

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

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

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Phạm Ngọc Anh

**NGHIÊN CỨU BIẾN TÍNH TINH BỘT CHUỐI XANH
TẠO THỰC PHẨM HỖ TRỢ ĐÁI THÁO ĐƯỜNG**

LUẬN VĂN THẠC SĨ HÓA HỮU CƠ

Hà Nội, 2024

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

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

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Phạm Ngọc Anh

**NGHIÊN CỨU BIẾN TÍNH TÍNH BỘT CHUỐI XANH
TẠO THỰC PHẨM HỖ TRỢ ĐÁI THÁO ĐƯỜNG**

LUẬN VĂN THẠC SĨ NGÀNH HÓA HỮU CƠ

Mã số: 8 44 01 14

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

PGS. TS. Nguyễn Thanh Tùng

Hà Nội, 2024

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đề tài nghiên cứu trong luận văn này là công trình nghiên cứu của tôi dựa trên những tài liệu, số liệu do chính tôi tự tìm hiểu và nghiên cứu. Chính vì vậy, các kết quả nghiên cứu đảm bảo trung thực và khách quan nhất. Đồng thời, kết quả này chưa từng xuất hiện trong bất cứ một nghiên cứu nào. Các số liệu, kết quả nêu trong luận văn là trung thực nếu sai tôi hoàn chịu trách nhiệm trước pháp luật.

Tác giả luận văn



Phạm Ngọc Anh

LỜI CẢM ƠN

Với lòng biết ơn sâu sắc, em xin gửi lời cảm ơn đến PGS.TS. Nguyễn Thanh Tùng đã tận tình hướng dẫn, truyền thụ kiến thức khoa học và hướng dẫn về chuyên môn trong quá trình em học tập, nghiên cứu, tạo mọi điều kiện tốt nhất để em hoàn thành bản luận văn này.

Em cũng xin chân thành cảm ơn ban Lãnh đạo, phòng Đào tạo, các phòng chức năng và các thầy cô Học viện Khoa học và Công nghệ đã tạo điều kiện và giúp đỡ, dạy dỗ em trong quá trình học tập và nghiên cứu và hoàn thành luận văn.

Em xin chân thành cảm ơn các anh chị, các bạn đang học tập và nghiên cứu tại phòng Polyme, Viện Hóa Học, Viện Hàn Lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã tạo điều kiện, giúp đỡ để em có kết quả như ngày hôm nay.

Cuối cùng, xin cảm ơn gia đình, bạn bè đã quan tâm, động viên giúp tôi hoàn thành luận văn này.

Em xin chân thành cảm ơn!

Hà Nội, ngày 22 tháng 05 năm 2024

Học viên



Phạm Ngọc Anh

MỤC LỤC

DANH MỤC KÍ HIỆU CÁC CHỮ VIẾT TẮT	i
DANH MỤC CÁC BẢNG.....	ii
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ	iii
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN.....	2
1.1. Giới thiệu chung về tinh bột.....	2
1.1.1. Đặc điểm cấu trúc hóa học của tinh bột	2
1.1.2. Đặc điểm cấu trúc của tinh bột.....	4
1.1.3. Tính chất đặc trưng của tinh bột.....	5
1.1.3.1. Độ trương nở và độ nhớt.....	5
1.1.3.2. Khả năng hồ hóa	6
1.1.3.3. Quá trình thoái biến	7
1.1.4. Ứng dụng của tinh bột.....	7
1.2. Giới thiệu về tinh bột kháng tiêu	8
1.2.1. Định nghĩa	8
1.2.2. Phân loại	9
1.2.3. Chức năng sinh lý và lợi ích của tinh bột kháng tiêu đối với bệnh đái tháo đường.....	10
1.2.4. Các phương pháp biến tính tạo tinh bột kháng tiêu	13
1.2.4.1. Phương pháp xử lý thủy nhiệt (Hydrothermal treatment)	13
1.2.4.2. Phương pháp enzyme.....	14
1.2.4.3. Phương pháp este hóa tinh bột.....	16
1.2.4.4. Phản ứng ete hóa tinh bột.....	18
1.2.5. Ứng dụng của tinh bột kháng tiêu trong chế biến thực phẩm	19
1.2.5.1. Sản xuất bánh mì sinh đường thấp.....	19
1.2.5.2. Sản xuất mì sợi.....	20
1.2.5.3. Sản xuất bánh cookie sinh đường thấp	20
1.3. Chuối xanh và tinh bột chuối xanh.....	21
1.3.1. Tình hình sản xuất chuối	21
1.3.2. Thành phần hóa học của quả chuối	23
1.3.3. Tinh bột chuối xanh.....	24
1.3.4. Một số nghiên cứu tạo tinh bột kháng tiêu từ tinh bột chuối xanh	27
CHƯƠNG 2. THỰC NGHIỆM	30
2.1. Nguyên liệu, hóa chất, dụng cụ và thiết bị nghiên cứu.....	30
2.1.1. Nguyên liệu, hóa chất.....	30

2.1.1.1. Nguyên liệu	30
2.1.1.2. Hóa chất	30
2.1.2. Dụng cụ, thiết bị	31
2.1.2.1. Dụng cụ	31
2.1.2.2. Thiết bị	31
2.2. Phương pháp nghiên cứu	32
2.2.1. Tách và thu nhận tinh bột từ chuối xanh	32
2.2.2. Biến tính tinh bột bằng phương pháp xử lý nhiệt-ẩm (HMT)	32
2.2.3. Biến tính tinh bột bằng quá trình phosphoryl hóa tạo liên kết ngang	33
2.2.4. Chế biến mì gạo, mì sợi chứa tinh bột kháng tiêu.....	33
2.3. Các phương pháp phân tích, đánh giá	33
2.3.1. Hiệu suất quá trình tách, thu nhận tinh bột	33
2.3.2. Phương pháp xác định thành phần chính của tinh bột	33
2.3.3. Phương pháp đánh giá khả năng tiêu hóa của tinh bột.....	34
2.3.4. Độ thể của tinh bột phosphate	34
2.3.5. Tính năng của tinh bột.....	35
2.3.5.1. Khả năng trương nở (SP) và độ tan (WSI)	35
2.3.5.2. Khả năng hấp thụ nước, hấp thụ dầu	35
2.3.5.3. Độ bền lạnh đông-tan giá.....	35
2.3.6. Đặc tính lý hóa của tinh bột.....	36
2.3.7. Đặc tính của mì sợi.....	36
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN	37
3.1. Tách và thu nhận tinh bột từ chuối xanh.....	37
3.1.1. Một số thành phần của tinh bột chuối xanh	37
3.1.2. Đặc trưng lý hóa của tinh bột chuối xanh	38
3.1.2.1. Hình thái học bề mặt	38
3.1.2.2. Nhiễu xạ tia X (XRD)	38
3.1.2.3. Phổ hồng ngoại FTIR.....	39
3.1.2.4. Nhiệt lượng quét vi sai (DSC)	40
3.1.3. Tính năng của tinh bột chuối xanh	41
3.2. Biến tính tinh bột bằng phương pháp xử lý nhiệt-ẩm (Heat-moisture treatment – HMT).....	42
3.2.1. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình xử lý nhiệt-ẩm (HMT)	42
3.2.1.1. Ảnh hưởng của độ ẩm	42
3.2.1.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ.....	43
3.2.1.3. Ảnh hưởng của thời gian xử lý	44

3.2.2. Đặc trưng lý hóa của tinh bột HMT	45
3.2.2.1. Hình thái học bề mặt	45
3.2.2.2. Nhiễu xạ tia X	47
3.2.2.3. Nhiệt lượng quét vi sai (DSC)	49
3.2.3. Tính năng của tinh bột HMT	50
3.2.3.1. Khả năng trương nở và độ tan.....	50
3.2.3.2. Khả năng hấp thụ dầu, hấp thụ nước	52
3.2.3.3. Độ bền lạnh đông-tan giá.....	53
3.3. Biến tính tinh bột bằng phương pháp phosphoryl hóa.....	54
3.3.1. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình phosphoryl hóa	54
3.3.1.1. Ảnh hưởng của hàm lượng muối phosphate	54
3.3.1.2. Ảnh hưởng hàm lượng Na_2SO_4	55
3.3.1.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng.....	56
3.3.2. Đặc trưng lý hóa của tinh bột phosphoryl hóa	57
3.3.2.1. Hình thái học bề mặt	57
3.3.2.2. Nhiễu xạ tia X	58
3.3.2.3. Phổ hồng ngoại FTIR.....	59
3.3.2.4. Nhiệt lượng quét vi sai (DSC)	60
3.3.3. Tính năng của tinh bột chuỗi phosphoryl hóa	61
3.3.3.1. Khả năng trương nở và độ tan.....	61
3.3.3.2. Khả năng hấp thụ nước, hấp thụ dầu	62
3.3.3.3. Độ bền lạnh đông-tan giá.....	63
3.4. Nghiên cứu ứng dụng tinh bột kháng tiêu trong chế biến thực phẩm cho người mắc bệnh đái tháo đường	64
3.4.1. Ứng dụng tinh bột HMT trong chế biến mì gạo.....	64
3.4.1.1. Khả năng tiêu hóa của mì sợi.....	64
3.4.1.2. Đặc tính khi nấu của mì gạo	64
3.4.2. Ứng dụng tinh bột phosphoryl hóa trong chế biến mì sợi.....	66
3.4.2.1. Khả năng tiêu hóa của mì sợi.....	66
3.4.2.2. Đặc tính khi nấu của mì sợi	66
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	69
TÀI LIỆU THAM KHẢO	71

DANH MỤC KÍ HIỆU CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Kí hiệu/ Từ viết tắt	Tên tiếng anh	Tên tiếng việt
TCVN		Tiêu chuẩn Việt Nam
AM	Amylose	Amylozoơ
AP	Amylopectin	Amylopectin
RS	Resistant starch	Tinh bột kháng tiêu
SDS	Slowly digestible starch	Tinh bột tiêu hóa chậm
RDS	Rapidly digestible starch	Tinh bột tiêu hóa nhanh
FTIR	Fourier-transform infrared spectroscopy	Phổ hồng ngoại
SEM	Scanning Electronic Microscopy	Hiển vi điện tử quét
XRD	X-Ray Diffraction	Phổ nhiễu xạ tia X
DSC	Differential scanning calorimetry	Nhiệt lượng quét vi sai
SCFA	Short-chain fatty acid	Axit béo chuỗi ngắn
HMT	Heat-moisture treatment	Xử lý nhiệt-ẩm
ANN	Annealing	Xử lý ẩm-nhiệt
DS	Degree of substitution	Độ thế
SP	Swelling power	Khả năng trương nở
WSI	Water solubility index	Độ tan
OAC	Oil absorption capacity	Khả năng hấp thụ dầu
WAC	Water absorption capacity	Khả năng hấp thụ nước
GB	Green banana starch	Tinh bột chuối xanh

DANH MỤC CÁC BẢNG

Bảng 1.1. Đặc điểm của một số loại tinh bột [4]	2
Bảng 1.2. Một số tác dụng sinh lý của tinh bột kháng tiêu	12
Bảng 1.3. Chỉ số đường huyết của bánh mì sinh đường thấp	20
Bảng 1.4. Thành phần hóa học chính của chuối có độ chín khác nhau [42].....	24
Bảng 1.5. Thành phần hóa học của tinh bột từ các giống chuối khác nhau.....	24
Bảng 1.6. Đặc tính tiêu hóa của tinh bột chuối xanh	26
Bảng 3.1. Một số chỉ tiêu cơ bản của tinh bột chuối xanh (đơn vị: %)	37
Bảng 3.2. Dao động hồng ngoại đặc trưng của tinh bột.....	39
Bảng 3.3. Nhiệt độ hồ hóa (T_o , T_p và T_e) của tinh bột chuối xanh	40
Bảng 3.4. Một số tính năng của tinh bột chuối xanh	42
Bảng 3.5. Độ kết tinh của GB và GB-HMT tại các độ ẩm tinh bột khác nhau.....	48
Bảng 3.6. Nhiệt độ hồ hóa (T_o , T_p và T_e) của tinh bột chuối xanh và tinh bột HMT xử lý tại các độ ẩm khác nhau	50
Bảng 3.7. Ảnh hưởng của hàm lượng muối phosphate đến độ thể và khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh	54
Bảng 3.8. Ảnh hưởng của hàm lượng Na_2SO_4 đến độ thể và khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh.....	55
Bảng 3.9. Ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng đến độ thể và khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh	56
Bảng 3.10. Độ kết tinh của tinh bột chuối xanh ban đầu và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa	59
Bảng 3.11. Nhiệt độ hồ hóa (T_o , T_p , T_e) của tinh bột chuối và tinh bột chuối phosphoryl hóa	60
Bảng 3.12. Khả năng trương nở của tinh bột chuối và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa (g/g)	61
Bảng 3.13. Độ tan của tinh bột chuối và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa (%) ..	61
Bảng 3.14. Khả năng hấp thụ nước, hấp thụ dầu của tinh bột chuối và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa	62
Bảng 3.15. Độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột chuối xanh và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa	63
Bảng 3.16. Khả năng tiêu hóa của mì gạo có bổ sung tinh bột chuối xanh HMT	64
Bảng 3.17. Đặc tính nấu của mì sợi có bổ sung tinh bột chuối xanh HMT	65
Bảng 3.18. Khả năng tiêu hóa của mì sợi chứa tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa	66
Bảng 3.19. Đặc tính khi nấu của mì sợi chứa tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa ..	66

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

Hình 1.1. Cấu trúc phân tử amylose và amylopectin [7]	3
Hình 1.2. Cấu trúc của amylose và amylopectin trong hạt tinh bột [10]	3
Hình 1.3. Sơ đồ cấu trúc hạt tinh bột [11].....	4
Hình 1.4. Mô hình cấu trúc tinh bột kháng tiêu	9
Hình 1.5. Phản ứng tạo liên kết ngang giữa tinh bột và natri tripolyphosphat	16
Hình 1.6. Phản ứng tạo liên kết ngang giữa tinh bột và POCl_3	17
Hình 1.7. Phản ứng carboxymethyl hóa giữa tinh bột và natri monocloaxetat	19
Hình 1.8. Sản lượng xuất khẩu chuối của một số nước trên thế giới giai đoạn 2018–2022, đơn vị triệu tấn [41].....	21
Hình 1.9. Sản lượng nhập khẩu chuối của một số nước trên thế giới giai đoạn 2018–2022, đơn vị triệu tấn [41].....	21
Hình 1.10. Cơ cấu diện tích trồng chuối tại các vùng ở Việt Nam năm 2022	22
Hình 2.1. Sơ đồ tách và thu nhận tinh bột chuối xanh	32
Hình 2.2. Quy trình biến tính tinh bột bằng phương pháp xử lý nhiệt-ẩm (HMT)...	32
Hình 3.1. Ảnh tinh bột chuối tách và thu hồi từ chuối xanh	37
Hình 3.2. Ảnh SEM của tinh bột chuối xanh	38
Hình 3.3. Ảnh SEM và giản đồ nhiễu xạ tia X của tinh bột chuối xanh.....	38
Hình 3.4. Phổ FTIR của tinh bột chuối xanh	39
Hình 3.5. Giản đồ DSC của tinh bột chuối xanh.....	41
Hình 3.6. Ảnh hưởng của độ ẩm tinh bột đến khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh	43
Hình 3.7. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý đến khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh	44
Hình 3.8. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh	45
Hình 3.9. Ảnh SEM (x1500) của GB-HMT tại các nhiệt độ xử lý khác nhau	46
Hình 3.10. Ảnh SEM (x1500) của GB và GB-HMT tại các độ ẩm tinh bột khác nhau	47
Hình 3.11. Giản đồ nhiễu xạ tia X của GB và GB-HMT tại các độ ẩm tinh bột khác nhau	48
Hình 3.12. Giản đồ DSC của GB và GB-HMT tại các độ ẩm tinh bột khác nhau ...	49
Hình 3.13. Khả năng trương nở và độ tan của tinh bột chuối xanh trước và sau xử lý HMT	51
Hình 3.14. Khả năng hấp thụ nước (WAC) và khả năng hấp thụ dầu (OAC) của tinh bột chuối xanh trước và sau xử lý HMT	52

Hình 3.15. Độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột chuối xanh trước và sau xử lý HMT	53
Hình 3.16. Ảnh SEM (x250) của tinh bột chuối xanh ban đầu và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa	57
Hình 3.17. Giải đồ nhiễu xạ tia X của tinh bột chuối xanh ban đầu và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa	58
Hình 3.18. Phổ FTIR của tinh bột chuối xanh ban đầu và tinh bột phosphoryl hóa.	59
Hình 3.19. Giải đồ DSC của tinh bột chuối xanh ban đầu và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa	60
Hình 3.20. Sản phẩm mì gạo chứa tinh bột chuối xanh HMT	65
Hình 3.21. Sản phẩm mì sợi chứa tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa	68

MỞ ĐẦU

Tinh bột là nguồn thực phẩm đóng vai trò rất quan trọng đối với cơ thể con người, đặc biệt là trong việc cung cấp năng lượng cho các hoạt động sống cơ thể. Khi đi vào cơ thể, chất dinh dưỡng này sẽ được chuyển hóa thành glucozơ để cung cấp năng lượng cho các chức năng trong cơ thể, đặc biệt đối với những hoạt động của não bộ và hệ thần kinh. Không những thế, tinh bột còn là một trong những nguồn nguyên liệu quan trọng cho nhiều ngành công nghiệp như công nghiệp thực phẩm, công nghiệp dệt, công nghiệp giấy... với các tính năng như độ dẻo, độ dai, độ đàn hồi, độ xốp và có khả năng tạo gel, tạo hình.

Dựa vào các đặc tính về dinh dưỡng tinh bột được chia thành ba loại là: tinh bột tiêu hóa nhanh (RDS), tinh bột tiêu hóa chậm (SDS) và tinh bột kháng tiêu hóa (RS). Trong đó, tinh bột kháng tiêu là loại tinh bột không thể tiến hành tiêu hóa bên trong ruột non, không làm tăng lượng đường trong máu, đây được xem là một loại chất xơ, giúp bảo vệ sức khỏe con người, đặc biệt là những người mắc bệnh tiểu đường, đái tháo đường, béo phì.

Ngày nay, các phương pháp như xử lý nhiệt-ẩm, xử lý ẩm-nhiệt, phương pháp enzyme, phản ứng este hóa, este hóa, tạo liên kết ngang... đã được áp dụng nhằm thay đổi cấu trúc, tính chất tinh bột nhờ đó làm tăng hàm lượng RS trong tinh bột để nâng cao giá trị sử dụng của tinh bột, trong đó phương pháp xử lý nhiệt-ẩm (HMT) và phương pháp tạo liên kết ngang bằng quá trình phosphoryl hóa được nghiên cứu quan tâm rộng rãi.

Và nhằm đảm bảo vấn đề an ninh lương thực, hiện nay các nghiên cứu tập trung vào nguồn tinh bột ít phổ biến để thay thế nguồn tinh bột truyền thống như ngô, sắn.... Ở Việt Nam, chuối hiện đang là nguồn nguyên liệu sản xuất tinh bột được quan tâm vì trong chuối xanh có chứa một hàm lượng tinh bột kháng tiêu cũng như chất dinh dưỡng khá cao, có lợi cho sức khỏe. Mặc khác, nước ta là một nước có diện tích trồng chuối lớn, khoảng 150 ngàn ha (chiếm hơn 19% tổng diện tích cây trồng ăn quả của cả nước) và là 1 trong 15 nước có sản lượng chuối lớn nhất thế giới.

Trên cơ sở đó, đề tài: “**Nghiên cứu biến tính tinh bột chuối xanh tạo thực phẩm hỗ trợ điều trị đái tháo đường**” được lựa chọn.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1. Giới thiệu chung về tinh bột

1.1.1. Đặc điểm cấu trúc hóa học của tinh bột

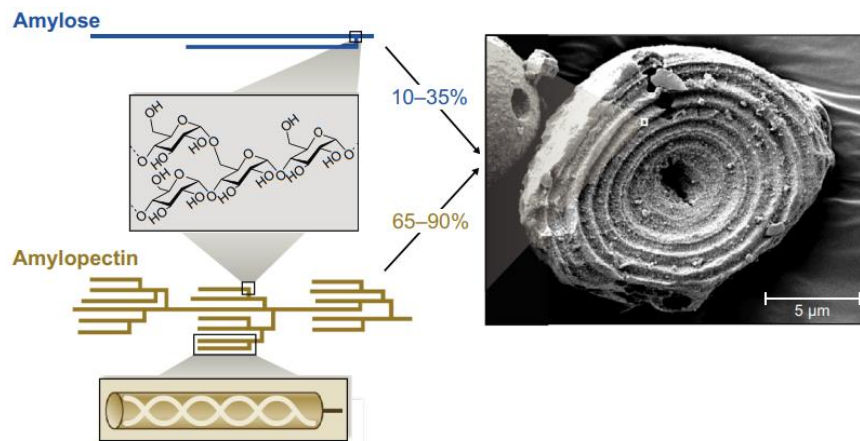
Tinh bột đóng vai trò là nguồn cung cấp năng lượng chính cho con người và được tạo ra dưới dạng carbohydrate dự trữ trong các cây thực vật, được tìm thấy nhiều trong các loại ngũ cốc, rễ và củ [1]. Tinh bột được tổng hợp trong lục lạp và lạp bootju dưới dạng các hạt riêng lẻ có hình thái đặc trưng tùy thuộc vào loại cây, từ hình tròn, bầu dục, hình trứng hoặc thon dài đến phẳng hoặc đa diện, với kích thước dao động từ đường kính dưới micron đến hơn 100 μm [1, 2]. Hàm lượng tinh bột có trong các cây thực vật sẽ khác nhau và có thể thay đổi theo thời tiết, thổ nhưỡng, điều kiện sinh trưởng... Hàm lượng tinh bột có trong hạt ngũ cốc khoảng 40 đến 90%, trong rễ từ 30 đến 70%, trong củ từ 65 đến 85%, trong các loại đậu từ 25 đến 50% và một số trái cây chưa trưởng thành như chuối hoặc xoài, chứa khoảng 70% tinh bột theo trọng lượng khô [3].

Bảng 1.1. Đặc điểm của một số loại tinh bột [4]

<i>STT</i>	<i>Nguồn tinh bột</i>	<i>Kích thước hạt (μm)</i>	<i>Hình dáng hạt tinh bột</i>	<i>Hàm lượng amylose (%)</i>	<i>Kiểu kết tinh</i>
1	Khoai tây	10–75	Hình bầu dục, hình cầu	25-31	B
2	Ngô	5–20	Hình tròn, đa giác	20-28	A
3	Sắn	5–40	Hình tròn không đều	16-27	A, C
4	Lúa mì	1,5–20	Hình tròn nhỏ, thấu kính	17-34	A
5	Gạo	3–10	Hình tròn, đa giác	17-29	A
6	Cao lương	8–240	Hình bầu dục, hình giống cái chuông	22-30	C
7	Chuối	14–108	Hình bầu dục thon dài	30-40	A, B, C
8	Táo	2–12	Hình cầu	35-43	C

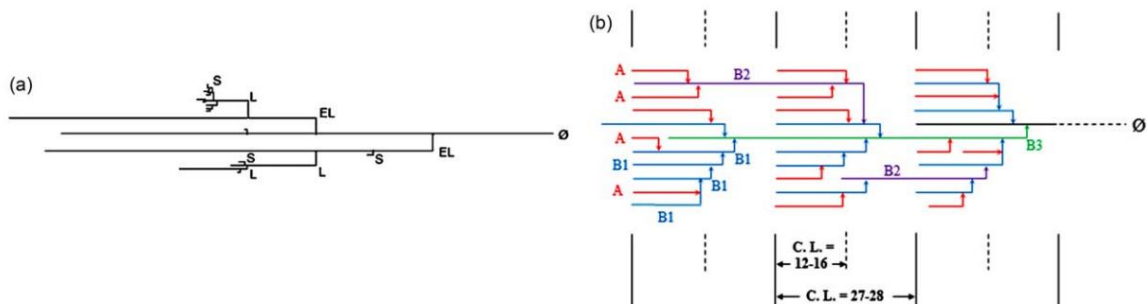
Về mặt hóa học, tinh bột có công thức phân tử là $(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5)_n$ trong đó n có thể từ vài trăm đến hơn 1 triệu, bao gồm các đơn vị α -glucose có thể được liên kết theo liên kết α -(1,4) và/hoặc α -(1,6) [5]. Các hạt tinh bột đều bao gồm hai polyme glucan,

amylose và amylopectin. Trong hầu hết các hạt tinh bột “bình thường”, amylopectin là thành phần chính theo trọng lượng, chiếm khoảng 65-90%, trong khi amylose chỉ chiếm 15-30%, tuy nhiên, vẫn tồn tại nhiều trường hợp ngoại lệ, như tinh bột có hàm lượng amylose cao (lúa mạch amylose cao 46,5-48% và ngô 62,8-85,6%), tinh bột sắn với lượng amyloza không đáng kể (lúa mạch sắn 9,1%, lúa mì sắn < 0,2% và khoai tây sắn 3,4%) [6, 7].



Hình 1.1. Cấu trúc phân tử amylose và amylopectin [7]

Amylose (AM) là một polysaccharide mạch thẳng với các đơn vị α -glucose liên kết với nhau bằng liên kết α -(1,4)-glycosides. Tuy nhiên, một số phân tử amylose có thể có nhánh với số lượng nhánh tương đối ít (nhỏ hơn 10 nhánh) [8]. Amylose có trọng lượng trung bình khoảng 105-106 Dalton với độ polymer hóa (DP) là 324-4920. Chiều dài mạch trung bình của AM khoảng 200-700 đơn vị glucose tương ứng với trọng lượng phân tử 32.400-113.400 [9]. Các nghiên cứu cho thấy rằng, amylose trọng lượng phân tử nhỏ có xu hướng là phân tử mạch thẳng, trong khi đó, amylose trọng lượng phân tử lớn (ví dụ, amylose tinh bột khoai tây và sắn) có có chuỗi cực dài (DP > 2730), chuỗi dài (DP > 230) cũng như có chuỗi cực ngắn (DP ~ 18) sẽ hình thành cụm chuỗi nhánh ngắn [10] như trong hình 1.2a.



(a) Cấu trúc của amylose phân nhánh (EL-cực kỳ dài; L-dài; S-chuỗi ngắn, Ø-đầu khỉ; (b) Mô hình cụm của amylopectin (C.L- chiều dài liên kết, Ø-đầu khỉ, A, B1, B2, B3-phân loại chuỗi mạch liên kết)

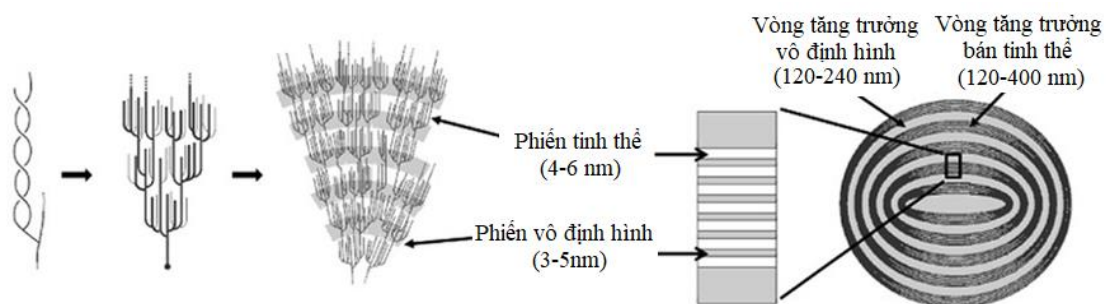
Hình 1.2. Cấu trúc của amylose và amylopectin trong hạt tinh bột [10]

Amylopectin, là phân tử có độ phân nhánh cao, có khung α -D-glucose liên kết với α -(1,4)-glycosides và có khoảng 5% các nhánh được liên kết với α -(1,6), trọng lượng phân tử 105-109 Dalton. DP của phân tử amylopectin nằm trong khoảng 1.278-15.900, trong đó tinh bột có hàm lượng AP cao có DPn thấp hơn so với các loại tinh bột có hàm lượng AP trung bình. Các chuỗi mạch của phân tử AP tương đối ngắn so với các chuỗi mạch AM, chỉ khoảng 17-35 đơn vị glucose [9].

Các chuỗi mạch AP được phân thành 3 loại: các chuỗi không phân nhánh phía ngoài cùng (A); các chuỗi bên trong có phân nhánh (B) và chuỗi đơn (C) mang đầu khử duy nhất trong phân tử AP. Các chuỗi B còn được chia nhỏ thành các chuỗi B1, B2, B3 và B4. Cấu trúc đặc trưng của các phân tử amylopectin là cấu trúc theo mô hình cụm (Hình 1.2b). Trong mô hình này, các chuỗi ngắn (A và B1) tạo thành dạng xoắn kép được phân bố theo cụm rời rạc, trong khi các chuỗi B2, B3 và B4 dài hơn được mở rộng thành 2, 3 và 4 cụm tương ứng [9, 10].

1.1.2. Đặc điểm cấu trúc của tinh bột

Các hạt tinh bột có cấu trúc đa cấp từ cấp vĩ mô đến cấp phân tử. Ở phần bên trong của hạt tinh bột, các α -1,4-glucan và một số nhánh α -1,6 được sắp xếp song song với nhau hình thành chuỗi xoắn kép. Về mặt cấu trúc, các nhánh được sắp xếp cụ thể tạo thành phiến vô định hình, ngược lại, một vùng chỉ được tạo thành từ các chuỗi tuyến tính được gọi là phiến tinh thể. Hình 1.3 thể hiện sơ đồ cấu trúc của hạt tinh bột. Hạt tinh bột có cấu trúc lớp đồng tâm, các lớp bán tinh thể và lớp vô định hình được sắp xếp xen kẽ nhau [6].



Hình 1.3. Sơ đồ cấu trúc hạt tinh bột [11]

Phiến tinh thể được tạo thành từ mạch xoắn kép amylopectin, sắp xếp theo phương tiếp tuyến với bề mặt hạt, đầu không khử hướng ra bề mặt của hạt. Các lớp tinh thể và vô định hình được sắp xếp với chiều dày 7-10 nm xen kẽ nhau. Trong phiến tinh thể, các đoạn mạch thẳng liên kết với nhau thành các sợi xoắn kép, xếp thành dây và tạo thành chùm, các phần mạch nhánh nằm trong các lớp vô định hình. Kết quả nghiên cứu nhiễu xạ tia X của tinh bột cho biết cấu trúc kết tinh của tinh bột phụ thuộc vào nguồn gốc tinh bột, trong đó phổ biến là cấu trúc kết tinh

dạng A, B và C. Ngoài ra, tinh bột còn có cấu trúc dạng V và một số dạng cấu trúc chưa có tên và chưa giải thích được hình thành khi hồ hóa tinh bột hoặc gia nhiệt dưới áp suất hay những điều kiện đặc biệt [12].

Cấu trúc kết tinh dạng A thường được tìm thấy trong tinh bột các loại hạt ngũ cốc trong khi cấu trúc kết tinh dạng B thường gặp chủ yếu ở tinh bột khoai tây và các loại tinh bột từ củ. Cấu trúc kết tinh dạng C thường thấy trong tinh bột đậu Hà Lan, chứa cả cấu trúc dạng A và dạng B trong cùng một hạt tinh bột. Cấu trúc kết tinh dạng A và B khác nhau ở cách sắp xếp cấu trúc xoắn kép, trong đó xoắn kép sắp xếp chặt chẽ hơn tạo thành cấu trúc dạng A và xoắn kép sắp xếp kém chặt tạo thành cấu trúc dạng B [13, 14].

1.1.3. Tính chất đặc trưng của tinh bột [6]

Tinh bột từ các nguồn thực vật khác nhau sẽ có tỷ lệ amylose/amylopectin, hình thái, kích thước, sự phân bố hạt tinh bột, cấu trúc kết tinh không giống nhau. Chính sự khác nhau này sẽ ảnh hưởng đến sự tương tác giữa các hạt tinh bột với thành phần khác, ví dụ như tương tác giữa hạt tinh bột với nước.

Khả năng các hạt tinh bột tương tác với nước và hydrat hóa ở nhiệt độ cao có liên quan đến sự thay đổi khả năng trương nở, độ nhớt, khả năng hồ hóa của tinh bột. Những thay đổi đó quyết định khả năng ứng dụng của tinh bột trong một số ngành công nghiệp dược phẩm, thực phẩm và phi thực phẩm như giấy, dệt, keo dán...

1.1.3.1. Độ trương nở và độ nhớt

Hạt tinh bột không tan trong nước, tuy nhiên có thể ngậm nước ở nhiệt độ cao. Do đó, sau khi các hạt tinh bột hydrat hóa và trương nở, cấu trúc tinh thể của chúng sẽ bị rối loạn bởi nhiệt độ. Sự khác biệt về khả năng trương nở là do sự khác nhau về tổ chức cấu trúc và đặc điểm của các hạt tinh bột thu được từ các nguồn thực vật hoặc cây trồng khác nhau. Cấu trúc xoắn kép của amylose và nhánh amylopectin được ổn định bằng liên kết hydro. Khi các hạt tinh bột bị hydrat hóa và chịu nhiệt độ cao, liên kết hydro bị phá vỡ và được thay thế bằng nước. Như vậy, khả năng hydrat hóa và trương nở của hạt tinh bột phụ thuộc vào khả năng giữ nước của các phân tử tinh bột thông qua liên kết hydro, bị ảnh hưởng bởi hàm lượng amylose, nhánh amylopectin.

Khả năng hydrat hóa và trương nở cho phép thay đổi độ nhớt của tinh bột. Trong tinh bột có hàm lượng amylose cao, phức amylose-lipid và hàm lượng amylopectin thấp tạo ra khả năng trương nở rất thấp và độ nhớt thấp ngay cả ở nhiệt độ cao. Ngược lại, tinh bột có hàm lượng amylopectin cao thì khả năng trương nở cao hơn và độ nhớt cao hơn ở nhiệt độ thấp.

Ngoài ra, các lỗ và kênh bên trong hạt tinh bột làm suy yếu cấu trúc của chúng cũng là nguyên nhân làm thay đổi độ nhớt của tinh bột. Các lỗ và kênh cũng cho phép

nước và ion ở dạng OH^- phá vỡ vùng vô định hình có chứa chuỗi amylose, theo cách này làm giảm tác dụng hạn chế của amylose và do đó tăng cường khả năng hydrat hóa và trương nở của các hạt tinh bột, cũng như tăng cường độ nhớt.

Các hạt nhỏ có thể hydrat hóa hoàn toàn và trương nở cao để đạt độ nhớt cao, trái ngược với tinh bột có hạt thể tích lớn. Tuy nhiên, các hạt tinh bột sấp chủ yếu là amylopectin, dễ dàng liên kết với các phân tử nước thông qua liên kết hydro, do đó loại tinh bột này có thể hydrat hóa và trương nở nhanh chóng đạt đến nhiệt độ hồ hóa cao nhất trong thời gian ngắn hơn.

1.1.3.2. Khả năng hồ hóa

Quá trình hồ hóa của hạt tinh bột bao gồm quá trình hydrat hóa và trương nở ở nhiệt độ cao, sau đó là sự rối loạn nhiệt của cấu trúc tinh thể và sự mất đi tính lưỡng chiết. Quá trình hồ hóa bắt đầu ở lõi hạt. Người ta tin rằng khu vực tâm của hạt là khu vực ít trật tự nhất.

Khả năng hồ hóa tinh bột và thời gian cần thiết để đạt được trạng thái hồ hóa phụ thuộc vào các yếu tố đặc trưng nhất định của nguồn tinh bột, hàm lượng amylose cũng như loại hạt chiếm ưu thế trong tinh bột. Ví dụ, thời gian đạt nhiệt độ hồ hóa của tinh bột ngô có hàm lượng amylose cao thì thấp hơn so với ngô nếp và ngô thường, trong khi đó, thời gian hồ hóa của tinh bột lúa mạch có hàm lượng amylose cao lại thấp hơn tinh bột lúa mạch sấp nhưng nhanh hơn lúa mạch thường. Trong ví dụ thứ nhất, rõ ràng là lượng amylose tỷ lệ nghịch với khả năng hồ hóa, kích thước hạt tinh bột ngô không ảnh hưởng đến quá trình hồ hóa do sự khác biệt giữa kích thước hạt tinh bột ngô loại A ($> 5 \mu\text{m}$) và loại B ($< 5 \mu\text{m}$) là nhỏ. Tuy nhiên, trong ví dụ thứ hai, kích thước hạt cũng đóng vai trò quyết định đến khả năng hồ hóa. Tinh bột lúa mạch có hàm lượng amylose cao chứa tỷ lệ hạt loại A ít hơn so với tinh bột lúa mạch bình thường khoảng 44-56%, nhưng ít hơn so với tinh bột lúa mạch sấp chỉ 11-19%. Các hạt tinh bột lớn hơn cần nhiều thời gian hơn để tạo gel và đạt nhiệt độ hồ hóa cao hơn so với các hạt nhỏ hơn.

Sau khi quá trình hồ hóa hoàn tất, các yếu tố ảnh hưởng phổ biến nhất đến cấu trúc gel là lượng amylose và tỷ lệ chuỗi amylopectin nhánh. Sau khi làm lạnh, tinh bột thường tạo gel cứng trong khi tinh bột có hàm lượng amylose thấp tạo gel mềm. Ngoài ra, độ ổn định gel còn liên quan đến trọng lượng phân tử của amylopectin và chuỗi phân nhánh của nó (quá dài như amylose hoặc quá ngắn). Mali và cộng sự [15] phát hiện ra rằng gel và màng của tinh bột sắn kém bền, nhưng trong suốt và linh hoạt hơn so với gel và màng của tinh bột ngô và khoai mỡ do hàm lượng amylopectin của tinh bột sắn cao hơn.

Thành phần amylose ảnh hưởng đến độ trong của tinh bột hồ hóa. Tinh bột hồ hóa có độ trong cao được tạo thành từ tinh bột có chứa amylose trọng lượng phân tử cao vì chúng khó sắp xếp hơn và tạo ra sự tương tác tốt. Ngược lại, amylose trọng lượng phân tử thấp tạo điều kiện thuận lợi cho sự tương tác phân tử giữa các chuỗi ngắn góp phần tạo nên tỷ lệ truyền qua thấp.

Và cấu trúc gel có thể bị phá hủy trong quá trình xử lý nhiệt do vùng tinh thể “tan chảy”, sự tách rời của phân tử amylopectin trong các hạt trương nở hoặc sự mất tương tác giữa các hạt trong mạng lưới.

1.1.3.3. Quá trình thoái biến

Sự thoái biến tinh bột xảy ra sau quá trình hồ hóa. Quá trình này bao gồm sự kết tinh lại amylopectin của các hạt tinh bột đã bị hồ hóa chuyển từ trạng thái ban đầu vô định hình hoặc mất trật tự sang trạng thái kết tinh và có trật tự hơn. Tất cả những điều đó được phản ánh trong xu hướng hồ tinh bột đặc lại và trở thành gel cứng. Quá trình thoái biến tinh bột bị ảnh hưởng bởi một số đặc tính của tinh bột và quá trình xử lý nó. Hàm lượng amylose và phức amylose-lipid là hai trong số các yếu tố hạn chế sự thoái hóa tinh bột. Tinh bột có lượng amylose cao hơn và trọng lượng phân tử thấp hơn sẽ trải qua quá trình thoái biến cao hơn. Kích thước hạt tinh bột cũng ảnh hưởng đến quá trình thoái biến, hạt nào lớn thì ổn định nhất. Do đó, các hạt tinh bột nhỏ hơn dễ bị thoái biến nhất. Và các hạt tinh bột loại B có hàm lượng amylose ít hơn, amylopectin chuỗi nhánh ngắn hơn và lượng lipid cao hơn sẽ khó thoái biến hơn so với các hạt loại A.

Một yếu tố khác ảnh hưởng đến quá trình thoái biến chính là amylopectin. Tinh bột được hình thành bởi amylopectin có hàm lượng chuỗi ngắn cao thì khả năng thoái biến cao hơn khi bảo quản trong thời gian dài.

1.1.4. Ứng dụng của tinh bột [6]

Một số tính chất hóa lý của tinh bột như hydrat hóa ở nhiệt độ cao, độ trương nở, tăng độ nhớt và khả năng tạo gel rất quan trọng trong các quy trình công nghiệp.

Trong công nghiệp thực phẩm, tinh bột được sử dụng để sản xuất các sản phẩm bánh mì, món tráng miệng, bánh pudding, nhân bánh ngọt, bánh quy, kẹo, kẹo cao su, kẹo cao su... Ngoài ra, tinh bột được sử dụng để tinh bột kháng tiêu, cũng như thành phần thực phẩm bảo vệ sức khỏe, chẳng hạn như men vi sinh làm tăng số lượng vi khuẩn có lợi trong ruột. Trong công nghiệp phi thực phẩm, tinh bột được sử dụng để chế tạo vật liệu kết dính, bao bì sinh học, chất keo tụ, gôm, kem đánh răng, giấy công nghiệp...

Nhu cầu ngày càng tăng đối với các sản phẩm thực phẩm chất lượng cao của người tiêu dùng đã cho phép phát triển các công nghệ và nguyên liệu tiên tiến như

tinh bột kháng tiêu. Loại tinh bột này có tác dụng sinh lý tương tự như tác dụng của chất xơ [9], giúp bảo vệ sức khỏe con người, đặc biệt những người bị mắc bệnh tiểu đường, béo phì, đái tháo đường. Tinh bột kháng tiêu có thể được sử dụng trong ngũ cốc ăn liền, đồ ăn nhẹ, mì, các sản phẩm nướng và thực phẩm chiên [16].

1.2. Giới thiệu về tinh bột kháng tiêu

1.2.1. Định nghĩa [16, 17]

Dựa theo tốc độ và mức độ tinh bột bị tiêu hóa (thủy phân) bởi các enzyme α -amylase, glucoamylase và sucrase-isomaltase có trong ruột non, tinh bột có thể được chia thành ba dạng: tinh bột tiêu hóa nhanh (RDS), tinh bột tiêu hóa chậm (SDS) và tinh bột kháng tiêu (RS).

Tinh bột tiêu hóa nhanh (Rapidly digestible starch – RDS) bao gồm chủ yếu là các phân tử ở vùng vô định hình và được phân tán trong dịch hồ sau khi tinh bột bị hồ hóa. RDS được tìm thấy phần lớn trong các loại thực phẩm giàu tinh bột đã được nấu chín như bánh mì và khoai tây luộc và được xác định bằng cách đo lượng đường glucose tạo ra sau khi thủy phân hoàn toàn bởi enzyme amylase trong khoảng thời gian 20 phút. Nếu thực phẩm có chứa RDS với tỷ lệ cao, RDS sẽ nhanh chóng giải phóng glucose vào máu và làm tăng glucose trong máu và đáp ứng insulin, gây bất lợi cho sức khỏe.

Tinh bột tiêu hóa chậm (Slowly digestible starch - SDS) là loại tinh bột cũng được thủy phân và được hấp thụ hoàn toàn trong ruột non của con người. Tuy nhiên SDS được tiêu hóa chậm hơn so với RDS và được thủy phân bởi enzyme amylase trong khoảng thời gian 120 phút. Loại tinh bột này bao gồm tinh bột có cấu trúc kết tinh dạng A hoặc C ở dạng nguyên thể nhưng không bị thủy phân bởi enzyme amylase do có cấu trúc không đặc hiệu hoặc tinh bột có cấu trúc kết tinh dạng B ở dạng nguyên thể hoặc ở dạng thoái hóa có trong các thực phẩm được nấu chín. Thực phẩm giàu SDS có chỉ số đường huyết thấp, có lợi cho sức khỏe, giúp làm chậm sự xuất hiện của hội chứng chuyển hóa, tiểu đường và các bệnh tim mạch.

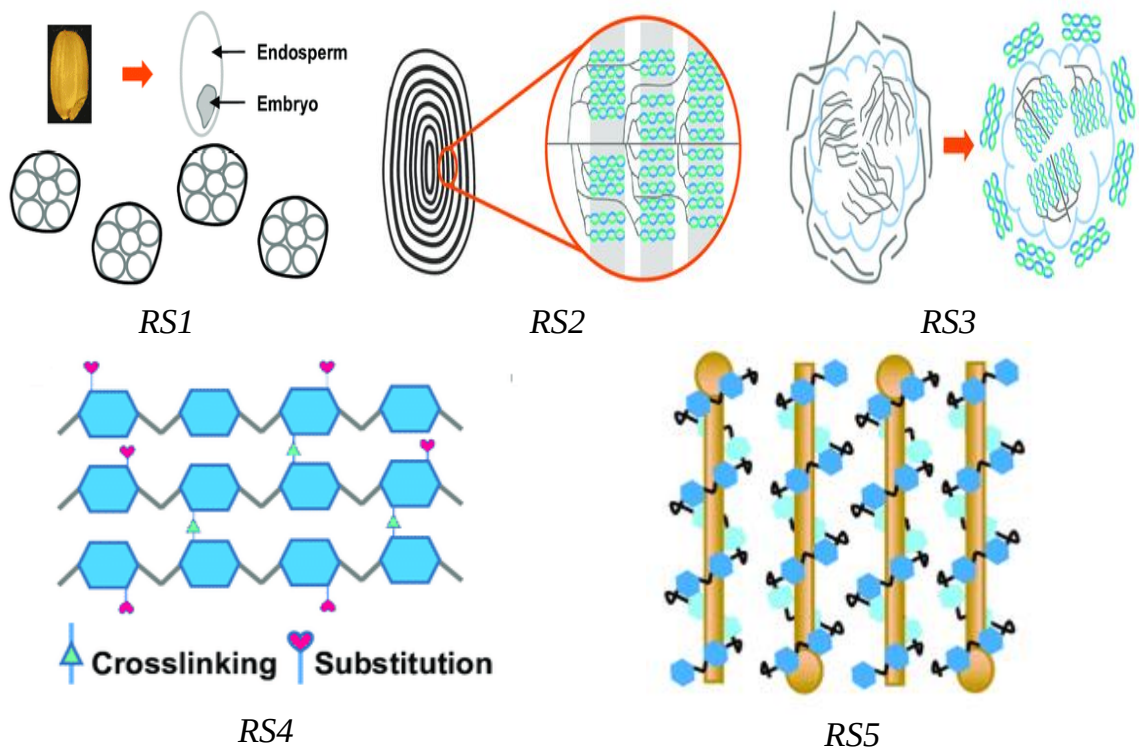
Tinh bột kháng tiêu (Resistant Starch – RS) là phần tinh bột còn tồn tại sau quá trình thủy phân tinh bột bởi enzyme amylase sau khoảng thời gian 120 phút. RS được coi là có tác dụng sinh lý tốt cho sức khỏe con người, được coi như một loại chất xơ với năng lượng cung cấp khoảng 2kcal/gam. Tinh bột kháng tiêu đi qua ruột non một cách nguyên vẹn và sau đó được lên men trong ruột già, tạo ra các axit béo mạch ngắn (SCFA) đóng vai trò như một nguồn năng lượng cho các tế bào ruột kết. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra rằng RS là một phân tử α -1,4-glucan mạch thẳng, chủ yếu thu được từ phân amylose thoái biến với khối lượng phân tử tương đối thấp ($1,2 \times 10^5$ Da).

Trong hầu hết các loại thực phẩm đã qua chế biến, hàm lượng RDS tỷ lệ nghịch với hàm lượng SDS và RS, tức là nếu RDS nhiều hơn, lượng SDS và RS sẽ ít hơn. Vì vậy, để tăng hàm lượng SDS và RS trong tinh bột, bước quan trọng đầu tiên là giảm lượng RDS.

1.2.2. Phân loại [16, 17]

Tinh bột kháng tiêu không bị tiêu hóa bởi các enzyme trong cơ thể. Nó được chia thành 4 kiểu: RS1, RS2, RS3, RS4 và RS5, còn được gọi là tinh bột kháng tiêu kiểu I, II, III, IV và V.

RS1 đại diện cho tinh bột có khả năng kháng tiêu ở dạng không thể tiếp cận được về mặt vật lý như hạt và ngũ cốc nghiền thô và trong một số loại thực phẩm giàu tinh bột chế biến rất đặc. RS1 bền nhiệt trong hầu hết các quy trình nấu nướng thông thường và có thể sử dụng nó như một thành phần trong nhiều loại thực phẩm truyền thống.



Hình 1.4. Mô hình cấu trúc tinh bột kháng tiêu

RS2 đại diện cho tinh bột ít nhiều có dạng hạt và có khả năng kháng lại sự tiêu hóa của enzyme. Trong hạt tinh bột thô, tinh bột được bao bọc chặt chẽ theo kiểu xuyên tâm và tương đối khô. Cấu trúc chặt chẽ này hạn chế khả năng tiếp cận của các enzyme tiêu hóa amylase khác nhau, và giải thích cho bản chất kháng tiêu của RS2, chẳng hạn như tinh bột chưa hồ hóa. Trong chế độ ăn uống, tinh bột thô được tiêu thụ trong các loại thực phẩm như chuối xanh. RS1 và RS2 đại diện cho dư lượng của các dạng tinh bột, được tiêu hóa rất chậm và không hoàn toàn trong ruột non.

RS3 đại diện cho phần tinh bột bền nhất và chủ yếu là amylose thoái biến được hình thành trong quá trình làm nguội tinh bột hồ hóa. Do đó, hầu hết các loại thực phẩm được xử lý nhiệt ẩm đều chứa một lượng nhất định RS3. Nó chỉ có thể phân tán được bằng KOH hoặc dimethyl sulphoxide. RS3 hoàn toàn kháng lại sự tiêu hóa bởi các amylase tuyến tụy.

RS4 là tinh bột kháng tiêu mà các liên kết hóa học mới ngoài liên kết α -(1-4) hoặc α -(1-6) được tạo thành. Tinh bột biến tính thu được bằng các phương pháp xử lý hóa học khác nhau được xếp vào loại này. Cấu trúc của RS4 thu được bằng cách biến tính hóa học như este tinh bột photphat.

RS5 là phức amylose-lipid, hình thành trong quá trình chế biến hoặc được tạo ra nhân tạo; hoặc maltodextrin kháng được xử lý để sắp xếp lại các phân tử tinh bột một cách có chủ đích.

1.2.3. Chức năng sinh lý và lợi ích của tinh bột kháng tiêu đối với bệnh đái tháo đường [10]

Đái tháo đường là dạng bệnh rối loạn chuyển hóa khiến lượng đường trong máu tăng cao hơn so với bình thường do cơ thể không sản xuất đủ insulin hoặc đề kháng với insulin hoặc do cả 2 nguyên nhân này.

Hiện nay, đái tháo đường là căn bệnh phổ biến trên thế giới và được chia ra làm 3 loại chủ yếu:

- Đái tháo đường type 1 là kết quả của việc tuyến tụy không sản xuất đủ insulin do mất tế bào beta.
- Đái tháo đường type 2 bắt đầu bằng tình trạng kháng insulin, nghĩa là các tế bào của cơ thể không phản ứng một cách bình thường với insulin.
- Đái tháo đường thai kỳ là những trường hợp phụ nữ bị đái tháo đường trong thời gian mang thai, do những hormone từ nhau thai tiết ra dẫn tới kháng insulin, gây tăng lượng đường trong máu của mẹ bầu. Thông thường, bệnh sẽ hết sau khi sinh con.

Theo thống kê của Liên đoàn Đái tháo đường thế giới (IDF), năm 2021 trên thế giới ước tính có khoảng 537 triệu người trưởng thành đang sống chung với bệnh đái tháo đường. Bệnh đái tháo đường là nguyên nhân gây tử vong cho 6,7 triệu người trong năm 2021, trong đó hơn 1,2 triệu trẻ em và thanh thiếu niên có bệnh đái tháo đường type 1 và 16,67% số phụ nữ mang thai mắc đái tháo đường thai kỳ. Và ước tính có khoảng 240 triệu người mắc bệnh đái tháo đường không được chẩn đoán trên toàn thế giới, có nghĩa là gần một trong hai người trưởng thành mắc bệnh đái tháo đường mà không biết tình trạng bệnh lý của mình, trong đó, có tới gần 90% người mắc bệnh đái tháo đường không được chẩn đoán sống ở các nước có thu nhập thấp và trung bình.

Tại Việt Nam, theo Điều tra quốc gia năm 2020 của Bệnh viện Nội tiết Trung ương ở đối tượng 30-69 tuổi, tỉ lệ đái tháo đường là 7,3% và tỉ lệ tiền đái tháo đường là 17,8%. Một điều đáng chú ý là có 62,6% người mắc đái tháo đường không được phát hiện và có 52,3% số người chưa bao giờ làm xét nghiệm đường huyết. Năm 2022, số người mắc bệnh đái tháo đường ở nước ta khoảng 7 triệu người, tỷ lệ này người mắc đang gia tăng và xảy ra ở nhiều độ tuổi, đặc biệt là người trẻ.

Các biện pháp kiểm soát đái tháo đường tập trung vào việc giữ đường huyết ở gần mức bình thường nhất có thể mà không làm hạ đường huyết. Có thể đạt được điều này bằng cách thay đổi chế độ ăn, tập thể dục, giảm cân và sử dụng các loại thuốc phù hợp bao gồm insulin và thuốc uống.

Tinh bột đóng vai trò quan trọng trong việc cung cấp năng lượng, chiếm khoảng 40-60% tổng lượng calo cấp hàng ngày, tuy nhiên tinh bột cũng là nguồn thực phẩm làm tăng lượng đường huyết trong máu. Vì vậy, đối với những người đã mắc bệnh đái tháo đường, họ sẽ gặp khó khăn trong việc ăn uống, bởi ăn nhiều một chút thì đường huyết lại tăng cao, còn ăn ít thì không đủ năng lượng cho cơ thể, đôi khi còn bị tụt đường huyết quá mức. Theo Hiệp hội đái tháo đường Hoa kỳ (ADA), biện pháp cải thiện đường huyết được nhiều bằng chứng chứng minh nhất là giảm tổng lượng carbohydrate tiêu thụ. Một trong những loại thực phẩm có khả năng đó là các loại sản phẩm chứa tinh bột kháng tiêu (RS) có khả năng kháng lại sự thủy phân của hệ amylase đường tiêu hóa gây giải phóng năng lượng dạng đường glucose, từ đó giúp cải thiện lượng đường huyết.

Như đã biết, RS là tinh bột, không phải là chất xơ nhưng nó có thể được xem xét như một loại chất xơ chức năng với những lợi ích sức khỏe giống với chất xơ. Như vậy RS cũng có tác dụng tốt cho sức khỏe tương đương với chất xơ như: tốt cho hệ đường ruột thông qua việc tăng tỷ lệ sản sinh các tế bào crypt (tế bào hèm tuyến trong biểu mô ruột non) hoặc giảm sự bào mòn biểu mô thành ruột so với việc sử dụng khẩu phần ăn không có chất xơ. Mặt khác, việc phân giải chậm RS có tác dụng trong kiểm hãm sự giải phóng glucozo trong máu khi tiêu thụ tinh bột.

- *Phòng ngừa ung thư đại tràng*: RS thoát khỏi hệ tiêu hóa và không bị hấp thụ ở ruột non nên đi thẳng đến ruột già và được lên men từ từ bởi hệ vi sinh vật đường ruột có lợi có mặt trong ruột già tạo ra các sản phẩm là các axit béo mạch ngắn (SCFA). Các SCFA có tác dụng có lợi cho sức khỏe đường ruột bao gồm sự sản sinh các tế bào biểu mô và làm giảm pH đại tràng. Axit butyric là nguồn cơ chất năng lượng chính cho các tế bào biểu mô ruột già và ức chế sự hình thành các tế bào ác tính. Những ảnh hưởng này có thể làm giảm tỷ lệ mắc bệnh ung thư đại tràng, xơ vữa động mạch, và những biến chứng liên quan đến béo phì ở người. Việc kết hợp RS với

một loại chất xơ không tan như cám lúa mì cho thấy SCFA cao hơn, đặc biệt là axit butyric. Điều này càng khẳng định RS có những ảnh hưởng giống với chất xơ tan.

- *Giảm đường huyết*: điều tiết sự phân giải của tinh bột thành đường và sự hấp thu glucosơ ở người là một yếu tố quan trọng trong việc sử dụng tinh bột trong các sản phẩm thực phẩm cho các nhóm đối tượng nhất định như bệnh nhân tiểu đường, những người ăn kiêng và các vận động viên cần phát triển cơ bắp. RS có tác động lên đường huyết bao gồm giảm tối đa ứng đáp glucosơ máu, giảm tối đa ứng đáp insulin. Mẩu chứa RS3 làm giảm ngay đường huyết sau bữa ăn và có thể đóng vai trò quan trọng trong cung cấp và cải thiện sự điều chỉnh trao đổi chất trong tiêu đường dạng 2.

- *Chức năng prebiotic*: vì gần như đi qua khỏi được ruột non nên nó được xem như là cơ chất cho hệ vi sinh vật probiotic. Do đó RS được khuyến sử dụng như một thành phần prebiotic để đẩy mạnh sự phát triển của vi sinh vật có lợi như Bifidobacteria và Lactobacilli.

- *Giảm cholesterol*: những ảnh hưởng giảm cholesterol của RS đã được chứng minh trên chuột, thức ăn chứa RS (25% khoai tây thô) làm tăng kích thước manh tràng rõ rệt cũng như sự hấp thu SCFA và làm giảm cholesterol và triglycerid trong máu.

- *Ức chế tích lũy chất béo*: thay thế 5,4% tổng cacbonhydrat trong khẩu phần ăn bằng RS có thể làm tăng đáng kể sự oxy hóa lipid ngay sau bữa ăn, vì vậy giảm đáng kể sự tích lũy chất béo trong thời gian dài.

- *Tăng hấp thu khoáng*: So sánh sự hấp thu các khoáng Ca, P, Fe và Zn trong ruột khi dùng RS và tinh bột tiêu hóa được nghiên cứu, bữa ăn trưa có 16,4% RS cho kết quả là sự hấp thu Ca, Fe cao hơn so với bữa ăn chứa hoàn toàn tinh bột tiêu hóa. Vì vậy RS có thể có ảnh hưởng tích cực lên sự hấp thụ Ca và Fe trong ruột.

Bảng 1.2. Một số tác dụng sinh lý của tinh bột kháng tiêu

Tác dụng bảo vệ	Tác dụng sinh lý tiềm năng
Bệnh tiểu đường	Kiểm soát các đáp ứng đường huyết và insulin
Ung thư đại trực tràng, viêm loét đại tràng, bệnh viêm ruột, viêm ruột thừa và táo bón	Cải thiện sức khỏe đường ruột
Bệnh tim mạch, rối loạn chuyển hóa lipid, cholesterol và triglycerid	Cải thiện hồ sơ lipid máu
Sức khỏe ruột già	Duy trì lợi khuẩn
Béo phì	Tăng cảm giác no và giảm năng lượng nạp vào
Loãng xương, tăng cường hấp thu canxi	Tăng hấp thu vi chất dinh dưỡng

1.2.4. Các phương pháp biến tính tạo tinh bột kháng tiêu

Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu làm tăng hàm lượng tinh bột kháng tiêu (RS) trong các loại tinh bột thông qua quá trình biến tính bằng các phương pháp vật lý (phương pháp xử lý thủy nhiệt...), hóa học (este hóa, ete hóa...) và enzyme. Các phương pháp được phát triển và áp dụng chủ yếu dựa trên sự biến đổi cấu trúc tự nhiên của các chuỗi mạch tinh bột để chúng không còn đặc hiệu với enzyme amylase và kết quả là chúng có thể kháng lại sự thủy phân của các enzyme này.

1.2.4.1. Phương pháp xử lý thủy nhiệt (Hydrothermal treatment)

Phương pháp xử lý thủy nhiệt dựa trên tác động của nhiệt độ lên tinh bột trong môi trường ẩm nhằm tăng hàm lượng tinh bột kháng tiêu (RS) và tinh bột tiêu hóa chậm (SDS) mà không làm biến đổi hình dạng và kích thước của hạt tinh bột.

Hai phương pháp phổ biến được sử dụng trong phương pháp này là xử lý nhiệt ẩm (Heat-moisture treatment - HMT) và xử lý ẩm-nhiệt (Annealing - ANN). Cả hai phương pháp đều cần phải kiểm soát độ ẩm của tinh bột, nhiệt độ và thời gian xử lý, và mỗi phương pháp sẽ có những yêu cầu lượng nước, nhiệt độ và thời gian xử lý khác nhau. HMT được thực hiện trong điều kiện ẩm giới hạn (10-30%) và khoảng nhiệt độ cao hơn (90-120°C), trong khi đó ANN yêu cầu hàm lượng nước cao hơn (50-60%) và xử lý ở nhiệt độ thấp dưới nhiệt độ hồ hóa [18].

Ảnh hưởng của phương pháp ANN và HMT đến đặc tính tiêu hóa (RS, RDS, SDS) và chỉ số đường huyết dự kiến (eGI) của tinh bột ngô, đậu Hà Lan và đậu lăng đã được Chung và cộng sự nghiên cứu [18]. Kết quả cho thấy, quá trình HMT và ANN đều làm tăng nhiệt độ hồ hóa, giảm khả năng trương nở (HMT > ANN). ANN và HMT làm tăng hàm lượng RDS, RS và eGI và giảm mức SDS trong tinh bột, trong đó, HMT có tác động lớn hơn ANN.

Laksmi và cộng sự [19] cho thấy cấu trúc kết tinh của tinh bột HMT (xử lý ở độ ẩm 25% trong 4 giờ, 110°C) có sự thay đổi, chuyển từ dạng A sang dạng C, trong khi đó cấu trúc kết tinh của tinh bột ANN (tỷ lệ tinh bột:nước là 1:3, w/w, thời gian xử lý 10 giờ, nhiệt độ ủ 50°C) không có sự thay đổi so với tinh bột khoai lang. Về khả năng tiêu hóa, tinh bột HMT và ANN có khả năng tiêu hóa thấp hơn và hàm lượng tinh bột kháng tiêu cao hơn tinh bột tự nhiên. Điều này là do sự hình thành cấu trúc hóa học nhỏ gọn hơn của tinh bột.

Biến tính thủy nhiệt tinh bột đậu Sword bằng cách ANN và HMT đã cải thiện đáng kể các đặc tính hóa lý, tính năng, đặc tính nhiệt của tinh bột. Những thay đổi về nhiệt độ hồ hóa, độ nhớt cực đại, khả năng trương nở và độ hòa tan cũng như các thông số hồ hóa của tinh bột là do sự sắp xếp lại cấu trúc của các phân tử amylopectin và amylose sau khi biến tính. Sự thay đổi cấu trúc kết tinh của tinh bột biến tính từ

loại B (tinh bột ban đầu) sang loại C (xử lý HMT ở độ ẩm 25% và 30%) là dấu hiệu của sự thay đổi độ kết tinh của tinh bột, tuy nhiên, tinh bột xử lý ANN và HMT ở độ ẩm 20% cho thấy không có sự thay đổi về cấu trúc kết tinh. Xử lý thủy nhiệt mặc dù có sự thay đổi tính năng và tính chất hóa lý của tinh bột nhưng vẫn không phá hủy được bản chất dạng hạt của tinh bột (như được phát hiện bởi SEM) [20].

Tác động của xử lý HMT, ANN và HMT kết hợp ANN (HMT-ANN) đến tính năng, đặc tính lý-hóa và khả năng tiêu hóa của bột chuối đã được Y. Cahyana và cộng sự nghiên cứu [21]. HMT và ANN đều làm tăng độ kết tinh nhưng HMT-ANN lại làm giảm độ kết tinh so với tinh bột ban đầu. Ngoài ra, HMT và HMT-ANN làm thay đổi cấu trúc kết tinh, chuyển từ cấu trúc loại B sang cấu trúc loại C, trong khi ANN không làm thay đổi cấu trúc kết tinh. Bề mặt hạt tinh bột không thay đổi nhiều đối với phương pháp ANN nhưng HMT và HMT-ANN khiến bề mặt hạt tinh bột trở nên xốp hơn. Hàm lượng RDS, SDS và RS bị ảnh hưởng bởi quá trình xử lý nhiệt, đặc biệt là HMT và HMT-ANN. Hàm lượng SDS được tạo ra nhiều nhất đạt 34,51% trong khi RS giảm khoảng một nửa giá trị so với bột tự nhiên sau khi bột chuối được xử lý HMT.

Sau quá trình HMT, hàm lượng amylose trong tinh bột đậu xanh tăng lên. So với tinh bột tự nhiên, hình thái hạt tinh bột bị biến đổi và bị phá hủy trong điều kiện hàm lượng nước cao hơn (30%). Mengyao và cộng sự [22] thấy rằng hình thái tinh thể không có sự thay đổi rõ ràng và cấu trúc vẫn là loại C. Độ hòa tan, khả năng trương nở, độ trong suốt, độ bền đông lạnh-tan giá và khả năng tạo gel của tinh bột đậu xanh xử lý HMT giảm, trong khi độ ổn định nhiệt tăng lên và khả năng kháng tiêu tăng lên.

Sự kết tụ của các hạt tinh bột lúa mạch được Y. Lv và cộng sự quan sát thấy sau quá trình HMT, với bề mặt hạt tinh bột bị nứt vỡ khi độ ẩm tăng lên. HMT làm tăng hàm lượng tinh bột kháng tiêu từ 24,77% lên 33,40% nhưng cũng làm tăng hàm lượng tinh bột tiêu hóa nhanh lên 85,30% khi tăng độ ẩm và nhiệt độ gia nhiệt. Trong mọi điều kiện xử lý, HMT tăng nhiệt độ hồ hóa (T_o : 55,77-73,72°C; T_p : 60,47-80,69°C; T_c : 66,16-91,71°C) nhưng giảm entanpy hồ hóa (ΔH_{gel} 6,41-0,43 J/g) đối với bột lúa mạch ban đầu [23].

1.2.4.2. Phương pháp enzyme

Về nguyên tắc, phương pháp xử lý enzyme dựa trên sự thủy phân đặc hiệu của những enzyme cắt liên kết 1-6 glycoside và 1-4 glycoside, nhờ đó mạch tinh bột được cắt nhỏ ở một mức độ có kiểm soát, số lượng mạch amylose gia tăng sau đó làm tăng khả năng kết tinh của tinh bột, tạo cơ sở cho việc tăng khả năng kháng enzyme tiêu hóa của tinh bột.

Enzyme pullulanase và isoamylase có tác dụng đặc hiệu trên liên kết α -1,6-glycoside tại các điểm nhánh trên các phân tử amylopectin, do đó làm tăng hàm lượng amylose một cách rõ ràng trong khi vẫn duy trì tổng lượng tinh bột ban đầu. Các enzyme khác như α -amylase và β -amylase cũng có thể được sử dụng. Tuy nhiên, chúng không có vai trò bẻ nhánh, mà thay vào đó, α -amylase tác động lên hầu hết liên kết α -1,4-glycoside ngoại trừ những điểm phân nhánh gần với liên kết này, do vậy sản phẩm tạo ra là những monome glucose. β -amylase cũng chỉ tác động trên liên kết α -(1,4) glycoside từ đầu không khử của phân tử amylopectin hoặc amylose, sản phẩm chủ yếu là đường maltose. Điều này sẽ gây ra quá trình thủy phân hoàn toàn mạch amylose và các nhánh bên ngoài của amylopectin. Các enzyme này (α -amylase và β -amylase) có thể được sử dụng để thủy phân vùng vô định hình trong các hạt tinh bột, để tạo ra sau đó là các tinh thể được gói ghém chặt chẽ, có khả năng có thể kháng tiêu hóa.

Vì mục đích của xử lý bằng enzyme với tinh bột thường để thủy phân các mạch nhánh của amylopectin mà không phải là amylose, do vậy pullulanase và isoamylase được sử dụng phổ biến hơn. Do đó, khi tinh bột bị bẻ nhánh bằng enzyme thì hàm lượng và cấu trúc amylopectin sẽ ảnh hưởng nhiều đến hàm lượng RS. Khi quá trình bẻ nhánh được thực hiện, hàm lượng amylose thường được đánh giá sẽ tăng lên và khi chúng bị thoái hóa thì hàm lượng RS được tạo ra sẽ cao hơn (do amylose hình thành các tinh thể được bao bọc chặt chẽ (dạng RS3) và dẫn đến sự gia tăng tổng thể về mức độ kết tinh thể của tinh bột) [24].

β -amylase được Hickman và cộng sự sử dụng để thủy phân tinh bột lúa mì và ngô. Tinh bột được xử lý bằng nồi hấp (3 lần ở 121°C trong 30 phút), sau đó thủy phân bằng β -amylase trong 20 giờ. Kết quả của việc xử lý này cho hàm lượng RS của tinh bột ngô tăng từ 11,4% đến 29,9%, và với tinh bột lúa mì từ 9,1% đến 23,1%, trong khi nếu chỉ xử lý bằng nồi hấp thì mức tăng RS ít hơn chỉ đạt 2% so với RS trong tinh bột ban đầu [25].

Các loại tinh bột nếp được xử lý bằng enzyme làm gia tăng đáng kể hàm lượng RS. Cụ thể trong lúa mì và ngô nếp, mức RS tăng tương ứng từ 0,4% lên 67,7% và từ 4,3% đến 68% trong điều kiện sử dụng 1% isoamylase trong 24 giờ sau đó bảo quản ở 25°C trong 24 giờ [26].

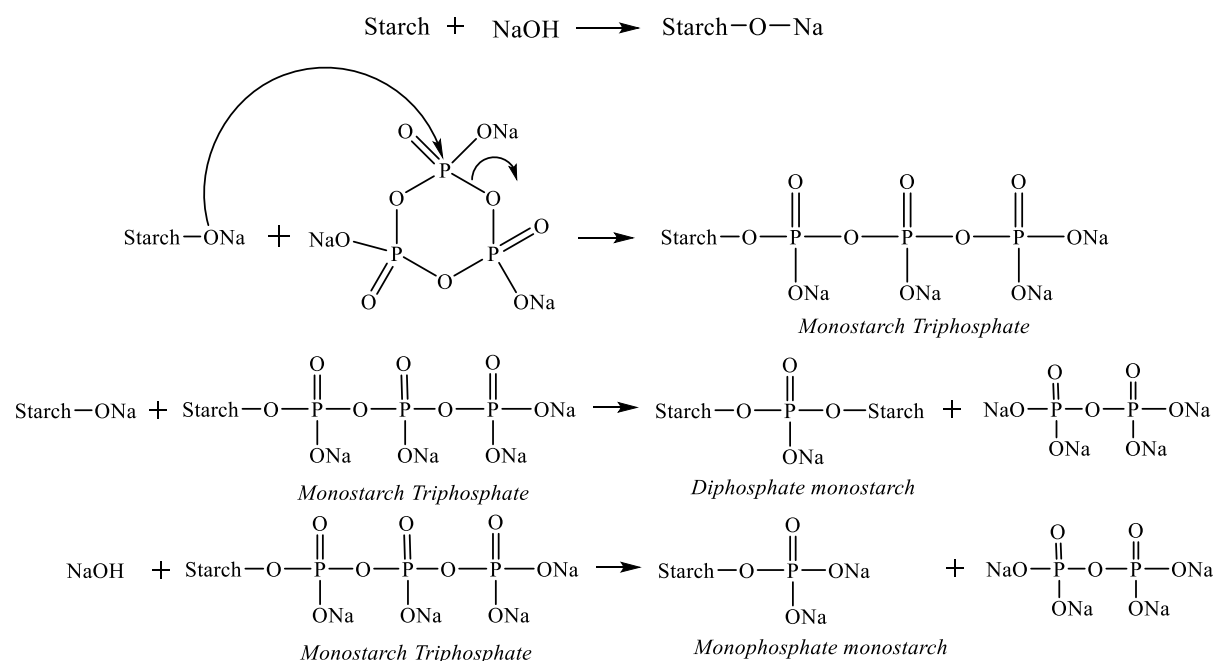
Reddy và cộng đã sử dụng pullulanase bẻ nhánh tinh bột đậu đỏ hồ hóa. Mẫu ban đầu chứa 21,3% RS, trong khi mẫu được bẻ nhánh trong 10 giờ có RS đạt mức 31,5%, sau đó tiếp tục xử lý bằng nồi hấp (121°C trong 30 phút) và thoái biến (4°C, 24 giờ) thấy RS mức cao hơn nữa ở mức 42,3% [27]. Ngoài ra nghiên cứu sử dụng pullulanase cũng đã thành công trong việc tăng mức RS của cả tinh bột sắn (từ 3%

lên đến 35%) và tinh bột khoai tây thông thường (từ 5% đến 48%) [28], tinh bột ngô thông thường đã hồ hóa trước (RS từ 7% lên 25,5%) [29].

1.2.4.3. Phương pháp este hóa tinh bột

Este hóa tinh bột dựa trên phản ứng của các nhóm -OH trong phân tử tinh bột với các gốc phosphate khi cho tinh bột phản ứng với các muối phosphate. Mức độ công kênh của gốc phosphate và khả năng tạo liên kết ngang qua gốc phosphat làm phân tử tinh bột sau este hóa trở nên công kênh, gây trở ngại về khả năng trương nở và không gian tiếp xúc khi tinh bột gặp enzyme tiêu hóa. Điều đó gây nên sự kháng enzyme cao.

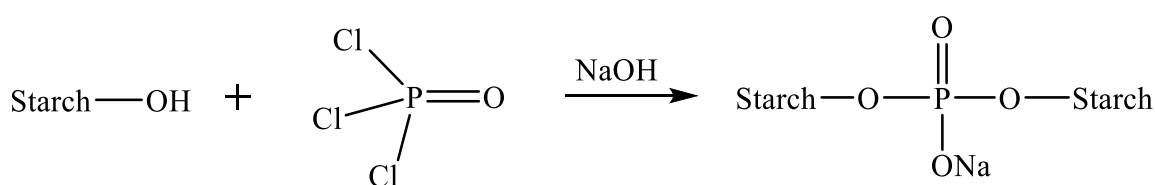
Phosphoryl hóa là một trong những phương pháp chủ yếu được sử dụng để tạo liên kết ngang tinh bột. Phản ứng este hóa với natri trimetaphotphat (STMP) và natri tripolyphosphate (STPP) tạo ra tinh bột một gốc phosphate (monophosphate monostarch), tinh bột hai gốc phosphate (diphosphate monostarch), và dạng hai tinh bột liên kết với một gốc phosphate (monophosphate distarch) [30]. Khi sử dụng POCl_3 , chỉ có dạng distarch monophosphate được hình thành [31]. Trong cả hai trường hợp, gốc phosphate vừa có thể tạo ra cản trở về không gian đối với các enzyme cũng như liên kết với các phân tử tinh bột liên kề bằng liên kết ngang. Tương tự, trong một số loại hạt tinh bột ngũ cốc thường có những kênh dẫn do cấu tạo xóp hiện diện sẽ dẫn dắt vào bên trên bề mặt hạt nhưng các liên kết ngang có thể ngăn α -amylase xâm nhập vào hạt. Các nghiên cứu cho thấy, phản ứng este hóa với STMP và STPP cho hàm lượng RS cao khi thực hiện trong môi trường kiềm (pH 11-12,5), tỷ lệ STMP:STPP là 99:1 và STMP là tác nhân phosphoryl hóa hiệu quả hơn STPP [32].



Hình 1.5. Phản ứng tạo liên kết ngang giữa tinh bột và natri tripolyphosphat

Bước đầu tiên của phản ứng phosphoryl hóa là sự mở vòng của tinh bột nhờ tác nhân STMP để tạo ra chất trung gian tripolyphosphate. Sau đó, ở pH 11-12,5, các ion OH^- hoặc St-O^- tấn công vào α -phosphorus của nhóm triphosphoryl để chỉ tạo thành monophosphate monostarch hoặc diphosphate monostarch.

Woo và Seib đã tạo tinh bột lúa mì giàu tinh bột kháng tiêu bằng quá trình phosphoryl hóa với hàm lượng STMP/STPP (99:1) và Na_2SO_4 là 12% và 10% so với tinh bột, quá trình xử lý diễn ra ở 45°C , pH 11.5 với thời gian khác nhau. Kết quả cho thấy khi tăng thời gian phản ứng, hàm lượng RS tăng từ 35,5% đến 66,1%, hàm lượng RDS và SDS giảm (RSD giảm từ 10,6% xuống 0%, SDS giảm từ 53,9% xuống 33,9%) [32].



Hình 1.6. Phản ứng tạo liên kết ngang giữa tinh bột và POCl_3

Tinh bột ngô được biến tính hóa học bằng quá trình tạo liên kết ngang với STMP/STPP (99:1 w/w) và các đặc tính lý hóa và sinh lý (in vitro và in vivo) của tinh bột ngô liên kết ngang đã được nghiên cứu bởi Koo và cộng sự [33]. Liên kết ngang làm giảm độ tan, khả năng trương nở và độ trong của tinh bột ngô. Khi chuột được cho ăn khẩu phần có chứa tinh bột ngô với mức độ liên kết ngang thấp (5% STMP/STPP) và cao (12% STMP/STPP) lần lượt là 51,3 và 99,1%, trọng lượng cơ thể bị ảnh hưởng đáng kể ($p < 0,05$). Ngoài ra, sự giảm đáng kể về tổng lượng lipid, triglycerid và cholesterol toàn phần trong huyết thanh được phát hiện ở nhóm sử dụng tinh bột biến tính với hàm lượng STMP/STPP là 5% và 12% (CLCS-5 và CLCS-12) ($p < 0,05$). Trong khi hàm lượng lipid tổng số trong gan giảm khi mức độ liên kết ngang tăng lên thì hàm lượng triglycerid không bị ảnh hưởng khi bổ sung cả hai mẫu tinh bột ngô CLCS-5 và CLCS-12.

Các mẫu tinh bột kháng tiêu RS4 được Shi và cộng sự tạo ra nhờ phản ứng tạo liên kết ngang giữa tinh bột đậu Hà Lan với hỗn hợp natri trimetaphosphate và natri tripolyphosphate hàm lượng khác nhau (99:1, w/w) [34]. Hàm lượng RS cao nhất (64%) đạt được khi xử lý tinh bột với 12% STMP/STPP ở 40°C trong 4 giờ. Độ hòa tan và khả năng trương nở của mẫu RS giảm đáng kể khi hàm lượng RS tăng. Tinh bột đậu ban đầu và tinh bột sau biến tính đều có cấu trúc tinh thể loại C, tuy nhiên, độ kết tinh của tinh bột biến tính cao hơn. Nhiệt độ hồ hóa của tinh bột liên kết ngang tăng lên, trong khi entanpy hồ hóa giảm nhẹ so với nhiệt độ hồ hóa tự nhiên. Liên kết

ngang đã thay đổi cấu trúc của các phân tử tinh bột bằng cách làm cho chúng nhỏ gọn hơn so với tinh bột tự nhiên.

Roselis và cộng sự đã nghiên cứu ảnh hưởng của tác nhân tạo liên kết ngang (STMP/STPP, POCl_3 và EPI) đến một số tính chất lý hóa, tính năng của tinh bột chuỗi sau quá trình xử lý. Khả năng trương nở (60°C) của tinh bột liên kết ngang cao hơn tinh bột ban đầu và giá trị cao nhất thu được ở tinh bột xử lý bằng STMP/STPP. Tuy nhiên, ở nhiệt độ cao hơn, khả năng trương nở của tinh bột liên kết ngang giảm khi nhiệt độ tăng (80°C), và sau đó giá trị này không đổi ($\text{POCl}_3 > \text{STMP/STPP} > \text{EPI}$). Tinh bột liên kết ngang với STMP/STPP cho thấy độ tan thấp nhất, sau đó là EPI, POCl_3 . Tinh bột liên kết ngang với POCl_3 cho thấy nhiệt độ ban đầu và nhiệt độ cực đại giảm nhẹ so với nhiệt độ ban đầu của nó, nhưng tinh bột được biến tính bằng STMP/STPP và EPI cho thấy sự gia tăng ở ba nhiệt độ chuyển tiếp, nhưng giảm giá trị entanpy (ΔH) [35].

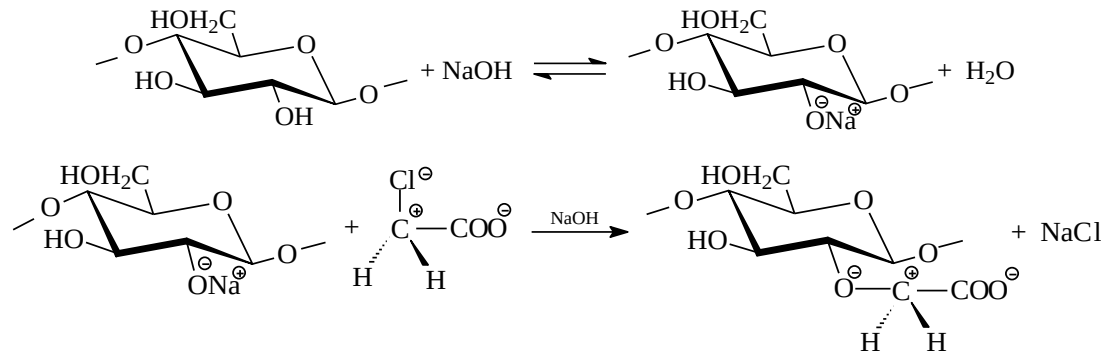
Ảnh hưởng của pH cao (9-12) đến hàm lượng RS của tinh bột lúa mì phosphoryl hóa đã được Sang và cộng sự nghiên cứu [36]. Kết quả cho thấy khi tăng giá trị pH từ 9 đến 11 thì hàm lượng RS thay đổi nhẹ từ 66,3% đến 68,7%, cao hơn nhiều so với tinh bột lúa mì tự nhiên ($\text{RS} = 3\%$). Tuy nhiên ở pH 12 tỷ lệ tiêu hóa tăng đột biến như hàm lượng RS giảm còn 62,7%.

Tinh bột lúa mì liên kết ngang với STMP và STPP được sử dụng làm bánh mì và bánh cookie ít đường có thể thay thế 50% bột mì trong nguyên liệu. Bánh mì chứa tinh bột biến tính có độ cứng cao hơn và ruột đặc hơn so với bánh mì được làm từ 100% bột mì. Đối với các loại cookie đường thấp, kết quả cho thấy không có sự thay đổi đáng kể về kết cấu. Tinh bột biến tính tồn tại tốt hơn quá trình nướng khi nó được sử dụng trong cookie. Hàm lượng RS trong bánh cookie và bánh mì có chứa tinh bột biến tính lần lượt là 106-113% và 35-54% [37].

1.2.4.4. Phản ứng ete hóa tinh bột

Phản ứng ete hóa của tinh bột với natri monocloaxetat (SMCA) hoặc monocloaxetic axit (MCA) trong sự có mặt của natri hydroxit (NaOH) nhằm tạo ra tinh bột có cấu trúc cồng kềnh, đồ sộ làm cản trở sự thủy phân của enzyme tiêu hóa.

Bước đầu tiên của carboxymethyl là kiềm hóa. Trong bước này, các nhóm hydroxyl ($-\text{OH}$) trên phân tử tinh bột được hoạt hóa và chuyển thành alkoxit hoạt hóa động hơn (StO^-). Phản ứng ete hóa xảy ra trong bước thứ hai của carboxymethyl.



Hình 1.7. Phản ứng carboxymethyl hóa giữa tinh bột và natri monocloaxetat

Tinh bột khoai tây carboxymethyl được tổng hợp bởi Liu và cộng sự [38] theo hai cách: xử lý không/có sự hỗ trợ vi sóng. Kết quả cho thấy, quá trình carboxymethyl trong lò vi sóng tạo ra tinh bột có độ thế (DS) cao hơn, DS dao động từ 0,3-0,32, trong khi đó, DS của tinh bột CMS không sử dụng lò vi sóng dao động từ 0,05-0,08. Khi DS tăng từ 0,05 lên 0,32 thì hàm lượng RS trong tinh bột biến tính cũng tăng từ 14,6% lên 20,4%, cao hơn nhiều so với tinh bột tự nhiên (10,8%).

Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu của Kittipongpatana và Kittipongpatana lại cho thấy quá trình carboxymethyl hóa làm giảm hàm lượng tinh bột kháng tiêu RS của tinh bột gạo, từ 4,7% xuống 0,2%. Nếu tinh bột carboxymethyl được tạo liên kết ngang với epichlorohydrin, hàm lượng RS của tinh bột có thể đạt 7,56% với hàm lượng epichlorohydrin sử dụng là 5% và hàm lượng RS giảm khi tăng hàm lượng epichlorohydrin [39].

1.2.5. Ứng dụng của tinh bột kháng tiêu trong chế biến thực phẩm [10]

1.2.5.1. Sản xuất bánh mì sinh đường thấp

Việc thay thế một phần bột mì bằng hỗn hợp tinh bột biến tính theo phương pháp xử lý nhiệt-ẩm (HMT) hoặc xử lý acid citric kết hợp xử lý nhiệt-ẩm (A-HMT) và gluten (tỷ lệ 9:1, w/w) trong quá trình sản xuất bánh mì làm giảm độ trương nở, độ nhớt cực đại, và mức chênh lệch giảm độ nhớt của hỗn hợp bột, nhưng lại làm tăng khả năng hấp thụ nước, nhiệt độ hồ hóa, độ nhớt cuối và mức chênh lệch tăng độ nhớt của hỗn hợp bột. Mặc dù bánh mì được bổ sung tinh bột biến tính và gluten có thể tích riêng thấp hơn và giá trị độ cứng, độ kết tinh cao hơn so với bánh mì làm từ 100% bột mì, nhưng bánh mì thay thế bằng tinh bột biến tính vẫn có thể chấp nhận được về mặt cảm quan. Thêm vào đó, việc thay thế 20% bột mì bằng tinh bột biến tính trong quá trình chế biến bánh mì giúp tăng khả năng kháng tiêu hóa, giảm lượng đường huyết sinh ra trong máu cũng như chỉ số đường huyết của sản phẩm.

Bảng 1.3. Chỉ số đường huyết của bánh mì sinh đường thấp

Mẫu bánh mì	RS (%)	Chỉ số đường huyết (%)
100% bột mì	12,3-13,7	99-100
20% tinh bột sắn	20,7-22,5	90-92
20% tinh bột sắn HMT	26,9-28,7	81-83
20% tinh bột sắn A-HMT	31,4-32,6	71-73
20% tinh bột khoai tây	23,1-23,7	94-96
20% tinh bột khoai tây HMT	26,9-30,7	88-90
20% tinh bột khoai tây A-HMT	30,3-33,5	72-75
20% tinh bột khoai lang HMT	19,4-22,0	92-95
20% tinh bột khoai lang A-HMT	32,1-35,3	66-69

Tinh bột sắn, tinh bột khoai tây và tinh bột khoai lang đã được nghiên cứu, biến tính nhằm tăng hàm lượng tinh bột kháng tiêu cũng như ứng dụng vào sản xuất bánh mì sinh đường thấp.

1.2.5.2. Sản xuất mì sợi

Việc thay thế một phần bột mì bằng tinh bột xử lý HMT hoặc A-HMT trong quá trình chế biến mì sợi làm giảm thời gian nấu chín mì, nhưng lại làm tăng lượng chất khô hòa tan của sợi mì. Mặc dù mì sợi được bổ sung tinh bột biến tính có độ trương nở thấp hơn, dễ bị đứt gãy hơn so với mì sợi làm từ 100% bột mì nhưng về mặt cảm quan thì sợi mì có chứa tinh bột biến tính vẫn được chấp nhận. Thêm vào đó, việc bổ sung tinh bột xử lý HMT hoặc A-HMT thay thế bột mì trong quá trình làm mì sợi giúp tăng hàm lượng tinh bột kháng tiêu hóa trong mì sợi, làm giảm lượng đường huyết trong máu sau khi tiêu hóa và chỉ số đường huyết của sản phẩm mì ở mức trung bình.

Tinh bột sắn và tinh bột khoai lang được xử lý HMT hoặc A-HMT có thể thay thế 20% bột mì trong quá trình làm mì sợi đã được nghiên cứu. Kết quả cho thấy, hàm lượng RS tăng từ 13% (mì sợi 100% bột mì) lên 32,9-39,9 (mì sợi chứa 20% tinh bột biến tính), khi đó, chỉ số đường huyết giảm còn 59-65%.

1.2.5.3. Sản xuất bánh cookie sinh đường thấp

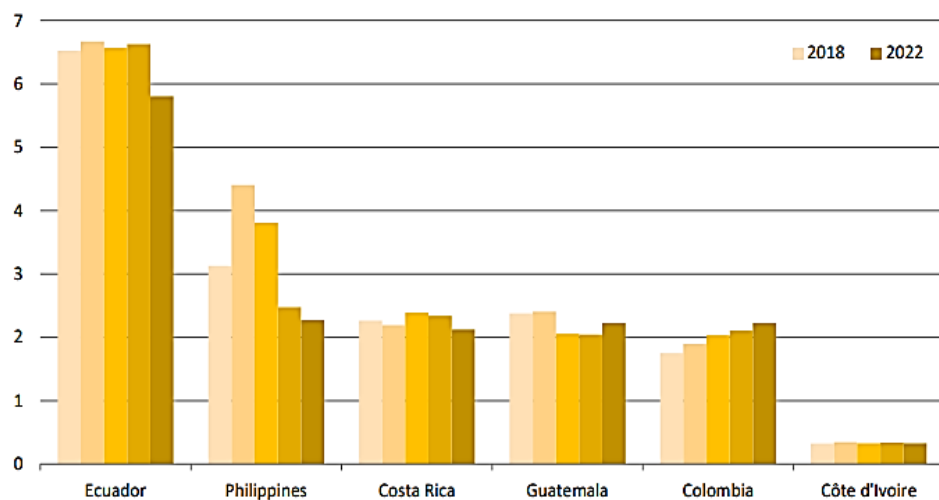
Nghiên cứu ứng dụng các loại tinh bột khoai lang, tinh bột sắn trong sản xuất bánh cookie cho thấy tỷ lệ tinh bột biến tính bổ sung thay thế bột mì trong sản xuất bánh cookie là 20% giúp chất lượng cảm quan của bánh ít thay đổi, đặc biệt, hàm lượng tinh bột kháng tiêu tăng, chỉ số đường huyết trong máu và chỉ số đường huyết in vivo của sản phẩm giảm, phù hợp cho những người béo phì, tiểu đường... Hàm lượng RS trong bánh cookie được làm từ 100% bột mì chiếm khoảng 8-10%. Việc thay thế 20% bột mì bằng tinh bột khoai lang HMT, A-HMT và tinh bột sắn A-HMT giúp tăng hàm lượng RS với giá trị RS lần lượt là 18.4, 25.4 và 31.3%.

Phương pháp xử lý HMT và phương pháp A-HMT là hai phương pháp được sử dụng nhiều nhất để biến tính tinh bột nhằm ứng dụng vào sản xuất thực phẩm bảo vệ sức khỏe.

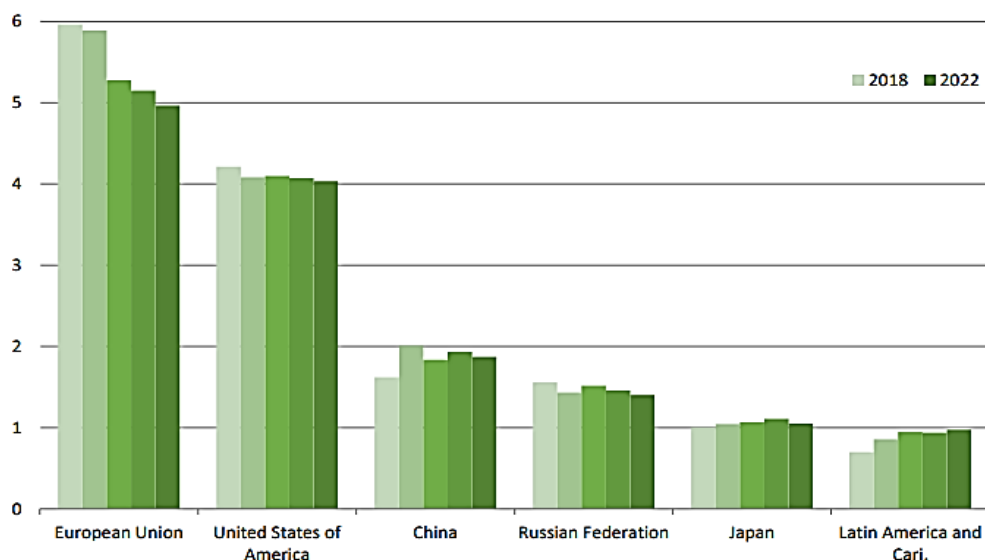
1.3. Chuối xanh và tinh bột chuối xanh

1.3.1. Tình hình sản xuất chuối

Cây chuối có tên khoa học là *Musa spp.*, thuộc chi *Musa*, họ *Musaceae*. Theo Tổ chức Lương thực và Nông nghiệp Liên Hợp Quốc (FAO), trên thế giới có khoảng 1000 giống chuối khác nhau [40], được trồng ở ít nhất 107 quốc gia và chủ yếu ở các nước đang phát triển có khí hậu nhiệt đới thuộc châu Á, châu Mỹ và châu Phi.



Hình 1.8. Sản lượng xuất khẩu chuối của một số nước trên thế giới giai đoạn 2018–2022, đơn vị triệu tấn [41]



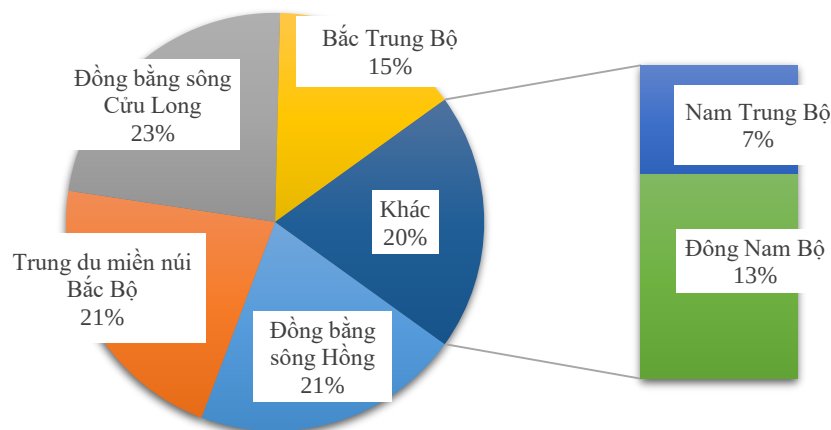
Hình 1.9. Sản lượng nhập khẩu chuối của một số nước trên thế giới giai đoạn 2018–2022, đơn vị triệu tấn [41]

Năm 2022, tổng lượng xuất khẩu khoảng 19,1 triệu tấn, trong đó Ecuador là nước xuất khẩu chuối lớn nhất thế giới đã xuất khẩu khoảng 5,8 triệu tấn, đứng thứ hai là Philippines với sản lượng chuối xuất khẩu đạt 2,3 triệu tấn. Costa Rica là nước xuất khẩu lớn thứ ba thế giới, sản lượng xuất khẩu đạt khoảng 2,1 triệu tấn, tiếp theo là các nước Guatemala, Colombia và Bờ Biển Ngà [41].

Về nhập khẩu, năm 2022, tổng sản lượng chuối nhập khẩu trên toàn cầu đạt 18,6 triệu tấn. Năm 2022, Liên minh châu Âu nhập khẩu với sản lượng cao nhất (5,8 triệu tấn), tiếp theo là Hoa Kỳ (4 triệu tấn), Trung Quốc (3,2 triệu tấn) [41].

Vì chuối là loại cây ăn quả ngắn ngày, dễ trồng, cho sản lượng cao, trung bình có thể đạt năng suất 20-30 tấn/ha nên nó đặc biệt có ý nghĩa ở một số quốc gia kém phát triển và thu nhập thấp, thiếu lương thực, chuối có thể đóng góp không chỉ cho an ninh lương thực hộ gia đình như một mặt hàng chủ lực mà còn tạo thu nhập như một loại cây trồng hàng hóa.

Ở Việt Nam, chuối được trồng đại trà ở tất cả các tỉnh, đặc biệt là những nơi có điều kiện thổ nhưỡng khó khăn, đất vườn đồi, đất rừng, chuối đóng vai trò là cây chủ lực. Theo thống kê của Cục trồng trọt (Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn), hiện nay, cả nước có khoảng 154.200 ha trồng chuối với sản lượng 2,3 triệu tấn mỗi năm. Chuối là loại trái cây cho thu hoạch quanh năm và đã trở thành sản phẩm xuất khẩu thế mạnh của ngành rau quả Việt Nam. Năm 2022, giá trị xuất khẩu chuối tươi của Việt Nam đạt 310,6 triệu USD, tăng 34,5% so với năm 2021. Xuất khẩu chuối đã vượt qua xoài để trở thành loại trái cây có kim ngạch lớn thứ 2, chỉ sau thanh long. Ngoài thị trường Trung Quốc, Việt Nam cũng đang xuất khẩu chuối sang Singapore, Malaysia, Trung Đông, Nga.



Hình 1.10. Cơ cấu diện tích trồng chuối tại các vùng ở Việt Nam năm 2022

Theo đề án “Phát triển cây ăn quả chủ lực đến năm 2025-2030” (số 4085/QĐ-BNN-TT), định hướng tăng diện tích trồng chuối đạt khoảng 165.000-175.000 ha với sản lượng 2,6-3 triệu tấn. Các tỉnh sản xuất chuối trọng điểm: Vùng đồng bằng sông

Hồng (Hà Nội, Hưng Yên), vùng trung du miền núi phía Bắc (Sơn La, Phú Thọ, Lai Châu), vùng Bắc Trung bộ (Thanh Hóa, Nghệ An, Quảng Trị), vùng Nam Trung bộ (Quảng Nam, Phú Yên, Khánh Hòa), vùng Đông Nam bộ (Đồng Nai), Tây Nguyên (Gia Lai) và vùng đồng bằng sông Cửu Long (Tiền Giang, Trà Vinh, Kiên Giang, Sóc Trăng, Cà Mau).

Các giống chuối ở Việt Nam khá đa dạng và có sự khác nhau giữa các vùng, miền. Tuy nhiên, các giống chuối được trồng phổ biến thuộc nhóm chuối tiêu, chuối tây, chuối ngự và chuối bom. Ngoài ra vẫn còn một số giống chuối khác nhưng diện tích trồng nhỏ như chuối sáp, chuối cau.

Chuối tiêu thuộc phân nhóm Cavendish, của họ chuối Musaceae, là giống chuối được trồng phổ biến nhất ở nước ta, đặc biệt ở các vùng đồng bằng sông Hồng, đồng bằng sông Cửu Long với năng suất trung bình có thể đạt 12-15 tấn/ha, giống chuối này sinh trưởng khỏe và có thể trồng quanh năm. Quả chuối có vị thơm ngon, ngọt và chắc, thích hợp cho xuất khẩu quả tươi. Đặc biệt, chuối tiêu là loại trái cây thích hợp với mọi người, mọi lứa tuổi, có nhiều chất dinh dưỡng rất cần thiết cho trẻ em, người cao tuổi và những người lao động thể lực nặng nhọc cần bồi dưỡng sức khỏe. Không chỉ là thực phẩm dinh dưỡng, trong đông y chuối tiêu còn dùng làm thuốc chữa bệnh. Khi làm thuốc dùng cả xanh, chín có thể dùng tươi, phơi hay sấy khô. Theo Đông y, chuối tiêu vị ngọt, tính lạnh. Có tác dụng tư âm, nhuận tràng, nhuận phế, thanh nhiệt. Dùng chữa táo bón, hỗ trợ điều trị tăng huyết áp, phòng và chữa viêm loét dạ dày...

1.3.2. Thành phần hóa học của quả chuối

Chuối là nguồn cung cấp nhiều chất dinh dưỡng cần thiết cho sức khỏe tốt như tinh bột, đường, chất béo, vitamin C, vitamin B6, khoáng chất (kali, magie...). Tuy nhiên, hàm lượng các dinh dưỡng của quả chuối sẽ thay đổi qua các giai đoạn trưởng thành khác nhau, đặc biệt là hàm lượng đường và tinh bột.

Carbohydrate là thành phần chính của quả chuối xanh và chiếm khoảng 20% lượng quả trên cơ sở tiêu thụ, tương đương với 80% trọng lượng khô, bao gồm tinh bột (chủ yếu) và các polysaccharide không chứa tinh bột (NSP) (ví dụ, hemicellulose, pectin, cellulose). Hàm lượng tinh bột trong chuối thay đổi từ khoảng 21 g/100 g ở quả chưa chín đến khoảng 1 g/100 g ở quả chín hoàn toàn [42] do tinh bột chuyển hóa thành đường, dẫn đến kết cấu mềm hơn và vị ngọt đặc trưng của chuối chín.

Chuối xanh rất giàu chất xơ (> 3%) và tinh bột RS (>17%) [43], vì vậy chuối xanh có thể làm giảm lượng đường trong máu sau khi ăn và giảm các cảm giác thèm ăn bằng cách làm chậm quá trình làm rỗng dạ dày, giúp cải thiện hệ tiêu hóa, phòng

ngừa ung thư đại tràng, tiểu đường, béo phì... Tuy nhiên, cũng giống như tinh bột, hàm lượng chất xơ và RS sẽ giảm dần trong quá trình chuối chín.

Bảng 1.4. Thành phần hóa học chính của chuối có độ chín khác nhau [42]

Thành phần (g/100g)	Các giai đoạn trong quá trình chín của quả chuối				
	<i>Xanh</i>	<i>Ương</i>	<i>Vừa chín</i>	<i>Chín</i>	<i>Quá chín</i>
Tinh bột	21,2	12,0	5,8	1,9	0,8
Chất xơ	3,2	2,7	2,5	2,5	1,9
Đường	1,3	9,0	14,4	17,2	16,2
Chất béo	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Độ ẩm	71,9	73,2	74,0	75,1	76,1

Không chỉ vậy, chuối là nguồn cung cấp kali, vitamin B6 và vitamin C quan trọng. Trong 100g chuối có chứa khoảng 320-370 mg kali, 11-13 mg vitamin C và 0.2-0.3 mg vitamin B6. Một chế độ ăn nhiều kali, vitamin B6 và vitamin C có thể giúp giảm huyết áp ở những người có mức huyết áp tăng cao, có lợi cho sức khỏe của tim, thận, tăng cường hệ miễn dịch, giảm tình trạng căng thẳng...

1.3.3. Tinh bột chuối xanh

Chuối ở giai đoạn xanh trưởng thành là nguồn cung cấp tinh bột dồi dào. Cùi chuối xanh chứa tới 70–80% tinh bột tính theo trọng lượng khô. Quá trình nghiền ướt thích hợp để tách tinh bột chuối do hàm lượng tạp chất thấp. Một số kỹ thuật tách tinh bột đã được báo cáo, chẳng hạn như chiết xuất kiềm và không kiềm [43].

Thành phần hóa học của tinh bột chuối xanh sẽ phụ thuộc vào giống chuối, kỹ thuật canh tác và điều kiện [44]. Tinh bột chiết xuất từ chuối xanh có độ ẩm 6,83-14,00% và tro 0,03-2,08%. Nó cũng chứa lần lượt 0,01-2,46% và 0,17-2,16% lipid và protein. Tổng lượng tinh bột dao động từ 69,39% đến 98,10%. Hàm lượng chất xơ thô và amylose của tinh bột chuối lần lượt là 0,18-0,047% và 13,36-42,07%.

Bảng 1.5. Thành phần hóa học của tinh bột từ các giống chuối khác nhau

Giống chuối	Độ ẩm (%)	Tro (%)	Lipid (%)	Protein (%)	Tổng lượng tinh bột (%)	Chất xơ (%)	Amylose (%)
<i>Musa AAB</i>	12,30	0,09	-	0,44	90,08	-	37,88
<i>Cavendish</i>	-	0,09	0,09	0,34	99,5	-	26,5
<i>Kluai Khai var.</i>	7,83	0,05	0,03	0,17	-	-	20,32
<i>Enano var.</i>	7,03	1,43	0,73	0,92	-	-	25,38
<i>Terra var.</i>	8,00	0,03	0,02	0,97	94,80	0,28	35,00
<i>Kepok var.</i>	6,83	-	0,06	1,01	82,69	-	40,88

<i>Ambon var.</i>	7,98	-	0,05	1,25	81,64	-	32,56
<i>Agbaba var</i>	11,20	0,62	0,44	2,53	63,90	0,72	38,79
<i>Cadaba var.</i>	12,86	0,29	-	-	-	-	30,66
<i>Sevvazhai var.</i>	11,18	1,68	0,23	1,15	89,62	-	32,05
<i>Morado var.</i>	8,75	1,17	0,73	0,83	-	-	21,99
<i>Namwa var.</i>	7,16	0,05	0,12	0,20	-	-	28,03
<i>Kapas var.</i>	8,92	-	0,24	0,96	90,02	-	38,63

Về hình thái, nhưng cũng có hạt hình tròn, hình cầu [43]. Marta và cộng sự. [45] báo cáo rằng hình dạng thon dài chủ yếu được tìm thấy trong hạt của các giống Kapas, trong khi hình dạng tròn chủ yếu được tìm thấy trong hạt của các giống Kepok, Ambon và Nangka.

Kích thước hạt của tinh bột chuối phụ thuộc vào giống và trạng thái chín, dao động trung bình từ 20 đến 60 μm . Kích thước hạt của tinh bột chuối lớn hơn các loại tinh bột khác, chẳng hạn như tinh bột lúa mì (2-20 μm) và tinh bột lúa miến [43]. Sự phân bố kích thước hạt sẽ ảnh hưởng đến các đặc tính lý hóa cũng như khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh [43, 44].

Về cấu trúc kết tinh, một số nghiên cứu cho thấy tùy thuộc vào giống chuối, điều kiện sinh trưởng, kỹ thuật chiết tách, cấu trúc tinh bột chuối xanh có cả 3 kiểu kết tinh: dạng B, dạng C và loại A. Độ kết tinh của tinh bột chuối cũng thay đổi từ 21 đến 39%, tùy thuộc vào giống chuối, độ kết tinh tỷ lệ nghịch với hàm lượng amylose [44].

Tính chất nhiệt của tinh bột chuối rất đa dạng. Nhiệt độ bắt đầu hồ hóa (T_0) khoảng 57,33-62,51°C, nhiệt độ đỉnh (T_p) khoảng 60,64-65,17°C, nhiệt độ kết thúc (T_c) khoảng 66,02-69,74°C, và entanpy hồ hóa dao động ΔH , 11,18-13,85 J/g, tùy thuộc vào từng giống khác nhau. Giá trị ΔH tỉ lệ nghịch với hàm lượng amylose, kích thước hạt và độ kết tinh [43].

Tương tự như các loại tinh bột khác, tính năng của tinh bột chuối xanh được xác định thông qua khả năng trương nở (SP), độ hòa tan (WSI), khả năng hấp thụ nước (WAC), khả năng hấp thụ dầu (OAC) và độ bền lạnh đông-tan giá (FTS). SP và WSI của tinh bột chuối ở 85°C dao động từ 11.27-12.48 g/g và 2.50-4.40%. Giá trị SP và WSI của tinh bột chuối thấp hơn so với tinh bột ngô, tinh bột sắn, cho thấy cấu trúc tinh bột chuối có sự trật tự, chặt chẽ hơn, ngoài ra có thể do hàm lượng amylose của tinh bột chuối cao hơn, vì amylose đóng vai trò quan trọng trong việc hạn chế sự hấp thụ nước và giãn nở của tinh bột [63]. Tinh bột chuối cũng có độ bền đông lạnh-tan giá tương đối thấp, được biểu thị bằng lượng nước thoát ra sau mỗi chu kỳ lạnh đông-tan giá cao, từ 12,16-44,40%. Khả năng hấp thụ dầu và nước của tinh bột chuối xanh lần lượt là 130,45-251% và 136,77-194,05% [43].

Một tính chất quan trọng giúp tinh bột chuối ngày càng được quan tâm rộng rãi chính là khả năng tiêu hóa. Như đã biết, quá trình tiêu hóa hạt tinh bột là một quá trình phức tạp, bao gồm nhiều giai đoạn khác nhau: sự khuếch tán của enzyme về phía cơ chất dưới tác động của độ xốp cơ chất, sự hấp phụ của enzyme trên vật liệu chứa tinh bột và các hiện tượng thủy phân. Quá trình thủy phân tinh bột cũng bị ảnh hưởng bởi độ kết tinh và tính chất bề mặt hạt của tinh bột tự nhiên. Nồng độ glucose trong máu tăng sau khi ăn thực phẩm chứa nhiều tinh bột là do quá trình thủy phân tinh bột ở đường tiêu hóa, đặc biệt là maltose, maltotriose và dextrin. Dựa vào thời gian tiêu hóa tinh bột trong quá trình tiêu hóa của con người, tinh bột có thể được phân loại thành tinh bột tiêu hóa nhanh, tinh bột tiêu hóa chậm và tinh bột kháng tiêu. Tinh bột tiêu hóa nhanh làm tăng lượng đường trong máu ngay sau khi tiêu thụ, trong khi tinh bột tiêu hóa chậm sẽ được tiêu hóa hoàn toàn ở ruột non với tốc độ chậm hơn tinh bột tiêu hóa nhanh. Tinh bột kháng tiêu không được tiêu hóa thêm ở ruột non nhưng có thể lên men ở ruột già thành axit béo mạch ngắn.

Tinh bột chuối tự nhiên có khả năng tiêu hóa thấp với hàm lượng RS dao động từ 65,3% đến 98,98%, cao hơn nhiều nếu so sánh với tinh bột từ lúa mì, kê ngọc trai và tinh bột gạo [43].

Bảng 1.6. Đặc tính tiêu hóa của tinh bột chuối xanh

<i>Giống chuối</i>	<i>RDS (%)</i>	<i>SDS (%)</i>	<i>RS (%)</i>
<i>Musa ABB Pisang Awak</i>	3,03	4,81	92,16
<i>Musa AAA Cavendish</i>	8,19	6,61	85,20
<i>Musa Dwarf Red</i>	2,34	12,12	85,54
Kapas	0,43	0,59	98,98
<i>Musa coccinea</i>	7,31	14,72	77,97
Williams	8,32	6,41	85,26
Macho	1,3	6,8	91,9
Enano	5,8	4,4	89,9
Valery	7,2	4,7	88,1
Morado	16,6	18,1	65,3

Hơn nữa, Toutounji và cộng sự [46] cho rằng khả năng tiêu hóa của tinh bột tự nhiên liên quan đến độ kết tinh, cũng có thể bị ảnh hưởng bởi hình thái hạt và đặc điểm bề mặt hạt của chúng (ví dụ, độ mịn của bề mặt hạt). Marta và cộng sự. [47] báo cáo rằng tinh bột chuối có bề mặt nhẵn, tức là không có vết nứt hoặc lỗ chân lông trên bề mặt hạt của nó. Đặc điểm này của bề mặt hạt có thể giải thích khả năng kháng enzyme tiêu hóa của chúng. Nó sẽ gây ra cơ chế tiêu hóa gọi là “exo-pitting”, nghĩa

là enzyme sẽ tiêu hóa tinh bột từ bên ngoài vì bề mặt không thấm amylose. Các lỗ rỗng xuất hiện tự nhiên trên bề mặt hạt tinh bột có thể làm tăng diện tích bề mặt hiệu quả để hình thành các phức hợp enzyme-cơ chất lớn hơn, khiến tốc độ tiêu hóa tinh bột bằng enzyme nhanh hơn [43].

Thực tế, tinh bột chuối xanh có thể là nguyên liệu mới mẻ nhưng bột chuối xanh lại là nguyên liệu khá phổ biến và đang có xu hướng tăng dần ở trên thế giới. Ở Ấn Độ, bột chuối xanh được trộn vào thức ăn dặm hoặc cháo của trẻ sơ sinh, trẻ nhỏ, sử dụng như một nguyên liệu để làm bánh crepe, bánh quế, bánh mì hoặc bánh ngọt. Vì tinh bột chuối xanh giàu khoáng chất có lợi nên các sản phẩm sử dụng thường xuyên ở giai đoạn trong và sau thời kỳ mang thai. Nó cũng được dùng ở châu Phi, Jamaica như nguyên liệu thay thế rẻ hơn cho bột mì. Người dân Tây Phi, Đông Nam Á, các nước Nam và Trung Mỹ đã sử dụng bột chuối xanh trong nhiều thế kỷ và độ phổ biến của nó đang tăng vọt.

1.3.4. Một số nghiên cứu tạo tinh bột kháng tiêu từ tinh bột chuối xanh

Mặc dù hàm lượng RS trong tinh bột chuối khá cao nhưng trong quá trình sử dụng, chế biến ở nhiệt độ cao, khả năng kháng thủy phân đối với các enzyme bị mất đi, và tinh bột tự nhiên cũng bị hạn chế ở nhiều tính chất như độ tan, độ trương, độ bền lạnh đông-tan giá... Vì vậy, để nâng cao giá trị dinh dưỡng cũng như khả năng ứng dụng, các nhà khoa học đã và đang tiến hành nghiên cứu biến tính tinh bột chuối xanh.

Remya và cộng sự đã nghiên cứu ảnh hưởng của acid citric đến tính chất lý hóa và sự hình thành tinh bột kháng tiêu của tinh bột chuối [48]. Sự tấn công của acid citric khiến bề mặt hạt tinh bột xuất hiện những vết nứt, gồ ghề và kết tụ nhỏ. Cấu trúc kết tinh vẫn duy trì dạng C, tuy nhiên cường độ nhiễu xạ của tinh bột chuối sau xử lý đã giảm so với tinh bột tự nhiên. Sau quá trình xử lý, hàm lượng RS và SDS tăng lên, còn hàm lượng RDS giảm đi do các nhóm thay thế đã làm thay đổi cấu trúc tinh bột, cản trở sự tấn công của enzyme. Ngoài ra, acid citric làm tinh bột có độ trương nở thấp hơn, tuy nhiên khả năng liên kết với nước lại tăng lên so với tinh bột ban đầu.

Hàm lượng RDS, SDS và RS của tinh bột chuối xanh lần lượt là 5,84, 4,89 và 89,27%. Xử lý thủy nhiệt (HMT, ANN và HMT-ANN) đã làm thay đổi khả năng tiêu hóa in vitro của tinh bột, trong đó, RDS tăng lên 8-31%, SDS tăng lên 14,27-34,51%, RS giảm xuống còn 34,49-75,76%. Quá trình HMT làm tăng RDS và SDS nhiều nhất, sau đó đến quá trình HMT-ANN và ANN, chứng tỏ ANN khiến cấu trúc hạt chặt chẽ hơn, enzyme α -amylase khó tiếp cận để thủy phân tinh bột [21].

Các đặc tính hóa lý của tinh bột kháng tiêu (RS) trong tinh bột chuối xanh sau khi xử lý nhiệt ẩm với sự có mặt của axit citric (AHMT) ở các nhiệt độ khác nhau đã được Wu và cộng sự nghiên cứu [49]. Kết quả cho thấy, quá trình xử lý AHMT ở 90°C tạo ra tinh bột có độ ổn định nhiệt cao (nhiệt độ hồ hóa tăng từ 66,26-78,89°C lên 81,48-92,11°C), khả năng hòa tan tăng lên 27.9 lần, khả năng trương nở giảm 57,7%. Quá trình này cũng làm cấu trúc tinh thể của tinh bột chuối chuyển từ loại B sang loại A. Ngay cả sau khi đun sôi 30 phút, tỷ lệ RS còn lại trong mẫu AHMT ở 90°C vẫn lên tới 50%, cao hơn 4,3 lần so với đối chứng. Những con chuột được cho ăn tinh bột chuối AHMT có tổng lượng chất béo nội tạng thấp hơn đáng kể ($p < 0,05$) (-18,1%).

Biến tính tinh bột chuối bằng enzyme, xử lý HMT và biến tính kép enzyme-HMT có tác động đến đặc tính tiêu hóa (RS, SDS) và chức năng của tinh bột. MA Garofalo và cộng sự [50] thấy rằng HMT và biến tính kép làm giảm RS (từ 44,62 g/100 g xuống 16,62 và 26,66 g/100 g) và tăng SDS (từ 21,72 g/100 g lên 33,91 và 26,95 g/100 g) trong tinh bột dạng thô, tuy nhiên lại giúp tăng cường RS (từ 3,10 g/100 g lên 3,94 và 4,4 g/100 g) và SDS (từ 2,58 g/100 g lên 9,58 và 11,48 g/100 g) trong tinh bột hồ hóa. Ngoài ra, những thay đổi về tính năng của tinh bột cũng được chứng minh, chẳng hạn như gel yếu hơn (độ cứng < 41 g), độ hấp thụ nước thấp hơn (<12,35 g/g), độ tan tinh bột cao (>1,77 g/100 g) và nhiệt độ hồ hóa tăng.

Kết quả của Páramo-Calderón và cộng sự [51] cho thấy, biến tính tinh bột chuối xanh bằng tác nhân liên kết ngang natri trimetaphosphate (STMP) giúp tăng hàm lượng tinh bột kháng tiêu (RS) từ 26,06-28,00% lên 76,63-78,27% và giảm tinh bột tiêu hóa nhanh (RDS) từ 58,18-63,83% xuống 8,85-9,25%. Đặc tính trương nở và độ tan giảm đáng kể sau quá trình tạo liên kết ngang, nguyên nhân là do trật tự của cấu trúc hạt bên trong tăng lên do sự quá trình liên kết ngang gây ra. Nhiệt độ hồ hóa và entanpy tăng do hình thành liên kết ngang, cho thấy sự cải thiện độ ổn định của hạt tinh bột.

Enzym amylopullulanase đã được Das và cộng sự sử dụng để biến tính bột chuối xanh theo phương pháp enzyme kết hợp phương pháp ANN [52]. Hàm lượng RS có thể tăng từ 38.5% lên 68.99% khi ủ bột chuối với enzyme (hàm lượng enzyme 7%, v/v) (0,04 IU/g amylase; 0,01 IU/g pullulanase), thời gian ủ 240 phút, tỷ lệ tinh bột:nước là 1:7 (g/mL). Trong khi đó, hàm lượng RDS và SDS giảm từ 21,66% xuống 11,36% và từ 39,82% xuống 19,65%. Sau quá trình biến tính, cấu trúc tinh bột trở nên chặt chẽ hơn, điều này được phản ánh bằng việc tăng chỉ số kết tinh lên 8,51% so với tinh bột ban đầu, nhiệt độ hồ hóa tăng từ 92-95°C lên 103-106°C làm cho bột biến tính bền nhiệt.

Tinh bột chuối sau khi tách nhánh và thoái biến đã được Hung và cộng sự nghiên cứu [53]. Kết quả cho thấy, tinh bột biến tính theo hai phương pháp đều có cấu trúc tinh thể loại B với hàm lượng tinh bột kháng được cải thiện đáng kể. Tinh bột chuối tự nhiên có chứa 11,2% RS, trong khi tinh bột phân nhánh và thoái biến có lượng RS cao hơn đáng kể (31,8-48,1%). Nhờ đó, hai loại tinh bột biến tính này có thể được sử dụng làm thực phẩm chức năng với hàm lượng tinh bột kháng tiêu cao.

Sau khi trình bày cơ sở lý thuyết về tinh bột, tinh bột kháng tiêu, các phương pháp biến tính tạo tinh bột kháng tiêu cũng như giới thiệu về tinh bột chuối xanh có thể thấy rằng tinh bột kháng tiêu rất có lợi cho sức khỏe con người, giúp giảm đường huyết trong máu, hỗ trợ điều trị bệnh đái tháo đường hiệu quả. Phương pháp xử lý nhiệt-ẩm và phương pháp phosphoryl hóa tạo liên kết ngang là hai trong số các phương pháp hiệu quả nhất giúp tăng hàm lượng tinh bột kháng tiêu trong tinh bột tự nhiên. Và chuối xanh đang là nguồn nguyên liệu tinh bột ít phổ biến có nhiều tiềm năng, có thể là nguồn tinh bột dùng trong thực phẩm thay thế các loại tinh bột truyền thống nhằm đảm bảo vấn đề an ninh lương thực.

Luận văn sẽ tiến hành nghiên cứu một cách có hệ thống quá trình tách, biến tính tinh bột chuối xanh theo các nội dung cụ thể như sau:

- *Phân tích đặc trưng lý hóa, tính năng và khả năng tiêu hóa của tinh bột được tách từ chuối xanh.*
- *Nghiên cứu biến tính tinh bột chuối xanh bằng phương pháp xử lý nhiệt-ẩm (HMT).*
- *Nghiên cứu biến tính tinh bột chuối xanh bằng phương pháp phosphoryl hóa.*
- *Nghiên cứu ứng dụng tinh bột kháng tiêu trong chế biến mì sợi hỗ trợ điều trị đái tháo đường.*

CHƯƠNG 2. THỰC NGHIỆM

2.1. Nguyên liệu, hóa chất, dụng cụ và thiết bị nghiên cứu

2.1.1. Nguyên liệu, hóa chất

2.1.1.1. Nguyên liệu

- Chuối tiêu xanh (tên khoa học là *Musa spp.*) (khoảng 80-90 ngày sau trổ hoa) được thu mua tại các vùng trồng chuối ở Phú Thọ.

- Bột mỳ đa dụng Hoa Ngọc Lan (Công ty TNHH Chế biến Bột mỳ Mê Kông).
- Bột gạo Tám.
- Muối ăn.
- Dầu hướng dương Simply nguyên chất.

2.1.1.2. Hóa chất

- Sodium bisulfite (NaHSO_3), $M = 104,06 \text{ g/mol}$; $d = 1,48 \text{ g/cm}^3$ (Trung Quốc).
- Sodium sulfate (Na_2SO_4), $M = 142,04 \text{ g/mol}$, độ tinh khiết $\geq 99 \%$, (Trung Quốc).
- Sodium carbonate (Na_2CO_3), $M = 105,99 \text{ g/mol}$, độ tinh khiết $\geq 99.8 \%$, (Trung Quốc).
- Sodium tripolyphosphat (STPP), $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$, $M = 367,86 \text{ g/mol}$ (Trung Quốc).
- Trisodium trimetaphosphat (STMP), $(\text{NaPO}_3)_3$, $M = 305,89 \text{ g/mol}$, độ tinh khiết 95% (Macklin).
- Acid hydrochloric (HCl), $M = 36,46 \text{ g/mol}$, nồng độ 35% (Trung Quốc).
- Acid sunfuric (H_2SO_4), $M = 98,08 \text{ g/mol}$, nồng độ 98% (Trung Quốc).
- Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$): $M = 46,07 \text{ g/mol}$, độ tinh khiết 99,7% (Trung Quốc).
- Methanol (CH_3OH), $M = 32,04 \text{ g/mol}$, độ tinh khiết $\geq 99,5 \%$ (Trung Quốc).
- Acid malic ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$), $M = 116 \text{ g/mol}$, $d = 1,59 \text{ g/cm}^3$, độ tinh khiết $\geq 99 \%$ (Trung Quốc).
- Calcium chloride dihydrate ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), $M = 147,01 \text{ g/mol}$, $d = 1,85 \text{ g/cm}^3$, độ tinh khiết $\geq 98,0 \%$ (Trung Quốc).
- Sodium azide (NaN_3), $M = 65,01 \text{ g/mol}$, độ tinh khiết $\geq 99,0 \%$ (Trung Quốc).
- Acid acetic (CH_3COOH), $M = 60,05 \text{ g/mol}$, độ tinh khiết $\geq 99,5 \%$ (Trung Quốc).
- Potassium hydroxide (KOH), $M = 56,11 \text{ g/mol}$, độ tinh khiết $\geq 85 \%$ (Trung Quốc).
- Disodium hydrogen phosphate dodecahydrate ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), $M =$

358,14 g/mol, $d = 1,52 \text{ g/cm}^3$, độ tinh khiết $\geq 99,0\%$ (Trung Quốc).

- n-hexan ($n\text{-C}_6\text{H}_{14}$), $M = 86,18 \text{ g/mol}$, $d = 0,66 \text{ g/cm}^3$ (25°C), độ tinh khiết $\geq 96,0\%$ (Trung Quốc).

- Bộ Kit thử K-RSTAR (xác định tinh bột kháng tiêu), Megazym, Ireland.
- Nước cất 2 lần.

2.1.2. Dụng cụ, thiết bị

2.1.2.1. Dụng cụ

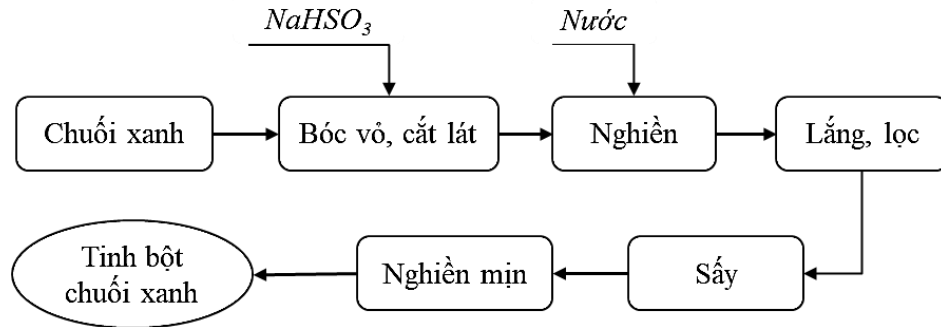
- Cốc thủy tinh 50 ml, 100ml, 250ml, 1000ml.
- Đĩa petri 60x15mm, 100x20 mm.
- Bình định mức 50ml, 100ml, 500ml, 1000ml.
- Pipet thủy tinh 1ml, 2ml, 5ml, 10ml, 25ml.
- Buret 10 ml, 25 ml.
- Ống ly tâm 10 ml, 50 ml.
- Bình tam giác 100ml, 250ml.
- Đũa thủy tinh.
- Bộ chiết Soxhlet.
- Giấy lọc, giấy pH.
- Dao, thớt, túi vải lọc.
- Bộ chày, cối bằng sứ, chén nung, đĩa cân nhôm.

2.1.2.2. Thiết bị

- Cân phân tích SKINKO GS 303.
- Máy xay sinh tố cầm tay BRAUN, Đức.
- Máy lọc hút chân không.
- Tủ lạnh bảo quản.
- Tủ sấy chân không Karl Kolb.
- Lò nung chân không SA2-4-14TP, Trung Quốc.
- Máy khuấy từ có gia nhiệt DLAB MS-H280-Pro, Trung Quốc.
- Quang phổ kế Lambda 35 UV-VIS Spectrometer (PerkinElme).
- Bể điều nhiệt.
- Máy đo màu CS – 410, CHNSpec-Trung Quốc.
- Máy ly tâm DaiHan DH/CefM0024, Hàn Quốc.
- Máy lắc Vortex MX-S, Dlab-Trung Quốc.
- Máy làm mì Media MJ-KM15Q1-401, Trung Quốc.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

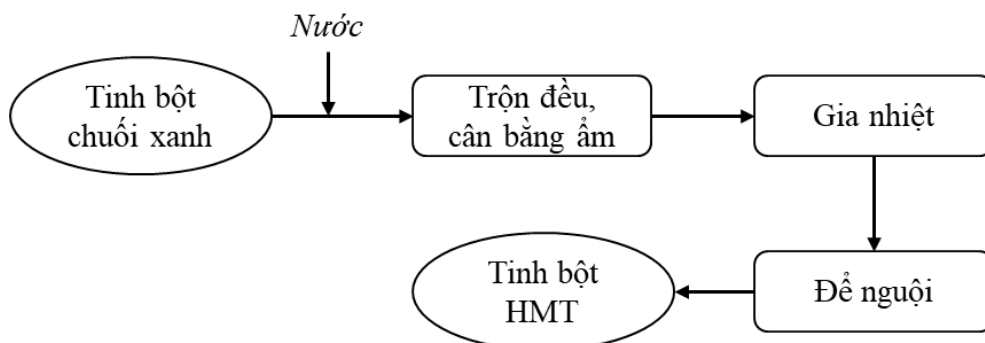
2.2.1. Tách và thu nhận tinh bột từ chuối xanh



Hình 2.1. Sơ đồ tách và thu nhận tinh bột chuối xanh

Tinh bột chuối xanh được tách và thu nhận theo phương pháp của Waliszewski và cộng sự có sửa đổi để phù hợp với điều kiện thực nghiệm [70]. Sau khi gọt vỏ, phần ruột chuối xanh được thái lát mỏng (khoảng 5 mm) và ngâm trong dung dịch natri bisulfite 0,5% theo tỷ lệ 1:2 (kg/l) trong 12 giờ ở 6°C. Hỗn hợp sau đó sẽ nghiền nhuyễn bằng máy xay, trong quá trình nghiền có bổ sung thêm nước. Hỗn hợp được lọc qua vải lọc để loại bỏ phần bã. Huyền phù tinh bột được để lắng, loại bỏ phần nổi phía trên, phần bùn tinh bột lắng phía dưới được hòa trong nước và tiếp tục để lắng. Quá trình lắng, lọc với nước được lặp lại 5 lần để loại bỏ hóa chất dư, rửa sạch tinh bột. Cuối cùng, phần bùn tinh bột được sấy khô ở 48°C trong 24 giờ. Tinh bột khô được nghiền mịn và bảo quản trong túi kín khí.

2.2.2. Biến tính tinh bột bằng phương pháp xử lý nhiệt-ẩm (HMT)



Hình 2.2. Quy trình biến tính tinh bột bằng phương pháp xử lý nhiệt-ẩm (HMT)

Tinh bột HMT được chế tạo theo quy trình của Chung và cộng sự [18]. 50 (g) tinh bột chuối xanh được trộn đều với lượng nước thích hợp để độ ẩm tinh bột đạt từ 15 đến 30% trên đĩa petri. Sau đó, hỗn hợp được đậy kín và để yên ở 10°C trong 15 giờ. Sau quá trình cân bằng ẩm, mẫu tinh bột được gia nhiệt trong thời gian nhất định. Cuối cùng, mẫu tinh bột được để nguội đến nhiệt độ phòng, sấy khô ở 50°C, cân bằng trong 4 giờ và cuối cùng được đóng kín trong túi kín khí.

2.2.3. Biến tính tinh bột bằng quá trình phosphoryl hóa tạo liên kết ngang

Quá trình phosphoryl hóa trong tinh bột được thực hiện trong dung dịch nước bòn theo Woo và Seib [32]. 50 (g) tinh bột chuối xanh được thêm vào 70 ml nước cất có chứa natri sunfat (khối lượng Na_2SO_4 bằng 5-20% khối lượng tinh bột). Sau đó, hỗn hợp STMP/STPP được thêm vào với hàm lượng 6-12% so với khối lượng tinh bột, tỷ lệ STMP/STPP 99/1 (w/w). Huyền phù được điều chỉnh đến pH 11.0 bằng cách thêm dung dịch NaOH 1M. Hỗn hợp được khuấy liên tục ở 50-70°C trong 1 giờ. Sau đó, hỗn hợp tiếp tục được điều chỉnh đến pH 6,5 bằng dung dịch HCl 1M và ly tâm ở tốc độ 5000 vòng/phút trong 10 phút. Tinh bột lắng được thu nhận và rửa sạch bằng nước cất, sau đó được sấy khô ở 50°C trong 10 giờ. Tinh bột thu được được đóng kín trong túi kín khí.

2.2.4. Chế biến mì gạo, mì sợi chứa tinh bột kháng tiêu

Mì gạo (mì sợi) được chế biến từ 250 g hỗn hợp bột gạo (hoặc bột mì) và tinh bột kháng tiêu và 2,5 g muối ăn. Hỗn hợp được trộn đều với 90 ml nước đun sôi để nguội tạo thành khối bột nhào mịn, không bị dính. Khối bột nhào được đem ủ khoảng 30 phút, sau đó sẽ được cắt thành những cục bột nhỏ trước khi đưa vào máy làm mì Media. Các sợi mì được tạo ra có độ dày khoảng 2 mm. Sản phẩm được phủ một lớp bột mì để tránh các sợi mì dính lại vào nhau. Cuối cùng, những sợi mì được sấy khô ở 35°C trong 6 giờ trước khi bảo quản.

2.3. Các phương pháp phân tích, đánh giá

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

Hiệu suất quá trình tách, thu nhận tinh bột chuối xanh được tính theo công thức:

$$H = \frac{m_{TB}}{m_{NL}} \times 100 (\%)$$

Trong đó, m_{TB} là khối lượng tinh bột thu được sau quá trình tách, tinh chế (g), m_{NL} là khối lượng nguyên liệu sau khi được bóc vỏ, cắt lát (g).

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

- Hàm lượng tro: xác định bằng phương pháp nung theo TCVN 9939:2013.
- Độ ẩm: xác định bằng phương pháp dùng tủ sấy theo TCVN 9934:2013.
- Hàm lượng protein: xác định bằng phương pháp Dumas theo TCVN 8133-2:2011.
- Hàm lượng lipid: xác định bằng bộ chiết Soxhlet theo TCVN 9938:2013.
- Hàm lượng xơ thô: xác định bằng phương pháp Schaven theo TCVN 4329:2007.
- Hàm lượng carbohydrate tổng được tính theo công thức:

$$\% \text{ Carbohydrate} = 100 - (\% \text{ độ ẩm} + \% \text{ tro} + \% \text{ protein} + \% \text{ lipid})$$

2.3.3. Phương pháp đánh giá khả năng tiêu hóa của tinh bột

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).

* Hàm lượng RS: 0,1g tinh bột được ủ trong 4mL dung dịch α -amylase tuyến tụy và amyloglucosidase ở 37°C trong 16 giờ. Phản ứng được kết thúc bằng dung dịch IMS 50% và ly tâm để tách các thành phần nổi phía trên và cặn. Hòa tan cặn trong KOH 2M trong bể nước đá, bổ sung dung dịch đệm natri axetat 1,2 M và thủy phân thành glucose bằng amyloglucosidase ở 50°C trong 30 phút. Sau đó, bổ sung thuốc thử glucose oxidase/peroxidase (GOPOD) vào dung dịch và ủ ở 50°C trong 20 phút. Tiến hành đo độ hấp thụ quang của mẫu phân tích trên quang phổ kế UV-VIS tại bước sóng $\lambda = 510$ nm.

* Hàm lượng RDS: Ủ 0,1 g mẫu với 4mL hỗn hợp α -amylase và amyloglucosidase (AMG) ở 37°C trong 20 phút. Phản ứng được kết thúc bằng cách thêm 4mL ethanol vào huyền phù sau đó ly tâm. Định mức 2 ml phần dịch chứa RDS bằng dung dịch natri axetat (100 mM, pH = 4,5) đến 100 mL. Sau đó, thêm hút 0,1 mL dung dịch vừa định mức vào 0,01 mL dung dịch AMG (300 U/mL) ở 50°C trong 20 phút. Cuối cùng, thêm 3mL thuốc thử GOPOD vào dung dịch và ủ ở 50°C trong 20 phút nữa. Độ hấp thụ quang của các mẫu được đo ở bước sóng $\lambda = 510$ nm trên quang phổ kế UV-VIS.

* Mẫu trắng là hỗn hợp dung dịch đệm natri acetate (100mM, pH = 4,5) với thuốc thử GOPOD. Mẫu chuẩn là hỗn hợp dung dịch D-glucose chuẩn với thuốc thử GOPOD.

$$RS(\%) = \frac{\Delta E \times F \times 90}{W}$$

$$RDS(\%) = \frac{\Delta E \times F \times 45}{W}$$

$$SDS(\%) = 100 - (RS + RDS)$$

Trong đó, ΔE là độ hấp thụ (phản ứng) đọc trên mẫu trắng; F là chuyển đổi từ độ hấp thụ sang microgam ($F = 100 \mu\text{g D-glucose}$) chia cho độ hấp thụ GOPOD của $100 \mu\text{g D-glucose}$ này, W là trọng lượng khô của mẫu phân tích (mg).

2.3.4. Độ thể của tinh bột phosphate

Độ thể (DS) của tinh bột phosphate được xác định thông qua hàm lượng phospho có trong tinh bột. Hàm lượng P trong tinh bột được xác định theo TCVN 9941:2013.

Độ thể (DS) được tính theo Paschall [80]:

$$DS (\%) = \frac{162P}{3100 - 102P}$$

Trong đó, P là % phospho của tinh bột.

2.3.5. *Tính năng của tinh bột*

2.3.5.1. *Khả năng trương nở (SP) và độ tan (WSI)*

Cân 1 (g) mẫu phân tán trong 10ml nước, hỗn hợp được trộn đều trên máy lắc Vortex trong 30 giây và đặt trong bể điều nhiệt 30 phút ở nhiệt độ 60-90°C, sau đó để nguội, ly tâm. Thể tích phần dịch phía trên được sấy khô trong tủ sấy ở 110°C trong 24 giờ để xác định độ hòa tan, phần lắng phía dưới để xác định khả năng trương nở của tinh bột.

$$WSI(\%) = \frac{m_1(g)}{m_o(g)} \times 100$$

$$SP (g/g) = \frac{m_2(g)}{m_o(g) - m_1(g)}$$

Trong đó: m_1 là khối lượng mẫu bị hòa tan sau khi sấy (g), m_2 là khối lượng phần cặn lắng sau ly tâm (g) và m_o là khối lượng mẫu ban đầu (g).

2.3.5.2. *Khả năng hấp thụ nước, hấp thụ dầu*

* Độ hấp thụ nước (WAC, ml/g): Cân 1g tinh bột cho vào ống nghiệm, thêm vào đó 25ml nước cất. Để yên ở nhiệt độ phòng trong vòng 1 giờ. Ly tâm trong 10 phút với tốc độ 1500 rpm, sau đó từ thể tích pha lỏng xác định thể tích nước bị hấp thụ.

* Độ hấp thụ dầu (OAC, ml/g): Cân 1g tinh bột cho vào ống nghiệm, thêm 10ml dầu thực vật (dầu hướng dương). Để yên ở nhiệt độ phòng trong vòng 1 giờ. Ly tâm trong 30 phút với tốc độ 1500 rpm, sau đó từ thể tích pha lỏng xác định thể tích dầu bị hấp thụ.

2.3.5.3. *Độ bền lạnh đông-tan giá*

Huyền phù trong nước của các mẫu tinh bột (6%, w/v) được gia nhiệt đến khi hồ hóa hoàn toàn và sau đó làm nguội đến nhiệt độ phòng. Mẫu được chuyển vào ống ly tâm bằng nhựa và đặt ở tủ đông ở -20°C trong 24 giờ và sau đó rã đông ở nhiệt độ phòng trong 2 giờ. Các mẫu được ly tâm ở tốc độ 3000 vòng/phút trong 15 phút, phần dịch nổi được lấy ra để xác định khối lượng, còn phần lắng phía dưới tiếp tục được đưa vào tủ đông. Chu kỳ lạnh đông-tan giá được lặp lại 4 lần.

Độ bền lạnh đông-tan giá được xác định bằng công thức:

$$\text{Tỷ lệ lượng nước thoát ra (\%)} = \frac{m_1}{m} \times 100$$

Trong đó, m_1 là khối lượng nước thoát ra sau chu kỳ lạnh đông-tan giá (g), m là khối lượng mẫu tinh bột đã bị hồ hóa (g).

2.3.6. *Đặc tính lý hóa của tinh bột*

- Phổ hồng ngoại: Được thực hiện trên thiết bị phổ hồng ngoại biến đổi Fourier (FTIR) NEXUS 670, Mỹ trong dải số sóng 400 cm^{-1} đến 4000 cm^{-1} tại Viện Kỹ thuật Nhiệt Đới, Viện KH&CN Việt Nam.

- Nhiễu xạ tia X: Các kết quả XRD thu được của tinh bột bằng cách sử dụng máy đo nhiễu xạ tia X (Shimadzu, model XRD – 7000, EUA) ở 40 kV/ 30 mA với bức xạ Cu (bước sóng $\lambda = 1.5406\text{ \AA}$) và một bộ đơn sắc tinh thể than chì. Phạm vi quét 2θ là $10^\circ - 50^\circ$ với gia số $2^\circ/\text{phút}$ tại Khoa Hóa học, Đại học Khoa học tự nhiên Hà Nội.

Độ kết tinh tương đối của tinh bột được tính bằng công thức:

$$RC (\%) = \frac{A_c}{A_c + A_a} \times 100$$

Trong đó, A_c : vùng tinh thể trên ảnh nhiễu xạ tia X và A_a : vùng vô định hình trên ảnh nhiễu xạ tia X.

- Hình thái bề mặt SEM (Scanning Electronic Microscopy): Được thực hiện trên máy FM-6510LV (JEOL - Japan) tại Viện Kỹ thuật Nhiệt Đới, Viện KH&CN Việt Nam.

- Nhiệt lượng quét vi sai DSC: Được thực hiện trên thiết bị phân tích nhiệt DSC 204F1 Phoenix tại Khoa Hóa học, Đại học Khoa học tự nhiên Hà Nội.

2.3.7. *Đặc tính của mì sợi*

* Thời gian nấu tối ưu: 20 sợi mì được đun sôi trong 500 mL nước cho đến khi phần lõi đục ở giữa sợi mì biến mất và được xác định bằng cách ép nhẹ sợi mì vào giữa hai phiến kính trong suốt.

* Khối lượng mì sau nấu: Sợi mì được nấu trong nước sôi cho đến khi đạt được thời gian nấu tối ưu. Mì nhanh chóng được lấy ra và làm nguội bằng nước cát, sau đó được đặt trên giấy lọc để hấp thụ nước trên bề mặt sợi mì. Khối lượng mì sau nấu được xác định từ sự khác biệt giữa khối lượng sợi mì trước và sau khi nấu, và được biểu thị bằng tỷ lệ phần trăm khối lượng mì nấu chín/khối lượng mì khô.

* Tỷ lệ hao hụt khi nấu: Nước nấu mì thu được từ quy trình xác định khối lượng mì sau nấu được dùng để xác định tỷ lệ hao hụt khi nấu. Lượng nước nấu mì được chuyển vào đĩa cân và sấy khô trong tủ sấy ở 105°C đến khối lượng không đổi. Tỷ lệ hao hụt khi nấu được biểu thị bằng phần trăm chất rắn mất đi trong quá trình nấu.

* Tỷ lệ đứt của mì: 20 sợi mì dài 20 cm được nấu trong 500 mL nước sôi cho đến khi đạt được thời gian nấu tối ưu. Tỷ lệ sợi mì bị đứt được xác định theo số sợi mì bị gãy.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Tách và thu nhận tinh bột từ chuối xanh

3.1.1. Một số thành phần của tinh bột chuối xanh

Kết quả hiệu suất tách thu hồi và thành phần chính của tinh bột chuối từ chuối xanh được trình bày ở bảng 3.1.

Tinh bột chuối xanh thu được theo sơ đồ quy trình 2.1 ở dạng bột mịn, không lẫn tạp chất, có màu trắng ngà tự nhiên, khối bột rời và mịn. Hiệu suất quá trình tách, thu hồi đạt $19,24\% \pm 1,05\%$ tính theo khối lượng phần thịt sau khi đã bỏ các lớp vỏ.



Hình 3.1. Ảnh tinh bột chuối tách và thu hồi từ chuối xanh

Bảng 3.1. Một số chỉ tiêu cơ bản của tinh bột chuối xanh (đơn vị: %)

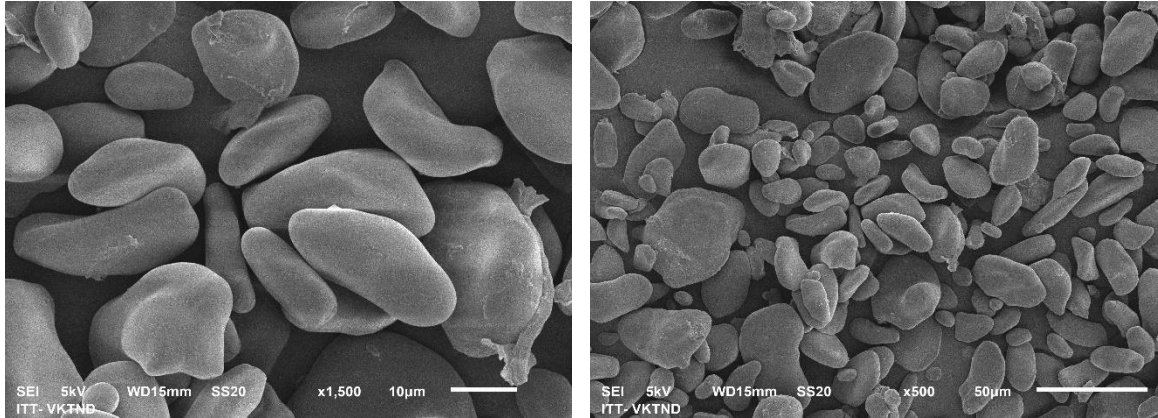
<i>STT</i>	<i>Chỉ tiêu</i>	<i>Giá trị</i>
1	Độ ẩm	$5,41 \pm 0,02$
2	Tro	$1,02 \pm 0,01$
3	Xơ thô	$1,62 \pm 0,04$
4	Protein	$3,22 \pm 0,52$
5	Lipid	$4,36 \pm 0,02$
6	Carbohydrate	$84,37 \pm 0,56$
	+ Tinh bột kháng tiêu RS	$25,76 \pm 0,83$
	+ Tinh bột tiêu hóa nhanh RDS	$64,05 \pm 0,92$
	+ Tinh bột tiêu hóa chậm SDS	$10,19 \pm 0,56$

Từ bảng 3.1 cho thấy, hàm lượng carbohydrate có trong tinh bột chuối xanh khoảng 84%. Đặc biệt, tinh bột chuối xanh thu được có hàm lượng tinh bột kháng tiêu khoảng 25%, là nguồn nguyên liệu thích hợp trong chế biến thực phẩm bảo vệ sức khỏe.

3.1.2. Đặc trưng lý hóa của tinh bột chuối xanh

3.1.2.1. Hình thái học bề mặt

Ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) của tinh bột chuối xanh (GB) được trình bày ở hình 3.2.



a. GB (x1500)

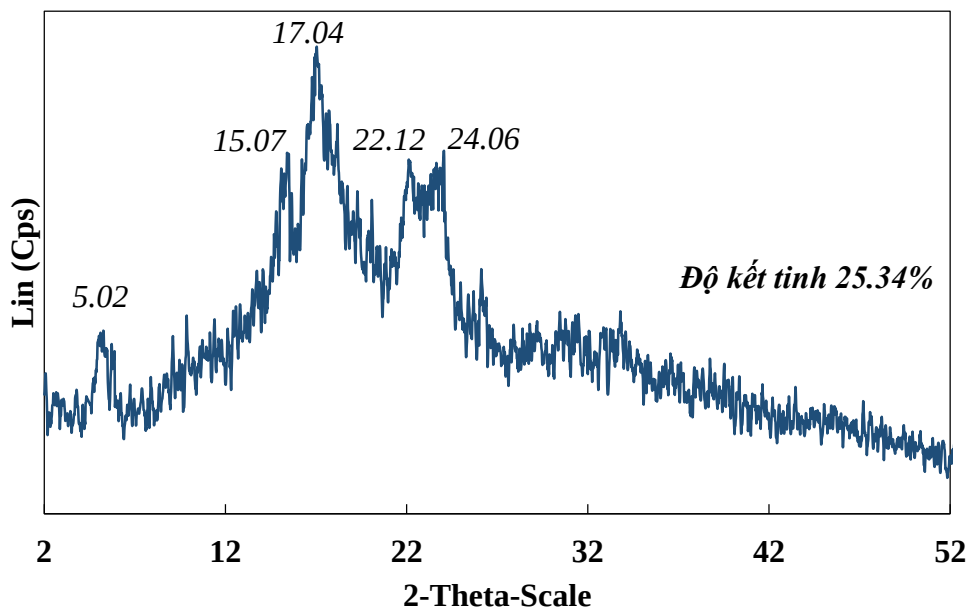
b. GB (x500)

Hình 3.2. Ảnh SEM của tinh bột chuối xanh

Các hạt tinh bột chuối xanh có nhiều kích cỡ (trong khoảng từ 288,02 đến 560,81 μm) và hình dạng khác nhau, chủ yếu là hình bầu dục thon dài, ngoài ra còn có hình que (Hình 3.2a, b). Quan sát ảnh SEM có thể thấy, bề mặt hạt tinh bột nhẵn, mịn, các hạt tách rời nhau, chứng tỏ quá trình tách tinh bột hiệu quả, không phá hủy hạt tinh bột.

3.1.2.2. Nhiễu xạ tia X (XRD)

Giản đồ nhiễu xạ tia X của tinh bột chuối xanh được trình bày ở hình 3.3.



Hình 3.3. Ảnh SEM và giản đồ nhiễu xạ tia X của tinh bột chuối xanh

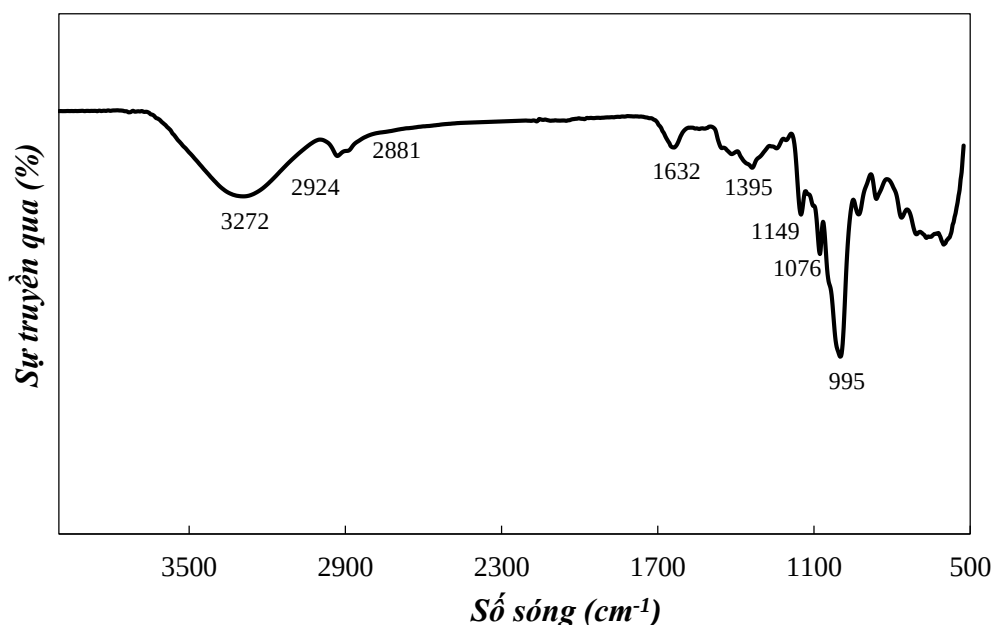
Cấu trúc kết tinh của tinh bột được chia thành ba kiểu là kiểu A, kiểu B và kiểu C tùy thuộc vào sự đa dạng của nguồn tinh bột. Tinh bột kiểu A cho thấy các đỉnh nhiễu xạ mạnh ở vị trí $2\theta = 15^\circ, 23^\circ$ và các đỉnh yếu ở vị trí $2\theta = 17-18^\circ$. Các đỉnh nhiễu xạ của kiểu B xuất hiện ở vị trí $2\theta = 17^\circ$ và các đỉnh yếu ở vị trí $2\theta = 15^\circ, 20^\circ, 22^\circ$ và 24° và đỉnh đặc trưng ở khoảng 5° . Các đỉnh nhiễu xạ của tinh bột kiểu C là hỗn hợp của kiểu A và kiểu B ở vị trí $2\theta = 17^\circ, 23^\circ$ và các đỉnh yếu vị trí $2\theta = 5^\circ, 15^\circ$.

Từ giản đồ hình 3.3 cho thấy, tinh bột chuối xanh có cấu trúc kết tinh kiểu B được đặc trưng bởi đỉnh yếu ở $\sim 5^\circ$, các đỉnh mạnh ở $\sim 15^\circ, \sim 17^\circ$ và đỉnh rộng ở $22-24^\circ$ [54]. Kết quả này phù hợp với các kết quả công bố của Hung và cộng sự về tinh bột chuối ở Việt Nam [53].

Độ kết tinh tương đối của tinh bột chuối xanh bằng 25,34%.

3.1.2.3. Phổ hồng ngoại FTIR

Kết quả đo phổ hồng ngoại của tinh bột chuối xanh được trình bày trong hình 3.4.



Hình 3.4. Phổ FTIR của tinh bột chuối xanh

Bảng 3.2. Dao động hồng ngoại đặc trưng của tinh bột

STT	Số sóng (cm ⁻¹)	Các dao động đặc trưng
1	~ 500	Dao động khung sườn vòng pyranose
2	~ 766	Dao động kéo dẫn C-C
3	~ 860	Dao động biến dạng CH ₂ , C(1) – H
4	~ 930	Dao động của liên kết α-1,4 glycosidic (C-O-C)

STT	Số sóng (cm ⁻¹)	Các dao động đặc trưng
5	1000 -1100	Gồm có dao động uốn của C-H (mũi ở số sóng thấp) và dao động uốn C-O-H (mũi ở số sóng cao hơn)
6	~ 1155	Dao động kéo dãn C-O-C bất đối xứng (do sự ghép cặp của C-O và C-C kéo dãn)
7	~ 1242	Dao động liên quan tới CH ₂ OH (chuỗi nhánh)
8	~ 1344	Dao động uốn C-O-H, dao động xoắn CH ₂
9	~ 1400	Dao động uốn của CH ₂
10	1600 -1700	Dao động do nước hấp thụ trong vùng vô định hình của hạt tinh bột
11	2800 - 3000	Dao động hóa trị không đối xứng của liên kết C-H no
12	3000 - 3500	Dao động kéo dãn của liên kết O-H

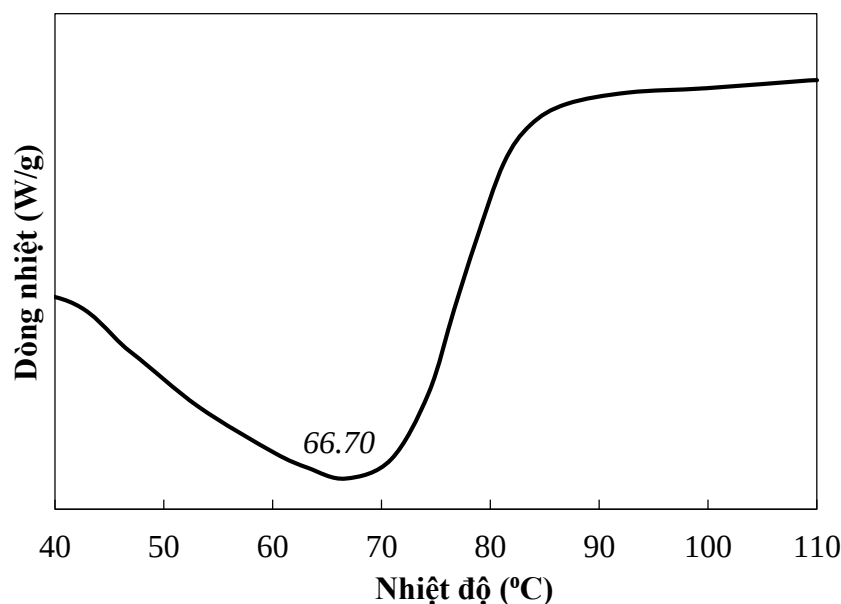
Dựa vào hình 3.4 và bảng 3.2 thấy rằng, phổ hồng ngoại của tinh bột chuỗi xanh đều xuất hiện các peak đặc trưng của tinh bột như peak ~3272 cm⁻¹ đặc trưng cho dao động kéo của nhóm O-H, các peak ~2924 cm⁻¹ và ~2881 cm⁻¹ đặc trưng cho dao động hóa trị bất đối xứng của liên kết C-H no, các peak ~1149 cm⁻¹ và peak ~1076 cm⁻¹ đặc trưng cho dao động kéo của liên kết C-O-C bất đối xứng, peak ~1395 cm⁻¹ đặc trưng cho dao động uốn của CH₂. Kết quả thu được tương tự như kết quả nghiên cứu của Thanyapanich và cộng sự [54].

3.1.2.4. Nhiệt lượng quét vi sai (DSC)

Quá trình hồ hóa là quá trình hạt tinh bột nở ra và nhanh chóng mất cấu trúc bán tinh thể khi đun nóng huyền phù tinh bột đến nhiệt độ nhất định [6]. Quá trình này rất quan trọng đối với việc sử dụng tinh bột trong cả hai lĩnh vực thực phẩm và phi thực phẩm. Giảm đồ nhiệt lượng quét vi sai DSC của tinh bột chuỗi xanh được trình bày ở hình 3.5 và các thông số hồ hóa được thống kê trong bảng 3.3.

Bảng 3.3. Nhiệt độ hồ hóa (T_o , T_p và T_e) của tinh bột chuỗi xanh

T_o (°C)	T_p (°C)	T_e (°C)	$\Delta T = T_e - T_o$ (°C)	ΔH (J/g)
63,23	66,70	70,56	7,23	18,18



Hình 3.5. Giản đồ DSC của tinh bột chuối xanh

Tinh bột chuối xanh có nhiệt độ hồ hóa ban đầu (T_o) là 63,23°C, nhiệt độ hồ hóa cao nhất (T_p) là 66,70°C và nhiệt độ hồ hóa điểm cuối (T_e) là 70,56 °C, với entanpy hồ hóa (ΔH) là 18,18 J/g.

Entanpy (ΔH) của tinh bột chuối xanh cao chứng tỏ tinh bột chuối xanh có cấu trúc tinh thể chặt chẽ, điều này có liên quan đến kết quả kết tinh. Mức độ kết tinh cao là nguyên nhân tạo ra giá trị nhiệt độ chuyển tiếp cao của tinh bột, mang lại sự ổn định về cấu trúc và làm cho hạt tinh bột có khả năng chống hồ hóa cao hơn [54].

3.1.3. Tính năng của tinh bột chuối xanh

Một số tính năng của tinh bột chuối xanh như khả năng trương nở, độ hòa tan, khả năng hấp thụ dầu/nước và độ bền lạnh đông-tan giá được trình bày ở bảng 3.4.

Khả năng trương nở và độ hòa tan là hai tính năng đặc trưng cho khả năng tương tác giữa mạch amylose và amylopectin có trong tinh bột [6]. Bảng 3.4 cho thấy, khi tăng nhiệt độ từ 60 đến 90°C thì khả năng trương nở và độ hòa tan của tinh bột chuối tăng, tương ứng từ 2,88 lên 24,30 g/g (SP) và từ 4,28 lên 20,58% (WSI). Điều này có thể do ở nhiệt độ cao (trên 70°C), các liên kết hydro trong tinh bột bị phá vỡ, nước dễ dàng xâm nhập vào cấu trúc hạt tinh bột gây trương nở mạnh do đó khả năng trương nở tăng nhanh, đồng thời, tăng khả năng amylose bị hòa tan vào nước cho nên độ tan của tinh bột cũng tăng [54].

Khả năng hấp thụ nước (WAC) và khả năng hấp thụ dầu (OAC) lần lượt là 1,25 mL/g và 1,11 mL/g. Thông qua giá trị WAC và OAC, tinh bột chuối xanh sẽ được đánh giá khả năng sử dụng trong chế biến thực phẩm.

Bảng 3.4. Một số tính năng của tinh bột chuối xanh

Tính năng		Đơn vị	Giá trị
Khả năng trương nở (SP)	60°C	g/g	$2,88 \pm 0,025$
	70°C		$7,62 \pm 0,033$
	80°C		$16,37 \pm 0,035$
	90°C		$24,30 \pm 0,042$
Độ hòa tan (WSI)	60°C	%	$4,28 \pm 0,015$
	70°C		$8,69 \pm 0,053$
	80°C		$13,54 \pm 0,146$
	90°C		$20,59 \pm 0,090$
Khả năng hấp thụ dầu		mL/g	$1,11 \pm 0,035$
Khả năng hấp thụ nước		mL/g	$1,25 \pm 0,030$
Tỷ lệ lượng nước thoát ra	1 chu kỳ	%	$16,25 \pm 0,112$
	2 chu kỳ		$33,51 \pm 0,152$
	3 chu kỳ		$43,34 \pm 0,240$
	4 chu kỳ		$51,53 \pm 0,135$

Độ bền lạnh đông-tan giá thể hiện khả năng của tinh bột chịu được những thay đổi vật lý không mong muốn có thể xảy ra trong quá trình lạnh đông và tan giá và được đánh giá qua tỷ lệ lượng nước thoát ra khỏi gel tinh bột sau mỗi chu kỳ lạnh đông-tan giá. Khi số chu kỳ lạnh đông-tan giá tăng lên, lượng nước giải phóng càng nhiều thì chứng tỏ độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột càng kém. Sau 4 chu kỳ lạnh đông-tan giá, gel tinh bột chuối xanh giải phóng ra 51,53% lượng nước, chứng tỏ độ bền lạnh đông-tan giá của hồ tinh bột chuối xanh tương đối kém.

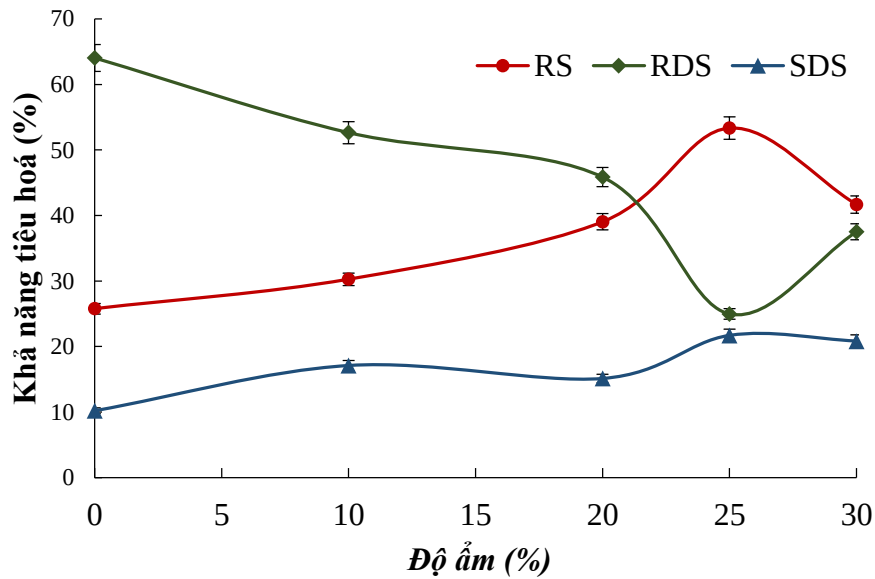
3.2. Biến tính tinh bột bằng phương pháp xử lý nhiệt-ẩm (Heat-moisture treatment – HMT)

3.2.1. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình xử lý nhiệt-ẩm (HMT)

Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình xử lý nhiệt-ẩm tinh bột chuối xanh bao gồm: độ ẩm tinh bột, nhiệt độ và thời gian xử lý.

3.2.1.1. Ảnh hưởng của độ ẩm

Để nghiên cứu ảnh hưởng của độ ẩm tinh bột, quá trình xử lý được tiến hành ở 110°C trong 16 giờ với độ ẩm tinh bột thay đổi từ 15-30%. Kết quả được trình bày ở hình 3.6.



Hình 3.6. Ảnh hưởng của độ ẩm tinh bột đến khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh
(Thời gian xử lý 16 giờ, nhiệt độ xử lý 110°C)

Kết quả hình 3.6 cho thấy quá trình xử lý HMT giúp hàm lượng RS và SDS tăng lên, hàm lượng RDS giảm đi so với tinh bột chuối xanh ban đầu. Cụ thể, tinh bột chuối xanh ban đầu có hàm lượng RS, SDS và RDS lần lượt là 25,76%, 10,19% và 64,05%. Khi tăng độ ẩm tinh bột trong quá trình xử lý HMT từ 10 đến 25%, hàm lượng RS tăng nhanh từ 30,26 lên 53,35% còn hàm lượng SDS tăng chậm từ 17,09% lên 21,69%, trong khi đó hàm lượng RDS giảm nhanh 5,65% xuống 24,96%.

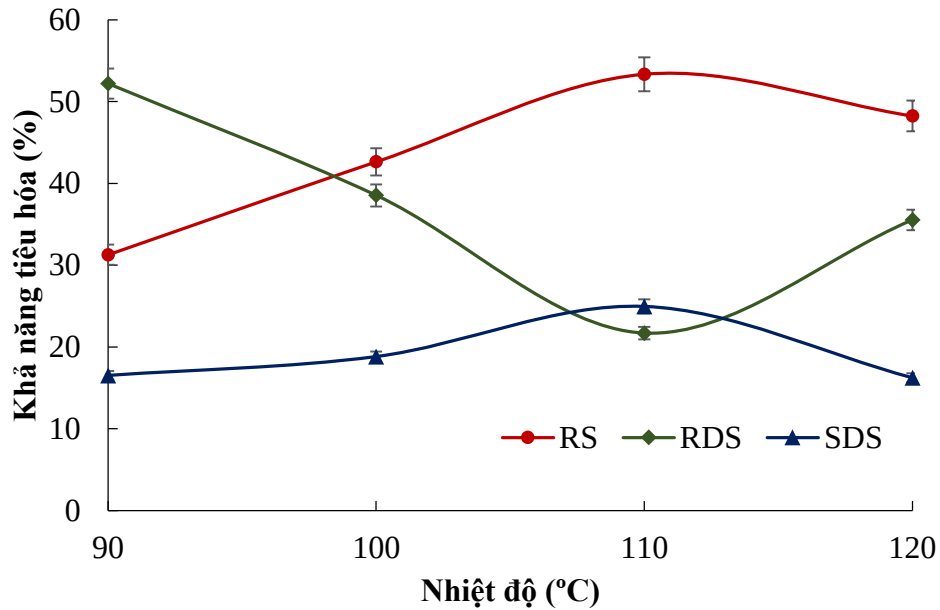
Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng độ ẩm tinh bột lên 30%, RS và SDS lại có xu hướng giảm, RDS có xu hướng. Giá trị RS, SDS và RDS của tinh bột sau xử lý ở độ ẩm 30% lần lượt là 41.67%, 20.82% và 37.51%.

Sự gia tăng hàm lượng RS và SDS trong khoảng độ ẩm từ 10-25% là do hàm ẩm cao làm các chuỗi amylose và các nhánh amylopectin trở nên càng lỏng lẻo, chúng tương tác với nhau để tạo thành xoắn kép và tăng độ ổn định tổng thể của các hạt, do đó làm mất tính đặc hiệu với enzyme và làm tăng hàm lượng RS cũng như SDS [18, 55, 56]. Tuy nhiên, ở độ ẩm quá cao (> 30%), tinh bột dễ bị hồ hóa trong quá trình xử lý ở nhiệt độ cao, cấu trúc hạt tinh bột bị phá vỡ, hình thành các vùng mà enzyme có thể xâm nhập dễ dàng, cuối cùng làm giảm hàm lượng RS [55].

Như vậy, độ ẩm phù hợp đối với tinh bột chuối xanh để xử lý HMT cho RS cao nhất là 25%.

3.2.1.2. Ảnh hưởng của nhiệt độ

Để nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ, quá trình xử lý được tiến hành trong điều kiện độ ẩm tinh bột 25%, thời gian xử lý 16 giờ, nhiệt độ xử lý thay đổi từ 90 đến 120°C. Kết quả được trình bày ở hình 3.7.



Hình 3.7. Ảnh hưởng của nhiệt độ xử lý đến khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh
(Độ ẩm tinh bột 25%, thời gian xử lý 16 giờ)

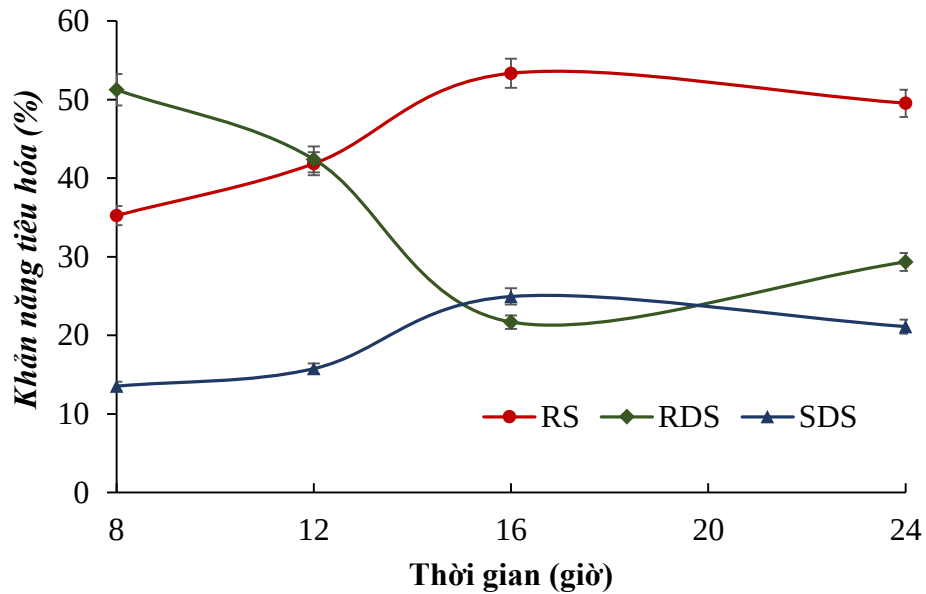
Kết quả hình 3.7 cho thấy khi nhiệt độ xử lý tăng từ 90 đến 110°C, hàm lượng RS và SDS tăng và đạt giá trị cực đại, cụ thể RS tăng từ 31,28 lên 53,35%, SDS tăng từ 16,51 lên 24,96%. Điều này có thể do ở nhiệt độ cao, các hạt tinh bột trương nở khiến độ ẩm càng dễ dàng xâm nhập vào sâu cấu trúc hạt tinh bột [56], các mạch amylose dạng tự do di chuyển ra ngoài, cấu trúc kết tinh của amylopectin bị phân rã và cấu trúc hạt bị phá vỡ. Khi làm lạnh hoặc sấy khô, quá trình tái cấu trúc kết tinh (thoái biến- retrogradation) xuất hiện. Quá trình này diễn ra rất nhanh đối với các cấu trúc amylose mạch thẳng với việc hình thành các liên kết xoắn ngang thông qua liên kết hydro khiến cho khả năng kháng tiêu hóa cao [9, 56].

Tuy nhiên, ở nhiệt độ quá cao (120°C), hàm lượng RS và SDS có xu hướng giảm. Nhiệt độ cao có thể là nguyên nhân làm các liên kết trong tinh bột bị đứt, cấu trúc tinh bột trở nên lỏng lẻo tạo điều kiện cho các enzyme xâm nhập, do đó làm giảm hàm lượng tinh bột kháng tiêu.

Như vậy, 110°C được coi là nhiệt độ tối ưu cho quá trình xử lý HMT tinh bột chuối xanh.

3.2.1.3. Ảnh hưởng của thời gian xử lý

Để nghiên cứu ảnh hưởng của thời gian, quá trình HMT được tiến hành trong điều kiện độ ẩm tinh bột 25%, nhiệt độ xử lý 110°C, thời gian xử lý thay đổi từ 8 đến 24 giờ. Kết quả được trình bày ở hình 3.8.



Hình 3.8. Ảnh hưởng của thời gian xử lý đến khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh (Độ ẩm tinh bột 25%, nhiệt độ xử lý 110°C)

Từ hình 3.8 cho thấy, khi kéo dài thời gian xử lý từ 8 đến 16 giờ, hàm lượng RS và SDS tăng lên và đạt giá trị cực đại, hàm lượng RDS giảm, tuy nhiên, khi tiếp tục tăng thời gian xử lý lên 24 giờ, hàm lượng RS và SDS có xu hướng giảm, còn RDS có xu hướng tăng.

Thời gian xử lý càng kéo dài, các chuỗi amylose, nhánh amylopectin liên kết chặt chẽ thông qua liên kết hydro trong cấu trúc tinh bột tạo thành cấu trúc xoắn kép (dạng này sẽ hình thành các vùng kết tinh), do đó, hàm lượng RS tăng. Tuy nhiên, khi tinh bột ở nhiệt độ cao trong thời gian quá lâu có thể khiến các liên kết sẽ bị đứt, vì vậy, cấu trúc kết tinh của tinh bột bị phá vỡ, enzyme càng dễ tấn công, hàm lượng RS sẽ giảm.

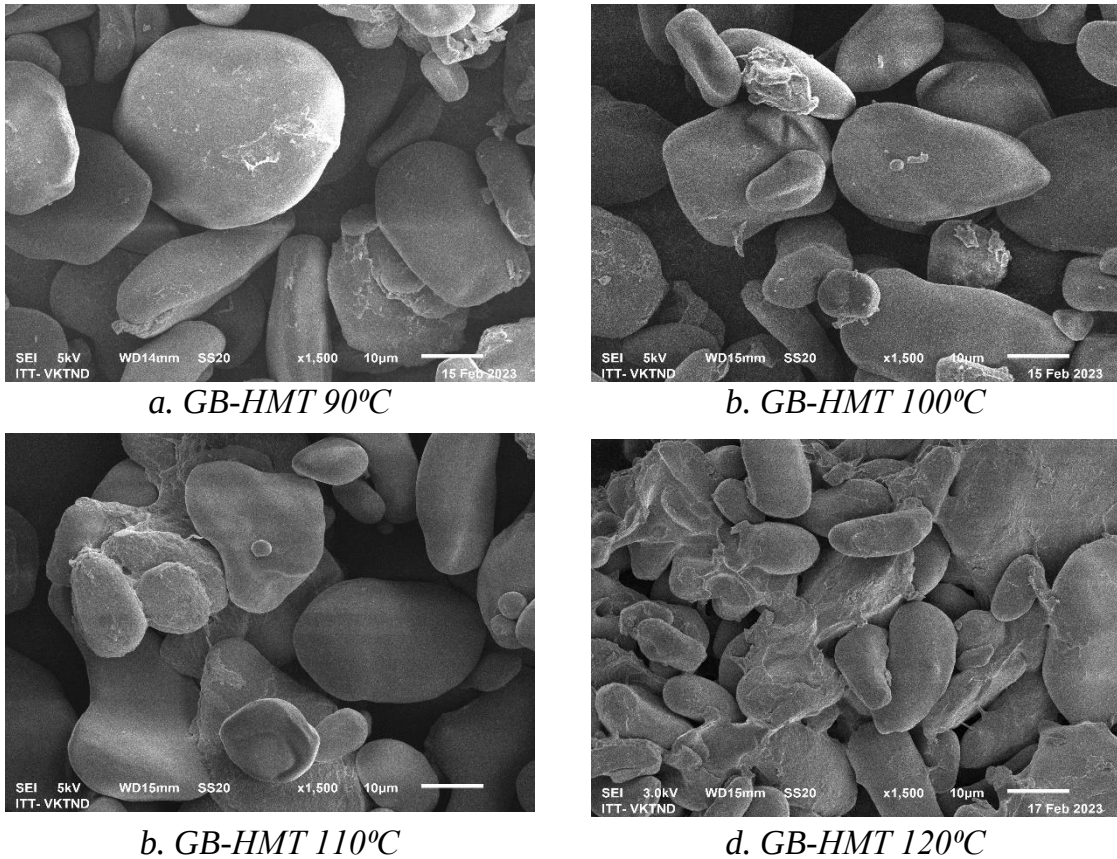
Như vậy, thời gian tối ưu của quá trình HMT để tinh bột chuối xanh có hàm lượng kháng tiêu RS cao là 16 giờ.

Kết luận: Điều kiện tối ưu của quá trình HMT đối với tinh bột chuối xanh là: độ ẩm tinh bột 25%, nhiệt độ xử lý 110°C và thời gian xử lý 16 giờ. Tại điều kiện này, tinh bột chuối xanh có hàm lượng RS, SDS và RDS lần lượt là 53,35%, 24,96% và 21,69%.

3.2.2. Đặc trưng lý hóa của tinh bột HMT

3.2.2.1. Hình thái học bề mặt

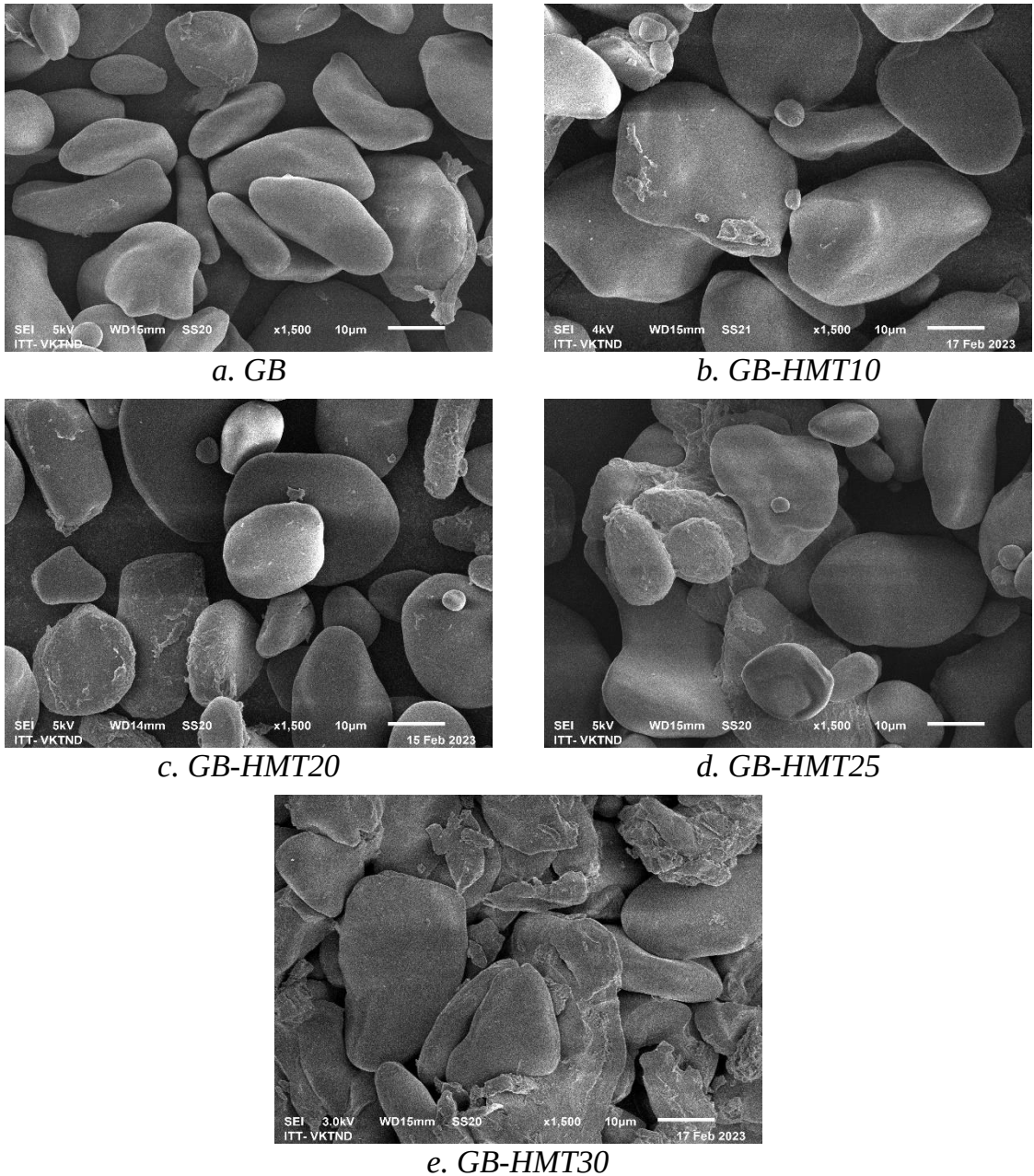
Ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) của các mẫu tinh bột chuối xanh ban đầu (GB) và tinh bột chuối xanh xử lý HMT (GB-HMT) được trình bày trong các hình 3.9 và 3.10.



Hình 3.9. Ảnh SEM (x1500) của GB-HMT tại các nhiệt độ xử lý khác nhau
(Độ ẩm tinh bột 25%, thời gian xử lý 16 giờ)

Quan sát ảnh SEM hình 3.9 thấy rằng nhiệt độ xử lý của quá trình HMT ảnh hưởng đến hình thái học bề mặt của hạt tinh bột. Với độ ẩm 25%, nhiệt độ xử lý từ 90 đến 110°C, hình dạng hạt tinh bột không thay đổi nhiều so với tinh bột ban đầu, trên bề mặt hạt tinh bột xuất hiện những mảnh vỡ nhỏ và nhiệt độ càng cao, mảnh vỡ càng nhiều. Sự kết hợp độ ẩm cao và nhiệt độ cao góp phần thúc đẩy quá trình hồ hóa tinh bột, vì vậy, ở nhiệt độ xử lý 120°C, hiện tượng kết tụ, biến dạng hạt tinh bột xuất hiện càng rõ.

Từ ảnh SEM hình 3.10 cho thấy độ ẩm của quá trình HMT có ảnh hưởng đến sự thay đổi hình dạng, bề mặt của hạt tinh bột. Trong khoảng độ ẩm từ 10 đến 20%, các hạt tinh bột HMT có bề mặt tương đối nhẵn, hình dạng không thay đổi nhiều so với hạt GB, tuy nhiên, một số hạt xuất hiện những mảnh vỡ nhỏ. Ở độ ẩm 25%, bề mặt của một số hạt tinh bột có hiện tượng bị bào mòn nhẹ, kết tụ lại với nhau. Hiện tượng này quan sát thấy rõ hơn khi thực hiện quá trình HMT ở độ ẩm 30%. Điều này là do ở độ ẩm cao, các hạt tinh bột bị hồ hóa một phần trong quá trình xử lý. Kết quả này cũng được Ornanong và Nisit quan sát được đối với tinh bột hạt mít [56].

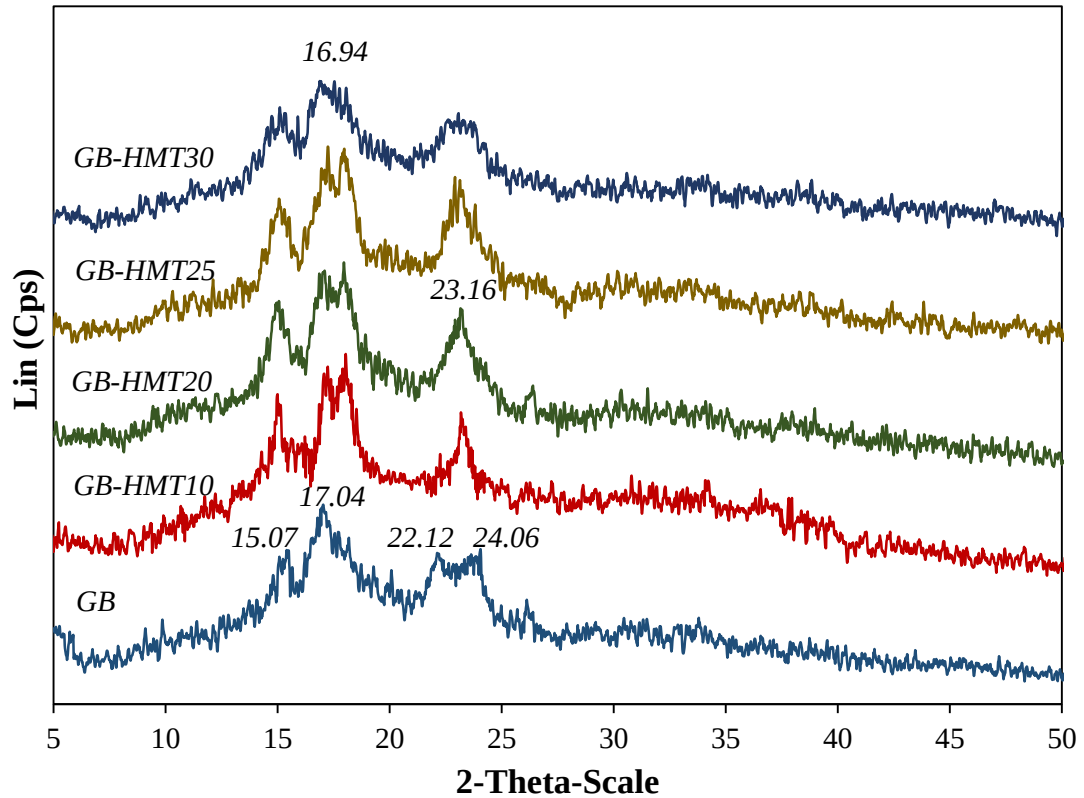


Hình 3.10. Ảnh SEM ($\times 1500$) của GB và GB-HMT tại các độ ẩm tinh bột khác nhau (Thời gian xử lý 16 giờ, nhiệt độ xử lý 110°C)

3.2.2.2. Nhiễu xạ tia X

Giải đồ nhiễu xạ tia X và độ kết tinh tương đối của GB và GB-HMT được trình bày ở hình 3.11 và bảng 3.5.

Từ hình 3.11 cho thấy, quá trình xử lý HMT đã là thay đổi cấu trúc kết tinh của tinh bột chuối xanh, chuyển từ cấu trúc kết tinh kiểu “B” sang cấu trúc kết tinh kiểu “C” với đỉnh đặc trưng tại vị trí $2\theta = \sim 15^{\circ}$, $\sim 17-18^{\circ}$ và $\sim 23^{\circ}$.



Hình 3.11. Giảm đồ nhiễu xạ tia X của GB và GB-HMT tại các độ ẩm tinh bột khác nhau
(Độ ẩm 10% (GB-HMT10), 20% (GB-HMT20), 25% (GB-HMT25)
và 30% (GB-HMT30))

Khi tăng độ ẩm tinh bột từ 10 đến 25%, cấu trúc kết tinh dạng “C” của tinh bột HMT càng thay đổi rõ. Khi tiếp tục tăng độ ẩm lên 30%, cấu trúc kết tinh kiểu “B” có sự biến đổi, vẫn duy trì các đỉnh đặc trưng ở vị trí $2\theta = \sim 15^\circ$ và $\sim 17^\circ$, tuy nhiên đỉnh nhiễu xạ ở vị trí $2\theta = \sim 22-24^\circ$ có cường độ yếu đi, đỉnh không rõ ràng, có thể do một phần tinh bột bị hồ hóa làm cấu trúc kết tinh của tinh bột trở nên yếu.

Bảng 3.5. Độ kết tinh của GB và GB-HMT tại các độ ẩm tinh bột khác nhau

Mẫu	Độ kết tinh tương đối (%)
GB	25,34
GB-HTM10	29,33
GB-HMT20	31,47
GB-HMT25	33,23
GB-HMT30	20,95

Sự chuyển đổi mô hình kết tinh từ dạng B sang dạng C có thể được giải thích bằng sự loại nước, liên quan đến sự bay hơi của các phân tử nước trong kênh trung tâm của tế bào đơn vị “B” và sự dịch chuyển của cặp xoắn kép vào trong kênh trung tâm, vốn bị chiếm giữ bởi các phân tử nước bay hơi [55]. Sự di chuyển này có thể phá

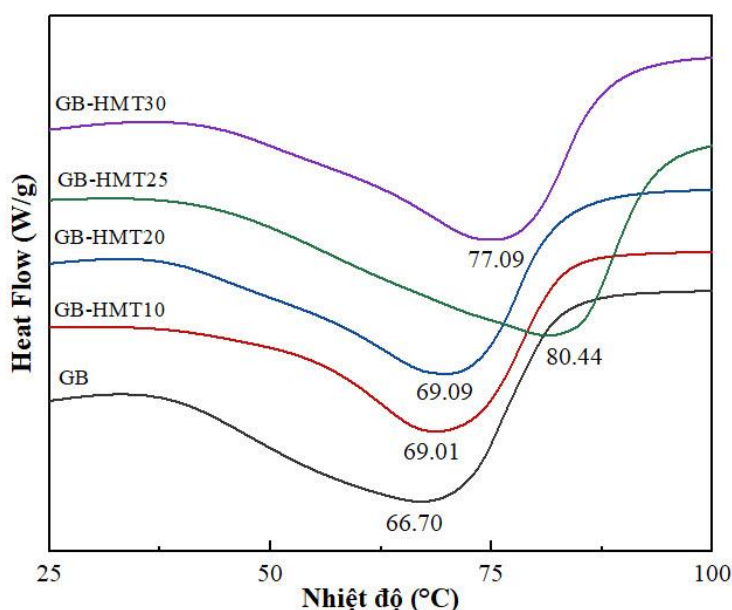
vỡ các tinh thể tinh bột và làm thay đổi định hướng tinh thể. Tuy nhiên, khi vượt quá một hàm lượng ẩm (25%), cường độ các peak $\sim 15^\circ$, $\sim 17^\circ$ và $\sim 23^\circ$ giảm đồng thời quan sát thấy sự sáp nhập của các peak $\sim 23^\circ$ liên quan đến tăng vùng vô định hình. Đây có thể là do hiện tượng hồ hóa tinh bột trong quá trình xử lý.

Độ kết tinh tương đối của tinh bột chuối xanh HMT tăng có thể là do tác động của nhiều yếu tố như tăng chuyển động của mạch, thúc đẩy tương tác giữa amylose và amylopectin để tạo thành tinh thể mới cũng như sự phá vỡ và tái sắp xếp lại chuỗi xoắn kép của hạt tinh bột khiến cho vùng vi tinh thể của hạt tinh bột trở nên hoàn hảo hơn [21]. Nước và năng lượng nhiệt cũng có thể thúc đẩy sự hình thành cấu trúc xoắn kép. Tuy nhiên, nhiệt và ẩm dư trong quá trình xử lý HMT khiến cho độ kết tinh tương đối của mẫu GB-HMT30 bắt đầu giảm so với các mẫu HMT khác. Nguyên nhân chính có thể là do quá trình hồ hóa một phần hoặc toàn phần của tinh bột và sự thay đổi cấu trúc xoắn kép trong quá trình xử lý thủy nhiệt đã phá hủy hạt tinh bột và làm thay đổi định hướng của tinh thể tinh bột.

3.2.2.3. Nhiệt lượng quét vi sai (DSC)

Giải đồ DSC của tinh bột chuối xanh ban đầu và xử lý HMT được trình bày ở hình 3.12, các thông số hồ hóa được thống kê trong bảng 3.6.

Từ hình 3.12 và bảng 3.6 cho thấy tinh bột HMT có nhiệt độ hồ hóa (T_o , T_p và T_e) cao hơn so với tinh bột ban đầu. Khi độ ẩm tinh bột trong quá trình xử lý HMT tăng từ 10-25%, nhiệt độ hồ hóa T_p tăng từ $69,01^\circ\text{C}$ lên $80,44^\circ\text{C}$, entanpy hồ hóa (ΔH) giảm mạnh xuống còn 4,39 – 3,88 J/g. Khi tiếp tục tăng độ ẩm tinh bột lên 30%, nhiệt độ hồ hóa T_p giảm còn $77,09^\circ\text{C}$, ΔH giảm còn 3,56 J/g.



Hình 3.12. Giải đồ DSC của GB và GB-HMT tại các độ ẩm tinh bột khác nhau (10% (GB-HMT10), 20% (GB-HMT20), 25% (GB-HMT25) và 30% (GB-HMT30))

Bảng 3.6. Nhiệt độ hồ hóa (T_o , T_p và T_e) của tinh bột chuối xanh và tinh bột HMT xử lý tại các độ ẩm khác nhau

Mẫu	T_o (°C)	T_p (°C)	T_e (°C)	$\Delta T = T_e - T_o$ (°C)	ΔH (J/g)
GB	63,23	66,70	70,56	7,23	18,18
GB-HMT10	67,27	69,01	71,40	4,13	4,39
GB-HMT20	67,67	69,09	71,35	3,68	4,13
GB-HMT25	77,17	80,44	83,93	6,76	3,88
GB-HMT30	72,67	77,09	79,44	6,77	3,56

Sự gia tăng các thông số quá trình hồ hóa (T_o , T_p và T_e) ở các mẫu tinh bột HMT trong khoảng độ ẩm 10-25% cho thấy sự giảm khả năng di chuyển của chuỗi tinh bột trong vùng vô định hình. Những thay đổi này được cho là do sự tăng cường tương tác của amylose-amylose, amylose-amylopectin và các tương tác hóa học cũng như sự thay đổi cấu trúc kết tinh. Khi độ ẩm quá cao (trên 30%), T_o , T_p và T_e của tinh bột HMT giảm, nguyên nhân có thể do sự tái sắp xếp phân tử tinh bột tăng. Sự tái tập hợp này diễn ra chủ yếu ở amylose trong vùng vô định hình dẫn đến tái kết tinh, cải thiện các vùng kết tinh nhỏ hay tương tác mạch giữa amylopectin hay amylose [20].

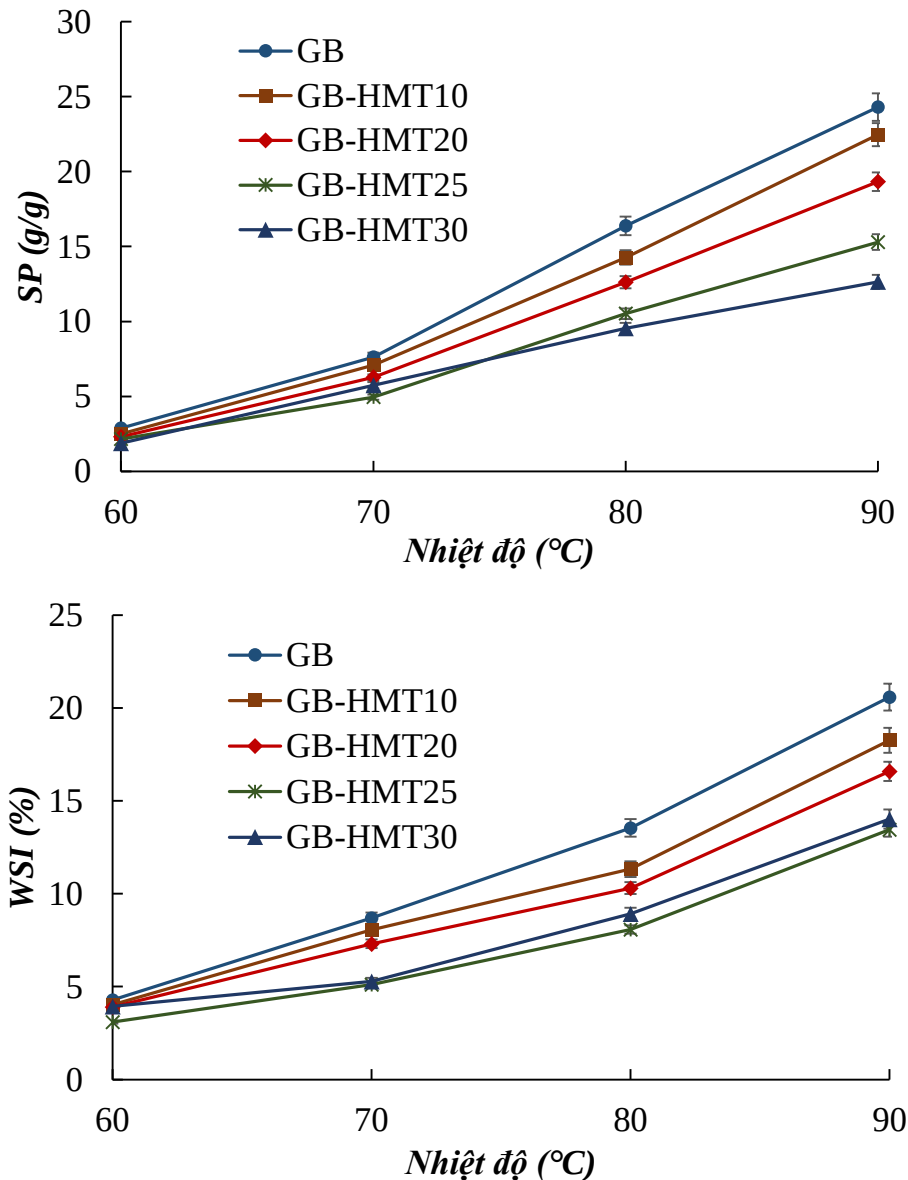
So với tinh bột chuối xanh ban đầu, ΔH giảm ở tất cả các mẫu xử lý HMT chứng tỏ rằng có sự tăng vùng vô định hình và giảm mức độ trật tự tinh thể trong hạt tinh bột. ΔH giảm có nghĩa là mức năng lượng cần để phân ly các tinh thể là thấp hơn. Amylopectin là yếu tố chính tạo nên độ kết tinh của hạt tinh bột vì sự có mặt của amylose làm giảm điểm chảy của vùng kết tinh và năng lượng cần thiết để bắt đầu quá trình hồ hóa.

3.2.3. Tính năng của tinh bột HMT

3.2.3.1. Khả năng trương nở và độ tan

Khả năng trương nở và độ tan của tinh bột chuối xử lý nhiệt ẩm ở các nhiệt độ khác nhau từ 60-90°C được nghiên cứu. Kết quả được biểu diễn trên hình 3.13.

Khả năng trương nở và độ tan đóng vai trò như chỉ số về khả năng hydrat hóa của tinh bột trong các điều kiện nấu cụ thể. Nhiệt độ tăng làm tăng khả năng trương nở và độ tan của tinh bột.



Hình 3.13. Khả năng trương nở và độ tan của tinh bột chuối xanh trước và sau xử lý HMT

(Tinh bột được xử lý HMT ở các độ ẩm khác nhau: 10% (GB-HMT10), 20% (GB-HMT20), 25% (GB-HMT25) và 30% (GB-HMT30))

Từ hình 3.13 cho thấy dù ở nhiệt độ nào thì quá trình HMT làm giảm khả năng trương nở và độ tan của tinh bột. Ở 90°C, độ ẩm tinh bột trong quá trình xử lý càng cao (từ 10-30%), SP giảm từ 22,47 g/g xuống 12,64 g/g, thấp hơn tinh bột ban đầu khoảng 1,84-11,66 g/g, tương tự, WSI giảm từ 18,26% xuống 14,02%, thấp hơn tinh bột ban đầu khoảng 2,33-6,57%.

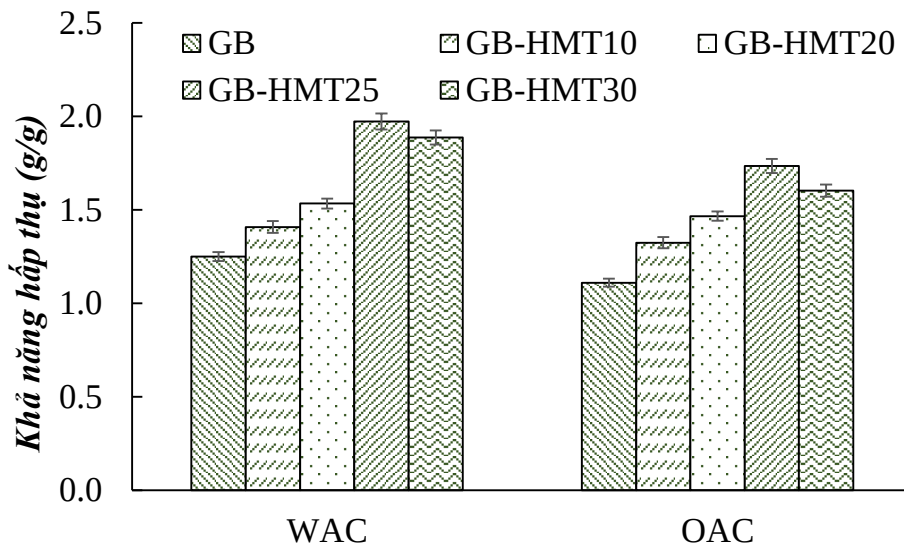
Sự giảm dần độ trương và độ tan này phụ thuộc hàm lượng ẩm trong quá trình xử lý HMT. Nguyên nhân là do quá trình xử lý HMT gây ra sự sắp xếp lại phân tử tinh bột và tái tập hợp các mạch tinh bột. Tương tác giữa các mạch

amylose - amylose và amylose - amylopectin được tăng cường có thể hạn chế sự trương của hạt tinh bột [18].

Ngoài ra, sau quá trình xử lý HMT, amylose trong hạt tinh bột khó di chuyển ra ngoài và tạo cấu trúc ổn định với amylopectin trong phân tử tinh bột, do đó làm giảm độ tan của tinh bột HMT.

3.2.3.2. Khả năng hấp thụ dầu, hấp thụ nước

Khả năng hấp thụ nước, khả năng hấp thụ dầu của tinh bột chuối xanh và tinh bột xử lý HMT được biểu diễn trên hình 3.14.



Hình 3.14. Khả năng hấp thụ nước (WAC) và khả năng hấp thụ dầu (OAC) của tinh bột chuối xanh trước và sau xử lý HMT

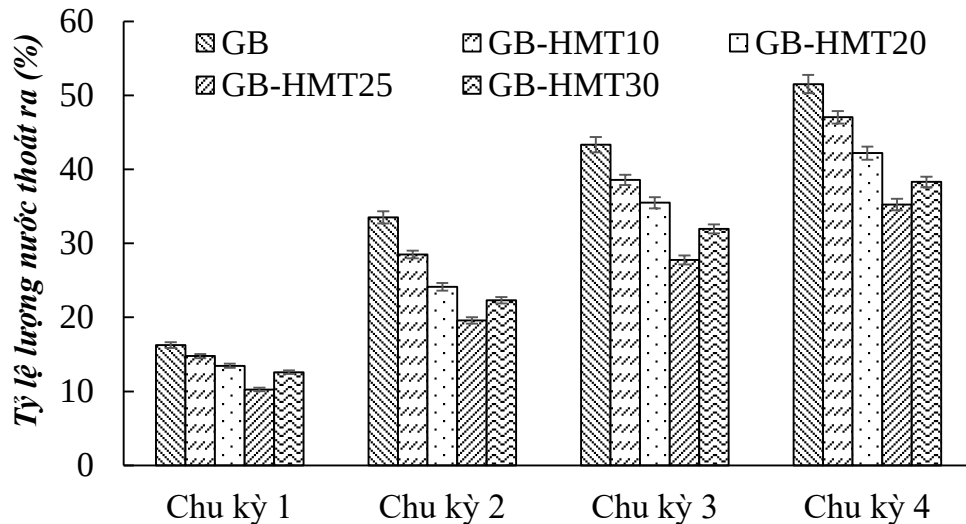
(Tinh bột HMT được xử lý ở các độ ẩm khác nhau: 10% (GB-HMT10), 20% (GB-HMT20), 25% (GB-HMT25) và 30% (GB-HMT30))

Tinh bột chuối xanh được xử lý HMT thể hiện khả năng hấp thụ nước và dầu cao hơn đáng kể so với tinh bột ban đầu, tăng từ 1,25 lên 1,97 mL/g trong nước và từ 1,11 đến 1,73 g/mL trong dầu (Hình 3.14). Trong khoảng độ ẩm từ 10 đến 25%, khả năng hấp thụ nước và dầu tăng lên. Tuy nhiên, ở độ ẩm 30% cho thấy khả năng hấp thụ nước và dầu giảm, WAC và OAC lần lượt là 1,89 và 1,60 mL/g.

Sự tăng WAC và OAC có thể là do phá vỡ liên kết hydro giữa vùng vô định hình và vùng kết tinh cùng với sự giãn nở nhẹ vùng vô định hình trong quá trình xử lý thủy nhiệt, làm tăng độ xốp dẫn đến tăng khả năng hấp thụ. Tuy nhiên, khi tiếp tục tăng hàm lượng ẩm (BG-HMT30) độ hấp thụ giảm có thể là do hạt tinh bột bị hòa một phần, phá hủy cấu trúc dẫn đến mất khả năng hấp thụ dầu và nước.

3.2.3.3. Độ bền lạnh đông-tan giá

Lượng nước được giải phóng sau mỗi chu kỳ lạnh đông-tan giá dùng để đánh giá độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột hồ hóa. Hình 3.15 biểu diễn độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột chuối xanh trước và sau khi xử lý HMT.



Hình 3.15. Độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột chuối xanh trước và sau xử lý HMT

(Tinh bột HMT được xử lý ở các độ ẩm khác nhau: 10% (GB-HMT10), 20% (GB-HMT20), 25% (GB-HMT25) và 30% (GB-HMT30))

Kết quả hình 3.15 cho thấy sau mỗi chu kỳ lạnh đông-tan giá, lượng nước thoát ra ở cả mẫu tinh bột ban đầu và tinh bột HMT đều tăng. Tuy nhiên, tinh bột HMT có lượng nước thoát ra thấp hơn so với tinh bột ban đầu. Khi tăng độ ẩm trong quá trình xử lý HMT từ 10 đến 25%, lượng nước thoát ra sau mỗi chu kỳ lạnh đông-tan giá có xu hướng giảm, chứng tỏ độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột tăng. Khi xử lý HMT ở độ ẩm cao (30%), lượng nước thoát ra sau mỗi chu kỳ lạnh đông-tan giá lại có xu hướng tăng, độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột kém hơn.

Cụ thể, sau 4 chu kỳ, lượng nước thoát ra của tinh bột chuối xanh giải phóng ra 51,53%. Đối với tinh bột HMT, tinh bột được xử lý ở độ ẩm 25% có lượng nước thoát ra ít nhất (35,23%), chứng tỏ tinh bột chuối HMT xử lý ở độ ẩm 25% có độ bền lạnh đông-tan giá tốt nhất.

Sự tăng độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột HMT có thể là do hình thành cấu trúc xoắn kép giữ các phân tử nước bên trong nền hồ tinh bột khiến cho việc giải phóng các phân tử nước khó khăn hơn [57]. Tuy nhiên, nếu tiếp tục tăng hàm lượng ẩm (30%), sự phá hủy hạt tinh bột tăng đáng kể, các phân tử tinh bột tái sắp xếp, hạn chế khả năng liên kết giữa các phân tử tinh bột và phân tử nước qua liên kết hydro. Bởi vậy, nước trong hạt tinh bột dễ bị kết tụ khiến cho độ bền lạnh đông-tan giá của

hồ tinh bột giảm. Các kết quả này cũng phù hợp với hình thái học của hạt tinh bột khi quan sát ảnh SEM.

3.3. Biến tính tinh bột bằng phương pháp phosphoryl hóa

3.3.1. Khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình phosphoryl hóa

3.3.1.1. Ảnh hưởng của hàm lượng muối phosphate

Để nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng muối phosphate đến độ thể và khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh, phản ứng được tiến hành với hàm lượng muối phosphate từ 6-12% so với hàm lượng tinh bột, các điều kiện khác giữ không đổi: $m_{\text{Na}_2\text{SO}_4} = 10\% m_{\text{tinh bột}}$, nhiệt độ 70°C , tỷ lệ khối lượng STMP/STPP 99/1. Kết quả được trình bày trong bảng 3.7.

Bảng 3.7. Ảnh hưởng của hàm lượng muối phosphate đến độ thể và khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh

Hàm lượng muối phosphate (%)	P liên kết (%)	DS	RS (%)	RDS (%)	SDS (%)
0	0,0067 $\pm 0,0002$	0,0004 $\pm 0,0001$	25,76 $\pm 0,65$	64,05 $\pm 0,47$	10,19 $\pm 0,08$
6	0,1820 $\pm 0,0010$	0,0096 $\pm 0,0003$	38,70 $\pm 0,58$	46,04 $\pm 0,63$	15,27 $\pm 0,11$
8	0,2520 $\pm 0,0009$	0,0133 $\pm 0,0003$	43,64 $\pm 0,62$	32,17 $\pm 0,41$	24,19 $\pm 0,09$
10	0,3727 $\pm 0,0013$	0,0197 $\pm 0,0002$	58,29 $\pm 0,76$	15,78 $\pm 0,19$	25,93 $\pm 0,07$
12	0,4513 $\pm 0,0011$	0,0239 $\pm 0,0004$	60,26 $\pm 0,74$	11,66 $\pm 0,09$	28,09 $\pm 0,05$

Khi hàm lượng muối phosphate tăng, các phân tử tinh bột phản ứng với muối phosphate tạo liên kết ngang nhiều hơn dẫn đến hàm lượng phospho liên kết (P liên kết) tăng. Từ bảng 3.7 có thể thấy hàm lượng phospho tỷ lệ thuận với độ thể DS.

Khả năng tạo liên kết ngang càng cao sẽ tạo ra tinh bột có cấu trúc cồng kềnh gây trở ngại về không gian, ngăn cản sự tiếp xúc của các enzyme với các phân tử tinh bột [9, 32, 52]. Do đó, quá trình tạo liên kết ngang khiến cho RS và SDS tăng, RDS giảm.

Khi tăng hàm lượng muối phosphate từ 6 lên 12%, tinh bột phosphoryl hóa có hàm lượng RS tăng từ 38,70 lên 60,26%, SDS tăng từ 15,27 lên 28,09% và RDS giảm từ 26,04 xuống 11,66%.

Tuy nhiên, ở hàm lượng muối phosphate 12%, hàm lượng P liên kết có trong tinh bột là 0,4513%, tương ứng với độ thể DS 0,0239, vượt ngưỡng an toàn theo quy định của Cục quản lý Thực phẩm và Dược Hoa Kỳ (The U.S. Food and Drug Administration - FDA) là 0,4%

Như vậy, hàm lượng muối phosphate phù hợp để biến tính tinh bột chuối xanh có hàm lượng RS cao là 10% so với khối lượng tinh bột.

3.3.1.2. Ảnh hưởng hàm lượng Na_2SO_4

Để nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng Na_2SO_4 đến độ thể và khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh, phản ứng được tiến hành với các hàm lượng Na_2SO_4 là 5%, 10% và 20%, các điều kiện khác giữ không đổi: nhiệt độ phản ứng 70°C, hàm lượng muối phosphate 10% so với khối lượng tinh bột, tỷ lệ khối lượng STMP/STPP 99/1. Kết quả được trình bày ở bảng 3.8.

Bảng 3.8. Ảnh hưởng của hàm lượng Na_2SO_4 đến độ thể và khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh

Hàm lượng Na_2SO_4 (%)	P liên kết (%)	DS	RS (%)	RDS (%)	SDS (%)
0	0,0067 ± 0,0002	0,0004 ± 0,0001	25,76 ± 0,65	64,05 ± 0,47	10,19 ± 0,08
5	0,2241 ± 0,0009	0,0118 ± 0,0003	30,82 ± 0,52	52,47 ± 0,52	16,71 ± 0,09
10	0,3727 ± 0,0013	0,0197 ± 0,0002	58,29 ± 0,76	15,78 ± 0,19	25,93 ± 0,07
20	0,4214 ± 0,0012	0,0223 ± 0,0003	60,26 ± 0,73	13,83 ± 0,11	25,91 ± 0,15

Kết quả bảng 3.8 cho thấy khi tăng hàm lượng Na_2SO_4 , độ thể DS của tinh bột chuối xanh tăng lên đáng kể, từ 0,0118 (5% Na_2SO_4) lên 0,0223 (20% Na_2SO_4). Như vậy, Na_2SO_4 có tác dụng đẩy nhanh phản ứng phosphoryl hóa xảy ra, ngoài ra, sự hiện diện của natri sunfat có tác dụng ngăn chặn sự trương nở của tinh bột và tạo ra sản phẩm dễ lọc hơn.

Độ thể DS tăng, liên kết ngang giữa các phân tử tinh bột càng nhiều, cấu trúc tinh bột càng cứng kền, như vậy giảm khả năng đặc hiệu với enzyme của tinh bột, hàm lượng RS và SDS tăng lên, RDS giảm xuống. Khi tăng hàm lượng Na_2SO_4 từ 5 đến 20%, RS tăng từ 30,8 lên 60,26%, SDS tăng từ 16,71% lên 25,91%, RDS giảm từ 52,47% xuống 13,83%.

Sự chênh lệch của hàm lượng RS của tinh bột phosphoryl hóa sau quá trình phosphoryl hóa sử dụng 10% Na_2SO_4 và 20% Na_2SO_4 không đáng kể nên để đảm bảo an toàn thực phẩm cũng như tiết kiệm hóa chất thì hàm lượng Na_2SO_4 tối ưu sử dụng trong quá trình phosphoryl hóa tinh bột chuối xanh là 10% so với hàm lượng tinh bột.

3.3.1.3. Ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng

Để nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng đến độ thể và khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh, phản ứng được tiến hành ở 60, 70 và 80°C, các điều kiện khác giữ không đổi: hàm lượng Na_2SO_4 bằng 10% so với khối lượng tinh bột, khối lượng muối phosphate bằng 10% so với khối lượng tinh bột, tỷ lệ khối lượng STMP/STPP 99/1. Kết quả được trình bày ở bảng 3.9.

Kết quả trong bảng 3.9 cho thấy khi tăng nhiệt độ từ 60°C lên 70°C, hàm lượng P liên kết tăng lên, đồng thời DS và hàm lượng RS, SDS cũng tăng. Nguyên nhân là do ở nhiệt độ cao, quá trình phá vỡ các liên kết hydro nội phân tử giữa các mạch tinh bột diễn ra nhanh hơn, từ đó làm tăng khả năng tạo liên kết ngang giữa các gốc P=O với các nhóm hydroxyl trong tinh bột, tinh bột phosphoryl hóa càng có cấu trúc cồng kềnh, ngăn cản quá trình thủy phân của enzyme.

Bảng 3.9. Ảnh hưởng của nhiệt độ phản ứng đến độ thể và khả năng tiêu hóa của tinh bột chuối xanh

Nhiệt độ phản ứng (°C)	P liên kết (%)	DS	RS (%)	RDS (%)	SDS (%)
Tinh bột Ban đầu	0,0067 ± 0,0002	0,0004 ± 0,0001	25,76 ± 0,65	64,05 ± 0,47	10,19 ± 0,08
60	0,1560 ± 0,0004	0,0082 ± 0,0001	28,34 ± 0,42	55,86 ± 0,54	15,80 ± 0,11
70	0,3727 ± 0,0013	0,0197 ± 0,0002	58,29 ± 0,76	15,78 ± 0,19	25,93 ± 0,07
80	0,3214 ± 0,0011	0,0170 ± 0,0002	50,53 ± 0,52	37,65 ± 0,27	11,82 ± 0,07

Tuy nhiên khi quá trình phosphoryl hóa xảy ra ở 80°C, hàm lượng P, DS và RS, SDS có xu hướng giảm. Hiện tượng này có thể là do ở nhiệt độ quá cao, cấu trúc tinh bột bị phá vỡ gây ra hiện tượng hồ hóa một phần, ngoài ra, sự hình thành liên kết ngang giữa các gốc P=O với các nhóm hydroxyl trong tinh bột có thể bị ảnh hưởng.

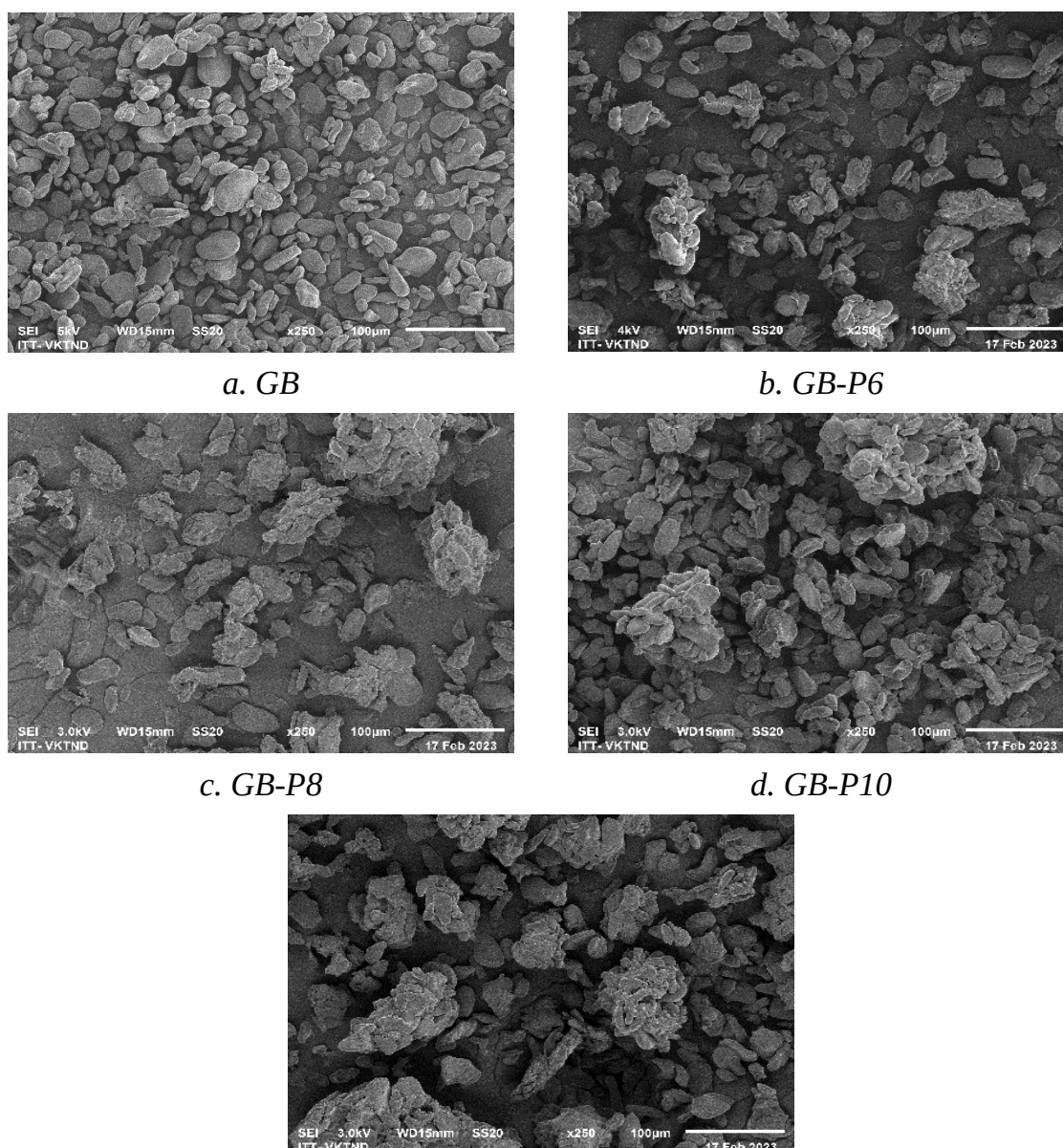
Do đó, 70°C là nhiệt độ tối ưu cho quá trình phosphoryl hóa tinh bột chuối xanh cho hàm lượng RS cao.

Kết luận: Điều kiện tối ưu cho quá trình phosphoryl hóa tinh bột chuối xanh là hàm lượng Na_2SO_4 bằng 10% so với khối lượng tinh bột, hàm lượng muối phosphate bằng 10% so với khối lượng tinh bột, tỷ lệ khối lượng STMP/STPP 99/1, nhiệt độ phản ứng 70°C . Tại điều kiện này, hàm lượng tinh bột kháng tiêu đạt được là 58,29%.

3.3.2. Đặc trưng lý hóa của tinh bột phosphoryl hóa

3.3.2.1. Hình thái học bề mặt

Ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) của các mẫu tinh bột chuối xanh ban đầu (GB) và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa được trình bày trên hình 3.16.



Hình 3.16. Ảnh SEM (x250) của tinh bột chuối xanh ban đầu và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa

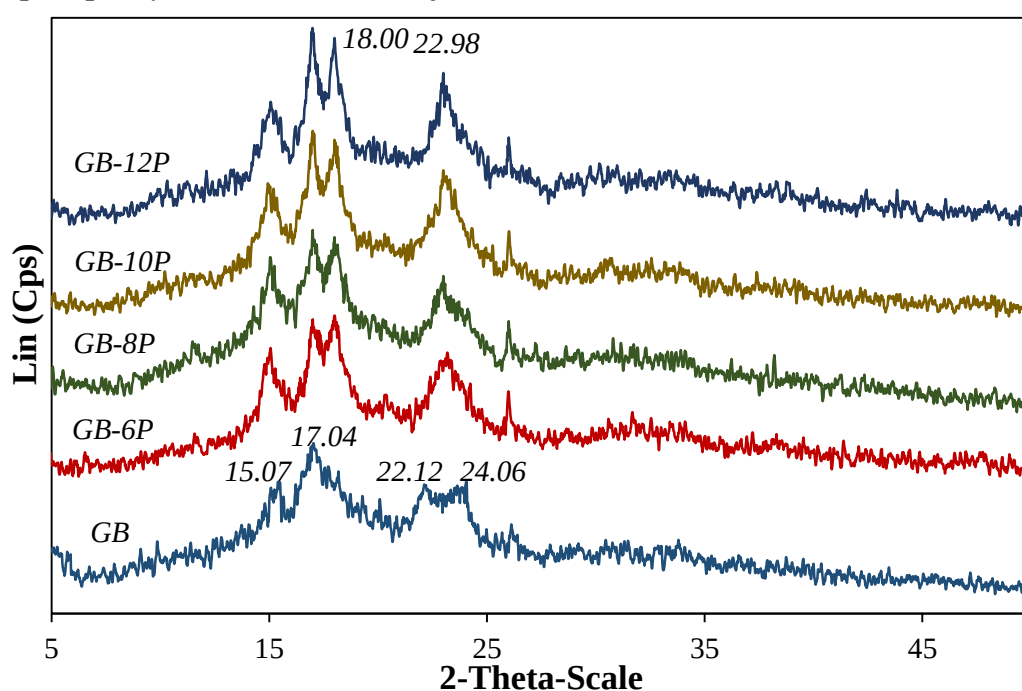
(Tinh bột phosphoryl hóa với hàm lượng muối phosphate khác nhau: 6% (GB-P6), 8% (GB-P8), 10% (GB-P10) và 12% (GB-P12))

Quá trình phosphoryl hóa đã làm cấu trúc của tinh bột chuối xanh bị biến dạng. Hạt tinh bột tự nhiên rời rạc có hình bầu dục, hình thuôn dài với kích thước khác nhau, bề mặt nhẵn, sau quá trình phosphoryl hóa, bề mặt hạt tinh bột trở nên thô, nhám, hình dạng hạt có sự thay đổi. Kết quả này phù hợp với báo cáo của Koo và Carmona-Garcia [33, 35].

Đặc biệt, khi tăng hàm lượng muối phosphate thì hiện tượng các hạt tinh bột kết tụ lại càng nhiều, chứng tỏ mức độ tạo liên kết ngang càng cao giữa các hạt tinh bột.

3.3.2.2. Nhiễu xạ tia X

Giản đồ nhiễu xạ tia X của tinh bột chuối xanh ban đầu (GB) và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa được trình bày trên hình 3.17.



Hình 3.17. Giản đồ nhiễu xạ tia X của tinh bột chuối xanh ban đầu và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa

(Tinh bột phosphoryl hóa với hàm lượng muối phosphate khác nhau: 6% (GB-P6), 8% (GB-P8), 10% (GB-P10) và 12% (GB-P12))

Tinh bột chuối tự nhiên có đỉnh nhiễu xạ đặc trưng ở $2\theta = \sim 15^\circ$; $\sim 17^\circ$; ~ 22 - 24° , đặc trưng cho cấu trúc kết tinh kiểu B. Tinh bột chuối phosphoryl hóa có cấu trúc kết tinh thay đổi, chuyển từ mô hình kết tinh kiểu “B” sang mô hình kết tinh kiểu “C” với các đỉnh đặc trưng ở vị trí $2\theta = \sim 15^\circ$; ~ 17 - 18° ; $\sim 23^\circ$ và 1 peak yếu ở $2\theta = \sim 26^\circ$.

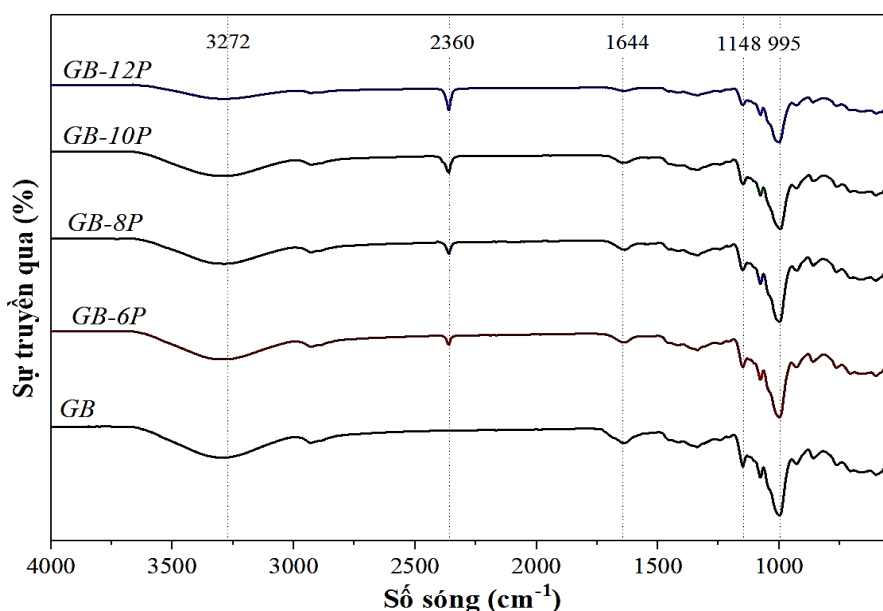
Khi tăng hàm lượng muối phosphate trong quá trình phosphoryl hóa, cường độ nhiễu xạ của các peak đặc trưng tăng lên, độ kết tinh cao hơn.

Bảng 3.10. Độ kết tinh của tinh bột chuối xanh ban đầu và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa

Mẫu	Độ kết tinh tương đối (%)
GB	25,34
GB-6P	28,67
GB-8P	32,29
GB-10P	35,93
GB-12P	40,16

3.3.2.3. Phổ hồng ngoại FTIR

Kết quả đo phổ hồng ngoại FTIR của tinh bột chuối xanh ban đầu (GB) và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa được trình bày trong các hình 3.18.



Hình 3.18. Phổ FTIR của tinh bột chuối xanh ban đầu và tinh bột phosphoryl hóa

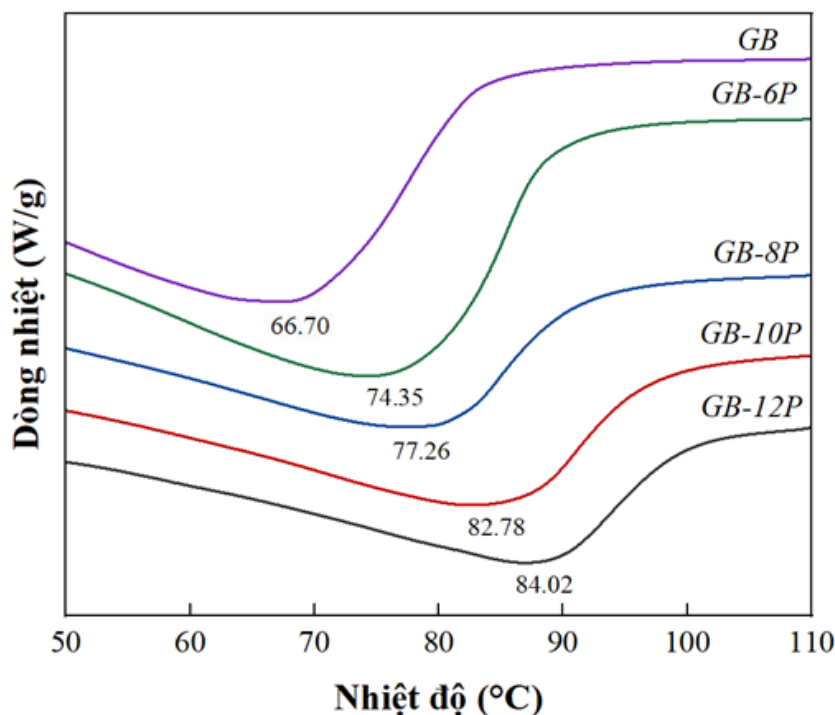
(Tinh bột phosphoryl hóa với hàm lượng muối phosphate khác nhau: 6% (GB-P6), 8% (GB-P8), 10% (GB-P10) và 12% (GB-P12))

Tất cả các mẫu tinh bột chuối xanh (hình 3.17) đều xuất hiện peak rộng ở $\sim 3272 \text{ cm}^{-1}$ đặc trưng cho dao động hóa trị của nhóm -OH trong tinh bột (nhóm -OH tự do, liên kết O-H nội phân tử và liên phân tử), peak ở $\sim 2924 \text{ cm}^{-1}$ đặc trưng cho dao động hóa trị của nhóm -CH trong phân tử tinh bột, peak $\sim 1149 \text{ cm}^{-1}$ đặc trưng dao động hóa trị của nhóm C-O của các polyme carbohydrate; $\sim 1076 \text{ cm}^{-1}$ được cho là dao động của liên kết C-OH trong các phân tử tinh bột và peak $\sim 995 \text{ cm}^{-1}$ là đặc trưng của vật liệu kết tinh một phần.

Ngoài ra, trong tinh bột phosphoryl hóa còn xuất hiện peak ở 2360 cm^{-1} , đặc trưng cho dao động kéo của nhóm P=O của monoester tinh bột phosphate, và hàm lượng muối phosphate càng cao thì pic có cường độ càng mạnh, liên kết xuất hiện càng nhiều.

3.3.2.4. Nhiệt lượng quét vi sai (DSC)

Giản đồ DSC của tinh bột chuối xanh ban đầu và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa được trình bày trong các hình 3.19 và các thông số hồ hóa được thống kê trong bảng 3.11.



Hình 3.19. Giản đồ DSC của tinh bột chuối xanh ban đầu và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa

(Tinh bột phosphoryl hóa với hàm lượng phosphate khác nhau: 6% (GB-P6), 8% (GB-P8), 10% (GB-P10) và 12% (GB-P12))

Bảng 3.11. Nhiệt độ hồ hóa (T_o , T_p , T_e) của tinh bột chuối và tinh bột chuối phosphoryl hóa

Tinh bột	T_o (°C)	T_p (°C)	T_e (°C)	$\Delta T = T_e - T_o$ (°C)	ΔH (J/g)
GB	63,23	66,70	70,56	7,23	18,18
GB-P6	68,42	74,35	78,51	10,09	10,20
GB-P8	71,35	77,26	83,14	11,79	9,55
GB-P10	75,83	82,78	88,46	12,63	6,79
GB-P12	78,55	84,02	93,32	13,77	4,74

Tinh bột chuối xanh tự nhiên có nhiệt độ hồ hóa $T_p = 66,70^\circ\text{C}$, nằm trong khoảng nhiệt độ hồ hóa từ $63,23-72,0^\circ\text{C}$ của một số loại tinh bột chuối xanh đã được nghiên cứu trước đây [58]. Tinh bột chuối phosphoryl hóa cho thấy T_0 , T_p , T_e và ΔT cao hơn so với tinh bột chuối tự nhiên và tăng theo mức độ hình thành liên kết ngang. Khi hàm lượng muối phosphate từ 6 đến 12%, T_0 tăng từ $68,42$ lên $78,55^\circ\text{C}$, T_p tăng từ $74,35$ lên $84,55^\circ\text{C}$, T_e tăng từ $78,51$ lên $93,32^\circ\text{C}$ và ΔT tăng từ $10,09$ lên $13,77^\circ\text{C}$.

Sự gia tăng các thông số hồ hóa T_0 , T_p , T_e và ΔT ở các mẫu tinh bột phosphoryl hóa cho thấy sự tăng cường tương tác của amylose-amylose, amylose-amylopectin và các tương tác hóa học trong phân tử tinh bột khiến cấu trúc tinh bột trở nên chặt chẽ hơn, cần nhiệt độ cao để phá vỡ liên kết cũng như hồ hóa tinh bột [58]. Nhiệt độ hồ hóa tăng phù hợp với độ kết tinh của tinh bột phosphoryl.

3.3.3. Tính năng của tinh bột chuối phosphoryl hóa

3.3.3.1. Khả năng trương nở và độ tan

Khả năng trương nở và độ tan của tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa ở các nhiệt độ khác nhau từ $60-90^\circ\text{C}$ được nghiên cứu. Kết quả được trình bày trong bảng 3.12 và 3.13.

Bảng 3.12. Khả năng trương nở của tinh bột chuối và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa (g/g)

Mẫu	Nhiệt độ			
	60°C	70°C	80°C	90°C
GB	$2,882 \pm 0,025$	$7,621 \pm 0,033$	$16,379 \pm 0,035$	$24,301 \pm 0,042$
GB-P6	$2,282 \pm 0,023$	$6,352 \pm 0,030$	$12,402 \pm 0,044$	$20,452 \pm 0,058$
GB-P8	$1,934 \pm 0,016$	$4,573 \pm 0,029$	$9,834 \pm 0,037$	$17,821 \pm 0,044$
GB-P10	$1,342 \pm 0,011$	$3,734 \pm 0,025$	$6,941 \pm 0,021$	$13,245 \pm 0,031$
GB-P12	$1,135 \pm 0,009$	$3,163 \pm 0,013$	$6,581 \pm 0,024$	$12,582 \pm 0,027$

Bảng 3.13. Độ tan của tinh bột chuối và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa (%)

Mẫu	Nhiệt độ			
	60°C	70°C	80°C	90°C
GB	$4,281 \pm 0,015$	$8,692 \pm 0,053$	$13,544 \pm 0,146$	$20,588 \pm 0,090$
GB-P6	$3,736 \pm 0,019$	$5,472 \pm 0,026$	$10,462 \pm 0,066$	$17,362 \pm 0,089$
GB-P8	$2,832 \pm 0,012$	$4,362 \pm 0,031$	$9,048 \pm 0,041$	$15,372 \pm 0,101$
GB-P10	$1,452 \pm 0,008$	$3,562 \pm 0,023$	$7,362 \pm 0,026$	$13,637 \pm 0,123$
GB-P12	$1,124 \pm 0,010$	$3,084 \pm 0,017$	$6,902 \pm 0,029$	$12,573 \pm 0,075$

Dữ liệu bảng 3.12 và bảng 3.13 cho thấy, nhiệt độ tăng (60-90°C) làm tăng khả năng trương nở và độ tan của tinh bột tự nhiên và tinh bột chuỗi phosphoryl hóa và ở cùng một nhiệt độ khảo sát, khả năng trương nở và độ tan của tinh bột phosphoryl hóa thấp hơn so với tinh bột ban đầu.

Tinh bột phosphoryl hóa có độ thế DS càng cao thì khả năng trương nở càng thấp. Ở 90°C, giá trị SP của tinh bột chuỗi xanh được xử lý bằng 6-12% STMP/STPP giảm từ 20,452 xuống 12,582 g/g. Nguyên nhân là do quá trình phosphoryl hóa làm phá hủy cấu trúc xoắn của tinh bột, cấu trúc tinh bột trở nên lỏng lẻo, các liên kết hydro được thay thế bằng liên kết P=O, điều này làm cho nước khó xâm nhập vào bên trong tinh bột cũng như tạo liên kết hydro-hydro giữa phân tử tinh bột và nước [34].

Tương tự như khả năng trương nở, tinh bột phosphoryl hóa có độ thế DS càng cao thì độ tan càng giảm ở tất cả các nhiệt độ thử nghiệm. Độ tan giảm có thể là do mật độ liên kết ngang trong cấu trúc tinh bột tăng, điều này làm cho cấu trúc tinh bột càng trở nên chặt chẽ, amylose trong hạt tinh bột khó di chuyển ra ngoài [33].

Với hàm lượng muối phosphate 12%, khả năng trương nở và độ tan của GB-P12 là thấp nhất.

3.3.3.2. Khả năng hấp thụ nước, hấp thụ dầu

Khả năng hấp thụ nước, hấp thụ dầu của tinh bột chuỗi xanh phosphoryl hóa được trình bày trong bảng 3.14.

Bảng 3.14. Khả năng hấp thụ nước, hấp thụ dầu của tinh bột chuỗi và tinh bột chuỗi xanh phosphoryl hóa

<i>Mẫu</i>	<i>Khả năng hấp thụ nước (mL/g)</i>	<i>Khả năng hấp thụ dầu (mL/g)</i>
GB	1,250 ± 0,030	1,110 ± 0,035
GB-P6	1,524 ± 0,025	1,314 ± 0,031
GB-P8	1,835 ± 0,018	1,622 ± 0,026
GB-P10	2,214 ± 0,027	1,936 ± 0,018
GB-P12	2,413 ± 0,024	2,034 ± 0,025

Từ bảng 3.14 cho thấy khả năng hấp thụ nước của tinh bột phosphoryl hóa cao hơn đáng kể so với tinh bột tự nhiên và WAC tỷ lệ thuận với hàm lượng muối phosphate tham gia quá trình phosphoryl hóa tinh bột. Hàm lượng muối phosphate tăng từ 6 đến 12% thì WAC của tinh bột chuỗi phosphoryl hóa tăng từ 1,524 lên 2,413 (mL/g). Sự gia tăng khả năng hấp thụ nước của tinh bột phosphoryl hóa có thể là do

lực đẩy giữa các nhóm photphat tích điện âm được gắn vào mạch tinh bột làm giảm lực liên kết giữa các phân tử, tạo điều kiện cho sự hấp thụ nước [60].

Tương tự như khả năng hấp thụ nước, khả năng hấp thụ dầu của tinh bột chuỗi phosphoryl hóa cũng cao hơn so với tinh bột tự nhiên và tinh bột có độ thế DS càng cao thì OAC càng cao (bảng 3.14). Quá trình phosphoryl hóa giúp OAC của tinh bột tăng từ 1,11 lên 2,034 (mL/g). Khả năng hấp thụ dầu của tinh bột là do sự lưu dầu trong cấu trúc của tinh bột bởi lực mao dẫn hoặc bên trong cấu trúc xoắn kép của các phân tử tinh bột do sự hình thành phức hợp amylose-lipid. Khả năng hấp thụ dầu của tinh bột chuỗi phosphoryl hóa tăng có thể là do khả năng liên kết ngang của tinh bột để giữ dầu tăng hoặc khoảng cách giữa các mạch tinh bột tăng do tác động không gian gây ra bởi sự xuất hiện của các nhóm phosphate.

3.3.3.3. Độ bền lạnh đông-tan giá

Độ bền lạnh đông-tan giá là một yếu tố quan trọng cần được xem xét khi chế biến thực phẩm đông lạnh. Bảng 3.15 trình bày độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột chuỗi xanh và tinh bột chuỗi xanh phosphoryl hóa

Bảng 3.15. Độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột chuỗi xanh và tinh bột chuỗi xanh phosphoryl hóa

<i>Mẫu</i>	<i>Tỷ lệ mất nước sau mỗi chu kỳ lạnh đông-tan giá (%)</i>			
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
GB	16,247 ± 0,112	33,513 ± 0,152	43,337 ± 0,240	51,530 ± 0,135
GB-P6	13,341 ± 0,106	26,264 ± 0,123	32,247 ± 0,223	39,244 ± 0,122
GB-P8	10,471 ± 0,110	22,374 ± 0,106	25,724 ± 0,179	29,427 ± 0,201
GB-P10	8,682 ± 0,095	17,372 ± 0,119	18,472 ± 0,112	22,414 ± 0,153
GB-P12	7,472 ± 0,073	15,274 ± 0,120	15,372 ± 0,154	21,462 ± 0,175

Tốc độ mất nước sau mỗi chu kỳ lạnh đông-tan giá có liên quan đến độ bền lạnh đông-tan giá của tinh bột, tỷ lệ mất nước càng thấp chứng tỏ hồ tinh bột có độ bền lạnh đông-tan giá càng cao.

Dữ liệu bảng 3.15 cho thấy, sau 4 chu kỳ lạnh đông-tan giá, tinh bột chuỗi phosphoryl hóa có tỷ lệ mất nước thấp hơn so với tinh bột tự nhiên và tinh bột có độ thế DS càng cao thì độ bền lạnh đông-tan giá càng tốt, lượng nước thoát ra càng ít.

Trong tinh bột phosphoryl hóa có chứa nhóm phosphate mang điện tích dương, đẩy nhau, từ đó ngăn ngừa sự mất nước của tinh bột [61]. Và đó có thể là nguyên nhân khiến tinh bột phosphoryl hóa có độ bền lạnh đông-tan giá cao hơn so với tinh bột tự nhiên.

3.4. Nghiên cứu ứng dụng tinh bột kháng tiêu trong chế biến thực phẩm cho người mắc bệnh đái tháo đường

3.4.1. Ứng dụng tinh bột HMT trong chế biến mì gạo

3.4.1.1. Khả năng tiêu hóa của mì sợi

Kết quả khả năng tiêu hóa của các mẫu mì gạo chứa tinh bột chuỗi HMT25 được trình bày ở bảng 3.16.

Tinh bột chuỗi HMT25 được lựa chọn trong chế tạo mì gạo được xử lý nhiệt-ẩm ở điều kiện độ ẩm 25%, nhiệt độ 110°C và thời gian xử lý 16 giờ.

Bảng 3.16. Khả năng tiêu hóa của mì gạo có bổ sung tinh bột chuỗi xanh HMT

<i>Mẫu</i>	<i>Tỷ lệ (w/w)</i>		<i>RS (%)</i>	<i>RDS (%)</i>	<i>SDS (%)</i>
	<i>Bột gạo</i>	<i>Tinh bột HMT25</i>			
Đối chứng	100	0	20,63 ± 0,84	60,07 ± 1,24	19,30 ± 0,59
10%HMT	90	10	28,52 ± 0,77	56,92 ± 1,05	14,56 ± 0,45
20%HMT	80	20	35,52 ± 0,95	50,63 ± 0,92	13,85 ± 0,57
30%HMT	70	30	41,82 ± 1,12	45,38 ± 1,01	12,80 ± 0,36
40%HMT	60	40	48,49 ± 0,94	40,37 ± 0,88	11,14 ± 0,31
50%HMT	50	50	59,64 ± 1,18	30,37 ± 0,79	9,99 ± 0,28

Kết quả từ bảng 3.16 cho thấy, khi thay thế một phần bột gạo bằng tinh bột chuỗi HMT thì hàm lượng tinh bột tiêu hóa nhanh và hàm lượng tinh bột tiêu hóa chậm giảm dần, trong khi đó hàm lượng RS tăng cao, còn hàm lượng RDS và SDS giảm xuống so với mẫu đối chứng. Cụ thể, khi tăng hàm lượng tinh bột chuỗi HMT từ 10 đến 50%, hàm lượng RS tăng từ 28,52 lên 59,64%, RDS giảm từ 56,92 xuống 30,37% và SDS giảm từ 14,56 xuống 9,99%.

Sự gia tăng hàm lượng RS quan sát được trong mì là do tỷ lệ bổ sung tinh bột giàu RS được sử dụng trong các công thức tăng cao. Quan sát này cho thấy khả năng của tinh bột GB-HMT25 chống lại sự thủy phân bởi các enzyme amylase và amyloglucosidase, ngay cả sau khi bổ sung nó vào các sản phẩm mì.

Như vậy, việc thay thế bột mì bằng tinh bột HMT cho thấy tiềm năng của tinh bột HMT về mặt giá trị dinh dưỡng.

3.4.1.2. Đặc tính khi nấu của mì gạo

Bảng 3.17 trình bày một số đặc tính khi nấu của mì gạo có bổ sung tinh bột chuỗi xanh HMT.

Từ bảng 3.17 thấy rằng, so với mì được làm từ 100% bột gạo, mì được sản xuất bằng hỗn hợp bột gạo và tinh bột HMT có thời gian nấu dài hơn (343,62 đến 400,75 giây), cùng với khối lượng mì sau khi nấu cao hơn (141,47 đến 181,41%) và

tỷ lệ hao hụt khi nấu cao hơn (1,52-4,82%). Nhiệt độ hồ hóa do tinh bột biến tính làm tăng tốc độ động học hóa học của mì, dẫn đến thời gian nấu kéo dài và tăng cường khả năng hấp thụ nước, dẫn đến khối lượng mì lớn hơn sau khi nấu. Tuy nhiên, tỷ lệ đứt của mì chứa tinh bột HMT cao hơn so với mì đối chứng, đặc biệt ở mẫu mì 40%HMT và 50%HMT.

Bảng 3.17. Đặc tính nấu của mì sợi có bổ sung tinh bột chuối xanh HMT

Mẫu	Thời gian nấu, giây	Khối lượng mì sau nấu (%)	Tỷ lệ đứt (%)	Tỷ lệ hao hụt khi nấu (%)
Đối chứng	328,53 ± 1,43	137,27 ± 1,69	0,39 ± 0,05	1,31 ± 0,05
10%HMT	343,62 ± 1,01	141,47 ± 1,24	1,04 ± 0,02	1,52 ± 0,02
20%HMT	359,26 ± 1,26	148,26 ± 1,10	1,73 ± 0,06	1,73 ± 0,06
30%HMT	372,62 ± 1,35	156,94 ± 1,22	3,13 ± 0,08	1,85 ± 0,03
40%HMT	388,27 ± 1,19	169,27 ± 1,36	10,73 ± 0,07	2,51 ± 0,05
50%HMT	400,75 ± 1,34	181,41 ± 1,16	24,37 ± 0,12	4,82 ± 0,06

Tỷ lệ đứt và tỷ lệ hao hụt tăng nhanh ở mẫu mì sợi bổ sung 40-50% tinh bột HMT có thể do khả năng kết dính giữa tinh bột HMT và bột mì yếu đi, tính đồng nhất của các thành phần chế tạo sợi mì bị ảnh hưởng.

Kết luận: Đối với mì gạo, hàm lượng tối đa tinh bột HMT thay thế bột gạo là 30% để sợi mì tạo ra vẫn đảm bảo tính chất của mì gạo, hàm lượng RS cao.



a. Đối chứng



b. 10% HMT



c. 20% HMT



d. 30% HMT



e. 40% HMT



f. 50% HMT

Hình 3.20. Sản phẩm mì gạo chứa tinh bột chuối xanh HMT

3.4.2. Ứng dụng tinh bột phosphoryl hóa trong chế biến mì sợi

3.4.2.1. Khả năng tiêu hóa của mì sợi

Kết quả khả năng tiêu hóa của các mẫu mì sợi chứa tinh bột chuỗi phosphoryl hóa được trình bày ở bảng 3.18.

Tinh bột chuỗi phosphoryl hóa được lựa chọn trong ứng dụng chế tạo mì sợi được xử lý ở điều kiện hàm lượng Na_2SO_4 bằng 10% so với khối lượng tinh bột, hàm lượng muối phosphate bằng 10% so với khối lượng tinh bột, tỷ lệ khối lượng STMP/STPP 99/1, nhiệt độ phản ứng 70°C .

Từ bảng 3.18 cho thấy khi tăng hàm lượng tinh bột phosphoryl hóa trong công thức chế tạo mì sợi, khả năng kháng tiêu hóa của sợi mì tăng (hàm lượng RS tăng), đồng thời, khả năng tiêu hóa của sợi mì giảm (hàm lượng RDS và SDS giảm).

Hàm lượng tinh bột tiêu hóa nhanh và tiêu hóa chậm của mì sợi chứa tinh bột phosphoryl hóa lần lượt nằm trong khoảng 34,39-55,56% và 5,34-17,70%, thấp hơn so với đối chứng (60,07% và 19,30%). Trong khi đó, hàm lượng tinh bột kháng tiêu của các mẫu mì sợi chứa tinh bột phosphoryl hóa dao động trong khoảng 26,74-60,27%, cao hơn mì đối chứng (20,63 %).

Bảng 3.18. Khả năng tiêu hóa của mì sợi chứa tinh bột chuỗi xanh phosphoryl hóa

<i>Mẫu</i>	<i>Tỷ lệ (w/w)</i>		<i>RS (%)</i>	<i>RDS (%)</i>	<i>SDS (%)</i>
	<i>Bột mì</i>	<i>Tinh bột phosphoryl hóa</i>			
Đối chứng	100	0	$18,13 \pm 0,92$	$62,09 \pm 0,84$	$19,78 \pm 0,84$
10%PP	90	10	$26,74 \pm 0,95$	$55,56 \pm 1,21$	$17,70 \pm 0,78$
20%PP	80	20	$37,32 \pm 1,21$	$50,98 \pm 1,06$	$11,70 \pm 0,82$
30%PP	70	30	$43,51 \pm 1,06$	$46,03 \pm 0,98$	$10,46 \pm 0,75$
40%PP	60	40	$51,73 \pm 1,34$	$39,97 \pm 1,03$	$8,30 \pm 0,69$
50%PP	50	50	$60,27 \pm 1,17$	$34,39 \pm 0,88$	$5,34 \pm 0,36$

Như vậy, việc thay thế bột mì bằng tinh bột phosphoryl hóa cho thấy tiềm năng của tinh bột HMT về mặt giá trị dinh dưỡng.

3.4.2.2. Đặc tính khi nấu của mì sợi

Bảng 3.19 trình bày một số đặc tính khi nấu của mì sợi chứa tinh bột chuỗi xanh phosphoryl.

Bảng 3.19. Đặc tính khi nấu của mì sợi chứa tinh bột chuỗi xanh phosphoryl hóa

Mẫu	Thời gian nấu, giây	Khối lượng mì sau nấu (%)	Tỷ lệ đứt (%)	Tỷ lệ hao hụt khi nấu (%)
Đối chứng	318,04 ± 1,21	137,95 ± 1,58	0,33 ± 0,03	1,23 ± 0,04
10%PP	356,27 ± 1,13	140,72 ± 1,36	1,35 ± 0,05	1,68 ± 0,07
20%PP	363,32 ± 1,05	146,45 ± 1,24	1,93 ± 0,07	1,92 ± 0,05
30%PP	371,41 ± 1,09	154,68 ± 1,19	3,72 ± 0,08	2,36 ± 0,04
40%PP	389,93 ± 1,18	163,21 ± 1,29	11,56 ± 0,07	3,02 ± 0,05
50%PP	403,34 ± 1,06	172,14 ± 1,15	27,22 ± 0,13	5,19 ± 0,08

Từ bảng 3.19 cho thấy mì làm từ bột mì có chứa tinh bột phosphoryl hóa có thời gian nấu chín từ 356,27 đến 403,34 giây, khối lượng mì sau nấu tăng khoảng 140,72 đến 172,14%, tỷ lệ sợi mì bị đứt chiếm 1,35 đến 27,22% và tỷ lệ hao hụt khi nấu khoảng 1,68-5,19%, cao hơn so với sợi mì 100% bột mì.

Tỷ lệ đứt và tỷ lệ hao hụt tăng nhanh ở mẫu mì sợi bổ sung 40-50% tinh bột phosphoryl hóa có thể do khả năng kết dính giữa tinh bột phosphoryl hóa và bột mì yếu đi, tính đồng nhất của các thành phần chế tạo sợi mì bị ảnh hưởng. Ngoài ra hàm lượng tinh bột phosphoryl hóa quá nhiều cũng làm tăng thời gian nấu chín do tính chất của tinh bột phosphoryl hóa.

Kết luận: Việc thay thế từ 10-30% bột mì bằng tinh bột phosphoryl hóa giúp tăng hàm lượng tinh bột kháng tiêu, giảm hàm lượng tinh bột tiêu hóa nhanh, tinh bột tiêu hóa chậm có trong mì sợi, đáp ứng được nhu cầu thực phẩm sinh đường thấp cho người tiểu đường, béo phì mà không làm ảnh hưởng đến chất lượng của sợi mì.



a. Đối chứng



b. 10% PP



c. 20% PP



c. 30% PP



c. 40% PP



c. 50% PP

Hình 3.21. Sản phẩm mì sợi chứa tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

I. KẾT LUẬN

Sau một thời gian nghiên cứu, luận văn đã thu được một số kết quả như sau:

1. Quá trình tách và thu nhận tinh bột từ chuối xanh

- Hiệu suất thu hồi tinh bột từ chuối xanh đạt được 19,24%.
- Tinh bột thu được có hàm lượng tinh bột kháng tiêu 25,76%.
- Tinh bột chuối xanh có cấu trúc kết tinh kiểu B, nhiệt độ hồ hóa 66,70°C, entanpy hồ hóa (ΔH) là 18,18 J/g.

- Khả năng trương nở và độ tan ở 90°C, khả năng hấp thụ dầu, khả năng hấp thụ nước và độ bền lạnh đông-tan giá sau 4 chu kỳ lạnh đông-tan giá lần lượt là 24,30 g/g, 20,59%, 1,11 mL/g, 1,25 mL/g và 51,35 %.

2. Đã nghiên cứu quá trình xử lý nhiệt-ẩm tinh bột chuối xanh để chế tạo tinh bột kháng tiêu và xác định được các điều kiện tối ưu là: độ ẩm 25%, nhiệt độ 110°C, thời gian 16 giờ.

- Hàm lượng RS, SDS và RDS của tinh bột chuối xanh HMT ở điều kiện tối ưu lần lượt là 53,35%, 24,96% và 21,69%.

- Cấu trúc kết tinh của tinh bột chuối xanh HMT chuyển từ cấu trúc kiểu B sang cấu trúc kiểu C.

- Bề mặt tinh bột HMT ít có sự thay đổi, xuất hiện hiện tượng kết tụ các hạt tinh bột với nhau ở độ ẩm và nhiệt độ cao.

- Quá trình xử lý HMT làm tăng nhiệt độ hồ hóa, giảm entanpy hồ hóa.

- Quá trình xử lý HMT làm giảm độ tan, khả năng trương nở của tinh bột chuối xanh, trong khi tăng khả năng hấp thụ dầu, hấp thụ nước, cải thiện độ bền lạnh đông-tan giá.

3. Đã nghiên cứu quá trình phosphoryl hóa tinh bột chuối xanh để chế tạo tinh bột kháng tiêu và xác định được các điều kiện tối ưu là: hàm lượng Na_2SO_4 bằng 10% so với khối lượng tinh bột, hàm lượng muối phosphate bằng 10% so với khối lượng tinh bột, tỷ lệ khối lượng STMP/STPP 99/1, nhiệt độ phản ứng 70°C, thời gian 30 phút.

- Hàm lượng RS, SDS và RDS của tinh bột chuối xanh sau quá trình phosphoryl hóa ở điều kiện tối ưu lần lượt là 58,29%, 25,93% và 15,78%.

- Cấu trúc kết tinh của tinh bột chuối xanh chuyển từ cấu trúc kiểu B sang cấu trúc kiểu C.

- Bề mặt tinh bột phosphoryl thô, nhám, xuất hiện hiện tượng các hạt tinh bột kết tụ.

- Quá trình phosphoryl hóa làm tăng nhiệt độ hồ hóa, giảm entanpy hồ hóa.

- Quá trình phosphoryl hóa làm giảm độ tan, khả năng trương nở, tăng khả năng hấp thụ dầu, hấp thụ nước giảm, cải thiện độ bền lạnh đông-tan giá.

4. Đã nghiên cứu ứng dụng tinh bột chuối xanh HMT và tinh bột chuối xanh phosphoryl hóa để chế biến mì sợi với lượng tinh bột biến tính có thể thay thế tới 30% bột mì mà không làm ảnh hưởng đến chất lượng sợi mì.

- Đối với mì gạo, hàm lượng tối đa tinh bột HMT thay thế bột gạo là 30% để sợi mì tạo ra vẫn đảm bảo tính chất của mì gạo, hàm lượng RS, RDS và SDS lần lượt là 41,82%, 45,38% và 12,80%.

- Đối với mì sợi, hàm lượng tối đa tinh bột phosphoryl hóa thay thế bột mì là 30% để sợi mì tạo ra vẫn đảm bảo tính chất của mì gạo, hàm lượng RS, RDS và SDS lần lượt là 43,51%, 46,03% và 10,46%.

II. KIẾN NGHỊ

- Tinh bột chuối xanh là nguồn nguyên liệu tiềm năng sản xuất tinh bột kháng tiêu ứng dụng trong công nghệ thực phẩm.

- Một số công việc cần tiếp tục nghiên cứu trong thời gian tới là nghiên cứu chỉ số đường huyết (GI) ở chuột sau khi tiêu hóa mì sợi, mì gạo có chứa tinh bột chuối xanh biến tính để có thể làm rõ hơn khả năng ứng dụng nhằm mục đích thương mại hóa sản phẩm.

- Nghiên cứu thăm dò chế biến một số sản phẩm, thực phẩm bảo vệ sức khỏe chứa tinh bột kháng tiêu từ nguyên liệu chuối xanh như bánh quy, bánh mì.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Eric Bertoft, 2017, Understanding Starch Structure: Recent Progress, *Agronomy*, 7(3), 56.
- [2]. Jane, J.-L.; Kasemsuwan, T.; Leas, S.; Zobel, H.; Robyt, J.F., 1994, Anthology of starch granule morphology by scanning electron microscopy, *Starch/Stärke*, 46, 121–129.
- [3]. Santana A. L., A. Meireles M. A., 2014, New starches are the trend or industry applications: a review, *Food and Public Health*, 4(5): 229-41.
- [4]. Ardha Apriyanto, Julia Compart, Joerg Fettke, 2022, A review of starch, a unique biopolymer – Structure, metabolism and in planta modifications, *Plant Science*, Volume 318, 111223.
- [5]. Villa Zabala, Cristian Camilo, 2020, An Overview on Starch Structure and Chemical Nature, *Starch-based Nanomaterials*, 3-9.
- [6]. Yaeel Isbeth Cornejo-Ramírez, Oliviert Martínez-Cruz, Carmen Lizette Del Toro-Sánchez, Francisco Javier Wong-Corral, Jesús Borboa-Flores & Francisco Javier Cinco-Moroyoqui, 2018, The structural characteristics of starches and their functional properties, *CyTA - Journal of Food*, 16(1), 1003–1017.
- [7]. David Seung, 2020, Amylose in starch: towards an understanding of biosynthesis, structure and function, *New Phytologist*.
- [8]. Serge Pérez¹ and Eric Bertof, 2010, The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review, *Starch/Stärke*, 62, 389-420.
- [9]. Phạm Văn Hùng, 2019, Tinh bột kháng tiêu – Sản xuất và ứng dụng, NXB Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh.
- [10]. Yongfeng Ai, Jay-lin Jane, 2018, Starch in food – Chapter 3: Understanding starch structure and functionality, Andre´Gerhard Wolff Publishing, *United States*, 153-159.
- [11]. Coultate T. P., 2002, Food: The Chemistry of its Components. London: Royal Society of Chemistry.
- [12]. Gregory R. Ziegler, Tor S. Nordmark, Sarah E. Woodling, 2003, Spherulic crystallization of starch: influence of botanical origin and extent of thermal treatment, *Food Hydrocolloids*, 14, 487-494.
- [13]. Jack Preiss, 2018, Starch in food – Chapter 1: Plant starch synthesis, Andre´Gerhard Wolff Publishing, *United States*, 1-15.

- [14]. Olayinka O.O., Adebawale K.O., Olu-Owolabi I.B., 2013, Physicochemical properties, morphological and X-ray pattern of chemically modified white sorghum starch. (*Bicolor-Moench*), *Journal of Food Science and Technology*, 50, 70-77.
- [15]. Mali, S., Karam, L. B., Pereira, R. L., & Grossmann, M. V. E., 2004, Relationship among the composition and physicochemical properties of starches with the characteristics of their films, *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, 7720-7725.
- [16]. M.G. Sajilata, Rekha S. Singhal, and Pushpa R. Kulkarni, 2006, Resistant starch: A review, *Compr. Rev. Food. Sci. F.*, 5 (1), 1-17.
- [17]. Fuentes-Saragoza, E., Sánchez-Zapata, E., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., Fernández-López, J., & Pérez-Alvarez, J. A., 2011, Resistant starch as prebiotic: A review, *Starch/Stärke*, 63, 406-415.
- [18]. Chung, H.J., Liu, Q. and Hoover, R., 200, Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches, *Carbohydrate Polymers*, 75(3), 436-447.
- [19]. Laksmi Putri Ayuningtyas, Ashri Mukti Benita, Desy Triastuti, 2022, Crystalline and Digestive Characteristics Of Heat Moisture Treated And Annealed Lesser Yam (*Dioscorea Esculenta*) Starch”, *Jurnal Pangan dan Agroindustri* Vol.10 No.1: 1-8.
- [20]. B. Iromidayo Olu-Owolabi, T. Adeniyi Afolabi & Kayode O. Adebawale, 2011, Pasting, Thermal, Hydration, and Functional Properties of Annealed and Heat-Moisture Treated Starch of Sword Bean (*Canavalia gladiata*), *International Journal of Food Properties*, 14:1, 157-174.
- [21]. Yana Cahyana, Evelyn Wijaya, Tien Siti Halimah, Herlina Marta, Edy Suryadi, Dian Kurniati, 2019, The effect of different thermal modifications on slowly digestible starch and physicochemical properties of green banana flour (*Musa acuminata colla*), *Food Chemistry*, Volume 274, 274-280.
- [22]. Mengyao Du, Tiantian Cao, Mengyao Yu, Chunlan Zhang, Wei Xu, 2023, Effect of heat-moisture treatment on physicochemical properties of chickpea starch, *Food Sci. Technol*, 43, e108822.
- [23]. Yiming Lv, Sen Ma, Jingyao Yan, Binghua Sun and Xiaoxi Wang, 2022, Effect of Heat–Moisture Treatment on the Physicochemical Properties, Structure, Morphology, and Starch Digestibility of Highland Barley (*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f) Flour, *Foods*, 11(21), 351.

- [24]. Suling Li, Qunyu Gao, Rachelle Ward, 2011, Physicochemical properties and in vitro digestibility of resistant starch from mung bean (*Phaseolus radiatus*) starch, *Starch/Stärke*, Volume 63, Issue 3, 171-178.
- [25]. B. Elliot Hickman, Srinivas Janaswamy, and Yuan Yao (2009), "Autoclave and β -Amylolysis Lead to Reduced in Vitro Digestibility of Starch", *J. Agric. Food Chem.*, 57, 15, 7005-7012.
- [26]. Liming Cai, Yong-Cheng Shi, 2010, Structure and digestibility of crystalline short-chain amylose from debranched waxy wheat, waxy maize, and waxy potato starches, *Carbohydrate Polymers*, Volume 79, Issue 4, 1117-1123.
- [27]. Chagam Koteswara Reddy, M. Suriya, Sundaramoorthy Haripriya, 2013, Physico-chemical and functional properties of Resistant starch prepared from red kidney beans (*Phaseolus vulgaris*. L) starch by enzymatic method, *Carbohydrate Polymers*, Volume 95, Issue 1, 220-226.
- [28]. Pham Van Hung, Nguyen Thi Lan Phi, Tran Thi Vy Vy, 2012, Effect of debranching and storage condition on crystallinity and functional properties of cassava and potato starches, *Starch/Stärke*, Volume 64, Issue 12, 964-971.
- [29]. Milašinović Marija, Radosavljević Milica, Dokić Ljubica, 2010, Effects of autoclaving and pullulanase debranching on the resistant starch yield of normal maize starch, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 75, 4, 449-458.
- [30]. Sang, Y., Seib, P. A., Herrera, A. L., Prakash, O., & Shi, Y. C., 2010, Effects of alkaline treatment on the structure of phosphorylated wheat starch and its digestibility, *Food Chemistry*, 118(2), 323-327.
- [31]. Hirsch, J. B., & Kokini, J. L., 2002, Understanding the mechanism of cross-linking agents (POC1₃, STMP, and EPI) through swelling behavior and pasting properties of cross-linked waxy maize starches, *Cereal Chemistry*, 79(1), 102-107.
- [32]. K. Woo, P. Seib, 2002, Cross-linked resistant starch: preparation and properties, *Cereal Chem.*, 79, 819-825.
- [33]. S. H. Koo, K. Y. Lee, H. G. Lee, 2010, Effect of cross-linking on the physicochemical and physiological properties of corn starch, *Food Hydrocolloids*, 24, 619-625.
- [34]. M. Shi, F. Gu, J. Wu, S. Yu and Q. Gao, 2013, Preparation, physicochemical properties, and in vitro digestibility of cross-linked resistant starch from pea starch, *Starch/Stärke*, 65, 947-953.
- [35]. Roselis Carmona-Garcia, Mirna M. Sanchez-Rivera, Guadalupe Méndez-Montealvo, Bellanira Garza-Montoya, Luis A. Bello-Pérez, 2009, Effect of the cross-linked reagent type on some morphological, physicochemical and functional

characteristics of banana starch (*Musa paradisiaca*), *Carbohydrate Polymers*, 76 (1), 117-122.

[36]. Yijun Sang, Paul A. Seib, Alvaro I. Herrera, Om Prakash, Yong-Cheng Shi, 2010, Effects of alkaline treatment on the structure of phosphorylated wheat starch and its digestibilit, *Food Chemistry*, 118 (2), 323-327.

[37]. Lee Lee Yeo, Paul A. Seib, 2010, White Pan Bread and Sugar-Snap Cookies Containing Wheat Starch Phosphate, A Cross-Linked Resistant Starch, *Cereal Chemistry*, 86 (2), 210-220.

[38]. Liu J., Ming J., Li W., & Zhao G., 2012, Synthesis, characterisation and in vitro digestibility of carboxymethyl potato starch rapidly prepared with microwave-assistance, *Food Chemistry*, 133(4), 1196-1205.

[39]. Kittipongpatana, Ornanong S.; Kittipongpatana, Nisit, 2013, Physicochemical, in vitro digestibility and functional properties of carboxymethyl rice starch cross-linked with epichlorohydrin, *Food Chemistry*, 141(2), 1438-1444.

[40]. <https://www.fao.org/markets-and-trade/commodities/bananas/en/>

[41]. FAO. 2023. Banana Market Review 2022. Rome.

[42]. Wills R, Lim J, Greenfield H. (1984), "Changes in chemical composition of 'Cavendish' banana (*Musa acuminata*) during ripening", *Journal of Food Biochemistry*, 8 (2), 69-77.

[43]. Herlina Marta, Yana Cahyana, Mohamad Djali and Giffary Pramafisi, 2022, The Properties, Modification, and Application of Banana Starch, *Polymers*, 14(15), 3092.

[44]. Min Yang, Lei Chang, Fan Jiang, Ning Zhao, Pengtao Zheng, Jonatha Simbo, Xiuzhu Yu, Shuang-kui Du, (2022, Structural, physicochemical and rheological properties of starches isolated from banana varieties (*Musa spp.*), *Food Chemistry*, 16, 100473.

[45]. Marta, H.; Cahyana, Y.; Djali, M.; Arcot, J.; Tensiska, T. A, 2019, Comparative Study on the Physicochemical and Pasting Properties of Starch and Flour from Different Banana (*Musa spp.*) Cultivars Grown in Indonesia, *Int. J. Food Prop.*, 22, 1562-1575.

[46]. Toutounji, M.R.; Farahnaky, A.; Santhakumar, A.B.; Oli, P.; Butardo, V.M.; Blanchard, C.L., 2019, Intrinsic and Extrinsic Factors Affecting Rice Starch Digestibility, *Trends Food Sci. Technol.*, 88, 10-22.

[47]. Marta, H.; Cahyana, Y.; Djali, M., 2021, Densely Packed-Matrices of Heat Moisture Treated-Starch Determine the Digestion Rate Constant as Revealed by Logarithm of Slope Plots, *J. Food Sci. Technol.*, 58, 2237-2245.

- [48]. R. Remya, A. N. Jyothi, J. Sreekumar, 2018, Effect of chemical modification with citric acid on the physicochemical properties and resistant starch formation in different starches, *Carbohydrate Polymers*, Volume 202, 29-38.
- [49]. Tsung-Yen Wu, Shwu-Jene Tsai, Nan-Nong Sun, Fan-Jhen Dai, Po-Hsuan Yu, Yi-Ching Chen, Chi-Fai Chau, 2020, Enhanced thermal stability of green banana starch by heat-moisture treatment and its ability to reduce body fat accumulation and modulate gut microbiota, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 160, 915-924.
- [50]. MA Garofalo, P Villon, F Cornejo, CM Rosell, 2024, Exploring the effects of enzymatic and thermal treatments on banana starch characteristics, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 254, Part 1, 127748.
- [51]. DE Páramo-Calderón, J Carrillo-Ahumada, EA Juárez-Arellano, LA Bello-Pérez, A Aparicio-Saguilán, J Alvarez-Ramirez, 2015, Effect of cross-linking on the physicochemical, functional and digestibility properties of starch from Macho (*Musa paradisiaca* L.) and Roatan (*Musa sapientum* L.) banana varieties”, *Starch/Stärke*, 67, 1-9.
- [52]. M. Das, N. Rajan, P. Biswas, Rintu Banerjee, 2022, A novel approach for resistant starch production from green banana flour using amylopullulanase, *LWT*, Volume 153, 112391.
- [53]. P. V. Hung, N. T. M. Cham, P. T. T. Truc, 2013, Characterization of Vietnamese banana starch and its resistant starch improvement, *International Food Research Journal*, Vol. 20, No. 1, 205-211.
- [54]. Norramon Thanyapanich, Ampa Jimtaisong and Saroot Rawdkuen, 2021, Functional Properties of Banana Starch (*Musa* spp.) and Its Utilization in Cosmetics, *Molecules*, 26(12), 3637.
- [55]. Elessandra da Rosa Zavareze, Alvaro Renato Guerra Dias, 2011, Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review, *Carbohydrate Polymers*, 83(2), 317-328.
- [56]. Ornanong S. Kittipongpatana and Nisit Kittipongpatana, 2015, Resistant Starch Contents of Native and Heat-Moisture Treated Jackfruit Seed Starch, *The Scientific World Journal*, ID 519854.
- [57]. Subroto E., Indiarto R., Marta H. and Shalihah S., 2019, Effect of heat-moisture treatment on functional and pasting properties of potato (*Solanum tuberosum* L. var. *Granola*) starch, *Food Research*, 3 (5), 469-476.

- [58]. Waliszewski, K. N., Aparicio, M. A., Bello, L. A., & Monroy, J. A. 2003, Changes of banana starch by chemical and physical modification, *Carbohydrate Polymers*, 52(3), 237-242.
- [60]. T.B. Tribess, J.P. Hernández-Urbe, M.G.C. Méndez-Montealvo, E.W. Menezes, L.A. Bello-Perez, C.C. Tadini, 2009, Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions, *LWT - Food Science and Technology*, 42, 1022-1025.
- [61]. Ayenampudi Surendra Babu, Ganga Naik Mohan Naik, Jiya James, Ajmal Bin Aboobacker, Akshaya Eldhose, Rangarajan Jagan Mohan, 2018, A comparative study on dual modification of banana (*Musa paradisiaca*) starch by microwave irradiation and cross-linking, *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12, 2209-2217.

Hà Nội, ngày 07 tháng 5 năm 2024

Số: 424/QĐ-HVKHCN

QUYẾT ĐỊNH
Về việc thành lập Hội đồng đánh giá luận văn thạc sĩ

GIÁM ĐỐC
HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

Căn cứ Quyết định số 303/QĐ-VHL ngày 01/3/2023 của Chủ tịch Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam về việc ban hành Quy chế tổ chức và hoạt động của Học viện Khoa học và Công nghệ;

Căn cứ Thông tư số 23/2021/TT-BGDĐT ngày 30/8/2021 của Bộ trưởng Bộ Giáo dục và Đào tạo về việc ban hành Quy chế đào tạo trình độ thạc sĩ;

Căn cứ Quyết định số 1966/QĐ-HVKHCN ngày 28/12/2021 của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ về việc ban hành Quy chế đào tạo trình độ thạc sĩ;

Căn cứ Quyết định số 896/QĐ-HVKHCN ngày 25/5/2022 của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ về việc công nhận học viên cao học trúng tuyển đợt 1 năm 2022;

Căn cứ Quyết định số 1111/QĐ-HVKHCN ngày 02/10/2023 của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ về việc công nhận đề tài và cử người hướng dẫn luận văn thạc sĩ;

Xét đề nghị của Trường khoa Khoa Hóa học, Trường phòng Đào tạo.

QUYẾT ĐỊNH:

Điều 1. Thành lập Hội đồng đánh giá luận văn thạc sĩ cho học viên Phạm Ngọc Anh với đề tài: “Nghiên cứu biến tính tinh bột chuối xanh tạo thực phẩm hỗ trợ điều trị đái tháo đường”

Ngành: Hóa hữu cơ Mã số: 8 44 01 14

Đanh sách thành viên Hội đồng đánh giá luận văn kèm theo Quyết định này.

Điều 2. Hội đồng có trách nhiệm đánh giá luận văn thạc sĩ theo đúng quy chế hiện hành của Bộ Giáo dục và Đào tạo, Học viện Khoa học và Công nghệ. Quyết định này có hiệu lực trong thời hạn tối đa 60 ngày làm việc kể từ ngày ký và phải đảm bảo thời hạn đào tạo theo quy định của Học viện.

Hội đồng tự giải thể sau khi hoàn thành nhiệm vụ.

Điều 3. Trường phòng Tổ chức – Hành chính và Truyền thông, Trường phòng Đào tạo, Trường phòng Kế toán, Trường khoa Khoa Hóa học, các thành viên có tên trong danh sách Hội đồng và học viên cao học có tên tại Điều 1 chịu trách nhiệm thi hành Quyết định này./.

Nơi nhận:

- Như Điều 3;
- Lưu hồ sơ học viên;
- Lưu: VT, ĐT, TN.14.

GIÁM ĐỐC



GS.TS. Vũ Đình Lâm



DANH SÁCH HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ LUẬN VĂN THẠC SĨ

(Kèm theo Quyết định số **424/QĐ-HVKHCN** ngày **07/5/2024**
của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ)

Cho luận văn của học viên: **Phạm Ngọc Anh**

Tên đề tài: **“Nghiên cứu biến tính tinh bột chuối xanh tạo thực phẩm hỗ trợ điều trị đái tháo đường”**

Ngành: **Hóa hữu cơ**

Mã số: **8 44 01 14**

Người hướng dẫn: **PGS.TS. Nguyễn Thanh Tùng - Viện Hóa học
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam**

TT	Họ và tên, học hàm, học vị	Chuyên ngành	Cơ quan công tác	Trách nhiệm trong Hội đồng
1.	GS.TS. Nguyễn Văn Tuyền	Hóa hữu cơ	Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm KHCNVN	Chủ tịch
2.	PGS.TS. Phạm Thị Thắm	Hóa hữu cơ	Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Bộ Công Thương	Phản biện 1
3.	PGS.TS. Nguyễn Xuân Nhiệm	Hóa hữu cơ	Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm KHCNVN	Phản biện 2
4.	TS. Lê Ngọc Hùng	Hóa hữu cơ	Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm KHCNVN	Ủy viên
5.	TS. Nguyễn Lê Anh	Hóa hữu cơ	Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm KHCNVN	Ủy viên- Thư ký

Hội đồng gồm 05 thành viên./.

BIÊN BẢN HỌP HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ LUẬN VĂN THẠC SĨ

Thực hiện Quyết định số: 424/QĐ-HVKHCN ngày 07/5/2024 của Giám đốc Học viện Khoa học và Công nghệ về việc thành lập Hội đồng đánh giá luận văn thạc sĩ của học viên Phạm Ngọc Anh

Tên đề tài luận văn: **Nghiên cứu biến tính tinh bột chuối xanh tạo thực phẩm hỗ trợ điều trị đái tháo đường**

Ngành: Hóa Hữu cơ

Mã số: 8 44 01 14

Hôm nay, ngày 15/05/2024 Hội đồng đã họp tại phòng 1513 Học viện Khoa học và Công nghệ vào lúc 14h00, Hội đồng gồm 05 thành viên:

TT	Họ và tên	Chức danh
1	GS. TS. Nguyễn Văn Tuyền	Chủ tịch
2	PGS. TS. Phạm Thị Thắm	Phản biện 1
3	PGS. TS. Nguyễn Xuân Nhiệm	Phản biện 2
4	TS. Lê Ngọc Hùng	Ủy viên
5	TS. Nguyễn Lê Anh	Ủy viên – Thư ký

Thành viên vắng mặt: 0 thành viên

NỘI DUNG LÀM VIỆC

- Đại diện cơ sở đào tạo đọc quyết định thành lập Hội đồng đánh giá luận văn
- Chủ tịch Hội đồng điều khiển phiên họp
- Thư ký Hội đồng đọc lí lịch khoa học và bảng điểm của học viên
- Học viên trình bày luận văn trước Hội đồng

5. Phản biện 1 đọc bản nhận xét luận văn, đặt câu hỏi

Câu hỏi:

- Hiệu suất thu hồi tinh bột?
- Độ kết tinh?

Học viên trả lời:

- Tính theo khối lượng tinh bột thu được/khối lượng nguyên liệu
- Gửi đo và tính độ kết tinh (cường độ peak dựa theo peak chuẩn)

6. Phản biện 2 đọc bản nhận xét luận văn, đặt câu hỏi

Câu hỏi:

- Carbohydrate 84,37% trong khi RS, RDS và SDS > 84,37%?
- Ý nghĩa phép thử (Bổ sung sai số)

Học viên trả lời:

- Bổ sung sai số trong luận văn
- Bổ sung, chỉnh sửa lại carbohydrate và RS, RDS, SDS

7. Các thành viên Hội đồng và người tham gia nêu câu hỏi

Câu hỏi:

- TS. Lê Ngọc Hùng: Điểm khác nhau IR tinh bột ban đầu và IR sau phosphoryl hóa?

Học viên trả lời:

- Xuất hiện đỉnh peak 2072 cm^{-1}

8. Hội đồng họp kín và cho điểm

- Hội đồng bầu ban kiểm phiếu gồm 3 thành viên:

Trưởng ban: PGS. TS. Phạm Thị Thắm

Ủy viên: TS. Lê Ngọc Hùng

Ủy viên: TS. Nguyễn Lê Anh

- Kết quả kiểm phiếu như sau:

Số phiếu phát ra: 05 phiếu

Số phiếu thu về: 05 phiếu

Tổng số điểm: 44,9

Điểm trung bình: 8,98

Điểm thưởng công trình công bố: 0

Tổng điểm đánh giá luận văn và điểm thưởng công trình công bố: 8,98

- Kết luận của Hội đồng: Luận văn đạt yêu cầu (đạt/không đạt yêu cầu)
- Tính không trùng lặp nội dung và tên đề tài với các công bố: Đề tài không trùng lặp với các công bố khác

8. Chủ tịch Hội đồng công bố, yêu cầu học viên chỉnh sửa luận văn với các nội dung sau:

- Chỉnh sửa theo góp ý của các thành viên
- Chỉnh sửa các lỗi in, ấn

Buổi họp đã kết thúc vào 16 giờ 30 phút ngày 15/05/2024

Hà Nội, ngày 15 tháng 05 năm 2024

THƯ KÝ HỘI ĐỒNG



TS. Nguyễn Lê Anh

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG



GS. TS. Nguyễn Văn Tuyền



XÁC NHẬN CỦA CƠ SỞ ĐÀO TẠO
GIÁM ĐỐC



Vũ Đình Lãm

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

BẢN NHẬN XÉT PHẢN BIỆN LUẬN VĂN THẠC SĨ

Họ và tên người phản biện: Phạm Thị Thắm
Học hàm, học vị: PGS. TS
Chuyên ngành: Hóa hữu cơ
Cơ quan công tác: Tổng ĐH Công nghiệp - Hà Nội
Họ và tên học viên: Phạm Ngọc Anh
Tên đề tài: Nghiên cứu liên kết giữa các chuỗi xanh tạo
..... thực phẩm hỗ trợ điều trị đau khớp xương
Chuyên ngành: Hóa hữu cơ
Mã số: 844 0144

NỘI DUNG NHẬN XÉT

1. Tính cấp thiết, tính thời sự, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài luận văn:

..... Các nghiên cứu ứng dụng liên kết giữa các chuỗi xanh tạo
..... thực phẩm hỗ trợ điều trị đau khớp xương
..... Đề tài "Nghiên cứu liên kết giữa các chuỗi xanh tạo
..... thực phẩm hỗ trợ điều trị đau khớp xương"
..... có ý nghĩa khoa học và thực tiễn

2. Sự không trùng lặp của đề tài nghiên cứu so với các công trình khoa học, luận văn đã công bố ở trong và ngoài nước; tính trung thực, rõ ràng và đầy đủ trong trích dẫn tài liệu tham khảo:

..... Thưa người nhận xét, đề tài nghiên cứu có tính kế thừa
..... và phát huy so với các nghiên cứu trước đây. Các tài liệu
..... trích dẫn đầy đủ, rõ ràng, trung thực.

3. Sự phù hợp giữa tên đề tài với nội dung nghiên cứu cũng như với chuyên ngành và mã số đào tạo:

..... Tên đề tài phù hợp với nội dung nghiên cứu
..... cũng như với chuyên ngành và mã số đào tạo.

4. Độ tin cậy và tính hiện đại của phương pháp nghiên cứu đã sử dụng để hoàn thành luận văn:

Để từ sử dụng các phương pháp nghiên cứu hiện đại và thường quy, các kết quả thu được có độ tin cậy cao.

5. Kết quả nghiên cứu của luận văn:

Luận văn có thời lượng công việc lớn, các số liệu được phân tích tỉ mỉ, công phu. Cụ thể:

- Tiến hành thử nghiệm chua xanh và xác định các tính chất của nó.
- Bên cạnh thành công trong việc chua xanh để tạo tính bền vững trên băng phương pháp xử lý nhiệt - ẩm và quá trình phosphoryl hóa.
- Tạo thành công một số mẫu mùn chứa tính bền vững và kèm theo các chất sản phẩm.

6. Đóng góp mới của luận văn:

- Thành công trong quy trình phosphoryl hóa tính bền vững tạo tính bền vững trên băng.
- Tạo ra một số sản phẩm thử nghiệm.

7. Những hạn chế, thiếu sót của luận văn về nội dung và hình thức:

- Một số sai sót in ấn, chính tả
- Bài sung thiếu lượng chất ở quy tắc 8 hàng 53, 55
- Bài sung nội dung I.R và nhiều số khác

8. Nếu tác giả chưa viết bài báo khoa học thì nội dung của luận văn có thể được viết thành các bài báo để gửi đăng trên tạp chí khoa học, sách chuyên ngành hoặc tuyển tập công trình hội nghị khoa học cấp quốc gia, quốc tế hay không?

Khả năng luận văn có thể viết công bố và học nên nên viết bài để công bố nghiên cứu của mình

9. Kết luận chung (khẳng định mức độ đáp ứng các yêu cầu đối với một luận văn Thạc sĩ; luận văn có thể đưa ra bảo vệ để nhận học vị Thạc sĩ được hay không?):

Luận văn có khả năng làm các sĩ học thời gian trình bày cũng như trình bày. Các kết quả này tập trung thời gian cho luận văn thạc sĩ. Người nhận xét tổng ý cho học viên bảo vệ trước hội đồng và nhận học vị Thạc sĩ

Hà Nội, ngày 13 tháng 5 năm 2024

Người phản biện
(Ký, ghi rõ họ tên)


Phạm Thị Thanh

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập – Tự do – Hạnh phúc

BẢN NHẬN XÉT LUẬN VĂN THẠC SĨ

Họ và tên người nhận xét: Nguyễn Xuân Nhiệm
Học hàm, học vị: PGS.TS
Chuyên ngành: Họa hình vẽ
Cơ quan công tác: Học viện Khoa học và Công nghệ
Họ và tên học viên: Phạm Ngọc Anh
Tên đề tài: Nghiên cứu biến thể trình bày chữ viết tạo
thư pháp từ chữ viết thường
Chuyên ngành: Họa hình vẽ
Mã số: 844.01.17

NỘI DUNG NHẬN XÉT

1. Tính cấp thiết, tính thời sự, ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài luận văn:

..... Trình bày là nghiên cứu biến thể chữ viết từ chữ viết thường tạo
vẻ đẹp cho chữ viết
..... Trình bày giúp học sinh hiểu được chữ viết đẹp là chữ viết
giúp trình bày, giảm thiểu nguy cơ mắc chứng đau đầu cho
người sử dụng chữ viết từ đó có ý nghĩa thực tiễn
.....

2. Sự không trùng lặp của đề tài nghiên cứu so với các công trình khoa học, luận văn đã công bố ở trong và ngoài nước; tính trung thực, rõ ràng và đầy đủ trong trích dẫn tài liệu tham khảo:

..... Đề tài không trùng với công trình khoa học trong và ngoài
nước Tài liệu tham khảo được trích dẫn đầy đủ, rõ ràng, chính xác
theo yêu cầu, cập nhật đến 2024
.....
.....

3. Sự phù hợp giữa tên đề tài với nội dung nghiên cứu cũng như với chuyên ngành và mã số đào tạo:

..... Nội dung nghiên cứu biến thể trình bày chữ viết tạo
thư pháp từ chữ viết thường phù hợp
.....
.....

4. Độ tin cậy và tính hiện đại của phương pháp nghiên cứu đã sử dụng để hoàn thành luận văn:

Phương pháp tiến hành thu nhận chất rắn
- Phương pháp tiến hành tiến hành; phương pháp tiến hành
khả năng tiến hành

5. Kết quả nghiên cứu của luận văn:

Quá trình tiến hành thu nhận tiến hành tiến hành
Đã nghiên cứu quá trình phosphor hóa tiến hành tiến hành
để tạo tiến hành tiến hành, tiến hành tiến hành tiến hành
Hàm lượng tiến hành phosphor hóa tiến hành tiến hành
để, nhiệt độ tiến hành tiến hành, tiến hành tiến hành
Đã tiến hành tiến hành tiến hành tiến hành tiến hành
tiến hành

- Đã tiến hành tiến hành tiến hành tiến hành tiến hành
tiến hành tiến hành tiến hành tiến hành tiến hành

6. Đóng góp mới của luận văn:

Đã tiến hành tiến hành tiến hành tiến hành tiến hành

6. Những hạn chế, thiếu sót của luận văn về nội dung và hình thức:

- Bổ sung sai sót của phép phân tích
chính.

7. Nếu tác giả chưa viết bài báo khoa học thì nội dung của luận văn có thể được viết thành các bài báo để gửi đăng trên tạp chí khoa học, sách chuyên ngành hoặc tuyển tập công trình hội nghị khoa học cấp quốc gia, quốc tế hay không?

Công trình công bố của luận văn có thể được đăng trên
tạp chí chuyên ngành.

8. Kết luận chung (khẳng định mức độ đáp ứng các yêu cầu đối với một luận văn Thạc sĩ; luận văn có thể đưa ra bảo vệ để nhận học vị Thạc sĩ được hay không?):

Luận văn hoàn toàn đáp ứng đầy đủ yêu cầu đối
với luận văn thạc sĩ và có thể được bảo vệ để
nhận học vị Thạc sĩ.

Hà Nội..., ngày 15... tháng 5... năm 2024

Người nhận xét
(Ký, ghi rõ họ tên)

Châu

Nguyễn Xuân Nhiễm

**BẢN GIẢI TRÌNH CHỈNH SỬA LUẬN VĂN
THEO KẾT LUẬN CỦA HỘI ĐỒNG ĐÁNH GIÁ LUẬN VĂN THẠC SĨ**

Họ tên học viên: PHẠM NGỌC ANH

Lớp: 2022A

Tên đề tài luận văn: Nghiên cứu biến tính tinh bột chuối xanh tạo thực phẩm hỗ trợ điều trị đái tháo đường.

Ngành: Hóa Hữu cơ

Mã số: 8 44 01 14

Người hướng dẫn khoa học: PGS. TS. Nguyễn Thanh Tùng

Ngày bảo vệ luận văn: 15/05/2024

Căn cứ biên bản họp hội đồng đánh giá luận văn thạc sĩ, học viên đã chỉnh sửa luận văn như sau:

STT	Nội dung đề nghị bổ sung, chỉnh sửa	Nội dung đã bổ sung, chỉnh sửa
1	Bổ sung sai số cho các kết quả phân tích	Hình 3.6, hình 3.7, hình 3.8. Bảng 3.7, bảng 3.8, bảng 3.9, bảng 3.12, bảng 3.13, bảng 3.14, bảng 3.15, bảng 3.16, bảng 3.17, bảng 3.18, bảng 3.19.
2	Bổ sung phương pháp tính hiệu suất tách, thu hồi tinh bột	Nội dung mục 2.3.1
3	Bổ sung phương pháp xác định độ kết tinh tương đối của tinh bột	Đã bổ sung trong nội dung mục 2.3.6
4	Bổ sung địa chỉ thực hiện các phép đo đặc tính lý hóa của tinh bột	Đã bổ sung trong nội dung mục 2.3.6
5	Chỉnh sửa bảng 3.1, hàm lượng Carbohydrate	Đã chỉnh sửa đơn vị và phần hàm lượng Carbohydrate trong bảng 3.1



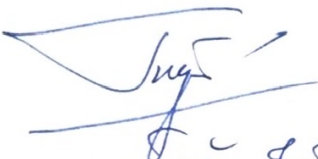
6	Bổ sung khối lượng trong quy trình biến tính tinh bột bằng phương pháp HMT và phosphoryl hóa	Đã bổ sung trong nội dung mục 2.2.2 và 2.2.3
---	--	--

Hà Nội, ngày 22 tháng 05 năm 2024

CHỦ TỊCH HỘI ĐỒNG

TẬP THỂ HƯỚNG DẪN

HỌC VIÊN


 PGS.TS. Nguyễn Văn Tuấn


 PGS.TS. Nguyễn Thanh Tùng


 Phạm Ngọc Anh

XÁC NHẬN CỦA CƠ SỞ ĐÀO TẠO

KT. GIÁM ĐỐC
PHÓ GIÁM ĐỐC




 Nguyễn Thị Trung

