngũ cốc	[11]
RS2	Tinh bột dạng hạt với đa hình B hoặc C	Tinh bột ngô có hàm lượng amyloza cao, khoai tây sống, tinh bột chuối sống	[11]
RS3	Tinh bột cải tiến	Thực phẩm giàu tinh bột qua quá trình nấu chín và để nguội/làm lạnh	[12]
RS4	Tinh bột biến đổi về mặt hóa học	Tinh bột biến đổi hóa học được hình thành bằng liên kết chéo, ete hóa hoặc este hóa. Một số loại thực phẩm có chứa tinh bột biến tính như một số loại bánh mì và bánh ngọt	[13]
RS5	Phức hợp amylose-lipid	Có nguồn gốc từ sự hình thành các phức hợp amylose-lipid thông qua cách chế biến	[14]

lại dẫn đến việc tổ chức lại các chuỗi tuyến tính của tinh bột thành một cấu trúc mới có khả năng chống lại sự thủy phân bởi các enzyme tiêu hóa, gọi là RS3 [15]. Khi làm nóng dẫn đến sự phân tán tinh bột có amylozo cao, sự phân tách và phá vỡ của cả amylozo và amylopectin xảy ra và do đó hình thành chuỗi tuyến tính ngắn hơn. Trong quá trình tiếp theo, việc làm nguội các chuỗi này sẽ dẫn đến sự hình thành các tập hợp xoắn kép dày đặc hơn và bền hơn để khó bị thủy phân. Do đó, RS được tạo ra bằng cách này có khả năng chịu nhiệt tốt hơn và được sử dụng như một thành phần dinh dưỡng bổ sung cho thực phẩm [16].

Phương pháp hóa học

Quá trình thúc đẩy sự biến đổi của các loại hạt tinh bột bằng hóa lỏng, acetyl hóa, phosphoryl hóa, oxy hóa, hydroxypropyl hóa, ester hóa và kết hợp các biện pháp xử lí này để tạo thành RS4 [17], kết quả được trình bày tóm tắt ở Bảng 2. Trong quá trình oxy hóa, các thuốc thử như oxy, ozon, natri hypoclorit và hydro peroxyt, cacbonyl và cacboxylic được sử dụng. Các nhóm được tạo ra làm cản trở các enzyme tiêu hóa tinh bột [23], [21].

Remya et al. [24] đã sản xuất RS4 từ tinh bột khoai tây, sắn, khoai lang, chuối và đậu lăng bằng axit citric (CA) với tỉ lệ khảo sát 20%, 40% và 60% axit citric theo trọng lượng khô của tinh bột, pH 3,5, trộn kĩ, ủ ở nhiệt độ phòng trong thời gian là 16 giờ, và sau đó được giữ ở 60°C trong 06 giờ. Hỗn hợp này được tiếp tục làm khô ở 130°C

Bảng 2: Phương pháp hóa học để làm tăng tinh bột kháng loại (RS4)

Phương pháp	Loại tinh bột	Quá trình hóa học chính	Nhận xét	Trích dẫn
Lintnerization	Chuối Ngô Ngô sếp	Gia nhiệt đến 75°C và giữ 78 giờ	Tốn thời gian và ít hiệu quả	[18]
Phosphoryl hóa	Đậu xanh Ngô Đong riêng Lúa gạo Lúa mì	Sử dụng natri trimetaphosphat và natri tripolyphosphat trong điều kiện kiềm (khoảng 3 giờ), sau khi hồ hóa ở 100°C	Giới hạn sử dụng không quá (0,4%) Tác động phá hủy lưu biến trên bột bánh mì	[19]
Carboxymethyl hóa	Khoai tây Gạo	Bổ sung của axit monoloroacetic trong điều kiện kiềm với xử lý bằng lò vi sóng	Giảm thời gian khi xử lý vi sóng Hiệu suất thu hồi RS thấp	[20]
Oxy hóa	Ngô Lúa gạo Đậu Pinto	Bơm O ₃ , H ₂ O ₂ , O ₂ ở môi trường kiềm trong 30 phút	RS tăng không đáng kể	[21]
Acetyl hóa	Gạo Đong riêng Ngô	Xử lý bằng vinyl axetat (30°C, 5 giờ)	Bổ sung 16% vinyl axetat thì RS tăng đáng kể	[22]

trong 02 giờ. Cuối cùng, làm mát đến nhiệt độ môi trường và rửa nhiều lần bằng nước để loại bỏ các chất không phản ứng với axit citric. Kết quả của thí nghiệm được thể hiện ở Bảng 3 với tinh bột tiêu hóa nhanh (RDS), tinh bột tiêu hóa chậm (SDS), tinh bột kháng tiêu hóa (RS) [24].

Kết quả của Bảng 3 cho thấy, hàm lượng RS tăng lên khi lượng axit citric tăng lên. SDS cũng tăng theo ngoại trừ các mẫu chuối và đậu lăng. Kết quả này cho thấy tỉ lệ thay thế axit citric cao hơn, lượng RS và SDS lớn hơn. Điều đó có nghĩa là axit đã thay đổi cấu trúc tinh bột và cản trở sự thủy phân của enzyme. Kết quả cũng thu được đối với tinh bột sắn biến tính bởi citrate trong một nghiên cứu của Mei et al. [25], khi nồng độ axit citric tăng lên, các nhóm hydroxyl trong phân tử tinh bột có thể được thay thế bằng nhóm citrat, dẫn đến sự tạo thành tinh bột citrat liên kết chéo chống lại thủy phân các enzyme tiêu hóa và làm tăng hàm lượng RS. Sự gia tăng hàm lượng SDS có thể là do sự xâm nhập của phân tử axit citric vào tinh bột, làm trì hoãn sự tấn công của enzyme [25]. Nghiên cứu của Pham Van Hung et al. (2016) đã báo cáo rằng axit citric và xử lý nhiệt độ ẩm của sắn và tinh bột khoai tây dẫn đến hàm lượng RS lần lượt là 40,2 và 39,0%, cao hơn so với các mẫu gốc [26].

Bảng 3: Phương pháp hóa học để làm tăng tinh bột kháng loại IV

Mẫu	RDS (%)	SDS (%)	RS (%)	Ước tính chỉ số đường huyết (EGI)
P0	86.5±0.32 ^b	10.5±0.12 ^m	4.00±0.035 ^p	83.1±1.52 ^d
P1	64.0±0.22 ^a	17.1±0.23 ^{hi}	18.8±0.01 ^m	66.9±0.21 ^{ef}
P2	48.1±0.99 ⁱ	19.9±1.00 ^{de}	31.9±0.01 ^g	64.1±0.14 ^h
P3	37.6±0.34 ^o	21.2±0.44 ^b	41.1±0.30 ^c	57.8±0.31 ^k
C0	78.1±0.23 ^d	20.3±0.12 ^{cd}	1.6±0.48 ^r	91.3±2.68 ^a
C1	62.0±0.21 ^f	20.8±0.19 ^{bc}	17.1±0.10 ⁿ	68.3±0.36 ^e
C2	48.3±0.12 ^j	20.5±0.20 ^{bcd}	31.1±0.07 ^h	64.1±0.18 ^h
C3	37.8±0.77 ^o	22.4±0.58 ^a	39.6±0.54 ^d	59.4±0.52 ^k
S0	82.2±0.25 ^c	14.2±0.21 ^l	3.6±0.38 ^{pa}	86.3±3.12 ^c
S1	61.4±0.60 ^f	16.1±0.04 ^{jk}	22.3±0.05 ^l	66.2±0.11 ^{gh}
S2	56.3±1.15 ^g	16.9±1.00 ^{ij}	26.6±0.66 ^k	64.7±0.69 ^{gh}
S3	42.0±0.66 ^l	18.3±0.65 ^{fg}	39.5±0.74 ^d	59.6±1.20 ^{kl}
L0	93.9±1.74 ^a	0.8±0.59 ^{qn}	5.3±0.01 ^o	88.8±1.40 ^b
L1	53.1±0.74 ^h	19.1±1.74 ^{ef}	27.6±0.67 ^j	65.2±0.64 ^{feh}
L2	44.2±0.20 ^k	17.8±0.54 ^{gh}	37.9±0.31 ^e	61.8±0.23 ⁱ
L3	40.2±0.14 ^m	10.9±0.75 ^m	48.8±0.61 ^a	55.8±0.35 ^l
B0	81.6±0.31 ^c	15.6±0.12 ^k	3.01±0.28 ^q	83.9±0.70 ^d
B1	51.3±0.09 ⁱ	18.5±0.09 ^{fg}	30.1±0.02 ⁱ	64.4±0.74 ^{gh}
B2	41.3±0.1 ^m	22.1±0.33 ^a	36.4±0.27 ^f	61.2±0.10 ^j
B3	35.5±0.28 ^p	16.5±0.46 ^{ij}	47.9±0.08 ^b	55.6±0.24 ^l

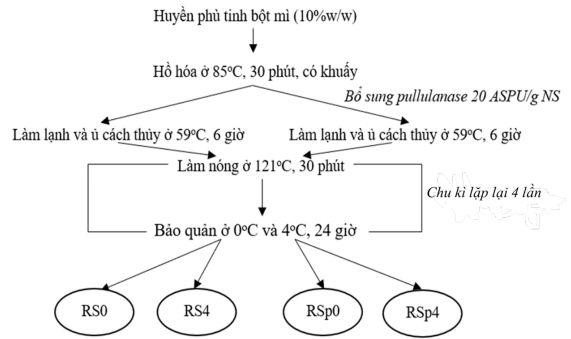
*Ghi chú: * Giá trị trung bình trong mỗi cột có cùng chữ cái trong chỉ số trên không khác nhau đáng kể; P0, C0, S0, L0 và B0: tinh bột hồ hóa chưa biến tính của khoai tây, sắn, khoai lang, đậu lăng và chuối; P1-P3: tinh bột khoai tây biến tính; C1-C3: tinh bột sắn biến tính; S1-S3: tinh bột khoai lang biến tính; L1-L3: tinh bột đậu lăng biến tính; B1-B3: tinh bột chuối biến tính.*

Phương pháp sản xuất RS3 kết hợp dùng enzyme

Các phương pháp xử lý bằng enzyme tập trung vào việc phân nhánh các liên kết α-1-6 amylopectin bởi pullulanase và isoamylase dẫn đến sắp xếp lại cấu trúc phân tử tinh bột trong quá trình thoái hóa [27]. Các enzyme khác như α và β-amylase được sử dụng để thủy phân các vùng vô định hình của tinh bột và tạo một cấu trúc tinh thể chặt chẽ. Do đó, mục tiêu của việc sử dụng enzyme phân nhánh là để thủy phân chuỗi nhánh amylopectin và tạo các mạch tinh bột tuyến tính hơn, tiếp theo là sự phân hủy ngược tạo ra RS3 cao hơn. Tuy nhiên, để đạt được hiệu suất sử dụng enzyme tối đa, các điều kiện khảo sát như pH, nhiệt độ và thời gian phản ứng tối ưu cần được kiểm soát chính xác. Ngoài ra, một số phương pháp tạo RS3 khi dùng các loại enzyme khác được trình bày ở Bảng 4.

Bảng 4: Phương pháp enzyme để làm tăng tinh bột kháng

Enzyme	Tinh bột	Quá trình sử dụng enzyme	Nhận xét	Trích dẫn
β -amylase	Ngô Lúa mì	Hấp hơi, rồi ủ 20 giờ với β -amylase	- Thời gian dài - RS tăng gấp đôi	[28]
β -amylase và Pullulanase	Tinh bột ngô	β -amylase kết hợp với Pullulanase	Lượng enzyme tối ưu là quan trọng	[29]
Isoamylase	Ngô sếp Lúa mì sếp Khoai tây sếp	Bổ sung 1g isoamylase/100 g nguyên liệu (50°C, 24 giờ)	- Cần được nấu chín trước đó - Thời gian phản ứng dài - RS3 tăng đáng kể	[30]
Pullulanase	Khoai tây, khoai mì, đậu tây đều được hồ hóa	40U/g, 10 giờ, tại 50°C	- Cần có thời gian xử lý nhiệt - Thời gian dài	[27]



Hình 1: Quá trình thu nhận RS3 từ tinh bột lúa mì

Phương pháp dùng enzyme kết hợp xử lý nhiệt

Arp et al. [31] đã sản xuất RS3 từ tinh bột mì (NS - Native wheat starch) và enzyme pullulanase (EC 3.2.1.41) (Hình 1). Tinh bột đã được biến tính bằng cách xử lý nhiệt và bằng enzyme. Đầu tiên, huyền phù NS (10% w/w trong nước cất nước) được hồ hóa trong nồi cách thủy ở 85°C trong 30 phút, có khuấy. Sau đó, các mẫu được làm lạnh và ủ (bổ sung enzyme pullulanase 20 ASPU/g NS) trong nồi cách thủy ở 59°C trong 6 giờ. Sau khi ủ, các mẫu được xử lý nhiệt theo chu kì bao gồm làm nóng huyền phù ở 121°C, 30 phút trong nồi hấp; sau đó, bảo quản ở 0°C hoặc 4°C trong khoảng thời gian 24 giờ để xảy ra sự suy thoái tinh bột. Xử lý làm lạnh theo chu kì được lặp lại bốn lần. Tiếp sau, sản phẩm thu được sẽ đông khô và nghiền thành bột. Các mẫu thu được bằng quy trình này được kí hiệu là RSp0 và RSp4 tương ứng 0°C hoặc 4°C. Ngoài ra, các mẫu cũng được xử lý giống nhau nhưng không bổ sung enzyme, được kí hiệu là RS0 và RS4. Kết quả cho thấy không có sự sai khác hàm lượng RS3 tạo thành, đối với RSp0 và RSp4 có sự khác biệt về cấu trúc vi mô của tinh bột và thuộc tính dán cũng như khả năng tiêu hóa. Hơn thế nữa, những sản phẩm từ RSp0 và RSp4 này có khả năng chống lại quá trình thủy phân do α -amylase và giảm đến 66% chỉ số đường huyết ước tính trong ống nghiệm. Tỷ lệ tiêu hóa thấp là do có sự thoái hóa ngược và cấu trúc vi mô nhỏ gọn các loại tinh bột này khi có xử lý enzyme pullulanase. Kết quả nghiên cứu đã khẳng định rằng tinh bột lúa mì có thể là một nguồn tốt của tinh bột kháng loại III [32].

Phương pháp sản xuất RS5

Tinh bột kháng tiêu hóa loại V (RS5): là tinh bột có sự hình thành các phức hợp amylose-lipid, trong đó chuỗi xoắn amylose được bao bọc xung quanh các phối tử lipid. Hiện nay, có nhiều nghiên cứu liên quan đến phương pháp tạo phức hợp amylose-lipid.

- Phương pháp cổ điển: Dimethyl sulfoxide (DMSO) do Eliasson and Krog đề xuất đầu tiên [33] và phương pháp kiểm do Karkalas et al. đề xuất [34] cho thấy rằng linoleic (axit béo omega-6) liên kết amylose tạo phức axit (CLA), RS5 tạo thành có dạng hình cầu. Tuy nhiên, DMSO được biết là tạo ra những thay đổi lớn và có khả năng gây đột biến. Vì vậy, việc sử dụng dung dịch để sản xuất RS5 như một phụ gia thực phẩm không được khuyến khích. Phương pháp kiểm được Seo et al. [35] nghiên cứu bằng cách hòa tan tinh bột trong NaOH ở nhiệt độ phòng, sau đó nâng lên đến 90–125°C, điều chỉnh pH bằng cách thêm HCl, từ từ thêm chất béo (đã trộn với etanol) vào, khuấy mạnh và hạ dung dịch xuống nhiệt độ phòng để tạo ra kết tủa. Phức chất kết tủa được phân tách ra bằng cách li tâm và sau đó được rửa kĩ nhiều lần với nước và dietyl ete hoặc etanol để loại bỏ phần còn lại tinh bột và FA (axit béo). Trong nghiên cứu này, Seo et al. [35] đã kết luận rằng pH của môi trường phản ứng ảnh hưởng đến cả việc thu hồi FA và tinh bột, sau đó đạt đến cực đại khi phản ứng xảy ra trong điều kiện trung tính cho axit stearic và oleic thường được sử dụng để tổng hợp RS-5, lượng FA trong phức chất sẽ tăng lên khi phản ứng xảy ra tại

hiệt độ 60°C [35].

- Phương pháp enzyme: Arijaje et al. [36] cho thấy tinh bột khoai tây sau quá trình acetyl hóa, khử phân nhánh và xử lý bằng enzyme β -amylase dẫn đến lượng phức tạp đáng kể nhất là axit linoleic trong phức ALC không hòa tan. Mặc dù những lợi ích như khả năng tạo phức hợp amylose-lipid phù hợp, nhưng loại enzyme sử dụng trong quá trình tổng hợp làm cho phương pháp này rất tốn kém và nói chung là không thích hợp cho sản xuất quy mô lớn.

- Phương pháp cơ nhiệt: Mặc dù các phương pháp cổ điển và phương pháp enzyme đã được sử dụng thành công trong phòng thí nghiệm, các nghiên cứu gần đây tập trung vào phương pháp cơ nhiệt vì chúng phù hợp hơn với chi phí, an toàn thực phẩm, và sản xuất quy mô lớn. Những phương pháp thường được sử dụng nhất bao gồm hấp hơi nước, ép đùn, xử lý nhiệt ướt, nấu áp suất, và sấy phun khi sử dụng nguyên liệu là tinh bột có bổ sung lipid [37].

IV. KẾT LUẬN

Tinh bột kháng tiêu hóa (RS) ngày càng được các chuyên gia dinh dưỡng và nhà khoa học quan tâm vì các đặc tính hóa lý cũng như tác dụng y học của nó. Ở Việt Nam, rất nhiều nguồn nguyên liệu như khoai tây, ngũ cốc, chuối xanh, khoai lang, quả sake... hoặc phụ phẩm trong sản xuất thực phẩm như hạt mít, hạt xoài, hạt sấu riêng có chứa tinh bột kháng. Vấn đề cần giải quyết là làm sao để khai thác sớm nguồn nguyên liệu này, biến đổi để thu được tinh bột có hàm lượng tinh bột kháng cao hơn, và ứng dụng nó trong chế biến thực phẩm hoặc các sản phẩm có lợi cho sức khỏe, nhằm nâng cao giá trị và phát huy tiềm năng y học của tinh bột kháng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Khaneghah AM. Interactions between probiotics and pathogenic microorganisms in hosts and foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2020;95: 205–218.
- [2] Farooq U, Di Mattia C, Faieta M, Flammini F, Pittia P. Colloidal properties and stability of olive oil-in water emulsions stabilized by starch particles. *Italian Journal of Food Science*. 2021;33(4): 1–10.
- [3] Englyst K. Inter-laboratory validation of the starch digestibility method for determination of rapidly digestible and slowly digestible starch. *Food Chemistry*. 2018;245: 1183–1189.
- [4] Chen J, Hawkins E, Seung D. Towards targeted starch modification in plants. *Current Opinion in Plant Biology*. 2021;60: 102013. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2021.102013>.
- [5] Magallanes-Cruz PA, Flores-Silva PC, Bello-Perez LA. Starch structure influences its digestibility: A Review. *Journal of Food Science*. 2017;82(9): 2016–2023.
- [6] DeMartino P, Cockburn DW. Resistant starch: impact on the gut microbiome and health. *Current Opinion in Biotechnology*. 2020;61: 66–71.
- [7] Bendiks ZA, Knudsen KE, Keenan MJ, Marco ML. Conserved and variable responses of the gut microbiome to resistant starch type 2. *Nutrition Research*. 2020;77: 12–28.
- [8] Xia W, Zhang K, Su L, Wu J. Microbial starch debranching enzymes: Developments and applications. *Biotechnology Advances*. 2021;50: 107786. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107786>.
- [9] Fuentes-Zaragoza E, Riquelme-Navarrete MJ, Sánchez-Zapata E, Pérez-Álvarez JA. Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*. 2010;43(4): 931–942.
- [10] Englyst HN, Kingman SM, Hudson GJ, Cummings JH. Measurement of resistant starch in vitro and in vivo. *British Journal of Nutrition*. 1996;75(5): 749–755.
- [11] Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition*. 1992;46: 33–50.
- [12] Woo KS, Seib PA. Cross-linked resistant starch: Preparation and properties. *Cereal Chemistry*. 2002;79(6): 819–825.
- [13] Han JA, BeMiller JN. Preparation and physical characteristics of slowly digesting modified food starches. *Carbohydrate polymers*. 2007;67(3): 366–374. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2006.06.011>.
- [14] Seneviratne HD, Biliaderis CG. Action of α -amylases on amylose-lipid complex superstructures. *Journal of Cereal Science*. 1991;13(2): 129–143.
- [15] Sarawong C, Schoenlechner R, Sekiguchi K, Berghofer E, Ng PK. Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. *Food Chemistry*. 2014;143: 33–39.
- [16] Abioye VF, Adeyemi IA, Akinwande BA, Kulakow P, Maziya-Dixon B. Effect of steam cooking and storage time on the formation of resistant starch and functional properties of cassava starch. *Cogent Food & Agriculture*. 2017;3(1): 1296401. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1296401>.
- [17] Nagahata Y, Kobayashi I, Goto M, Nakaura Y, Inouchi N. The formation of resistant starch during acid hydrolysis of high-amylose corn starch. *Journal of Applied Glycoscience*. 2013;60(2): 123–130.
- [18] Aparicio-Saguilán A, Flores-Huicochea E, Tovar J, García-Suárez F, Gutiérrez-Meraz F, Bello-Pérez LA.

- Resistant starch-rich powders prepared by autoclaving of native and lintnerized banana starch: Partial characterization. *Starch/Stärke*. 2005;57(9): 405–412.
- [19] Dupuis JH, Liu Q, Yada RY. 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.
- [20] Kittipongpatana OS, Kittipongpatana N. Physicochemical, in vitro digestibility and functional properties of carboxymethyl rice starch cross-linked with epichlorohydrin. *Food Chemistry*. 2013;141(2): 1438–1444.
- [21] Chung HJ, Shin DH, Lim ST. In vitro starch digestibility and estimated glycemic index of chemically modified corn starches. *Food Research International*. 2008;41(6): 579–585.
- [22] Xu SS. Preparation and physical characteristics of resistant starch (type 4) in acetylated indica rice. *Food Chemistry*. 2012;134(1): 149–154.
- [23] Wang YJ, Wang L. Physicochemical properties of common and waxy corn starches oxidized by different levels of sodium hypochlorite. *Carbohydrate Polymers*. 2003;52(3): 207–217.
- [24] Remya R, Jyothi AN, Sreekumar J. Effect of chemical modification with citric acid on the physicochemical properties and resistant starch formation in different starches. *Carbohydrate Polymers*. 2018;202: 29–38.
- [25] Mei JQ, Zhou DN, Jin ZY, Xu XM, Chen HQ. Effects of citric acid esterification on digestibility, structural and physicochemical properties of cassava starch. *Food Chemistry*. 2015;187: 378–384.
- [26] Pham Van Hung, Ngo Lam Vien, Nguyen Thi Lan Phi. Resistant starch improvement of rice starches under a combination of acid and heat-moisture treatments. *Food Chemistry*. 2016;191: 67–73.
- [27] Reddy CK, Suriya M, HariPriya S. Physico-chemical and functional properties of Resistant starch prepared from red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*. L) starch by enzymatic method. *Carbohydrate Polymers*. 2013;95(1): 220–226.
- [28] Hickman BE, Janaswamy S, Yao Y. Autoclave and β -Amylolysis lead to reduced in vitro digestibility of starch. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2009;57(15): 7005–7012.
- [29] Zhang H, Jin Z. Preparation of resistant starch by hydrolysis of maize starch with pullulanase. *Carbohydrate Polymers*. 2011;83(2): 865–867.
- [30] Cai L, Shi YC. Structure and digestibility of crystalline short-chain amylose from debranched waxy wheat, waxy maize, and waxy potato starches. *Carbohydrate Polymers*. 2010;79(4): 1117–1123.
- [31] Arp CG, Correa MJ, Ferrero C. Kinetic study of staling in breads with high-amylose resistant starch. *Food Hydrocolloids*. 2020;106: 105879. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105879>.
- [32] Eliasson AC, Krog N. Physical properties of amylose-mono-glyceride complexes. *Journal of Cereal Science*. 1985;3(3): 239–248.
- [33] Karkalas J, Ma S, Morrison WR, Pethrick RA. Some factors determining the thermal properties of amylose inclusion complexes with fatty acids. *Carbohydrate Research*. 1995;268(2): 233–247.
- [34] Seo TR, Kim JY, Lim ST. Preparation and characterization of crystalline complexes between amylose and C18 fatty acids. *LWT*. 2015;64(2): 889–897.
- [35] Arijaje EO, Wang YJ. Effects of chemical and enzymatic modifications on starch-linoleic acid complex formation. *Food Chemistry*. 2017;217: 9–17.
- [36] Mapengo CR, Ray SS, Emmambux MN. Pasting properties of hydrothermally treated maize starch with added stearic acid. *Food Chemistry*. 2019;289: 396–403.

