

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC  
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

**HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**



**Nguyễn Phan Hằng**

**NGHIÊN CỨU TÁCH, BIẾN TÍNH MỘT SỐ LOẠI  
TINH BỘT TỪ NGUỒN NGUYÊN LIỆU ÍT PHỔ BIẾN  
VÀ ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KHOA HỌC VẬT CHẤT**

**Ngành: Hóa hữu cơ**

**Mã số: 9 44 01 14**

***Hà Nội-2026***

Công trình được hoàn thành tại: Học viện Khoa học và Công nghệ,  
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học:

1. Người hướng dẫn: PGS. TS. Nguyễn Thanh Tùng, Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam
2. Người hướng dẫn: PGS. TS. Vũ Minh Tân, Đại học Công nghiệp Hà Nội

Phản biện 1: PGS. TS. Trần Văn Lộc, Viện Hóa học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Phản biện 2: GS. TS. Đặng Ngọc Quang, Trường Đại học Sư phạm Hà Nội

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án tiến sĩ cấp Học viện họp tại Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam vào hồi 9 giờ 00, ngày 29 tháng 07 năm 2026.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

1. Thư viện Học viện Khoa học và Công nghệ
2. Thư viện Quốc gia Việt Nam

## MỞ ĐẦU

Tinh bột là nguồn carbohydrate thiết yếu, đóng vai trò chủ đạo trong việc cung cấp năng lượng cho các hoạt động chuyển hóa của cơ thể. Quá trình thủy phân tinh bột bởi các enzyme tiêu hóa tạo ra glucose, tuy nhiên, một phân đoạn tinh bột được gọi là tinh bột kháng tiêu (Resistant Starch - RS) có khả năng bền vững trước các enzyme tại ruột non. Thay vì được hấp thụ vào máu, RS di chuyển xuống đại tràng và trải qua quá trình lên men bởi hệ vi sinh vật tương tự như chất xơ hòa tan. Việc tiêu thụ RS mang lại nhiều giá trị sinh học như ổn định chỉ số đường huyết, cải thiện sức khỏe tiêu hóa và hỗ trợ phòng ngừa các bệnh rối loạn chuyển hóa.

Với dự báo hơn 643 triệu người trưởng thành trên thế giới sẽ chung sống với bệnh đái tháo đường vào năm 2030, nhu cầu về các giải pháp dinh dưỡng hỗ trợ điều trị đang gia tăng mạnh mẽ. Xu hướng này thúc đẩy việc phát triển các sản phẩm bảo vệ sức khỏe có chỉ số đường huyết thấp. Trong đó, tinh bột kháng tiêu (RS) nổi lên như một thành phần thiết yếu nhờ cơ chế tác động sinh học đặc thù, đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện sức khỏe tổng thể và phòng ngừa các biến chứng chuyển hóa.

Do hàm lượng RS trong tự nhiên thường thấp và kém bền vững dưới tác động của nhiệt, việc ứng dụng các kỹ thuật biến tính đã trở thành chiến lược then chốt nhằm tối ưu hóa hàm lượng RS, cũng như khắc phục các nhược điểm của tinh bột tự nhiên. Các phương pháp biến tính vật lý (xử lý nhiệt - ẩm, ẩm - nhiệt...), biến tính hóa học (ete hóa, este hóa, tạo liên kết chéo) và biến tính bằng enzyme đang được triển khai rộng rãi. Mục tiêu cốt lõi của các quá trình này là tái cấu trúc phân tử tinh bột, tạo ra các rào cản vật lý hoặc hóa học nhằm tăng cường khả năng kháng lại sự thủy phân của hệ enzyme tiêu hóa.

Trong bối cảnh đảm bảo an ninh lương thực toàn cầu, các nghiên cứu hiện nay đang dịch chuyển trọng tâm sang các nguồn tinh bột thay thế nhằm giảm sự phụ thuộc vào các nguồn truyền thống như ngô và sắn. Việt Nam, với ưu thế về khí hậu nhiệt đới, sở hữu nguồn nguyên liệu thực vật dồi dào có tiềm năng hàm lượng tinh bột kháng (RS) cao, điển hình là chuối xanh và hạt mít. Việc khai thác các nguồn tinh bột ít phổ biến này không chỉ tối ưu hóa giá trị kinh tế nông sản mà còn đại diện cho giải pháp cung ứng RS bền vững, phù hợp với xu hướng sản xuất nội địa.

Xuất phát từ thực tiễn xã hội và yêu cầu phát triển các dòng thực phẩm thể hệ mới, đề tài “Nghiên cứu tách, biến tính một số loại tinh bột từ nguồn

nguyên liệu ít phổ biến và định hướng ứng dụng” đã được lựa chọn thực hiện. Mục tiêu trọng tâm của luận án là nghiên cứu các phương pháp biến tính lên tinh bột chuối xanh và hạt mít nhằm tối ưu hóa hàm lượng tinh bột kháng tiêu (RS). Đồng thời, nghiên cứu tập trung làm rõ cơ chế biến đổi cấu trúc, các đặc tính lý hóa và động học tiêu hóa của tinh bột sau biến tính. Trên cơ sở đó, luận án đánh giá khả năng ứng dụng sản phẩm vào quy trình sản xuất mì sợi, hướng tới mục tiêu nâng cao giá trị dinh dưỡng và kiểm soát chỉ số đường huyết (GI) cho người tiêu dùng.

Để đạt được các mục tiêu trên, các nội dung nghiên cứu chính của luận án bao gồm: (1) Tách và thu nhận tinh bột từ chuối xanh và hạt mít; (2) Biến tính tinh bột nhằm tăng hàm lượng tinh bột kháng tiêu bằng các phương pháp như quá trình phosphate hóa, xử lý thủy nhiệt (HMT và ANN) và quá trình carboxymethyl hóa; (3) Ứng dụng tinh bột biến tính trong chế biến mì sợi.

## **Chương 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU**

### **1.1. Tổng quan về tinh bột**

Tinh bột là polysaccharide dự trữ quan trọng trong thực vật, gồm hai thành phần chính là amylose (20-30%) và amylopectin (70-80%), tạo nên cấu trúc bán tinh thể với các dạng A, B, C và V. Tỷ lệ và cấu trúc của hai thành phần này quyết định trực tiếp đến tính chất lý hóa, khả năng trương nở và mức độ tiêu hóa của tinh bột. Dựa vào tốc độ thủy phân, tinh bột được phân thành RDS, SDS và RS, có vai trò khác nhau đối với phản ứng đường huyết và sức khỏe chuyển hóa.

### **1.2. Giới thiệu tinh bột kháng tiêu**

Tinh bột kháng tiêu (RS) là phần tinh bột không bị tiêu hóa ở ruột non mà được vận chuyển xuống đại tràng, nơi chúng được hệ vi sinh vật lên men tạo ra các acid béo chuỗi ngắn có lợi như butyrate. RS được chia thành 5 loại (RS1-RS5), trong đó RS3 (thoái hóa) và RS4 (biến tính hóa học) có ý nghĩa quan trọng trong công nghệ thực phẩm nhờ độ ổn định cao. Hàm lượng RS có thể được gia tăng thông qua các phương pháp biến tính như xử lý nhiệt-ẩm (HMT), ẩm-nhiệt (ANN), enzyme hoặc các phản ứng hóa học. Nhờ khả năng làm chậm giải phóng glucose và cải thiện sức khỏe đường ruột, RS được ứng dụng rộng rãi trong phát triển thực phẩm chức năng và sản phẩm có chỉ số đường huyết thấp.

### **1.3. Các nguồn tinh bột không phổ biến**

Các nguồn tinh bột phi truyền thống như chuối xanh, hạt mít, dong riềng và các loại đậu đang được quan tâm nhờ hàm lượng tinh bột cao và khả

năng tạo RS tốt. Chuối xanh có hàm lượng RS tự nhiên lớn và cấu trúc tinh thể dạng B, trong khi hạt mít giàu amylose, thuận lợi cho các quá trình biến tính nhằm tăng RS. Những nguồn nguyên liệu này không chỉ dồi dào, giá thành thấp mà còn phù hợp với điều kiện sinh thái Việt Nam. Tuy nhiên, việc khai thác và ứng dụng còn hạn chế, do đó việc nghiên cứu và phát triển các nguồn tinh bột này có ý nghĩa quan trọng trong định hướng sản xuất thực phẩm chức năng và nâng cao giá trị nông sản.

#### **1.4. Tình hình nghiên cứu về tinh bột và tinh bột biến tính ở Việt Nam**

Tại Việt Nam, nghiên cứu về tinh bột và tinh bột biến tính phát triển mạnh từ khoảng năm 2005, ban đầu tập trung vào tinh bột sắn, sau đó mở rộng sang các nguồn nguyên liệu ít phổ biến như chuối xanh, hạt mít và các loại đậu. Nhiều nghiên cứu đã chứng minh rằng hàm lượng RS có thể tăng đáng kể (trên 40-50%) tùy theo phương pháp biến tính và nguồn nguyên liệu. Các sản phẩm tinh bột biến tính được ứng dụng trong thực phẩm, dược phẩm và vật liệu sinh học. Tuy nhiên, các nghiên cứu hiện nay vẫn còn mang tính riêng lẻ và chưa khai thác hết tiềm năng của các nguồn tinh bột phi truyền thống, do đó cần tiếp tục nghiên cứu theo hướng hệ thống và ứng dụng thực tiễn cao hơn.

## **Chương 2. THỰC NGHIỆM**

### **2.1. Đối tượng nghiên cứu**

Chuối tiêu xanh (*Musa acuminata*, AAA) thu mua tại Phú Thọ, 80-90 ngày sau trổ hoa. Hạt mít tươi giống mít Thái (*Artocarpus heterophyllus*) thu mua tại Đồng Nai.

### **2.2. Phương pháp nghiên cứu**

#### **2.2.1. Tách và tinh chế tinh bột**

Tinh bột chuối xanh, tinh bột hạt mít và bột chuối xanh được tách theo các phương pháp của Zhang và cộng sự (2005), Thúy và cộng sự (2020), Agama-Acevedo và cộng sự (2012).

#### **2.2.2. Biến tính tạo tinh bột kháng tiêu**

Biến tính tạo liên kết ngang bằng tác nhân muối phosphate STMP/STPP theo phương pháp của Woo và Seib (2002). Biến tính bằng phương pháp xử lý nhiệt-âm (HMT) theo quy trình của Chung và cộng sự (2012). Biến tính bằng phương pháp xử lý ẩm-nhiệt (ANN) theo quy trình của Liu và cộng sự (2016). Biến tính bằng phản ứng carboxymethyl hóa theo phương pháp của Nisit và cộng sự (2013).

### **2.2.3. Chế tạo mì sợi chứa tinh bột kháng tiêu**

Bột mì phối trộn với tinh bột kháng tiêu, tạo sợi bằng máy, sấy 35°C đến độ ẩm <10%, sau đó đóng gói bảo quản.

## **2.3. Các phương pháp phân tích, đánh giá**

### **2.3.1. Hiệu suất quá trình tách, thu nhận tinh bột**

Tính theo tỷ lệ khối lượng tinh bột thu được và nguyên liệu ban đầu.

### **2.3.2. Phương pháp xác định thành phần chính của tinh bột**

Hàm lượng carbohydrate (Ewers, TCVN 9935:2013); tro (nung 550°C, TCVN 9939:2013); độ ẩm (TCVN 9934:2013); protein (Kjeldahl, TCVN 8125:2015/ISO 20483:2013); lipid (Soxhlet, TCVN 9938:2013); xơ thô (Schaven cải tiến, TCVN 5103:1990); amylose và amylopectin (UV-Vis, 550 và 618 nm, JASCO V-670).

### **2.3.3. Phương pháp đánh giá khả năng tiêu hóa**

Hàm lượng tinh bột kháng (RS), tinh bột tiêu hóa nhanh (RDS) và tinh bột tiêu hóa chậm (SDS) được xác định bằng cách sử dụng Bộ xét nghiệm tinh bột kháng Megazyme (Phương pháp AOAC 2002.02).

### **2.3.4. Chỉ số đường huyết *in-vitro* (eGI)**

Phương pháp mô phỏng tiêu hóa tinh bột *in-vitro* bằng enzyme nhằm xác định chỉ số thủy phân (HI) và chỉ số đường huyết ước tính (eGI).

### **2.3.5. Độ thể của tinh bột biến tính**

- + Tinh bột phosphate: tính từ hàm lượng P (TCVN 9941:2013).
- + Tinh bột carboxymethyl: xác định bằng chuẩn độ NaOH.

### **2.3.6. Tính năng của tinh bột**

+ Khả năng trương nở (SP) và độ hòa tan (WSI): Mẫu (1 g) được phân tán trong nước, gia nhiệt (60-90 °C), làm nguội và ly tâm. Phần dịch nổi được sấy khô để xác định WSI, phần lắng dùng xác định SP.

+ Khả năng hấp thụ nước (WAC) và dầu (OAC): Mẫu được trộn với nước hoặc dầu, để yên, ly tâm và xác định khối lượng phần rắn để tính khả năng hấp thụ.

+ Độ bền lạnh đông - tan giá: Huyền phù tinh bột (6%, w/v) được hồ hóa, sau đó trải qua các chu kỳ đông lạnh (-20 °C) và rã đông. Lượng nước tách ra sau mỗi chu kỳ được xác định để đánh giá độ bền.

### **2.3.7. Đặc trưng lý hóa của tinh bột**

+ Phổ hồng ngoại (FTIR): Cấu trúc nhóm chức của tinh bột được phân tích bằng phổ FTIR (NEXUS 670) trong dải 400-4000 cm<sup>-1</sup>.

+ Nhiễu xạ tia X (XRD): Cấu trúc tinh thể và độ kết tinh tương đối được

xác định bằng XRD (Shimadzu XRD-7000) trong khoảng  $2\theta = 10-50^\circ$ .

+ Hình thái học bề mặt (SEM) của tinh bột được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét SEM (JEOL FM-6510LV).

### 2.3.8. Đặc tính nấu của mì

+ Thời gian nấu tối ưu: Mì được nấu trong nước sôi đến khi lõi đục biến mất, xác định bằng cách ép giữa hai phiến kính.

+ Tỷ lệ hấp thụ nước (DMWA): Mì được nấu đến thời gian tối ưu, làm nguội, thấm khô và cân khối lượng trước - sau nấu để xác định khả năng hút nước.

+ Tỷ lệ hao hụt khi nấu (DML): Nước nấu được sấy khô để xác định lượng chất rắn mất đi trong quá trình nấu.

+ Tỷ lệ đứt gãy của mì: Mì được nấu đến thời gian tối ưu, tỷ lệ sợi bị đứt được xác định theo số lượng sợi gãy.

## 2.4. Phương pháp xử lý số liệu

Thí nghiệm được lặp lại 3 lần, kết quả biểu diễn dưới dạng giá trị trung bình  $\pm$  sai số chuẩn. Kết quả thí nghiệm được xử lý bằng phần mềm Microsoft Excel và phân tích thống kê (ANOVA).

## Chương 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Tách và thu nhận tinh bột từ nguồn nguyên liệu ít

#### 3.1.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ ngâm

Bảng 3.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ ngâm đến quá trình tách, thu nhận tinh bột từ chuối xanh, hạt mít

| Nguyên liệu | Nhiệt độ (°C) | Hiệu suất tách, thu nhận (%) | Hàm lượng carbohydrate (%) | Hàm lượng protein (%) |
|-------------|---------------|------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Chuối xanh  | 6             | 14,73 $\pm$ 0,95             | 85,31 $\pm$ 2,58           | 0,15 $\pm$ 0,004      |
|             | 25            | 12,89 $\pm$ 0,63             | 71,25 $\pm$ 2,15           | 0,11 $\pm$ 0,004      |
|             | 30            | 9,57 $\pm$ 0,13              | 62,71 $\pm$ 2,21           | 0,08 $\pm$ 0,003      |
| Hạt mít     | 6             | 25,21 $\pm$ 1,52             | 80,47 $\pm$ 1,82           | 0,58 $\pm$ 0,08       |
|             | 25            | 16,32 $\pm$ 0,31             | 65,17 $\pm$ 2,02           | 0,55 $\pm$ 0,07       |
|             | 30            | 10,87 $\pm$ 0,17             | 56,74 $\pm$ 2,11           | 0,51 $\pm$ 0,08       |

Nhiệt độ ngâm 6°C cho hiệu suất tách, thu nhận tinh bột và hàm lượng carbohydrate cao nhất ở cả chuối xanh (14,73%; 85,31%) và hạt mít (25,21%; 80,47%). Hiệu suất và hàm lượng carbohydrate giảm khi nhiệt độ tăng lên 25-30°C, vì vậy 6°C được xác định là nhiệt độ ngâm thích hợp để thu nhận tinh bột từ hai nguyên liệu này.

#### 3.1.2. Ảnh hưởng của thời gian ngâm

Thời gian ngâm 12 giờ cho hiệu suất tách, thu nhận tinh bột và hàm lượng carbohydrate cao nhất ở chuối xanh (14,73%; 85,31%) và hạt mít

(26,87%; 82,07%). Kéo dài thời gian ngâm trên 12 giờ làm giảm hiệu suất thu nhận và hàm lượng carbohydrate, do đó 12 giờ được xác định là thời gian ngâm thích hợp cho quá trình tách tinh bột từ hai nguyên liệu.

Bảng 3.2. Ảnh hưởng của thời gian ngâm đến quá trình tách, thu nhận tinh bột từ chuối xanh, hạt mít

| <i>Nguyên liệu</i> | <i>Thời gian (giờ)</i> | <i>Hiệu suất tách, thu nhận (%)</i> | <i>Hàm lượng carbohydrate (%)</i> | <i>Hàm lượng protein (%)</i> |
|--------------------|------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Chuối xanh         | 8                      | 11,26 ± 0,46                        | 76,83 ± 2,31                      | 0,23 ± 0,005                 |
|                    | 12                     | 14,73 ± 0,95                        | 85,31 ± 2,58                      | 0,15 ± 0,004                 |
|                    | 16                     | 14,21 ± 0,26                        | 80,57 ± 2,63                      | 0,16 ± 0,005                 |
|                    | 24                     | 12,93 ± 0,32                        | 73,35 ± 2,26                      | 0,19 ± 0,006                 |
| Hạt mít            | 8                      | 25,21 ± 1,52                        | 80,47 ± 1,82                      | 0,58 ± 0,08                  |
|                    | 12                     | 26,87 ± 1,24                        | 82,07 ± 1,73                      | 0,55 ± 0,07                  |
|                    | 16                     | 21,55 ± 1,03                        | 76,31 ± 1,95                      | 0,59 ± 0,08                  |
|                    | 24                     | 18,14 ± 0,77                        | 70,14 ± 1,84                      | 0,62 ± 0,06                  |

### 3.1.3. Ảnh hưởng của hóa chất ngâm

Bảng 3.3. Ảnh hưởng của thời gian ngâm đến quá trình tách, thu nhận tinh bột từ chuối xanh, hạt mít

| <i>Nguyên liệu</i> | <i>Hóa chất ngâm</i>     | <i>Hiệu suất tách, thu nhận (%)</i> | <i>Hàm lượng carbohydrate (%)</i> | <i>Hàm lượng protein (%)</i> |
|--------------------|--------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|
| Chuối xanh         | Nước                     | 11,26 ± 0,46                        | 76,83 ± 2,31                      | 0,23 ± 0,005                 |
|                    | NaHSO <sub>3</sub> 0,1%  | 12,82 ± 0,73                        | 80,35 ± 2,53                      | 0,18 ± 0,006                 |
|                    | NaHSO <sub>3</sub> 0,25% | 14,73 ± 0,95                        | 85,31 ± 2,58                      | 0,15 ± 0,004                 |
|                    | NaHSO <sub>3</sub> 0,5%  | 14,28 ± 0,72                        | 89,41 ± 2,33                      | 0,09 ± 0,004                 |
|                    | NaOH 0,25%               | 14,85 ± 0,77                        | 88,27 ± 2,35                      | 0,09 ± 0,004                 |
| Hạt mít            | Nước                     | 14,13 ± 1,27                        | 70,42 ± 2,03                      | 0,72 ± 0,07                  |
|                    | NaHSO <sub>3</sub> 0,1%  | 18,51 ± 1,61                        | 74,14 ± 1,84                      | 0,69 ± 0,06                  |
|                    | NaHSO <sub>3</sub> 0,25% | 21,94 ± 1,35                        | 77,02 ± 1,98                      | 0,62 ± 0,07                  |
|                    | NaHSO <sub>3</sub> 0,5%  | 25,21 ± 1,52                        | 80,47 ± 1,82                      | 0,58 ± 0,08                  |
|                    | NaOH 0,25%               | 27,02 ± 1,21                        | 80,59 ± 2,05                      | 0,60 ± 0,05                  |

Việc bổ sung NaHSO<sub>3</sub> hoặc NaOH trong quá trình ngâm giúp tăng hiệu suất thu nhận tinh bột và hàm lượng carbohydrate, đồng thời giảm hàm lượng protein so với đối chứng ngâm nước. NaHSO<sub>3</sub> được lựa chọn làm hóa chất ngâm thích hợp để thu nhận tinh bột từ chuối xanh và hạt mít do đạt hiệu quả cao và phù hợp cho ứng dụng thực phẩm.

### 3.1.4. Thành phần hóa học của tinh bột từ nguồn nguyên liệu ít phổ biến

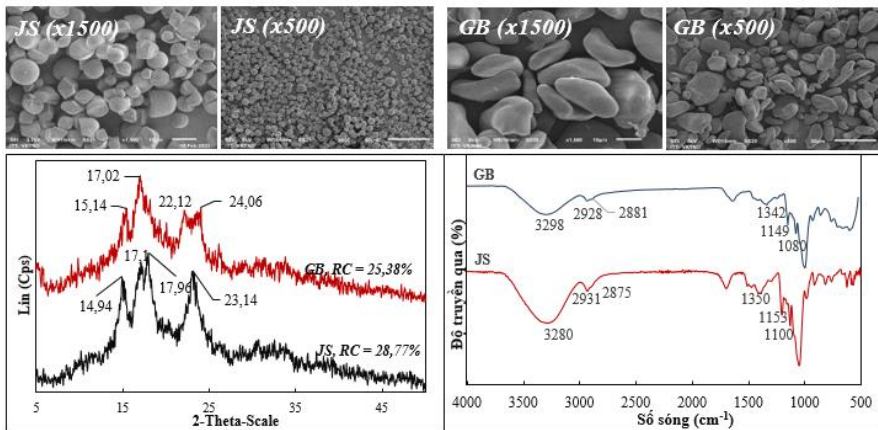
Tinh bột hạt mít và tinh bột chuối xanh được thu nhận với hiệu suất tương ứng 25,21% và 14,73%, có hàm lượng carbohydrate cao (80,47-85,31%) và hàm lượng tạp chất thấp (<1%). Tinh bột hạt mít chứa 23,65%

amylose, trong khi tinh bột chuối xanh chứa 88,73% amylopectin. Cả hai loại tinh bột đều có hàm lượng RS khoảng 25%, thể hiện tiềm năng ứng dụng trong thực phẩm có lợi cho sức khỏe.

Bảng 3.4. Một số chỉ tiêu cơ bản của nguyên liệu và tinh bột tự nhiên

| STT | Chi tiêu            | Nguyên liệu  |              | Tinh bột thu nhận |              |
|-----|---------------------|--------------|--------------|-------------------|--------------|
|     |                     | Hạt mít      | Chuối xanh   | Hạt mít           | Chuối xanh   |
| 1   | Độ ẩm (%)           | 50,61 ± 2,73 | 66,64 ± 2,35 | 6,25 ± 0,24       | 6,57 ± 0,21  |
| 2   | Tro (%)             | 1,53 ± 0,02  | 1,01 ± 0,02  | 1,52 ± 0,25       | 1,16 ± 0,005 |
| 3   | Xơ thô (%)          | 2,25 ± 0,11  | 2,55 ± 0,10  | 0,71 ± 0,21       | 0,31 ± 0,009 |
| 4   | Protein (%)         | 5,67 ± 0,14  | 2,24 ± 0,09  | 0,58 ± 0,08       | 0,15 ± 0,004 |
| 5   | Lipid (%)           | 1,36 ± 0,03  | 1,18 ± 0,04  | 0,19 ± 0,03       | 0,11 ± 0,03  |
| 6   | Carbohydrate (%)    | 35,14 ± 2,84 | 23,28 ± 2,71 | 80,47 ± 1,82      | 85,31 ± 2,58 |
| 7   | Thành phần khác (%) | ~ 3,44       | ~ 3,10       | -                 | -            |
| 7   | Amylose (%)         | -            | -            | 23,65 ± 0,18      | 11,27 ± 0,40 |
| 8   | Amylopectin (%)     | -            | -            | 76,35 ± 0,18      | 88,73 ± 0,40 |
| 9   | RS (%)              |              |              | 25,25 ± 1,11      | 24,76 ± 0,83 |
| 10  | RDS (%)             |              |              | 19,71 ± 0,53      | 65,05 ± 0,92 |
| 11  | SDS (%)             |              |              | 55,04 ± 1,92      | 10,19 ± 0,56 |

### 3.1.5. Đặc trưng lý hóa, cấu trúc của tinh bột



Hình 3.1. Ảnh SEM, giản đồ nhiễu xạ tia X và phổ FTIR của tinh bột hạt mít và tinh bột chuối xanh

Ảnh SEM (x500 và x1500) cho thấy tinh bột hạt mít có dạng cầu hoặc nửa bầu dục, bề mặt nhẵn, các hạt tách rời; trong khi tinh bột chuối xanh có dạng bầu dục kéo dài hoặc dạng que, cấu trúc nguyên vẹn. Kích thước hạt tinh bột chuối lớn hơn hạt mít. Giản đồ XRD cho thấy tinh bột chuối xanh có cấu trúc kết tinh dạng B ( $2\theta \approx 15^\circ, 17^\circ, 22-24^\circ$ ), trong khi tinh bột hạt mít có dạng A ( $2\theta \approx 15^\circ, 17-18^\circ, 23^\circ$ ). Độ kết tinh tương đối lần lượt là 25,38% (chuối) và

28,77% (hạt mít), phản ánh sự khác biệt về cấu trúc amylose/amylopectin. Phổ FTIR của tinh bột chuối xanh và hạt mít đều xuất hiện các peak đặc trưng của polysaccharide, bao gồm dao động hóa trị của nhóm O-H ( $3600-3000\text{ cm}^{-1}$ ), liên kết C-H ( $2930-2880\text{ cm}^{-1}$ ), C-O-C và C-C ( $1200-800\text{ cm}^{-1}$ ), nhóm C-O-H,  $\text{CH}_2$  ( $1350-1342\text{ cm}^{-1}$ ) và liên kết C-H trong đơn vị glucose ( $998-702\text{ cm}^{-1}$ ).

### 3.1.6. Tính năng của tinh bột

Bảng 3.5. Một số tính năng của tinh bột từ chuối xanh và hạt mít

| <i>Tính năng</i>                   |          | <i>Đơn vị</i> | <i>Chuối xanh (GB)</i> | <i>Hạt mít (JS)</i> |
|------------------------------------|----------|---------------|------------------------|---------------------|
| SP                                 | 60°C     | g/g           | $2,88 \pm 0,23$        | $2,14 \pm 0,23$     |
|                                    | 70°C     |               | $7,62 \pm 0,25$        | $6,21 \pm 0,15$     |
|                                    | 80°C     |               | $16,37 \pm 0,31$       | $15,11 \pm 0,34$    |
|                                    | 90°C     |               | $24,30 \pm 0,31$       | $23,42 \pm 0,67$    |
| WSI                                | 60°C     | %             | $4,28 \pm 0,26$        | $2,14 \pm 0,11$     |
|                                    | 70°C     |               | $8,69 \pm 0,25$        | $8,35 \pm 0,17$     |
|                                    | 80°C     |               | $13,54 \pm 0,26$       | $12,86 \pm 0,37$    |
|                                    | 90°C     |               | $20,59 \pm 0,22$       | $20,04 \pm 0,82$    |
| OAC                                |          | g/g           | $1,19 \pm 0,013$       | $1,07 \pm 0,011$    |
| WAC                                |          | g/g           | $1,38 \pm 0,012$       | $0,91 \pm 0,010$    |
| Tỷ lệ<br>lượng<br>nước<br>thoát ra | 1 chu kỳ | %             | $16,25 \pm 0,11$       | $19,64 \pm 0,14$    |
|                                    | 2 chu kỳ |               | $33,51 \pm 0,15$       | $38,36 \pm 0,13$    |
|                                    | 3 chu kỳ |               | $43,34 \pm 0,24$       | $48,95 \pm 0,28$    |
|                                    | 4 chu kỳ |               | $51,53 \pm 0,14$       | $54,18 \pm 0,35$    |

Khả năng trương nở (SP) và độ tan (WSI) của cả hai loại tinh bột đều tăng theo nhiệt độ từ 60-90°C, đạt giá trị cao nhất lần lượt là 24,30 g/g và 20,59% đối với GB, 23,42 g/g và 20,04% đối với JS. Tinh bột chuối xanh có khả năng hấp phụ nước và dầu cao hơn (WAC 1,38 g/g; OAC 1,19 g/g) so với tinh bột hạt mít (WAC 0,91 g/g; OAC 1,07 g/g). Sau 4 chu kỳ đông – rã đông, tỷ lệ nước thoát ra của GB thấp hơn JS (51,53% so với 54,18%), cho thấy khả năng giữ nước và độ ổn định lạnh đông-tan giá tốt hơn.

### Kết luận tiểu mục 3.1

Điều kiện ngâm thích hợp để thu nhận tinh bột từ chuối xanh là 6°C, 12 giờ,  $\text{NaHSO}_3$  0,25%, trong khi đối với hạt mít là 6°C, 8 giờ,  $\text{NaHSO}_3$  0,5%. Hiệu suất tách, thu nhận đạt 14,73% (GB) và 25,21% (JS), với hàm lượng RS tương ứng 24,76% và 25,25%. Tinh bột chuối xanh có cấu trúc kết tinh dạng B, tinh bột hạt mít có cấu trúc kết tinh dạng A; cả hai đều có hạt tinh bột nguyên vẹn. Khả năng trương nở, độ hòa tan, hấp thụ nước, hấp thụ dầu và độ ổn định cấu trúc của tinh bột chuối xanh cao hơn tinh bột hạt mít.

### 3.2. Biến tính tinh bột bằng quá trình phosphate hóa

#### 3.2.1. Ảnh hưởng của hàm lượng muối polyphosphate

Bảng 3.6. Ảnh hưởng của hàm lượng muối polyphosphate đến DS của tinh bột phosphate

| m <sub>phosphate</sub><br>(%) | Tinh bột chuối xanh |                 | Tinh bột hạt mít |                 |
|-------------------------------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|
|                               | P liên kết (%)      | DS              | P liên kết (%)   | DS              |
| Ban đầu                       | 0,0067 ± 0,0041     | 0,0004 ± 0,0002 | 0,0103 ± 0,0019  | 0,0005 ± 0,0001 |
| 6                             | 0,1820 ± 0,0024     | 0,0096 ± 0,0001 | 0,1597 ± 0,0070  | 0,0084 ± 0,0004 |
| 8                             | 0,2520 ± 0,0054     | 0,0133 ± 0,0003 | 0,2183 ± 0,0033  | 0,0115 ± 0,0002 |
| 10                            | 0,3760 ± 0,0036     | 0,0199 ± 0,0002 | 0,3260 ± 0,0057  | 0,0172 ± 0,0003 |
| 12                            | 0,4513 ± 0,0039     | 0,0239 ± 0,0002 | 0,4097 ± 0,0063  | 0,0217 ± 0,0003 |

Bảng 3.7. Ảnh hưởng của hàm lượng muối polyphosphate đến khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh và hạt mít

| m <sub>phosphate</sub><br>(%) | Tinh bột chuối xanh |            |            | Tinh bột hạt mít |            |            |
|-------------------------------|---------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|
|                               | RS (%)              | RDS (%)    | SDS (%)    | RS (%)           | RDS (%)    | SDS (%)    |
| Ban đầu                       | 24,76±0,83          | 65,05±0,92 | 10,19±0,56 | 25,25±1,11       | 19,71±0,53 | 55,04±1,92 |
| 6                             | 38,70±0,54          | 51,03±1,55 | 23,27±1,05 | 30,45±0,97       | 13,32±0,25 | 56,23±1,21 |
| 8                             | 40,24±1,05          | 29,38±0,88 | 30,38±0,74 | 36,55±0,45       | 6,22±0,32  | 57,23±1,33 |
| 10                            | 58,29±0,90          | 15,78±1,13 | 25,93±1,06 | 40,27±0,79       | 1,20±0,14  | 58,53±1,27 |
| 12                            | 60,26±0,84          | 11,66±1,15 | 28,09±1,17 | 40,34±0,85       | 1,05±0,19  | 58,61±1,46 |

Khi tăng polyphosphate (6-12%), hàm lượng P liên kết và DS tăng, chứng tỏ mức độ biến tính tăng. Sau biến tính, RS và SDS tăng, còn RDS giảm do cấu trúc tinh bột cản trở enzyme thủy phân. RS đạt cao nhất ở 10% phosphate (chuối: 58,29%; hạt mít: 40,27%), sau đó giảm nhẹ ở 12% do phá vỡ cấu trúc và vượt ngưỡng an toàn P (>0,4%). Vì vậy, 10% phosphate là tối ưu.

#### 3.2.2. Ảnh hưởng của hàm lượng Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>

Bảng 3.8. Ảnh hưởng của hàm lượng Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> đến DS của tinh bột phosphate

| m <sub>Na2SO4</sub><br>(%) | Tinh bột chuối  |                 | Tinh bột hạt mít |                 |
|----------------------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
|                            | P liên kết (%)  | DS              | P liên kết (%)   | DS              |
| Ban đầu                    | 0,0067 ± 0,0041 | 0,0004 ± 0,0002 | 0,0103 ± 0,0019  | 0,0005 ± 0,0001 |
| 5                          | 0,2248 ± 0,0012 | 0,0118 ± 0,0001 | 0,2160 ± 0,0022  | 0,0114 ± 0,0001 |
| 10                         | 0,3760 ± 0,0036 | 0,0199 ± 0,0002 | 0,3260 ± 0,0057  | 0,0172 ± 0,0003 |
| 20                         | 0,3966 ± 0,0057 | 0,0210 ± 0,0003 | 0,3594 ± 0,0073  | 0,0190 ± 0,0004 |

Bảng 3.9. Ảnh hưởng của hàm lượng Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> đến khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh và hạt mít

| m <sub>Na2SO4</sub><br>(%) | Tinh bột chuối xanh |              |              | Tinh bột hạt mít |              |              |
|----------------------------|---------------------|--------------|--------------|------------------|--------------|--------------|
|                            | RS (%)              | RDS (%)      | SDS (%)      | RS (%)           | RDS (%)      | SDS (%)      |
| Ban đầu                    | 24,76 ± 0,83        | 65,05 ± 0,92 | 10,19 ± 0,56 | 25,25 ± 1,11     | 19,71 ± 0,53 | 55,04 ± 1,92 |
| 5                          | 33,87 ± 1,10        | 47,67 ± 1,03 | 18,46 ± 1,30 | 33,67 ± 0,66     | 10,29 ± 0,47 | 56,04 ± 0,97 |
| 10                         | 58,29 ± 0,90        | 15,78 ± 1,13 | 25,93 ± 1,06 | 40,27 ± 0,79     | 1,20 ± 0,14  | 58,53 ± 1,27 |
| 20                         | 59,28 ± 1,04        | 11,14 ± 0,97 | 29,58 ± 0,67 | 41,04 ± 0,57     | 0,04 ± 0,06  | 58,92 ± 0,51 |

$\text{Na}_2\text{SO}_4$  đóng vai trò điện giải, giúp tăng hiệu quả phosphate hóa. Khi tăng  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (5-10%), P liên kết và DS của cả hai tinh bột tăng nhưng chậm dần sau 20% do bão hòa vị trí phản ứng. RS và SDS tăng, trong khi RDS giảm mạnh, cho thấy cấu trúc tinh bột bền hơn và khó bị enzyme thủy phân. Tuy nhiên, từ 10-20% hiệu quả cải thiện không đáng kể, nên 10%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  là tối ưu.

### 3.2.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng

Bảng 3.10. Ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng đến DS của tinh bột phosphate

| (°C)    | Tinh bột chuối  |                 | Tinh bột hạt mít |                 |
|---------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
|         | P liên kết (%)  | DS              | P liên kết (%)   | DS              |
| Ban đầu | 0,0067 ± 0,0041 | 0,0004 ± 0,0002 | 0,0103 ± 0,0019  | 0,0005 ± 0,0001 |
| 60      | 0,1627 ± 0,0033 | 0,0085 ± 0,0002 | 0,1377 ± 0,0037  | 0,0072 ± 0,0002 |
| 70      | 0,3760 ± 0,0036 | 0,0199 ± 0,0002 | 0,3260 ± 0,0057  | 0,0172 ± 0,0003 |
| 80      | 0,3420 ± 0,0054 | 0,0181 ± 0,0003 | 0,3083 ± 0,0053  | 0,0163 ± 0,0003 |

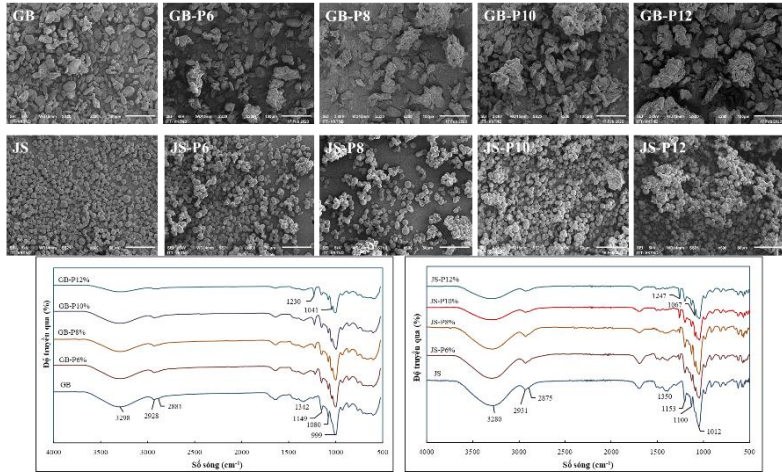
Bảng 3.11. Ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng đến khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối và hạt mít

| (°C)    | Tinh bột chuối xanh |            |            | Tinh bột hạt mít |            |            |
|---------|---------------------|------------|------------|------------------|------------|------------|
|         | RS (%)              | RDS (%)    | SDS (%)    | RS (%)           | RDS (%)    | SDS (%)    |
| Ban đầu | 24,76±0,83          | 65,05±0,92 | 10,19±0,56 | 25,25±1,11       | 19,71±0,53 | 55,04±1,92 |
| 60      | 39,61±0,56          | 40,36±0,32 | 20,03±0,81 | 35,61±0,32       | 7,33±0,24  | 57,06±0,27 |
| 70      | 58,29±0,90          | 15,78±1,13 | 25,93±1,06 | 40,27±0,79       | 1,20±0,14  | 58,53±1,27 |
| 80      | 49,08±0,38          | 19,94±0,22 | 30,98±0,51 | 37,75±0,38       | 5,99±0,10  | 56,26±0,48 |

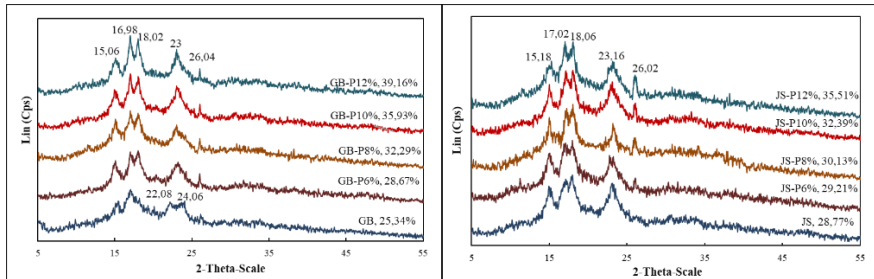
Khi tăng nhiệt độ từ 60-70°C, P liên kết và DS tăng mạnh, cho thấy phosphate hóa hiệu quả hơn. RS tăng rõ rệt (chuối: 24,76 → 45,62%; hạt mít: 25,25 → 40,27%), trong khi RDS giảm và đạt thấp nhất tại 70°C. Ở 80°C, RS giảm nhẹ và RDS tăng do cấu trúc tinh bột bị phá vỡ một phần. SDS đạt cao nhất quanh 70°C. Vì vậy, 70°C là nhiệt độ tối ưu.

### 3.2.4. Đặc trưng hóa lý của tinh bột phosphate

Ảnh SEM cho thấy quá trình phosphate hóa làm bề mặt hạt tinh bột trở nên thô nhám, biến dạng nhẹ và tăng hiện tượng kết tụ giữa các hạt. Phổ FTIR xuất hiện các peak đặc trưng tại 1230-1247  $\text{cm}^{-1}$  và 1041-1067  $\text{cm}^{-1}$ , lần lượt với dao động biến dạng của các liên kết P=O và P-O-C, xác nhận sự gắn kết của nhóm phosphate vào cấu trúc tinh bột; cường độ các peak này tăng theo mức độ phosphate hóa. Phosphate hóa đồng thời làm thay đổi cấu trúc tinh thể từ dạng B sang C đối với tinh bột chuối xanh và từ dạng A sang C đối với tinh bột hạt mít, đồng thời làm tăng độ kết tinh từ 25,34 lên 39,16% và từ 28,77 lên 35,51%, và tăng tính trật tự và độ ổn định cấu trúc tinh bột.



Hình 3.2. Ảnh SEM, phổ FTIR của tinh bột chuối xanh và tinh bột hạt mít trước và sau quá trình phosphate



Hình 3.3. Giải đồ nhiễu xạ tia X và độ kết tinh của tinh bột chuối xanh và tinh bột hạt mít trước và sau quá trình phosphate

### 3.2.5. Tính năng của tinh bột phosphate

Phosphate hóa làm giảm SP và WSI của tinh bột do sự hình thành liên kết ngang giữa các mạch polymer, trong khi WAC và OAC tăng theo mức độ phosphate hóa. Ở hàm lượng phosphate cao nhất, WAC tăng từ 1,38 lên 1,94 g/g và OAC tăng từ 1,19 lên 1,87 g/g đối với tinh bột chuối xanh; các giá trị tương ứng của tinh bột hạt mít tăng từ 0,91 lên 1,48 g/g và từ 1,07 lên 1,55 g/g. Đồng thời, phosphate hóa cải thiện đáng kể độ ổn định lạnh đông-tan giá, thể hiện qua tỷ lệ nước thoát ra sau 4 chu kỳ giảm từ 51,53% xuống 35,02% đối với tinh bột chuối xanh và từ 54,18% xuống 38,02% đối với tinh bột hạt mít.

**Bảng 3.12. Khả năng trương nở (SP) và độ tan (WSI) của tinh bột phosphate**

[illegible]

Bảng 3.13. Khả năng hấp thụ nước (WAC) và dầu (OAC) của tinh bột phosphate

| <b>Tinh bột</b>                                                                                                       | <b>Tính năng</b> | <b>Ban đầu</b> | <b>P6%</b> | <b>P8%</b> | <b>P10%</b> | <b>P12%</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------|------------|------------|-------------|-------------|
| Chuối                                                                                                                 | OAC (g/g)        | 1,19           | 1,23       | 1,55       | 1,82        | 1,87        |
|                                                                                                                       | WAC (g/g)        | 1,38           | 1,45       | 1,59       | 1,88        | 1,94        |
| Hạt mít                                                                                                               | OAC (g/g)        | 1,07           | 1,15       | 1,32       | 1,51        | 1,55        |
|                                                                                                                       | WAC (g/g)        | 0,91           | 1,06       | 1,21       | 1,42        | 1,48        |
| Tinh bột phosphate hóa với hàm lượng muối phosphate STMP/STPP là 6, 8, 10 và 12% tương ứng với P6%, P8%, P10% và P12% |                  |                |            |            |             |             |

Bảng 3.14. Độ bền lạnh đông - tan giá của tinh bột phosphate

| Tinh bột | Số chu kỳ | Tỷ lệ nước thoát ra sau chu kỳ (%) |              |              |              |              |
|----------|-----------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|          |           | Ban đầu                            | P6%          | P8%          | P10%         | P12%         |
| Chuối    | 1         | 16,25 ± 0,11                       | 14,24 ± 0,13 | 12,05 ± 0,14 | 10,05 ± 0,14 | 9,56 ± 0,18  |
|          | 2         | 33,51 ± 0,15                       | 27,37 ± 0,15 | 22,26 ± 0,16 | 17,51 ± 0,17 | 16,37 ± 0,14 |
|          | 3         | 43,34 ± 0,24                       | 35,41 ± 0,19 | 31,74 ± 0,21 | 25,84 ± 0,19 | 28,73 ± 0,19 |
|          | 4         | 51,53 ± 0,14                       | 44,63 ± 0,21 | 40,85 ± 0,19 | 32,24 ± 0,21 | 35,02 ± 0,20 |
| Hạt mít  | 1         | 19,64 ± 0,14                       | 14,58 ± 0,18 | 12,25 ± 0,17 | 10,17 ± 0,16 | 11,36 ± 0,14 |
|          | 2         | 38,36 ± 0,13                       | 30,25 ± 0,19 | 25,14 ± 0,18 | 21,55 ± 0,16 | 19,47 ± 0,15 |
|          | 3         | 48,95 ± 0,28                       | 37,61 ± 0,18 | 32,75 ± 0,19 | 29,34 ± 0,23 | 27,14 ± 0,13 |
|          | 4         | 54,18 ± 0,35                       | 45,69 ± 0,24 | 40,12 ± 0,21 | 36,27 ± 0,25 | 38,02 ± 0,17 |

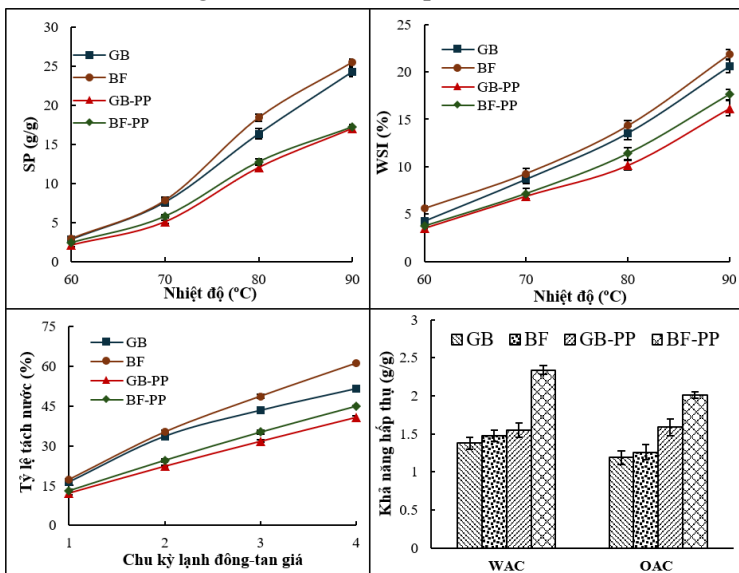
### 3.2.6. Phosphate hóa bột chuối xanh

Bảng 3.15. Độ thể và khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh (GB) và bột chuối xanh (BF) được xử lý bằng phương pháp phosphate hóa

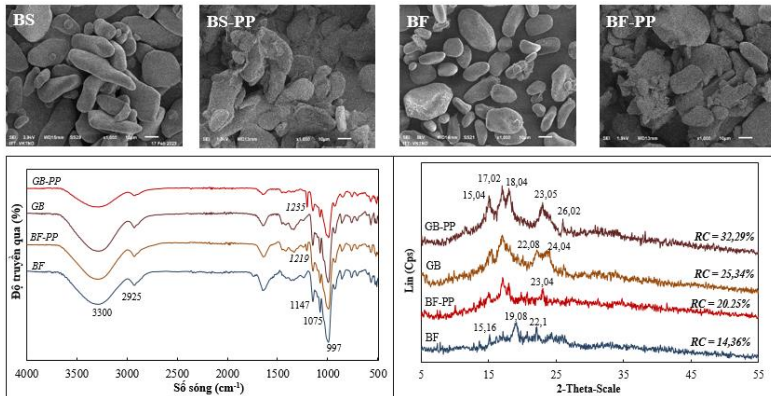
| Mẫu   | P (%)               | DS ( $\times 10^{-3}$ ) | RS (%)           | RDS (%)          | SDS (%)          |
|-------|---------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------|
| GB    | $0,0012 \pm 0,0001$ | $0,061 \pm 0,0065$      | $24,76 \pm 0,83$ | $65,05 \pm 0,92$ | $10,19 \pm 0,56$ |
| BF    | $0,0017 \pm 0,0002$ | $0,087 \pm 0,0089$      | $27,42 \pm 0,95$ | $45,12 \pm 1,11$ | $27,46 \pm 0,87$ |
| GB-PP | $0,264 \pm 0,0139$  | $13,92 \pm 0,5874$      | $40,24 \pm 1,05$ | $29,38 \pm 0,88$ | $30,38 \pm 0,74$ |
| BF-PP | $0,298 \pm 0,0158$  | $15,75 \pm 0,5441$      | $49,63 \pm 1,13$ | $20,29 \pm 1,07$ | $30,08 \pm 1,01$ |

Phosphate hóa làm tăng hàm lượng phospho liên kết (0,264-0,298%) và độ thể (DS  $13,92$ - $15,75 \times 10^{-3}$ ) của tinh bột chuối xanh, đồng thời làm tăng đáng kể hàm lượng RS từ 24,76% lên 40,24% đối với tinh bột chuối xanh và từ 27,42% lên 49,63% đối với bột chuối xanh. BF-PP cho RS cao hơn GB-PP do ảnh hưởng của ma trận giàu protein và chất xơ.

SP tăng theo nhiệt độ, nhưng ở 90°C mẫu tự nhiên cao hơn (BF ~26 g/g; GB ~24 g/g) so với mẫu phosphate (~17 g/g) do cấu trúc bị ổn định hóa sau biến tính. WSI thấp và giảm theo thứ tự GB-PP < BF-PP < GB < BF, cho thấy phosphate hóa làm giảm độ hòa tan. Độ bền lạnh đông-tan giá cải thiện rõ sau biến tính, với BF-PP và GB-PP giảm tách nước còn ~45% và ~40% sau 4 chu kỳ, thấp hơn mẫu tự nhiên. WAC và OAC tăng sau phosphate hóa, cao nhất ở BF-PP, trong khi BF ưu tiên hấp thụ nước hơn dầu.



Hình 3.4. Tính năng của tinh bột chuối xanh phosphate và bột chuối xanh phosphate



Hình 3.5. Ảnh SEM, phổ FTIR và giản đồ nhiễu xạ tia X của tinh bột chuối xanh phosphate và bột chuối xanh phosphate

Ảnh SEM cho thấy các mẫu chưa biến tính có hạt tinh bột hình bầu dục thuôn dài, trong khi sau phosphate hóa bề mặt hạt bị xói mòn, biến dạng và xuất hiện các mảnh vỡ nhỏ. Phổ FTIR xuất hiện peak đặc trưng cho dao động biến dạng của liên kết P=O và P–O–C (1219-1235  $\text{cm}^{-1}$ ), xác nhận sự gắn kết của nhóm phosphate vào cấu trúc polysaccharide. Kết quả XRD cho thấy tinh bột chuối xanh có cấu trúc tinh thể dạng B, còn bột chuối xanh có cấu trúc hỗn hợp A/B. Sau phosphate hóa, độ kết tinh của cả hai mẫu giảm, đạt 32,29% đối với tinh bột phosphate và 20,25% đối với bột phosphate, phản ánh sự gia tăng vùng vô định hình do quá trình biến tính.

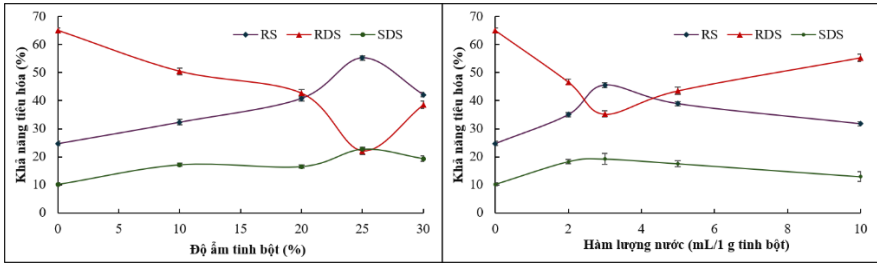
### Kết luận tiểu mục 3.2

Phosphate hóa đạt điều kiện phù hợp tại 10% STMP/STPP, 10%  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , 70°C, 1 giờ; hàm lượng RS đạt 58,29% đối với tinh bột chuối xanh và 40,27% đối với tinh bột hạt mít. Bột chuối xanh phosphate hóa với 8% STMP/STPP cho hàm lượng RS đạt 49,63%. Quá trình phosphate làm giảm SP và WSI, tăng khả năng hấp thụ nước/dầu và độ bền lạnh đông-tan giá.

## 3.3. Biến tính tinh bột bằng phương pháp xử lý thủy nhiệt

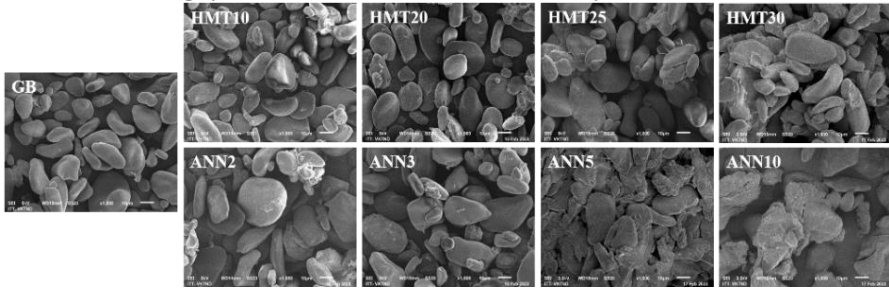
### 3.3.1. Khả năng tiêu hóa của tinh bột biến tính thủy nhiệt

Xử lý thủy nhiệt làm tăng RS và giảm RDS. Với HMT, RS đạt cực đại 55,22% tại 25% ẩm rồi giảm; RDS giảm mạnh và SDS tăng nhẹ. Với ANN, RS đạt tối đa 45,58% rồi giảm khi tăng nước, RDS biến đổi ngược chiều, SDS ít thay đổi. RS tăng do tái sắp xếp cấu trúc tinh thể bền hơn, hạn chế enzyme; nhưng khi vượt điều kiện tối ưu, cấu trúc bị phá vỡ làm RS giảm. HMT cho hiệu quả cao hơn ANN trong việc tăng RS và kiểm soát tiêu hóa tinh bột.

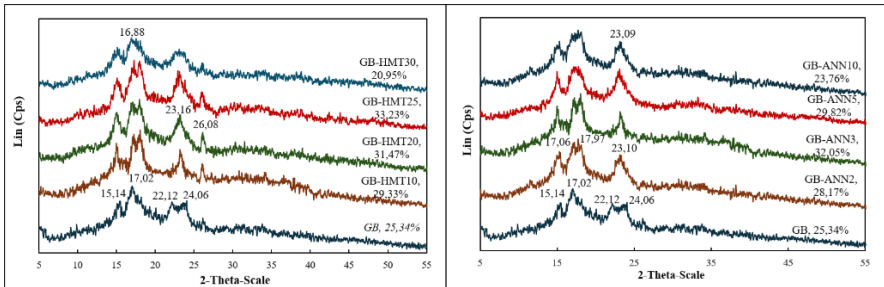


Hình 3.6. Ảnh hưởng của độ ẩm tinh bột và hàm lượng nước trong quá trình xử lý HMT và ANN đến khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh

### 3.3.2. Đặc trưng lý hóa của tinh bột biến tính thủy nhiệt



Hình 3.7. Ảnh SEM của tinh bột chuối xanh xử lý HMT và ANN



Hình 3.8. Giảm nhiễu xạ tia X của tinh bột chuối xanh HMT và ANN

Ảnh SEM cho thấy HMT ít làm thay đổi hình thái hạt, chỉ xuất hiện nứt nhẹ và kết tụ ở ẩm cao. Ngược lại, ANN gây biến dạng và phá vỡ hạt rõ rệt, đặc biệt khi tăng hàm lượng nước. Sự khác biệt do HMT có độ ẩm thấp nên chủ yếu tái cấu trúc bên trong, trong khi ANN với nhiều nước làm tăng trương nở và phá vỡ cấu trúc hạt

XRD cho thấy tinh bột ban đầu có cấu trúc B, sau HMT và ANN chuyển sang dạng C do tái sắp xếp cấu trúc. Độ kết tinh tăng đến mức tối ưu

(HMT ~25% ẩm, ANN ~3 mL/g) rồi giảm khi vượt quá do phá vỡ vùng tinh thể. Nguyên nhân là điều kiện phù hợp thúc đẩy tái cấu trúc trật tự, còn dư ẩm/nước làm tăng vùng vô định hình.

### 3.3.3. Một số tính năng của tinh bột biến tính thủy nhiệt

Bảng 3.16. Khả năng trương nở và độ tan của tinh bột HMT

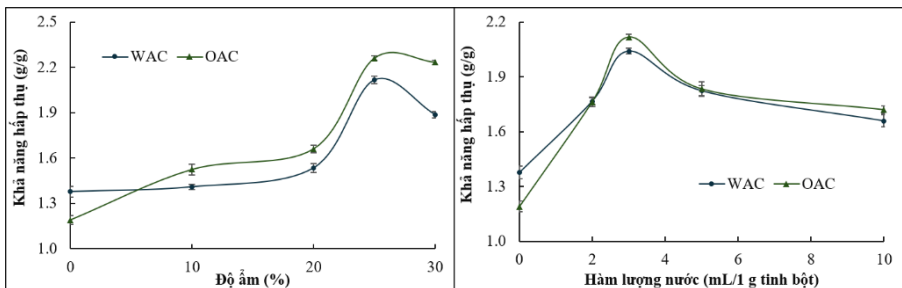
| (°C) | SP/WSI   | Ban đầu      | HMT10        | HMT20        | HMT25        | HMT30        |
|------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 60   | SP (g/g) | 2,88 ± 0,23  | 2,50 ± 0,24  | 2,31 ± 0,25  | 2,14 ± 0,23  | 1,88 ± 0,16  |
|      | WIS (%)  | 4,28 ± 0,26  | 4,02 ± 0,22  | 3,90 ± 0,22  | 3,37 ± 0,25  | 3,16 ± 0,20  |
| 70   | SP (g/g) | 7,62 ± 0,25  | 7,09 ± 0,23  | 6,27 ± 0,24  | 5,74 ± 0,20  | 4,96 ± 0,19  |
|      | WIS (%)  | 8,69 ± 0,25  | 8,06 ± 0,22  | 7,31 ± 0,26  | 5,28 ± 0,23  | 5,10 ± 0,20  |
| 80   | SP (g/g) | 16,37 ± 0,31 | 14,27 ± 0,24 | 12,61 ± 0,23 | 10,52 ± 0,24 | 9,54 ± 0,19  |
|      | WIS (%)  | 13,54 ± 0,26 | 11,33 ± 0,22 | 10,30 ± 0,21 | 8,92 ± 0,26  | 8,07 ± 0,20  |
| 90   | SP (g/g) | 24,30 ± 0,31 | 22,47 ± 0,38 | 19,33 ± 0,29 | 15,30 ± 0,26 | 12,64 ± 0,21 |
|      | WIS (%)  | 20,59 ± 0,18 | 18,26 ± 0,25 | 16,59 ± 0,22 | 14,02 ± 0,26 | 13,45 ± 0,24 |

Tinh bột HMT ở độ ẩm 10, 20, 25 và 30% tương ứng với HMT10, HMT20, HMT25 và HMT30.

Bảng 3.17. Khả năng trương nở và độ tan của tinh bột ANN

| (°C) | SP/WSI   | Ban đầu      | ANN2         | ANN3         | ANN5         | ANN10        |
|------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 60   | SP (g/g) | 2,88 ± 0,23  | 2,59 ± 0,28  | 2,23 ± 0,19  | 2,13 ± 0,19  | 2,03 ± 0,20  |
|      | WIS (%)  | 4,28 ± 0,26  | 3,56 ± 0,24  | 3,10 ± 0,23  | 3,09 ± 0,25  | 2,91 ± 0,26  |
| 70   | SP (g/g) | 7,62 ± 0,25  | 6,03 ± 0,18  | 5,63 ± 0,24  | 5,29 ± 0,22  | 5,09 ± 0,23  |
|      | WIS (%)  | 8,69 ± 0,25  | 6,28 ± 0,27  | 5,73 ± 0,25  | 5,52 ± 0,23  | 5,37 ± 0,31  |
| 80   | SP (g/g) | 16,37 ± 0,31 | 12,32 ± 0,26 | 10,59 ± 0,23 | 10,10 ± 0,23 | 9,89 ± 0,22  |
|      | WIS (%)  | 13,54 ± 0,26 | 11,31 ± 0,26 | 9,50 ± 0,24  | 9,29 ± 0,23  | 9,03 ± 0,19  |
| 90   | SP (g/g) | 24,30 ± 0,31 | 17,72 ± 0,21 | 15,73 ± 0,28 | 15,00 ± 0,22 | 14,80 ± 0,26 |
|      | WIS (%)  | 20,59 ± 0,18 | 15,75 ± 0,22 | 12,71 ± 0,25 | 12,11 ± 0,22 | 11,88 ± 0,24 |

Tinh bột ANN được xử lý với tỷ lệ nước bổ sung lần lượt là 2, 3, 5 và 10 mL/g tinh bột, tương ứng với ANN2, ANN3, ANN5 và ANN10.



Hình 3.9. Khả năng hấp thụ nước và dầu của tinh bột HMT và ANN

SP và WSI tăng theo nhiệt độ nhưng giảm rõ sau HMT và ANN. Ở 90°C, SP giảm mạnh (24,30 → 12,64-17,72 g/g) và WSI còn ~14%. HMT làm giảm vừa phải và ổn định hơn ANN, trong khi ANN giảm mạnh hơn do ảnh hưởng của môi trường giàu nước. Sau xử lý, WAC và OAC tăng và đạt

cực đại ở điều kiện tối ưu (HMT ~25% ẩm; ANN ~3 mL/g), với OAC tăng mạnh hơn WAC. Khi vượt tối ưu, các giá trị giảm do phá vỡ cấu trúc. Nguyên nhân là tái cấu trúc làm tăng vị trí liên kết và diện tích bề mặt, liên quan chặt đến độ kết tinh và RS.

**Bảng 3.18.** Độ bền lạnh đông - tan giá của tinh bột chuối xanh HMT

| <i>Số chu kỳ</i>                                                                      | <i>Tỷ lệ nước thoát ra sau chu kỳ (%)</i> |              |              |              |              |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                                                                       | <i>Ban đầu</i>                            | <i>HMT10</i> | <i>HMT20</i> | <i>HMT25</i> | <i>HMT30</i> |
| 1                                                                                     | 16,25 ± 0,11                              | 14,76 ± 0,16 | 13,45 ± 0,16 | 10,26 ± 0,17 | 12,60 ± 0,21 |
| 2                                                                                     | 33,51 ± 0,15                              | 28,49 ± 0,12 | 24,12 ± 0,20 | 19,57 ± 0,16 | 22,32 ± 0,19 |
| 3                                                                                     | 43,34 ± 0,24                              | 38,57 ± 0,29 | 35,49 ± 0,25 | 27,76 ± 0,27 | 31,98 ± 0,23 |
| 4                                                                                     | 51,53 ± 0,14                              | 47,05 ± 0,18 | 42,20 ± 0,20 | 35,23 ± 0,20 | 38,30 ± 0,25 |
| <i>Tinh bột HMT ở độ ẩm 10, 20, 25 và 30% tương ứng HMT10, HMT20, HMT25 và HMT30.</i> |                                           |              |              |              |              |

**Bảng 3.19.** Độ bền lạnh đông - tan giá của tinh bột chuối xanh ANN

| <i>Số chu kỳ</i>                                                                                                                        | <i>Tỷ lệ nước thoát ra sau chu kỳ (%)</i> |              |              |              |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                                                                                                                         | <i>Ban đầu</i>                            | <i>ANN2</i>  | <i>ANN3</i>  | <i>ANN5</i>  | <i>ANN10</i> |
| 1                                                                                                                                       | 16,25 ± 0,11                              | 14,22 ± 0,21 | 11,29 ± 0,25 | 13,87 ± 0,21 | 15,52 ± 0,24 |
| 2                                                                                                                                       | 33,51 ± 0,15                              | 27,76 ± 0,21 | 22,12 ± 0,19 | 25,94 ± 0,30 | 26,50 ± 0,24 |
| 3                                                                                                                                       | 43,34 ± 0,24                              | 38,55 ± 0,29 | 33,73 ± 0,21 | 36,21 ± 0,20 | 38,12 ± 0,28 |
| 4                                                                                                                                       | 51,53 ± 0,14                              | 45,62 ± 0,26 | 40,30 ± 0,20 | 43,58 ± 0,16 | 45,23 ± 0,20 |
| <i>Tinh bột ANN được xử lý với tỷ lệ nước bổ sung lần lượt là 2, 3, 5 và 10 mL/g tinh bột, tương ứng với ANN2, ANN3, ANN5 và ANN10.</i> |                                           |              |              |              |              |

Tỷ lệ nước thoát ra tăng theo số chu kỳ đông-tan nhưng giảm rõ sau HMT và ANN, cho thấy độ bền được cải thiện. Giá trị thấp nhất tại HMT25 (~35,23%) và ANN3 (~40,30%), sau đó tăng lại khi vượt điều kiện tối ưu. Nguyên nhân do tái cấu trúc mạng gel và tăng liên kết hydro giúp giữ nước tốt hơn, trong đó HMT hiệu quả hơn ANN.

### **Kết luận tiểu mục 3.3**

Cả HMT và ANN đều làm tăng RS và giảm RDS, với điều kiện tối ưu lần lượt là HMT 25% ẩm và ANN 3 mL/g. Xử lý thủy nhiệt làm cấu trúc tinh bột chuyển từ dạng B sang C và tăng độ kết tinh, trong đó ANN gây biến đổi mạnh hơn HMT. Các tính chất chức năng như SP, WSI, WAC, OAC và độ bền lạnh đông-tan giá được cải thiện rõ ở điều kiện tối ưu. Nhìn chung, HMT thể hiện sự cân bằng tốt hơn giữa biến đổi cấu trúc và tính chất chức năng, phù hợp hơn cho ứng dụng thực phẩm.

## **3.4. Biến tính tinh bột bằng quá trình carboxymethyl hóa**

### **3.4.1. Khả năng tiêu hóa của tinh bột carboxymethyl**

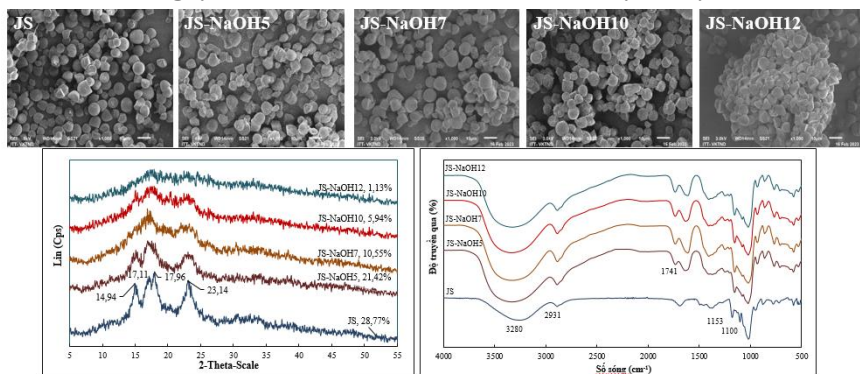
DS tăng theo hàm lượng NaOH và đạt cực đại (~0,57) tại 10%, sau đó giảm ở 12%. Xu hướng tiêu hóa tương tự: RS tăng mạnh và đạt cao nhất ở

10%, RDS giảm rõ, còn SDS tăng nhẹ rồi giảm khi NaOH cao hơn. Nguyên nhân là do NaOH giúp tăng trương nở và thúc đẩy carboxymethyl hóa, làm cản trở enzyme thủy phân. Do đó, 10% NaOH là tối ưu vì cho DS cao nhất và cải thiện tốt nhất đặc tính tiêu hóa.

Bảng 3.20. Ảnh hưởng của hàm lượng NaOH đến khả năng tiêu hóa và độ thể của tinh bột hạt mít carboxymethyl

| $m_{NaOH}$ (%) | $DS$ (%)          | $RS$ (%)         | $RDS$ (%)        | $SDS$ (%)        |
|----------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| Ban đầu        | -                 | $15,18 \pm 1,11$ | $29,64 \pm 0,53$ | $55,18 \pm 1,92$ |
| 5              | $0,284 \pm 0,006$ | $29,31 \pm 1,02$ | $16,72 \pm 0,45$ | $53,97 \pm 1,44$ |
| 7              | $0,436 \pm 0,005$ | $33,14 \pm 0,96$ | $12,45 \pm 0,38$ | $54,41 \pm 1,71$ |
| 10             | $0,563 \pm 0,009$ | $39,67 \pm 1,07$ | $2,21 \pm 0,03$  | $58,12 \pm 1,63$ |
| 12             | $0,492 \pm 0,007$ | $35,44 \pm 0,85$ | $10,32 \pm 0,09$ | $54,24 \pm 1,58$ |

### 3.4.2. Đặc trưng lý hóa, cấu trúc của tinh bột carboxymethyl



Hình 3.10. Ảnh SEM, giản đồ nhiễu xạ tia X và phổ FTIR của tinh bột hạt mít carboxymethyl

Quá trình carboxymethyl hóa làm thay đổi đáng kể cấu trúc và hình thái của tinh bột hạt mít. Ảnh SEM cho thấy bề mặt hạt tinh bột từ trạng thái nguyên vẹn, nhẵn trở nên thô nhám, xuất hiện lỗ rỗng, vết nứt và bị xói mòn mạnh khi tăng nồng độ NaOH. Kết quả XRD cho thấy cấu trúc tinh thể chuyển từ dạng A sang dạng C, đồng thời độ kết tinh giảm mạnh từ 28,77% xuống 1,13%, phản ánh sự gia tăng vùng vô định hình sau biến tính. Phổ FTIR xuất hiện dao động biến dạng của nhóm carbonyl ( $C=O$ ) tại  $1741\text{ cm}^{-1}$  và dao động hóa trị bất đối xứng của nhóm carboxylate ( $-COO^-$ ) tại  $1600-1650\text{ cm}^{-1}$ , xác nhận sự hình thành nhóm carboxymethyl trên mạch tinh bột; cường độ các peak tăng theo nồng độ NaOH, cho thấy hiệu quả của quá trình biến tính.

### 3.4.3. Tính năng của tinh bột carboxymethyl

Bảng 3.21. Khả năng trương nở và độ tan của tinh bột carboxymethyl hóa

| (°C) | SP/WSI   | Ban đầu      | JS-NaOH5     | JS-NaOH7     | JS-NaOH10    | JS-NaOH12    |
|------|----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 60   | SP (g/g) | 5,14 ± 0,23  | 6,34 ± 0,19  | 7,89 ± 0,21  | 8,87 ± 0,21  | 8,43 ± 0,18  |
|      | WIS (%)  | 2,14 ± 0,11  | 3,05 ± 0,13  | 4,83 ± 0,16  | 6,31 ± 0,15  | 6,07 ± 0,08  |
| 70   | SP (g/g) | 6,21 ± 0,15  | 10,39 ± 0,21 | 15,55 ± 0,17 | 20,12 ± 0,18 | 19,74 ± 0,19 |
|      | WIS (%)  | 8,35 ± 0,17  | 11,44 ± 0,19 | 13,69 ± 0,19 | 16,58 ± 0,21 | 15,95 ± 0,19 |
| 80   | SP (g/g) | 15,11 ± 0,34 | 19,47 ± 0,31 | 22,32 ± 0,28 | 25,74 ± 0,32 | 23,68 ± 0,28 |
|      | WIS (%)  | 12,86 ± 0,37 | 19,53 ± 0,31 | 22,21 ± 0,28 | 27,76 ± 0,33 | 26,89 ± 0,29 |
| 90   | SP (g/g) | 23,42 ± 0,67 | 27,24 ± 0,57 | 31,13 ± 0,62 | 34,69 ± 0,61 | 31,34 ± 0,58 |
|      | WIS (%)  | 20,04 ± 0,82 | 29,58 ± 0,77 | 33,61 ± 0,75 | 36,86 ± 0,81 | 34,76 ± 0,78 |

Bảng 3.22. Khả năng hấp thụ nước và dầu của tinh bột carboxymethyl

| Tính năng | Ban đầu      | JS-NaOH5     | JS-NaOH7     | JS-NaOH10    | JS-NaOH12    |
|-----------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| OAC (g/g) | 1,07 ± 0,011 | 1,22 ± 0,013 | 1,34 ± 0,015 | 1,55 ± 0,014 | 1,43 ± 0,012 |
| WAC (g/g) | 0,91 ± 0,010 | 1,01 ± 0,011 | 1,18 ± 0,014 | 1,37 ± 0,013 | 1,33 ± 0,013 |

Bảng 3.23. Độ bền lạnh đông - tan giá của tinh bột carboxymethyl

| Số chu kỳ | Tỷ lệ nước thoát ra sau chu kỳ (%) |              |              |              |              |
|-----------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|           | Ban đầu                            | JS-NaOH5     | JS-NaOH7     | JS-NaOH10    | JS-NaOH12    |
| 1         | 19,64 ± 0,14                       | 17,39 ± 0,17 | 15,68 ± 0,19 | 12,05 ± 0,13 | 13,75 ± 0,12 |
| 2         | 38,36 ± 0,13                       | 32,75 ± 0,16 | 27,04 ± 0,19 | 24,47 ± 0,18 | 22,21 ± 0,15 |
| 3         | 48,95 ± 0,28                       | 40,41 ± 0,23 | 35,67 ± 0,25 | 31,42 ± 0,31 | 33,27 ± 0,22 |
| 4         | 54,18 ± 0,35                       | 48,54 ± 0,29 | 43,39 ± 0,31 | 38,77 ± 0,32 | 40,68 ± 0,34 |

Khi nhiệt độ tăng từ 60-90°C, SP và WSI của cả tinh bột tự nhiên và CMS đều tăng, đạt cao nhất ở 90°C. Nhìn chung, khả năng trương nở và hòa tan theo thứ tự: mẫu ban đầu < CMS 5% < CMS 7% < CMS 12% < CMS 10%. Kết quả cho thấy carboxymethyl hóa cải thiện rõ tính chất hydrat hóa nhờ các nhóm  $-\text{CH}_2\text{COO}^-$  làm tăng tính ưa nước, gây nở lỏng cấu trúc và tăng thấm nước.

WAC và OAC của tinh bột CMS cao hơn mẫu ban đầu. Cụ thể, WAC tăng từ 0,91 lên 1,37 g/g và OAC từ 1,07 lên 1,55 g/g tại 10% NaOH. Khi tăng lên 12% NaOH, cả hai giá trị giảm nhẹ (WAC 1,33 g/g; OAC 1,43 g/g). Sự cải thiện này do các nhóm carboxymethyl làm tăng tính ưa nước và khả năng tương tác với nước, dầu, đồng thời tăng vùng vô định hình giúp giữ chất lỏng tốt hơn.

Các mẫu tinh bột sau carboxymethyl hóa có tỷ lệ nước thoát ra thấp hơn mẫu ban đầu ở tất cả các chu kỳ. Cụ thể, ở 12% NaOH, giá trị giảm từ 19,64% xuống 13,75% (chu kỳ 1) và từ 54,18% xuống 40,68% (chu kỳ 4).

Tuy nhiên, tỷ lệ nước thoát ra vẫn tăng dần theo số chu kỳ đông-tan do suy giảm khả năng giữ nước của gel. Cải thiện này do nhóm  $-\text{CH}_2\text{COO}^-$  làm tăng tính ưa nước và khả năng liên kết nước, đồng thời tăng trương nở và hạn chế tách nước.

### **Kết luận tiểu mục 3.4**

Hàm lượng NaOH ảnh hưởng mạnh đến carboxymethyl hóa tinh bột hạt mít. Khi tăng từ 5% đến 10%, DS tăng và đạt tối ưu, đồng thời cải thiện rõ các tính chất như trương nở, hòa tan, hấp thụ nước - dầu và độ bền đông-tan, đặc biệt là hàm lượng RS. Hàm lượng NaOH 12%, thủy phân kiềm làm giảm DS, RS và một số tính chất. Biến tính làm giảm độ kết tinh, phá vỡ cấu trúc tinh bột, tăng khả năng hydrat hóa. Mẫu 10% NaOH cho cân bằng tối ưu và tính chất tốt nhất, cho thấy tiềm năng ứng dụng cao trong thực phẩm.

## **3.5. Ứng dụng tinh bột kháng tiêu trong chế biến mì sợi**

### **3.5.1. Khả năng tiêu hóa của mì sợi**

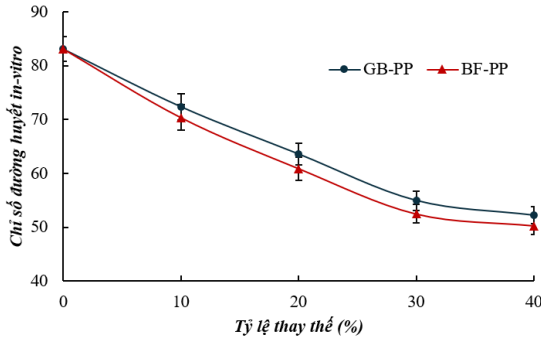
Bảng 3.24. Khả năng tiêu hóa của mì sợi chứa tinh bột kháng tiêu

| Tỷ lệ hàm lượng tinh bột kháng tiêu thay thế bột mì (%) | Tinh bột chuối xanh (GB-PP) |         |         | Bột chuối xanh (BF-PP) |         |         |
|---------------------------------------------------------|-----------------------------|---------|---------|------------------------|---------|---------|
|                                                         | RS (%)                      | RDS (%) | SDS (%) | RS (%)                 | RDS (%) | SDS (%) |
| 0                                                       | 19,55                       | 57,76   | 22,69   | 19,55                  | 57,76   | 22,69   |
| 10                                                      | 23,44                       | 52,13   | 24,43   | 24,89                  | 50,28   | 24,82   |
| 20                                                      | 26,56                       | 48,22   | 25,22   | 29,90                  | 45,18   | 24,92   |
| 30                                                      | 31,40                       | 42,39   | 26,28   | 35,07                  | 39,21   | 25,72   |
| 40                                                      | 40,98                       | 36,90   | 22,12   | 44,70                  | 34,61   | 20,69   |

Kết quả cho thấy khi tăng tỷ lệ thay thế bột mì bằng GB-PP và BF-PP từ 0-40%, hàm lượng RS của mì sợi tăng đáng kể (từ 19,55% lên 40,98% đối với GB-PP và 44,70% đối với BF-PP), trong khi RDS giảm tương ứng. Hàm lượng SDS tăng nhẹ ở mức thay thế 10-30% rồi giảm ở mức 40%. Mì bổ sung BF-PP cho hàm lượng RS cao hơn và RDS thấp hơn so với GB-PP ở cùng tỷ lệ thay thế.

### **3.5.2. Chỉ số đường huyết in-vitro (eGI) của mì sợi**

Giá trị eGI của mì sợi giảm dần khi tăng tỷ lệ bổ sung GB-PP và BF-PP. Mẫu đối chứng có eGI cao nhất (83,11), trong khi các mẫu chứa 30-40% tinh bột phosphate có eGI thuộc nhóm thấp (<55). Mì bổ sung BF-PP cho eGI thấp hơn so với GB-PP ở cùng tỷ lệ thay thế, cho thấy hiệu quả tốt hơn trong việc làm chậm quá trình tiêu hóa tinh bột.



Hình 3.11. Chỉ số đường huyết *in-vitro* của mì sợi chứa tinh bột kháng tiêu

### 3.5.3. Đặc tính khi nấu của mì sợi

Bảng 3.25. Đặc tính nấu của mì sợi chứa tinh bột chuối xanh phosphate

| Mẫu          | Thời gian nấu, giây | DMWA (%)      | Tỷ lệ đứt (%) | DML (%)     |
|--------------|---------------------|---------------|---------------|-------------|
| TB0          | 310 ± 9,03          | 122,48 ± 2,52 | 0,28 ± 0,05   | 1,39 ± 0,04 |
| TB10 (GB-PP) | 326 ± 8,60          | 143,94 ± 2,58 | 1,28 ± 0,09   | 1,56 ± 0,03 |
| TB20 (GB-PP) | 354 ± 7,59          | 162,17 ± 2,73 | 3,29 ± 0,16   | 1,75 ± 0,03 |
| TB30 (GB-PP) | 395 ± 7,72          | 192,58 ± 4,96 | 6,25 ± 0,20   | 1,94 ± 0,04 |
| TB40 (GB-PP) | 487 ± 6,55          | 217,45 ± 3,70 | 10,13 ± 0,32  | 2,18 ± 0,04 |

Bảng 3.26. Đặc tính nấu của mì sợi chứa bột chuối xanh phosphate

| Mẫu          | Thời gian nấu, giây | DMWA (%)      | Tỷ lệ đứt (%) | DML (%)     |
|--------------|---------------------|---------------|---------------|-------------|
| TB0          | 310 ± 9,03          | 122,48 ± 2,52 | 0,28 ± 0,05   | 1,39 ± 0,04 |
| TB10 (BF-PP) | 336 ± 6,68          | 135,07 ± 2,93 | 1,63 ± 0,05   | 1,68 ± 0,03 |
| TB20 (BF-PP) | 366 ± 6,55          | 152,21 ± 2,80 | 8,54 ± 0,22   | 1,86 ± 0,04 |
| TB30 (BF-PP) | 415 ± 9,53          | 179,06 ± 5,27 | 16,28 ± 0,23  | 2,28 ± 0,05 |
| TB40 (BF-PP) | 505 ± 7,85          | 200,02 ± 2,65 | 21,26 ± 0,31  | 2,18 ± 0,04 |

Việc bổ sung GB-PP và BF-PP làm tăng thời gian nấu tối ưu (OCT), khả năng hấp thụ nước (DMWA), tỷ lệ hao hụt chất khô (DML) và tỷ lệ đứt (BR) của mì sợi so với mẫu đối chứng. Khi tăng tỷ lệ thay thế từ 10–40%, OCT tăng từ khoảng 326–336 giây lên 487–505 giây, trong khi DMWA tăng từ khoảng 135–144% lên 200–217%. Sự gia tăng này liên quan đến cấu trúc tinh bột phosphate bền hơn và khả năng giữ nước cao hơn nhờ sự hiện diện của các nhóm phosphate ưa nước. Đồng thời, DML tăng nhẹ và BR tăng đáng kể theo tỷ lệ thay thế, đặc biệt ở các mẫu chứa BF-PP. Tỷ lệ thay thế tối ưu được xác định là 30% đối với GB-PP và dưới 20% đối với BF-PP nhằm đảm bảo đặc tính cấu trúc, chất lượng nấu của mì sợi.



Hình 3.12. Sản phẩm mì sợi chứa bột chuối xanh phosphate và tinh bột chuối xanh phosphate

### ***Kết luận tiểu mục 3.5***

Việc thay thế một phần bột mì bằng GB-PP và BF-PP làm tăng hàm lượng RS, giảm RDS và eGI của mì sợi, cho thấy tiềm năng ứng dụng trong thực phẩm hỗ trợ kiểm soát đường huyết. Mì bổ sung BF-PP có RS cao hơn và eGI thấp hơn so với GB-PP, nhưng việc bổ sung hai nguyên liệu này cũng làm tăng thời gian nấu, khả năng hấp thụ nước, tỷ lệ hao hụt chất khô và tỷ lệ đứt. Tỷ lệ thay thế tối ưu được xác định là 30% đối với GB-PP và dưới 20% đối với BF-PP nhằm đảm bảo chất lượng sản phẩm.

## **KẾT LUẬN**

Qua quá trình nghiên cứu, luận án đã thu được một số kết quả sau:

1. Tinh bột chuối xanh và tinh bột hạt mít được tách và thu nhận với hiệu suất lần lượt là  $14,73 \pm 0,95\%$  và  $25,21 \pm 1,52\%$ . Cả hai loại tinh bột đều có hàm lượng tinh bột kháng tiêu tương đối cao, đạt  $24,76 \pm 0,83\%$  đối với tinh bột chuối xanh và  $25,25 \pm 1,11\%$  đối với tinh bột hạt mít. Các hạt tinh bột có bề mặt nhẵn, cấu trúc nguyên vẹn; tinh bột chuối xanh và tinh bột hạt mít lần lượt có dạng kết tinh B và A, với độ kết tinh tương đối đạt 25,38% và 28,77%. Khả năng trương nở và độ hòa tan của các mẫu tinh bột tăng theo nhiệt độ, trong đó tinh bột hạt mít thể hiện khả năng trương nở cao hơn tinh bột chuối xanh.

2. Đã nghiên cứu một số phương pháp biến tính nhằm làm tăng hàm lượng tinh bột kháng tiêu của tinh bột chuối xanh và hạt mít:

- Điều kiện tối ưu của quá trình phosphate hóa tinh bột chuối xanh và tinh bột hạt mít là hàm lượng  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  và muối polyphosphate (STMP/STPP 99:1) 10% so với khối lượng tinh bột, nhiệt độ  $70^\circ\text{C}$ , thời gian 1 giờ. Tại điều kiện này, hàm lượng RS đạt 58,29% đối với tinh bột chuối xanh và 40,27% đối với tinh bột hạt mít. Quá trình phosphate hóa làm thay đổi cấu trúc kết tinh từ dạng A (tinh bột hạt mít) hoặc B (tinh bột chuối xanh) sang dạng C và làm tăng độ kết tinh của tinh bột chuối xanh (từ 25,34% lên 39,16%) và tinh bột hạt mít (từ 28,77% lên 35,55%), đồng thời, làm giảm khả năng trương nở, độ tan, cải thiện khả năng hấp thụ dầu cũng như độ bền lạnh đông-tan giá. Đối với bột chuối xanh, quá trình phosphate hóa với 8% muối polyphosphate giúp hàm lượng RS đạt 49,63%.

- Quá trình xử lý nhiệt-ẩm (HMT) tinh bột chuối xanh ở độ ẩm 25%, nhiệt độ  $110^\circ\text{C}$ , thời gian 16 giờ cho hàm lượng tinh bột kháng tiêu (RS) đạt 55,22%, trong khi xử lý ẩm-nhiệt (ANN) với tỷ lệ nước/tinh bột 3 mL/g, nhiệt độ  $60^\circ\text{C}$ , thời gian 24 giờ cho hàm lượng RS đạt 45,58%. Cả hai phương pháp thủy nhiệt đều làm chuyển dạng kết tinh của tinh bột từ dạng B sang dạng C, làm tăng độ kết tinh từ 25,34% lên 33,23%, đồng thời cải thiện khả năng hấp thụ nước, hấp thụ dầu và độ bền lạnh đông-tan giá. So với HMT, phương pháp ANN gây biến đổi cấu trúc tinh bột mạnh hơn, trong khi HMT cho khả năng duy trì tốt hơn sự cân bằng giữa hàm lượng RS và các tính năng.

- Quá trình carboxymethyl hóa tinh bột hạt mít đạt hiệu quả tốt nhất ở hàm lượng NaOH 10%, với độ thể (DS) 0,563 và hàm lượng RS 39,67%. Đồng thời, quá trình biến tính làm tăng khả năng trương nở, độ tan, cải thiện cải thiện khả năng hấp thụ nước, hấp thụ dầu và độ bền lạnh đông-tan giá. Tuy nhiên, quá trình carboxymethyl hóa làm giảm độ kết tinh của tinh bột và ở hàm lượng NaOH quá cao, hiện tượng phá vỡ kết tinh xảy ra, tạo điều kiện cho nước và các phân tử khác dễ dàng xâm nhập vào mạng lưới polysaccharide, dẫn đến giảm khả năng kháng enzyme.

3. Việc thay thế một phần bột mì bằng tinh bột chuối xanh phosphate hóa (GB-PP) và bột chuối xanh phosphate hóa (BF-PP) làm tăng hàm lượng RS, đồng thời giảm hàm lượng RDS và giá trị eGI của mì sợi. Bên cạnh đó, việc thay thế bột mì bằng GB-PP và BF-PP làm tăng thời gian nấu, tỷ lệ hấp thụ nước, tỷ lệ hao hụt khi nấu và tỷ lệ đứt của sản phẩm. Tỷ lệ thay thế tối ưu được xác định là 30% đối với GB-PP và dưới 20% đối với BF-PP nhằm đảm bảo đặc tính cấu trúc, chất lượng nấu của mì sợi.

### KIẾN NGHỊ

- Tiếp tục nghiên cứu các phương pháp biến tính khác như biến tính bằng enzyme, xử lý siêu âm, vi sóng hoặc kết hợp các phương pháp nhằm nâng cao hàm lượng tinh bột kháng tiêu, đồng thời cải thiện các tính năng của tinh bột biến tính.

- Mở rộng nghiên cứu ứng dụng tinh bột kháng tiêu từ chuối xanh và hạt mít trong các sản phẩm thực phẩm khác như bánh snack, pasta, bún, bánh nướng hoặc thanh dinh dưỡng nhằm khai thác hiệu quả giá trị dinh dưỡng và tiềm năng ứng dụng của các chế phẩm giàu RS từ các nguồn nguyên liệu này.

### NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

- Biến tính hoá học thông qua quá trình phosphate hoá là phương pháp an toàn giúp làm tăng đáng kể hàm lượng tinh bột kháng tiêu (RS) của tinh bột chuối xanh lên đến 58,29% của tinh bột hạt mít lên đến 40,27%. Khi sử dụng bột chuối xanh hàm lượng RS có thể đạt 49,63%. Việc thay thế một phần bột mì bằng tinh bột chuối xanh phosphate hoặc bột chuối xanh phosphate trong công thức mì sợi góp phần làm giảm chỉ số đường huyết in-vitro (eGI) từ mức cao (83,11) xuống mức thấp (54,93 trong trường hợp thay thế 30% GB-PP và 52,48 trong trường hợp thay thế 30% BF-PP).

- Qua nghiên cứu cơ chế tác động của độ ẩm tới các phương pháp xử lý thủy nhiệt tinh bột chuối xanh thấy rằng: Xử lý nhiệt-ẩm (HMT) giúp tăng hàm lượng RS lên đến 55,22%, trong khi xử lý ANN đạt 45,58%. Nhìn chung, phương pháp xử lý HMT duy trì cấu trúc hạt và kiểm soát tính năng tốt hơn, trong khi phương pháp xử lý ANN gây biến đổi cấu trúc và tính chất vật lý mạnh hơn.

- Quá trình carboxymethyl hóa tinh bột hạt mít với hàm lượng NaOH trong khoảng 5-10% (so với khối lượng tinh bột) làm tăng DS từ 0,284 lên 0,563, góp phần làm tăng hàm lượng RS từ 29,31% lên 39,67%. Tuy nhiên, tiếp tục tăng hàm lượng NaOH khiến cấu trúc hạt tinh bột biến dạng mạnh và bị phá kết tinh dẫn đến DS và RS đều giảm.

## DANH MỤC CÁC BÀI BÁO ĐÃ XUẤT BẢN LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

1. Minh-Tan Vu, Thi Kim-An Nguyen, Manh-Ha Nguyen, Thi-Huong Nguyen, Thanh-Tung Nguyen, Thi Thu-Ha Pham, Trung-Duc Nguyen, Ngoc-Tuan Nguyen, **Phan-Hang Nguyen**, 2024, Preparation of resistant starch-type III from jackfruit seed starch as a promising prebiotic for the treatment of diabetes, *International Journal of Food Science and Technology*, Volume 59, Issue 5, May 2024, Pages 2908-2916, <https://doi.org/10.1111/ijfs.16981>
2. Minh-Tan Vu, Kim-An Thi Nguyen, Mai-Huong Thi Pham, Hong-Nhung Thi Le, Ngoc-Thanh Nguyen, Thanh-Tung Nguyen, Thu-Ha Thi Pham, Trung-Duc Nguyen, Ngoc-Tuan Nguyen, **Phan-Hang Nguyen**, 2024, Noodle Production for Diabetics from Modified Green Banana Starch by Phosphate Cross-Linking, *Starch-Stärke*, 77(1), 2400001. <https://doi.org/10.1002/star.202400001>
3. Minh-Tan Vu, Thi Kim-An Nguyen, Thi Thu-Ha Pham, Trung-Duc Nguyen, **Phan-Hang Nguyen**, Ngoc-Tuan Nguyen, Thanh-Tung Nguyen, 2024, Compare the effects of moist heat treatment and annealing kinetics on the resistant starch of green banana (*Musa paradisiaca* L.) starch, *Food Bioscience*, 2024. 62: p. 105262. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.105262>
4. **Nguyễn Phan Hằng**, Vũ Minh Tân, Nguyễn Thị Kim An, Phạm Thị Mai Hương, Phạm Ngọc Anh, Phạm Thị Thu Hà, Nguyễn Trung Đức, Nguyễn Thanh Tùng, 2025, Phát triển một số thực phẩm sinh đường thấp từ tinh bột chuối phosphate hóa, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội (Journal of Science and Technology)*, Vol. 61, No 3.
5. **Nguyễn Phan Hằng**, Vũ Minh Tân, Nguyễn Thị Kim An, Hoàng Minh Quân, Phạm Ngọc Anh, Phạm Thị Thu Hà, Nguyễn Trung Đức, Nguyễn Thanh Tùng, 2025, Nghiên cứu biến tính tinh bột chuối xanh bằng phương pháp carboxymethyl hóa, *Tạp chí Khoa học công nghệ Nông nghiệp và Môi trường*, kỳ 1 - tháng 5/2025.
6. **Nguyen Phan Hang**, Pham Thi Thu Ha, Pham Ngoc Anh, Nguyen Trung Duc, Nguyen Duc Duy, Hoang Thi Van An, Nguyen Ngoc Tuan, Nguyen Thanh Tung, 2026, Evaluating Resistant Starch Noodles from Phosphorylated Green Banana Flour Compared with Green Banana Starch, *Starch - Stärke*, 3945562. <https://doi.org/10.1002/star.70204>