



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการดัดแปรแป้งข้าวด้วยความร้อนขึ้นเพื่อลดการพองตัวและ
เพิ่มปริมาณ Resistant Starch

โดย สันทณีย์ ปัญจอนนท์

เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2555

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการดัดแปรแป้งข้าวด้วยความร้อนขึ้นเพื่อลดการพองตัวและ
เพิ่มปริมาณ Resistant Starch

ผู้วิจัย สันทณีย์ ปัญจอนนท์
สังกัด สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี
คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
และ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกว.ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: TRG5380003
 ชื่อโครงการ: โครงการการดัดแปรแป้งข้าวด้วยความร้อนขึ้นเพื่อลดการพองตัว และเพิ่มปริมาณ Resistant Starch
 ชื่อนักวิจัย: สันทณีย์ ปัญจอนนท์
 สังกัด สายวิชาเทคโนโลยีชีวเคมี คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
 E-mail Address : santhanee.pun@kmutt.ac.th
 ระยะเวลาโครงการ: 2 ปี

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดัดแปรแป้งข้าว พลาเวอร์ข้าว และเมล็ดข้าวโดยใช้ความร้อนร่วมกับความชื้น โดยใช้วิธีการดัดแปรสองวิธีคือ การใช้ความร้อนขึ้นที่ความชื้น 20, 25, 30% อุณหภูมิ 100 และ 120°C เวลา 4 และ 16 ชั่วโมง และการทำแอนนิลลิงที่ความชื้นมากเกินพอที่อุณหภูมิ 55°C เวลา 24 ชั่วโมง ศึกษาลักษณะของเม็ดแป้ง คุณสมบัติด้านความหนืด คุณสมบัติด้านความร้อน เนื้อสัมผัสของเจลแป้ง ปริมาณ resistant starch (RS) การพองตัวในน้ำและน้ำมัน และการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุล พบว่าการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นทำให้แป้งมีความหนืดลดลง มีอุณหภูมิการเกิดเจลสูงขึ้น ความแข็งแรงของเจลแป้งลดลง การพองตัวในน้ำและน้ำมันลดลง มีปริมาณ slowly digestible starch และ RS เพิ่มขึ้นที่การดัดแปรที่ความชื้น 20% การดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นไม่ทำให้ขนาดโมเลกุลของอะไมโลเพคตินในแป้งข้าวเปลี่ยนไป โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงที่สำคัญคือความชื้น ระยะเวลา และอุณหภูมิตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านความหนืดในพลาเวอร์ข้าวมากกว่าในแป้งข้าวอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับการทำแอนนิลลิงพบว่าในแป้งข้าวมีความหนืดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนพลาเวอร์ข้าวความหนืดไม่แตกต่างจากพลาเวอร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปร แต่มีการพองตัวในน้ำและน้ำมันสูงขึ้น การดัดแปรในสภาพของเมล็ดข้าวพบว่าการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของแป้งเช่นเดียวกับการดัดแปรพลาเวอร์ข้าว กล่าวคือ แป้งมีความหนืด ความแข็งแรงของเจลแป้งและการพองตัวลดลง ส่วนการดัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงไม่ทำให้คุณสมบัติของแป้งจากเมล็ดข้าวเปลี่ยนแปลง ซึ่งจากการทดลองสรุปได้ว่าสามารถใช้การดัดแปรแบบความร้อนขึ้นเพื่อปรับปรุงสมบัติของแป้งข้าวโดยทำในเมล็ดข้าวที่ไม่ผ่านการสกัดได้เลย

คำหลัก : แป้งข้าว, พลาเวอร์ข้าว, การดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น, การดัดแปรด้วยแอนนิลลิง, การพองตัว, แป้งทนย่อย

Abstract

Project Code : TRG5380003
Project Title : Hydrothermal treatment of rice starch/flour to reduce swelling and increase resistant starch content
Investigator : Santhanee Pucha-arnon
Division of Biochemical Technology
School of Bioresources and Technology
E-mail Address : santhanee.pun@kmutt.ac.th
Project Period : 2 years

The aim of this research was to investigate the effects of physical treatments, heat-moisture treatment (HMT) and annealing, on properties of starch, flour, and grain from the same source of rice grains. For heat-moisture treatments, samples with moisture contents of 20, 25 and 30% were treated at 100 and 120°C for 4 and 16 h, whereas annealing were performed on the samples with excess water at 55°C for 24 h. Granule morphologies, pasting properties, thermal properties, textural properties, resistant starch, swelling capability in water and oil and amylopectin structure of the modified samples were investigated. After HMT, peak viscosity, gel hardness and swelling capability in water and oil decreased, while gelatinization temperature increased. Slowly digestible starch and resistant starch increased in the samples with 20% moisture content. Amylopectin structure of rice starch was not altered by HMT. Moisture is the most important factor affecting the properties of the modified samples, followed by time and temperature, respectively. HMT had more effect on pasting property of rice flour than rice starch. Annealing resulted in a slight increase of peak viscosity of rice starch. In case of rice flour, there was no change in viscosity, but swelling capability in water and oil increased.

The effect of HMT on properties of rice grain was similar to that of the rice flour (decreased in peak viscosity, gel hardness and swelling capability), whereas there was no changes in the samples treated by annealing. In conclusion, the heat-moisture treatment can be used to modify the properties of starch in rice grains directly without starch isolation.

Keywords: Rice starch, Rice flour, Heat-moisture treatment, Annealing, Swelling

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.ดุชนฎี อุตภาพ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้แนวคิดและคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย ตลอดจนแก้ปัญหาต่างๆ ทั้งยังช่วยเหลืออนุเคราะห์ตำราและเอกสารทางวิชาการอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย และขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ช่วยเหลือเงินทุนในการวิจัยครั้งนี้ให้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ผลเป็นอย่างดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ฅ
ประมวลคำย่อและสัญลักษณ์	ญ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ	4
1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.4 ระยะเวลาที่ทำการทำวิจัย	5
2. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 ผลของการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นต่อสมบัติด้านเคมีกายภาพ	6
2.2 ผลของการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์	9
2.3 ผลของการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นต่อโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง	10
2.4 การนำแป้งดัดแปรไปใช้ประโยชน์	11
3. วิธีการทดลอง	12
3.1 การเตรียมแป้งข้าวและแป้งฟลาวร์	12
3.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและฟลาวร์ข้าว	12
3.2.1 ปริมาณความชื้น	12
3.2.2 ปริมาณไขมัน	12
3.2.3 ปริมาณโปรตีน	13
3.2.4 ปริมาณเถ้า	13
3.2.5 ปริมาณอะไมโลส	14

สารบัญ

	หน้า
3.3 ศึกษาการดัดแปรแป้งข้าวเจ้าโดยใช้ความร้อนขึ้น	14
3.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวและแป้งฟลาวร์ดัดแปร	15
3.4.1 ลักษณะของเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	15
3.4.2 ลักษณะโครงสร้างผลึกโดย X-ray diffractometer	15
3.4.3 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง RVA	15
3.4.4 สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลาติไนซ์เซชันของแป้ง	16
3.4.5 การทดสอบค่าแรงกด (Compressive test) ของเจลแป้ง	16
3.4.6 วิเคราะห์กำลังการพองตัวของเม็ดแป้งในน้ำ และน้ำมัน	17
3.5 ศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์	17
3.5.1 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมด (total starch; TS)	18
3.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณ RDS, SDS และ RS	18
3.6 ศึกษาโครงสร้างทางเคมีภายในเม็ดแป้งหลังการดัดแปร	19
3.7 ศึกษาการดัดแปรด้วยวิธีแอนนิวลิงในแป้งข้าวและแป้งฟลาวร์	21
3.8 ศึกษาการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในข้าวหัก	21
4. ผลการทดลอง	22
4.1 คุณสมบัติของแป้งข้าวและแป้งฟลาวร์	22
4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าว	22
4.1.2 รูปร่างและลักษณะของเม็ดแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าว	23
4.2 การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าโดยใช้ความร้อนขึ้น	23
4.2.1 ลักษณะของเม็ดแป้งข้าวเจ้าและฟลาวร์ข้าวหลังการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	23
4.2.2 ลักษณะการบิตระนาบแสงโพลาไรซ์ของเม็ดแป้งหลังการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น	24
4.2.3 ลักษณะโครงสร้างผลึก โดย X-ray diffractometer หลังการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น	27
4.2.4 วิเคราะห์กำลังการพองตัวของเม็ดแป้งในน้ำ และน้ำมัน	28
4.2.5 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง RVA	29
4.2.6 สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลาติไนซ์เซชันของแป้งด้วย	

สารบัญ

หน้า

4.2.7 เนื้อสัมผัสของเจลแบ่ง	36
4.3 ศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์	37
4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณ RDS, SDS และ RS ของแบ่งที่ไม่ต้ม	37
4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณ RDS, SDS และ RS ของแบ่งที่ต้ม 5 นาที	38
4.4 ศึกษาโครงสร้างทางเคมีภายในเม็ดแบ่งหลังการดัดแปร	39
4.5 การดัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงในแบ่งข้าวและแบ่งฟลาวัวร์	40
4.5.1 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด	40
4.5.2 สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลาติไนซ์เซชันของแบ่ง	41
4.5.3 กำลังการพองตัวของเม็ดแบ่งในน้ำและน้ำมัน	43
4.5.4 เนื้อสัมผัสของเจลแบ่ง	44
4.6 การดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในข้าวหัก	45
4.6.1 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืด	45
4.6.2 สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลาติไนซ์เซชันของแบ่ง	46
4.6.3 กำลังการพองตัวของเม็ดแบ่งในน้ำ และน้ำมัน	47
4.6.4 การทดสอบค่าแรงกด (Compressive test) ของเจลแบ่ง	47
5. สรุปและข้อเสนอแนะ	49
5.1 การดัดแปรแบ่งข้าวและฟลาวัวร์ข้าวด้วยความร้อนขึ้น	49
5.2 การดัดแปรแบ่งข้าวและฟลาวัวร์ข้าวด้วยวิธีแอนนิลลิงเปรียบเทียบกับ การดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น	49
5.3 การดัดแปรข้าวหักด้วยความร้อนขึ้นและวิธีแอนนิลลิงเปรียบเทียบกับ การดัดแปรในฟลาวัวร์ข้าว	49
5.4 ข้อเสนอแนะ	50
เอกสารอ้างอิง	51
ภาคผนวก	56

รายการตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าว	22
ตารางที่ 2 กำลังการพองตัวในน้ำและน้ำมันของแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น	30
ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์การเกิดเจลลิตีในเซชันของแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น	35
ตารางที่ 4 เนื้อสัมผัสของเจลแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น	37
ตารางที่ 5 ปริมาณ RDS, SDS และ RS ในแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นโดยวิเคราะห์ในแป้งดิบและแป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์	39
ตารางที่ 6 กำลังการพองตัวในน้ำและน้ำมันของแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและดัดแปรด้วยวิธีแอนนิวลิง	44
ตารางที่ 7 เนื้อสัมผัสของเจลแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและดัดแปรด้วยวิธีแอนนิวลิง	44
ตารางที่ 8 กำลังการพองตัวในน้ำและน้ำมันของแผ่นแป้งจากข้าวหักที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและแอนนิวลิง และเนื้อสัมผัสของเจลแป้งข้าวหักที่ไม่ได้ดัดแปรและดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและแอนนิวลิงเปรียบเทียบกับฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและที่ดัดแปรด้วยวิธีเดียวกัน	48

รายการรูปประกอบ

หน้า

รูปที่ 1 SEM ของแป้งข้าวและฟลาวัวร์ข้าวที่กำลังขยาย 500 และ 3500 เท่า	
23	
รูปที่ 2 แป้งข้าวหลังการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ความชื้น 20, 25, 30% อุณหภูมิ 100 และ 120°C ระยะเวลา 4 และ 16 ชั่วโมง (x3500, bar as 5 μm)	25
รูปที่ 3 แป้งข้าวหลังการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ความชื้น 20, 25, 30% อุณหภูมิ 100 และ 120°C ระยะเวลา 4 และ 16 ชั่วโมง (x10000, bar as 1 μm)	26
รูปที่ 4 เจลแป้งข้าวดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นหลังจากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ที่ความเข้มข้น 8%	27
รูปที่ 5 X-ray diffraction patterns ของแป้งข้าว (A) และแป้งข้าวดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ความชื้น 25% อุณหภูมิ 100°C เวลา 16 ชั่วโมง (B)	28
รูปที่ 6 กราฟความหนืดที่ได้จากเครื่อง RVA ของแป้งข้าวและแป้งข้าวดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น	31
รูปที่ 7 กราฟความหนืดที่ได้จากเครื่อง RVA ของฟลาวัวร์ข้าวและฟลาวัวร์ข้าวดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น	32
รูปที่ 8 Thermogram ของแป้งข้าวและฟลาวัวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น	34
รูปที่ 9 HPSEC chromatogram ของอะไมโลเพคตินตัดกิ่งจากแป้งข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและแป้งข้าวดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ความชื้น 25% อุณหภูมิ 100°C ระยะเวลา 16 ชั่วโมง	40
รูปที่ 10 กราฟความหนืดที่ได้จากเครื่อง RVA ของแป้งข้าวและฟลาวัวร์ข้าวดัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิง เปรียบเทียบกับการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น	42
รูปที่ 11 Thermogram ของแป้งข้าวและฟลาวัวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและดัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิง	43
รูปที่ 12 กราฟความหนืดที่ได้จากเครื่อง RVA ของเมล็ดข้าวหักดัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้นและแอนนิลลิงเปรียบเทียบกับฟลาวัวร์ข้าวดัดแปรด้วยวิธีความร้อนขึ้นและแอนนิลลิง	
46	
รูปที่ 13 Thermogram ของฟลาวัวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปร และข้าวหักและฟลาวัวร์ข้าวที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นและวิธีแอนนิลลิง	47

ประมวลคำย่อและสัญลักษณ์

HMT	=	การดัดแปรด้วยความร้อนชื้น
ANN	=	การดัดแปรด้วยแอนนิลลิง
St	=	แป้ง (starch)
Fl	=	ฟลาวัวร์ (flour)
Native	=	แป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร
NRS	=	แป้งข้าวที่ไม่ได้ดัดแปร (native rice starch)
NRF	=	ฟลาวัวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปร (native rice flour)
RDS	=	แป้งย่อยสลายง่าย
SDS	=	แป้งย่อยสลายยาก
RS	=	แป้งทนย่อย
DP	=	degree of polymerization
N ₂	=	ก๊าซไนโตรเจน
I ₂	=	ไอโอดีน
KI	=	โพแทสเซียมไอโอไดด์
μm	=	ไมโครเมตร
%w/w	=	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก
pH	=	ค่าความเป็นกรด - ด่าง
SEM	=	Scanning Electron Microscope
DSC	=	Differential Scanning Calorimetry
ΔH	=	พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติไนซ์
J/g	=	จูลต่อกรัม
T _o	=	อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลาติไนซ์
T _p	=	อุณหภูมิที่เกิดเจลลาติไนซ์สูงสุด
T _c	=	อุณหภูมิที่สิ้นสุดการเกิดเจลลาติไนซ์
HPSEC	=	High-performance size-exclusion chromatography
°C	=	องศาเซลเซียส
RVA	=	Rapid Visco Analyzer
RVU	=	Rapid Visco Unit
DMSO	=	dimethyl sulfoxide

ml	=	มิลลิลิตร
g	=	กรัม
mg	=	มิลลิกรัม
kV	=	กิโลโวลต์
rpm	=	รอบต่อนาที
min	=	นาที
sec	=	วินาที
Temp.	=	temperature

บทที่ 1 บทนำ

ข้าวเป็นอาหารหลักของประชากรมากกว่าครึ่งในโลก โดยมีการบริโภคในรูปของผลผลิตปรุงสุกเช่น ข้าวสวย และบริโภค/อุปโภคในรูปของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากแป้ง โดยข้าวที่ผลิตได้ทั้งหมดส่วนใหญ่ใช้บริโภคโดยตรงประมาณร้อยละ 43.0 ของข้าวที่ผลิตได้ทั้งหมด เก็บไว้ทำพันธุ์ประมาณร้อยละ 4.0 และเก็บสต็อกไว้ประมาณร้อยละ 3.0 ส่วนข้าวที่เหลืออีกร้อยละ 50.0 นั้นแยกเป็นการส่งออกข้าวสารร้อยละ 40.0 ที่เหลือส่งเข้าโรงงานแปรรูปร้อยละ 10 โดยแยกเป็นการแปรรูปเพื่อบริโภคในประเทศประมาณร้อยละ 9.0 และแปรรูปแล้วส่งออกในลักษณะของผลิตภัณฑ์ข้าวร้อยละ 1.0

ผลิตภัณฑ์จากข้าว นับเป็นสินค้าอุตสาหกรรมการเกษตรที่น่าสนใจ แม้ว่าในปัจจุบันมูลค่าการส่งออกยังไม่สูงมากนัก ตัวอย่างผลิตภัณฑ์จากข้าว ได้แก่ แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวเหนียว เส้นหมี่ เส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมหวาน ขนมปังกรอบ ขนมปังขิง บิสกิตหวาน แวฟเฟิลและเวเฟอร์ รัสค์ขนมปังปิ้งและผลิตภัณฑ์ปิ้งที่คล้ายกัน แคปซูลเปล่าที่ทำจากแป้งข้าว ใบเมี่ยง เครื่องดื่มพร้อมชง แป้งเด็ก และอื่นๆ ข้อมูลการส่งออกผลิตภัณฑ์ข้าวนั้นในช่วง 11 เดือนแรกของปี 2549 มีปริมาณ 183,011 ตัน มูลค่า 7,004 ล้านบาท โดยผลิตภัณฑ์ข้าวที่น่าสนใจและมีอัตราการขยายตัวของมูลค่าการส่งออกอยู่ในเกณฑ์สูงอย่างต่อเนื่องคือ แป้งข้าวเหนียว เส้นหมี่และเส้นก๋วยเตี๋ยว รวมทั้งขนมขบเคี้ยวที่ทำจากแป้งข้าว (ที่มา: มองเศรษฐกิจ ฉบับที่ 1930 วันที่ 24 มกราคม 2550 บริษัท ศูนย์วิจัยกสิกรไทย จำกัด)

เนื่องจากแป้ง (starch) เป็นองค์ประกอบหลักของข้าว ดังนั้นการนำข้าวหรือผลิตภัณฑ์จากข้าวไปใช้อุปโภคหรือบริโภคจะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties) ของแป้งแป้งในข้าวอาจทำหน้าที่เป็นแหล่งให้พลังงาน ให้ resistant starch (ส่วนของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ทำหน้าที่เป็นเส้นใยอาหารและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ) ให้เนื้อสัมผัสต่าง ๆ เช่น ความเหนียว ความนุ่ม ความกรอบ ความหนืด การพองตัว ความใสของเจล ความยืดหยุ่นของเจล ช่วยให้ขึ้นรูปเป็นฟิล์มหรือเป็นเส้นได้ ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัว เป็นต้น ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อสมบัติของแป้งข้าวคือสายพันธุ์ของข้าว แป้งจากต่างสายพันธุ์กันจะมีองค์ประกอบทางเคมี เช่น อะไมโลส โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ต่าง ๆ ในปริมาณที่แตกต่างกัน รวมถึงโครงสร้างระดับโมเลกุลของแป้งก็แตกต่างกันด้วย ถ้าแบ่งแป้งข้าวตามปริมาณอะไมโลสจะแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่มีอะไมโลสสูง กลุ่มที่มีอะไมโลส ปานกลางและกลุ่มที่มีอะไมโลสดำ ผลิตภัณฑ์จากข้าวแต่ละชนิดอาจต้องการแป้งจากข้าวสายพันธุ์ต่างกัน ขึ้นกับว่าต้องการคุณสมบัติใดจากแป้งนั้น ตัวอย่างเช่น ข้าว

สวที่ใช้ในการการบริโภคต้องการข้าวที่มีอะไมโลสปานกลางถึงค่อนข้างสูงเพื่อให้ได้ข้าวสวที่ไม่แฉะและหุงขึ้นหม้อ ในขณะที่ข้าวต้มอาจต้องใช้ข้าวที่มีอะไมโลสปานกลางหรือค่อนข้างต่ำเพื่อให้ได้ข้าวที่เหนียวนุ่ม เส้นกวยเตี๋ยวต้องใช้ข้าวที่มีอะไมโลสสูงเพื่อให้ได้เส้นที่แข็งแรงไม่ละ ขนมหอทดที่ต้องการความกรอบอาจต้องการข้าวที่มี อะไมโลสสูง เป็นต้น

อย่างไรก็ตามแม้ว่าจะเลือกแบ่งจากสายพันธุ์ที่เหมาะสมแล้ว แต่แบ่งนั้นอาจให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงขึ้นได้อีกถ้ามีการดัดแปรแบ่งให้มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้นซึ่งอาจส่งผลให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีมูลค่าที่สูงขึ้นด้วย ตัวอย่างเช่น ผลิตภัณฑ์เส้นกวยเตี๋ยวซึ่งทราบกันดีว่าต้องใช้ข้าวที่มีอะไมโลสสูง และเป็นข้าวเก่าซึ่งจะทำให้ได้เส้นที่มีคุณภาพดี แต่ผู้ประกอบการยังมีความต้องการคุณสมบัติอื่นเพิ่มเติมเช่น ต้องการเพิ่มระยะเวลาการดูดซับน้ำเข้าสู่ผลิตภัณฑ์กวยเตี๋ยวเส้นเล็กจนอึดตัวภายหลังจากการลวกด้วยน้ำร้อน หรือต้องการลดระยะเวลาที่ใช้ในการลวกผลิตภัณฑ์กวยเตี๋ยวเส้นเล็ก (โจทยวิจัยจาก สกว.) นอกจากนี้ผู้ประกอบการบางรายต้องการผลิตภัณฑ์จากแบ่งข้าวที่มีปริมาณ resistant starch สูงขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์ในแง่ของการเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ resistant starch หมายถึงแบ่งและผลิตภัณฑ์จากแบ่งที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์และไม่ดูดซึมภายในลำไส้เล็กของมนุษย์ที่มีสุขภาพแข็งแรง ดังนั้นจะผ่านไปยังส่วนของลำไส้ใหญ่และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ภายในลำไส้ใหญ่ได้เป็นกรดไขมันสายสั้นๆ resistant starch มีประโยชน์ต่อระบบขับถ่าย ช่วยควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือด ป้องกันหรือลดภาวะโรคอ้วน มีบทบาทในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเส้นเลือดและช่วยให้ร่างกายดูดซึมแคลเซียมและโปแตสเซียมไปใช้ได้มากขึ้น

การดัดแปรแบ่งให้มีคุณสมบัติตามที่ต้องการสามารถทำได้โดยใช้วิธีการทางเคมี (chemical modification) หรือวิธีการทางกายภาพ (physical modification) วิธีการทางกายภาพ เช่น การใช้ความร้อน ความดัน การใช้รังสี เป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในการดัดแปรแบ่งที่ต้องการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหาร เนื่องจากในกระบวนการไม่มีการใช้สารเคมี การดัดแปรแบ่งโดยการใช้ความร้อนร่วมกับการให้ความร้อน (hydrothermal treatment) เป็นวิธีการหนึ่งที่มีการศึกษาวิจัยกันมาก กระบวนการนี้แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ แอนนิวลิง (annealing; ANN) เป็นการให้ความร้อนกับแบ่งที่มีปริมาณน้ำมากเกินไป โดยใช้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจล (อุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปรอยู่ที่ประมาณ 50-60°C) อีกประเภทหนึ่งคือ การดัดแปรด้วยความร้อนชื้น (heat-moisture treatment; HMT) เป็นการให้ความร้อนแก่แบ่งที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจล (100-120°C) โดยแบ่งมีความชื้นจำกัด (โดยทั่วไปอยู่ในช่วง 18-35%) ซึ่งจากรายงานที่ผ่านมาพบว่าการดัดแปรด้วยความร้อนชื้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแบ่งมากกว่าการแอนนิวลิง โดยทั่วไปการดัดแปรแบ่งโดยการใช้ความร้อนร่วมกับการให้ความร้อนจะทำให้การพองตัวของเม็ดแบ่งลดลง อุณหภูมิในการเกิดเจลสูงขึ้น แบ่งมีความหนืดและการแตกของเม็ดแบ่งลดลง ซึ่งระดับการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ขึ้นกับชนิดของแบ่งและสภาวะการดัดแปร (ความชื้น อุณหภูมิและระยะเวลาการดัดแปร) ส่วน

รูปร่างลักษณะของเม็ดแป้งพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก (Hoover และ Vasanthan, 1994; Hoover และ Manuel, 1996; Jacobs และคณะ, 1998; Stute, 1992; Waduge และคณะ, 2006; Khunae และคณะ, 2007; Watcharatwinkul และคณะ, 2009) การเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งคาดว่าเกี่ยวข้องกับการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลแป้งภายในเม็ดแป้ง โดยมีข้อมูลสนับสนุนจากลักษณะโครงสร้างผลึกในแป้งที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการดัดแปร อย่างไรก็ตามการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างโมเลกุลแป้งโดยตรงจากการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นยังมีการศึกษากันน้อยมาก โดยพบรายงานวิจัยเพียง 3 เรื่องที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวของสายโซ่อะไมโลเพคตินภายหลังการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในตัวอย่างแป้งข้าวโพดแป้งมันฝรั่งและแป้งสาลี (Kohyama และ Sasaki, 2006; Lan และคณะ, 2008; Chung และคณะ, 2009a) ส่วนในแป้งข้าวเมือสืบค้นจากฐานข้อมูล scopus พบว่ายังไม่มีรายงานเกี่ยวกับเรื่องนี้เลย

จากรายงานที่ผ่านมาเกือบทั้งหมดรายงานไว้ว่าแป้งดัดแปรโดยใช้ความร้อนขึ้นมีการพองตัวและการละลายลดน้อยลง แป้งที่มีการพองตัวลดลงนี้สามารถนำไปใช้ได้กับผลิตภัณฑ์จากแป้งบางกลุ่มที่ต้องการแป้งที่มีการดูดซับน้ำลดลง เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าจะทำให้ได้เส้นที่ไม่พองอืดและไม่เกาะกันเป็นก้อนหลังการลวก หรือในผลิตภัณฑ์แป้งทอดกรอบโดยมีรายงานว่าแป้งที่มีการพองตัวน้อยเหมาะสำหรับนำไปทำเป็นแป้งชุบทอดเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความกรอบมากขึ้นและมีการดูดซับน้ำและน้ำมันน้อยลง (Matsunaga และคณะ, 2003) หรืออาจใช้ในซูปหรือน้ำซอสบางประเภทที่ต้องการแป้งที่มีการคั้นตัวน้อย (Adebawale และคณะ, 2009) นอกจากนี้แป้งดัดแปรที่ได้ยังมีความทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้น ทำให้เมื่อนำไปบริโภคแป้งมีการย่อยน้อยลงและมีปริมาณของแป้งที่ไม่ถูกย่อย (resistant starch) เพิ่มขึ้น ซึ่งข้อดีดังกล่าวสามารถพัฒนาต่อยอดเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์เพื่อสุขภาพสำหรับผู้ป่วยที่มีโรคประจำตัวเช่นโรคเบาหวานให้สามารถบริโภคแป้งโดยไม่กระทบต่อปริมาณน้ำตาลในกระแสเลือดได้

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นทั้งในส่วนของคุณสมบัติการพองตัวของแป้งประโยชน์ของ resistant starch และสมบัติของแป้งที่เปลี่ยนไปจากการดัดแปรโดยใช้ความร้อนขึ้นจึงเป็นที่มาของการเสนอข้อเสนอดังกล่าว “การดัดแปรแป้งข้าวด้วยความร้อนขึ้นเพื่อลดการพองตัวและเพิ่มปริมาณ resistant starch โดยวัตถุประสงค์สำคัญของงานวิจัยนี้คือ เพื่อปรับปรุงสมบัติของแป้งข้าวเจ้าให้มีการพองตัวลดลงและมีส่วนของแป้งข้าวที่ทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์มากขึ้น รวมถึงการศึกษาผลของการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นต่อโครงสร้างอะไมโลสและอะไมโลเพคตินของแป้งข้าว โดยในการทดลองจะใช้ข้าวเจ้าพันธุ์พลายงามปราจีนที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (ประมาณ 30%) ทำการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นทั้งในตัวอย่างแป้งข้าว (rice starch) และฟลาวร์ข้าว (rice flour) ที่สภาวะต่างๆ เพื่อให้ทราบถึงบทบาทขององค์ประกอบอื่นๆ (เช่น ไขมัน โปรตีน เป็นต้น) ที่มีในเมล็ดข้าวต่อสมบัติของแป้งข้าวที่เปลี่ยนไปหลังการดัดแปร เนื่องจากงานวิจัยที่ผ่านมาทำการทดลองเฉพาะในแป้งข้าวหรือในฟลาวร์ข้าวอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น หรือ

ทำการเปรียบเทียบกันโดยใช้ข้าวคนละสายพันธุ์ที่มีองค์ประกอบต่างกัน (Lorlowhakarn และ Naivikul, 2006; Wadchararat และคณะ, 2006; Anderson และ Guraya, 2006; Shih และคณะ, 2007; Hormdok และ Noomhorm, 2007) จากนั้นเลือกสภาวะการตัดแปรที่ทำให้การพองตัวของแป้งลดลงและมีปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้นนำมาเปรียบเทียบสมบัติกับแป้งที่ตัดแปรโดยวิธีแอนนิลลิง เนื่องจากทั้งสองวิธีมีข้อแตกต่างกันอยู่บ้างเพื่อให้ได้ข้อมูลการตัดแปรโดยการใช้ความร้อนร่วมกับการให้ความร้อนอย่างครบถ้วน นอกจากนี้ในส่วนท้ายของโครงการวิจัยจะทำการทดลองตัดแปรแป้งข้าวที่อยู่ในรูปของเมล็ดข้าวหรือเมล็ดข้าวหักด้วยความร้อนขึ้น เปรียบเทียบกับสมบัติของแป้งที่ได้เมื่อตัดแปรแป้งในรูปของแป้งฟลาวัวร์ ซึ่งการทดลองในส่วนนี้น่าจะมีประโยชน์ในแง่ของการนำกระบวนการตัดแปรไปใช้จริงในระดับอุตสาหกรรม และจากรายงานที่ผ่านมาเป็นการทดลองในแป้งข้าวและฟลาวัวร์ข้าวแต่ยังไม่มีผลการทดลองในเมล็ดข้าว

โดยสรุปแล้วความรู้ที่จะได้จากการวิจัยนี้น่าจะเป็นประโยชน์โดยตรงต่อผู้ประกอบการในการนำไปพัฒนาผลิตภัณฑ์จากข้าวบางประเภทหรืออาจประยุกต์ความรู้ที่ได้ไปใช้กับผลิตภัณฑ์จากแป้งชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ในแง่ทางวิชาการก็จะช่วยให้มีความรู้ความเข้าใจในสมบัติของแป้งข้าวและการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งข้าวมากขึ้น โดยองค์ความรู้ใหม่ที่คาดว่าจะได้จากงานวิจัยนี้คือความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างระดับโมเลกุลของแป้งกับสมบัติของแป้งข้าวที่เปลี่ยนไปจากการตัดแปร และผลขององค์ประกอบอื่นๆ ที่มีในข้าวต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งข้าว

1.1 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อตัดแปรแป้งข้าว/ฟลาวัวร์ข้าว/เมล็ดข้าวโดยการใช้ความร้อนร่วมกับการให้ความร้อน (การให้ความร้อนขึ้นและการแอนนิลลิง) และหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการตัดแปรเพื่อให้ได้แป้งข้าวตัดแปรที่มีการพองตัวลดลงและทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มมากขึ้น
2. เพื่อให้ได้องค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินภายในแป้งข้าวภายหลังการตัดแปร และผลขององค์ประกอบอื่นๆ ที่มีในข้าวต่อการตัดแปรแป้งข้าว

1.2 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้องค์ความรู้ในการตัดแปรแป้งข้าว ฟลาวัวร์ข้าวและเมล็ดข้าวให้ให้มีการพองตัวลดลงและทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์เพิ่มขึ้น
2. ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในแป้งข้าวภายหลังการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น
3. บริษัทเอกชนสามารถใช้ความรู้ที่ได้นำไปตัดแปรแป้งข้าวเพื่อปรับปรุงคุณภาพของอาหาร

4. มีผลงานเผยแพร่ในวารสารระดับนานาชาติอย่างน้อย 1 เรื่อง และนำเสนอผลงานในงานประชุม 1 ครั้ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและฟลาวร์ข้าวของข้าวเจ้าพันธุ์ปลายงามปราจีน
2. ศึกษาการดัดแปรแป้งข้าวเจ้าโดยใช้ความร้อนขึ้น
 - ศึกษาระยะเวลาการดัดแปร
 - ศึกษาความชื้นที่ใช้สำหรับดัดแปร
 - ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ดัดแปร
3. ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพ
 - ลักษณะของเม็ดแป้ง
 - ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง
 - การพองตัวของเม็ดแป้งในน้ำและในน้ำมัน
 - ความสามารถในการละลายของเม็ดแป้ง
 - พฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงความหนืด
 - สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลาติไนซ์เซชันของแป้ง
 - การทดสอบค่าแรงกด
4. ศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์
5. ศึกษาโครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินก่อนและหลังการดัดแปร
6. ศึกษาการดัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงในแป้งข้าวเจ้าและฟลาวร์ข้าว
7. ศึกษาการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในข้าวหัก

1.4 ระยะเวลาที่ทำการทำวิจัย 2 ปี ตั้งแต่ 1 มิถุนายน 2553 - 31 พฤษภาคม 2555

บทที่ 2 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้ความร้อนขึ้นในการดัดแปรแป้งเป็นการใช้น้ำร่วมกับการให้ความร้อนในการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง เป็นการดัดแปรแบบใช้ความชื้นต่ำ (18-30%) ที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจล ซึ่งการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นส่วนใหญ่ไม่ทำให้รูปร่างของเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงไป แต่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสมบัติของแป้ง ซึ่งที่ผ่านมามีการทดลองมาแล้วในแป้งหลายชนิด เช่น แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งสาลี แป้งบาร์เลย์ แป้งโอ๊ต แป้งมันเทศ แป้งพุทธรักษา แป้งข้าว (Hoover และ Manuel, 1996; Hoover และ Vasanthan, 1994; Hoover และคณะ, 1994; Stute, 1992; Watcharatewinkul และคณะ, 2009; Collado และ Corke, 1999; Anderson และ Guraya, 2006; Shih และคณะ 2007) โดยพบว่าสมบัติของแป้งที่เปลี่ยนไป ได้แก่ อุณหภูมิที่ทำให้แป้งเริ่มเกิดเจล (pasting temperature) เพิ่มขึ้น ความหนืดของเจลแป้ง การคืนตัวของแป้ง การพองตัวและการละลายลดลง (Collado และ Corke, 1999; Takaya และคณะ, 2000; Miyazaki และ Morita, 2005; Hoover และ Vasanthan, 1994; Hoover และคณะ, 1994; Maruta และคณะ, 1994; Hoover และ Manuel, 1996; Takaya และคณะ, 2000; Gunaratne และ Hoover, 2002; Adebawale และ Lawal, 2003; Singh และคณะ, 2005; Vermeylen และคณะ, 2006) ความเป็นผลึกในเม็ดแป้ง (granular crystallinity) ลดลง (Lim และคณะ, 2001) นอกจากนี้ยังพบว่าการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกในเม็ดแป้งโดยเฉพาะแป้งที่มีโครงสร้างผลึกประเภท B เช่น แป้งมันฝรั่ง (Lim และคณะ, 2001; Gunaratne และ Hoover, 2002)

2.1 ผลของการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นต่อสมบัติด้านเคมีกายภาพ

การเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นขึ้นกับปัจจัยหลายปัจจัย โดยเฉพาะที่มีการศึกษากันมากคือ ปริมาณอะไมโลสในแป้ง Collado และ Corke (1999) ศึกษาผลของการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในแป้งมันเทศที่มีปริมาณอะไมโลส 15.2% และ 28.5% โดยปรับความชื้นของแป้งเป็น 25% ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 4, 8, 16 ชั่วโมง พบว่าการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่เวลา 4 และ 8 ชั่วโมง ให้สมบัติด้านความหนืดของแป้งไม่แตกต่างกันมาก แต่แตกต่างจากแป้งที่ไม่ได้ดัดแปรและแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ 16 ชั่วโมง แป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระยะเวลา 8 และ 16 ชั่วโมง มีการพองตัวและการละลายลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งไม่ดัดแปรและแป้งที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระยะเวลา 4 ชั่วโมง แป้งที่มีอะไมโลส

15.2% เมื่อตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระยะเวลา 16 ชั่วโมง ให้เจลแข็งกว่าแปงตัดแปรที่ระยะเวลา 4 และ 8 ชั่วโมง

Hoover และ Vasanthan (1994); Gunaratne และ Hoover (2002); Adebowale และ Lawal (2003) รายงานว่าการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นทำให้การพองตัวของแป้งมันฝรั่ง แป้งสาลี แป้งข้าวโอ๊ต แป้งแยม แป้งเผือก แป้งมันสำปะหลัง แป้งเลนทิล new cocoyam, mucuna bean ลดลง และ Hoover และ Vasanthan (1994); Jacobs และคณะ (1998); Stute (1992); Waduge และคณะ (2006); Khunae และคณะ (2007) พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกของเม็ดแป้ง (แป้งสาลี แป้งโอ๊ต แป้งเลนทิล แป้งมันฝรั่ง บางสายพันธุ์ของแป้งบาเลย์ แป้งข้าว) ภายหลังจากการตัดแปรด้วยวิธีการแอนนิวลิง แต่ Kiseleve และคณะ (2005) พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเม็ดแป้งเล็กน้อยในแป้งที่อะไมโลสสูงและแป้งสาลีชนิดแวกซ์ที่ภายหลังการทำแอนนิวลิง

นอกจากนั้น Hoover และ Manuel (1996) ศึกษาผลของการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น (ปรับความชื้นเป็น 30% ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 16 ชั่วโมง) ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากพืชจำพวกเมล็ดแบบฝัก (legume starches) พบว่าการตัดแปรไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอก ได้แก่ รูปร่างและผิวของเม็ดแป้ง แต่ทำให้การละลายของอะไมโลส (amylose leaching) และการพองตัวของแป้งลดลง

Singh และคณะ (2005); Maruta และคณะ (1994); Hoover และ Manuel (1996); Adebowale และ Lawal (2003); Hoover และ Vasanthan (1994) พบว่าการตัดแปรแป้งด้วยความร้อนขึ้นทำให้ความหนืด (paste viscosity) ของแป้งมันเทศ แป้งข้าวโพด แป้งข้าวโพดที่มีปริมาณอะไมโลสสูง แป้งข้าวโอ๊ต แป้งเลนทิล แป้งแยมและแป้งมันฝรั่งลดลง นอกจากนี้ Singh และคณะ (2005) พบว่าแป้งมันเทศที่ตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นโดยปรับความชื้นของแป้งเป็น 25-28% ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง พบว่าเจลแปงตัดแปรมีค่า gel strength, adhesiveness และ elasticity ของเจล ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ตัดแปร

Miyazaki และ Morita (2005) ศึกษาผลของแป้งข้าวโพดตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นต่อสมบัติของแป้งโด (dough) และขนมปัง (bread) โดยผสมแป้งข้าวโพดตัดแปร (หรือแป้งข้าวโพดปกติ) 20% แทนที่แป้งสาลี ผลการศึกษาสมบัติของแป้งโดที่ได้พบว่าแป้งโดที่ผสมแป้งข้าวโพดตัดแปรมีความยืดหยุ่น (elasticity) ลดลงเมื่อเทียบกับแป้งโดที่ผสมด้วยแป้งข้าวโพดที่ไม่ผ่านการตัดแปร รวมถึงแป้งโดที่ไม่ผสมแป้งข้าวโพด ผลการวิเคราะห์โดย DSC และ viscograph พบว่าแป้งสาลีผสมแป้งข้าวโพดตัดแปรมีการพองตัวต่ำและเกิดเจลาคีในชียากขึ้น

Lorlowhakarn และ Naivikul (2006) ศึกษาการดัดแปรแป้งฟลาวร์ของข้าวพันธุ์ชัยนาท1 ด้วยความร้อนขึ้นโดยปรับความชื้นเป็น 25% ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 และ 120°C ระยะเวลา 1, 3, 5 ชั่วโมง พบว่าแป้งฟลาวร์ดัดแปรที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 5 ชั่วโมง เจลแป้งมีค่าความหนืด break down, และ setback ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ได้ดัดแปรอย่างมีนัยสำคัญ และมีการพองตัวลดลงแต่การละลายน้ำไม่แตกต่างจากแป้งไม่ได้ดัดแปร นอกจากนี้การดัดแปรที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 5 ชั่วโมง พบว่าแป้งฟลาวร์ดัดแปรมีสีเปลี่ยนไปโดยมีความเข้มของสีแดงและสีเหลืองเพิ่มขึ้น และเมื่อนำไปผสมทำเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ความเข้มข้น 10% จะให้เส้นที่มี tensile strength สูงกว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งฟลาวร์ที่ไม่ได้ดัดแปร

Wadchararat และคณะ (2006) ศึกษาการดัดแปรแป้งข้าวสามสายพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลส แตกต่างกันคือ พันธุ์ชัยนาท1 (28.72%) พันธุ์ขาวดอกมะลิ105 (16.45%) และพันธุ์กข6 (5.54%) โดยปรับความชื้นแป้งฟลาวร์เป็น 40% นำไปผ่าน drum dryer พบว่าแป้งดัดแปรที่มี pasting temperature ความหนืด breakdown และ setback ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ได้ดัดแปร และมีการหดตัวของเจล (syneresis) เพิ่มขึ้นจากแป้งไม่ได้ดัดแปร ส่วนการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นโดยปรับความชื้นเป็น 30% และให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ระยะเวลา 16 ชั่วโมง พบว่าแป้งฟลาวร์ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมี pasting temperature เพิ่มขึ้น และมีความหนืด breakdown และ setback ลดลง ส่วนการพองตัวและการละลายลดลงด้วยเช่นกัน

Anderson และ Guraya (2006) ศึกษาการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเหนียวโดยปรับความชื้นเป็น 20% และไมโครเวฟที่อุณหภูมิการละลาย (Melting temperature) ระยะเวลา 60 นาที พบว่าแป้งทั้งสองชนิดมีการเปลี่ยนแปลงของสมบัติด้านความหนืด โดยแป้งข้าวเจ้ามีค่า breakdown เพิ่มขึ้น ในขณะที่แป้งข้าวเหนียวมีค่า breakdown ลดลง

Shih และคณะ (2007) ศึกษาการดัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงในแป้งข้าวเจ้าเม็ดยาวและแป้งข้าวเหนียว โดยใช้ปริมาณน้ำมากเกินพอและให้ความร้อนที่ 50°C ระยะเวลา 4 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ปรับความชื้นเป็น 20, 30, 40% ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าแป้งดัดแปรที่มี peak viscosity และ setback ลดลง มีการพองตัวลดลง และไม่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้ง แต่วิธีแอนนิลลิงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติของแป้งทั้งสองชนิดน้อยกว่าการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

Olayinka และคณะ (2008) ศึกษาแป้งข้าวฟ่างขาว (white sorghum) ที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นโดยปรับความชื้นเป็น 18-27% ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 16 ชั่วโมง แป้งดัดแปรที่ได้มีการพองตัวและการละลายลดลง นอกจากนี้พบว่าค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ยังมีผล

ต่อการพองตัวและการละลายด้วย โดยการพองตัวและการละลายจะแปรผันกับค่าความเป็นกรดต่าง เมื่อสารละลายมีความเป็นด่างมากขึ้นทำให้แป้งมีการพองตัวและการละลายลดลง

Chung และคณะ (2009a) ศึกษาเปรียบเทียบการตัดแปรแป้งข้าวโพดโดยวิธีแอนนิลลิง (ความชื้น 70% อุณหภูมิ 50°C ระยะเวลา 24 ชั่วโมง) และการตัดแปรด้วยความร้อนชื้น (ความชื้น 30% อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 24 ชั่วโมง) และผลของการตัดแปรทั้งสองวิธีร่วมกันโดยสลับลำดับการตัดแปรก่อนหลัง พบว่าการตัดแปรด้วยความร้อนชื้นมีผลต่อลักษณะการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ของเม็ดแป้ง (birefringence) ทำให้เห็นเป็นช่องว่างขนาดใหญ่บริเวณกลางเม็ดแป้ง นอกจากนี้แป้งตัดแปรด้วยความร้อนชื้นมีการพองตัวและการปลดปล่อยอะไมโลสมากกว่าแป้งที่ตัดแปรด้วยวิธี แอนนิลลิง และเจลแป้งตัดแปรด้วยความร้อนชื้นมีความหนืด breakdown และ setback ลดลงมากกว่าแป้งไม่ตัดแปรและแป้งตัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิง เมื่อใช้ทั้งสองวิธีร่วมกันพบว่าแป้งตัดแปรมีการพองตัวลดลงและปลดปล่อยอะไมโลสมากกว่าแป้งที่ตัดแปรด้วยวิธีเดียว ส่วนสมบัติด้านความหนืดคล้ายแป้งตัดแปรด้วยความร้อนชื้นและไม่ขึ้นอยู่กับการลำดับในการตัดแปรก่อนหลัง

Adebowale และคณะ (2009) ศึกษาการตัดแปรแป้ง African yam bean ด้วยความร้อนชื้น โดยปรับความชื้นตั้งแต่ 18-27% ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ระยะเวลา 16 ชั่วโมง พบว่าแป้งตัดแปรมีการละลายและการพองตัวน้อยกว่าแป้งที่ไม่ได้ตัดแปร และทำให้ water absorption เพิ่มขึ้น แต่ oil absorption ลดลง โดยระดับการเปลี่ยนแปลงจะเพิ่มมากขึ้นตามความชื้นในการตัดแปร แป้งตัดแปรที่ความชื้น 18% สามารถเกิดเป็นเจลแข็งได้ในขณะที่ตัวอย่างที่ตัดแปรด้วยความชื้นสูงขึ้นไม่สามารถเกิดเป็นเจลแข็งได้ นอกจากนี้การตัดแปรรังทำให้ค่า gelatinization enthalpy ลดลง แป้ง African yam bean แสดงโครงสร้างผลึกเป็นแบบชนิด C เมื่อตัดแปรด้วยความร้อนชื้นแป้งมีความเป็นผลึกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่ยังคงมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบชนิด C เช่นเดิม

Watcharatwinkul และคณะ (2009) ศึกษาการตัดแปรแป้งพุทธรักษาด้วยความร้อนชื้น โดยปรับระดับความชื้นตั้งแต่ 15-25% ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100°C ระยะเวลา 16 ชั่วโมง พบว่าแป้งพุทธรักษาตัดแปรไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายนอก แต่มีค่า paste viscosity และ setback ลดลง โดยเฉพาะการตัดแปรที่ความชื้นสูง (22-25%) เม็ดแป้งมีการพองตัวลดลงมีความแข็งแรงมากขึ้น

2.2 ผลของการตัดแปรด้วยความร้อนชื้นต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

ที่ผ่านมาได้มีการทดลองย่อยสลายแป้งตัดแปรด้วยความร้อนชื้นด้วยเอนไซม์อะไมเลสในแป้งหลายชนิด ซึ่งให้ผลแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของแป้ง **Hoover และ Manuel (1996)** และ **Hoover และ Vasanthan (1994)** รายงานว่าแป้งถั่ว แป้งมันฝรั่ง แป้งแยมและแป้งข้าวโอ๊ตถูกย่อยสลายด้วย

เอนไซม์ได้มากขึ้นภายหลังการตัดแปร ในขณะที่แป้งสาลีและแป้งเลนทิล (Hoover และ Vasanthan, 1994) แป้งข้าวโพดและข้าวโพดข้าวเหนียว (Franco และคณะ, 1995) แป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเหนียว (Anderson และคณะ, 2002) ให้ผลที่ตรงกันข้ามคือ สามารถทนต่อการย่อยสลายด้วยเอนไซม์อะไมเลสมากขึ้น

Jacobasch และคณะ (2006) พบว่าแป้ง Novelose330 ที่ตัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงและด้วยความร้อนชื้นสามารถเพิ่มปริมาณแป้งที่ทนต่อการย่อย (resistant starch; RS) จาก 40.4% เป็น 67 และ 74.7% ตามลำดับ

Wongsagonsup และคณะ (2008) ศึกษาการตัดแปรแป้งข้าวโพดโดยใช้ความร้อนชื้น ร่วมกับการใช้ temperature cycling และ isothermal holding พบว่าการใช้ temperature cycling ที่ -24°C ระยะเวลา 1 ชั่วโมง และให้ความร้อนที่ 30°C ระยะเวลา 24 ชั่วโมง 1 รอบ หลังการตัดแปรด้วยความร้อนชื้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างภายในทำให้ปริมาณแป้งที่ย่อยสลายช้า (slowly digestible starch; SDS) และ RS เพิ่มขึ้น แต่โครงสร้างผลึกภายในเม็ดแป้งยังคงเป็นประเภท A และยังคงสมบัติการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์ของเม็ดแป้งไว้เช่นเดิม

Chung และคณะ (2009b) พบว่าการตัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงและการตัดแปรด้วยความร้อนชื้นทำให้ได้แป้งที่ย่อยสลายได้เร็ว (rapidly digestible; RDS) และ RS เพิ่มขึ้น ส่วน SDS มีปริมาณลดลง นอกจากนี้ได้ศึกษาการตัดแปรแบบใช้ทั้งสองวิธีร่วมกัน พบว่าการตัดแปรด้วยความร้อนชื้นก่อนตัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงทำให้ RDS เพิ่มขึ้น SDS ลดลง และ RS ไม่แตกต่างจากแป้งไม่ตัดแปร ส่วนการตัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงก่อนการตัดแปรด้วยความร้อนชื้นพบว่ามี RDS เพิ่มขึ้น ส่วน SDS และ RS น้อยกว่าแป้งที่ไม่ตัดแปร

2.3 ผลของการตัดแปรด้วยความร้อนชื้นต่อโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง

Kohyama และ Sasaki (2006) ศึกษาการตัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงในแป้งข้าวสาลี แป้งข้าวโพด และแป้งมันฝรั่ง พบว่าแป้งข้าวสาลีที่ตัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงโดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 20 และ 50°C ระยะเวลา 72 ชั่วโมง พบว่าโครงสร้างของอะไมโลเพคตินของแป้งข้าวโพดตัดแปรที่อุณหภูมิ 50°C มี short chain (DP 6-12) และ long chain (DP>36) มากกว่าแป้งข้าวโพดตัดแปรที่อุณหภูมิ 20°C ส่วนในแป้งมันฝรั่งตัดแปรที่อุณหภูมิ 50°C พบว่ามี short chain (DP 6-12) ลดลงและ long chain (DP>36) เพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับการตัดแปรที่ 20°C แต่การตัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงไม่มีผลต่อปริมาณอะไมโลสของแป้งทั้งสามชนิด และเมื่อเปรียบเทียบแป้งทั้งสามชนิดที่มีโครงสร้างผลึกแตกต่างกัน พบว่าแป้งมันฝรั่งที่เป็นชนิด B จะมีความคงรูปน้อยกว่าแป้งข้าวสาลี และแป้งข้าวโพดที่เป็นชนิด A เมื่อทำการตัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงที่อุณหภูมิ 50°C แป้งมันฝรั่งชนิด B จะมีการเปลี่ยนโครงสร้างผลึกเป็นชนิด A ส่วนแป้งที่เป็นชนิด A อยู่แล้วจะยังคงความเป็น

ชนิด A อยู่ เช่นเดียวกับที่ Stute (1992) และ Vermeulen และคณะ (2006) รายงานว่าแบ่งจากพืชหัวบางชนิดมีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างผลึกจากชนิด B เป็นชนิด A

Lan และคณะ (2008) ศึกษาการดัดแปรแป้งสาลีสามชนิดด้วยวิธีแอนนิลลิง พบว่าปริมาณองค์ประกอบทางเคมี เช่น โปรตีน ไขมัน ถ้า ฟอสฟอรัสไม่เปลี่ยนแปลง แต่ปริมาณอะไมโลสในแป้งดัดแปรลดลงประมาณ 1.8-2.2% และมีความยาวเฉลี่ยของสายโซ่โมเลกุลอะไมโลเพคตินลดลงเล็กน้อย

Chung และคณะ (2009a) ได้ศึกษาโครงสร้างภายในของแป้งข้าวโพดดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นเปรียบเทียบกับวิธีแอนนิลลิง พบว่าการดัดแปรทั้งสองวิธีทำให้ปริมาณอะไมโลสปรากฏลดลง ส่วนการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีผลต่อความยาวของสายโมเลกุลอะไมโลเพคติน แป้งที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นพบว่ามีความยาวเฉลี่ยของสายโมเลกุลอะไมโลเพคตินลดลง และมีการเพิ่มขึ้นของโมเลกุลสายสั้นของอะไมโลเพคติน

2.4 การนำแป้งดัดแปรไปใช้ประโยชน์

Matsunaga และคณะ (2003) ศึกษาการนำแป้งดัดแปรไปใช้กับแป้งทอดเทมปุระ โดยใช้แป้งทางการค้า 9 ชนิด นำมาดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นโดยปรับความชื้นเป็น 20% ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 120°C ระยะเวลา 1 ชั่วโมงในหม้อหนึ่งไอน้ำจากนั้นทำให้แห้ง นำไปเป็นส่วนผสมสำหรับทำแป้งทอดเทมปุระเปรียบเทียบกับแป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปร เมื่อใช้แป้งที่ไม่ผ่านการดัดแปรพบว่าแป้งทอดเทมปุระมี water evaporation และ breaking strength แตกต่างกันขึ้นกับชนิดของแป้ง แป้งที่มาจากธัญพืชเมื่อใช้เป็นส่วนผสมของแป้งชุบทอดเทมปุระให้แป้งทอดที่กรอบกว่าแป้งที่มาจากพืชหัวหรือรากซึ่งให้ลักษณะแป้งทอดที่เหนียวมากกว่า และเมื่อใช้แป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นแทนแป้งไม่ดัดแปรพบว่า แป้งชุบทอดมีความกรอบเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะในแป้งที่มาจากพืชหัวหรือรากจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน

Horndok และ Noomhorm (2007) รายงานการใช้ hydrothermal treatment ในแป้งข้าว โดยเปรียบเทียบระหว่างการดัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงโดยให้ความชื้นมากเกินไป ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55°C ระยะเวลา 24 ชั่วโมง และการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นโดยปรับความชื้นเป็น 15, 20, 25% ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100, 105, 110°C ระยะเวลา 0.5, 1, 1.5 ชั่วโมง โดยเลือกใช้ข้าวพันธุ์ชัยนาทที่มีปริมาณอะไมโลส 30% และแป้งข้าวของบริษัทขอเองที่มีปริมาณอะไมโลส 27% พบว่าการดัดแปรทั้งสองวิธีทำให้ gel hardness ของแป้งข้าวเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าการพองตัวของแป้งลดน้อยลง ส่วนค่าการละลายของแป้งข้าวเป็นไปทั้งเพิ่มขึ้นและลดลง และเมื่อศึกษาสมบัติของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าวดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น (ความชื้น 20% อุณหภูมิ 110°C ระยะเวลา 1.5 ชั่วโมง) และแป้งดัดแปรแอนนิลลิง พบว่าเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้หลังจากการทำให้สุก (cooked

noodle) จากการใช้แป้งดัดแปรทั้งสองวิธีมี cooking loss และ retrogradation ลดลง และแป้งดัดแปรจากทั้งสองวิธีให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มี hardness เพิ่มขึ้น และมี adhesiveness, chewiness ลดลง แต่เมื่อผสมกับแป้งฟลาวาร์ 50% พบว่าค่า hardness, adhesiveness, chewiness ไม่แตกต่างกับการผลิตด้วยแป้งฟลาวาร์เพียงอย่างเดียว

บทที่ 3 วิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมแป้งข้าวและแป้งฟลาวาร์

เตรียมแป้งข้าวและแป้งฟลาวาร์โดยใช้ข้าวเจ้าสายพันธุ์พลาญงามปราจีนที่มีประมาณอะไมโลส ค่อนข้างสูง โดยการเตรียมแป้งข้าวจะทำการแช่เมล็ดข้าวไว้ในน้ำที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำมาบดโดยใช้น้ำ กรองด้วยตะแกรงขนาด 63 ไมครอน ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิ 4°C จากนั้นเทน้ำส่วนบนออก เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.35% ปริมาณ 4 เท่าของตะกอนแป้ง กวนให้แป้งกระจายตัวตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิ 4°C เติมน้ำส่วนบนทั้ง ล้างตะกอนแป้งด้วยน้ำหลายๆ ครั้งจน pH เท่ากับ 7 นำตะกอนแป้งที่ได้มาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40°C นำมาบดละเอียดอีกครั้งกรองด้วยตะแกรงขนาด 63 ไมครอน ส่วนแป้งฟลาวาร์ใช้เมล็ดข้าวสายพันธุ์เดียวกันนำมาบดแบบแห้งโดยใช้เครื่องบด จากนั้นกรองด้วยตะแกรงขนาด 106 ไมครอน

3.2 ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและฟลาวาร์ข้าว

วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวและฟลาวาร์ข้าวเพื่อใช้อธิบายผลขององค์ประกอบทางเคมีต่อสมบัติของแป้งข้าวและฟลาวาร์ข้าวหลังการดัดแปร

3.2.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีการของ AOAC (1990)

ชั่งตัวอย่าง 2.0000 กรัม ให้น้ำหนักแน่นอน ใส่ลงในภาชนะอะลูมิเนียมที่แห้งสนิท (อบในตู้อบที่อุณหภูมิ 130 ± 3°C (ถ้าเป็นฟลาวาร์จะใช้อุณหภูมิ 105 ± 3°C) จนน้ำหนักคงที่แล้วทิ้งไว้เย็นใน desiccator จากนั้นชั่งน้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมเปล่าเก็บไว้) นำตัวอย่างไปอบในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ 130 ± 3°C (ถ้าเป็นฟลาวาร์จะใช้อุณหภูมิ 105 ± 3°C) เป็นเวลา 4 ชั่วโมง นำออกจากตู้อบ ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักภาชนะอะลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง และนำเข้าตู้อบอีกครั้งเพื่ออบจนน้ำหนักคงที่ โดยจะนำออกมาชั่งน้ำหนักทุกชั่วโมงจนน้ำหนักคงที่

คำนวณปริมาณความชื้นโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ (g)} - \text{น้ำหนักหลังอบ (g)}}{\text{น้ำหนักก่อนอบ (g)}} \times 100$$

น้ำหนักก่อนอบ

3.2.2 ปริมาณไขมัน ตามวิธีการของ AOAC (1990)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2.0000 กรัม ให้น้ำหนักแน่นนอน แล้วห่อด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 ใส่ห่อตัวอย่างลงใน thimble บรรจุลงในชุดสกัดไขมัน โดยเติมสารทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ 50 มิลลิลิตร ใน Soxhlet cup (ที่ทราบน้ำหนักแน่นนอนแล้ว) แซะ thimble ตัวอย่างลงในถ้วยที่มีตัวทำละลายปิโตรเลียมอีเทอร์ และให้ความร้อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ยก thimble ตัวอย่างเหนือถ้วยและกลั่นชะอีกครั้งเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ระเหยปิโตรเลียมอีเทอร์ออกจากไขมันที่สกัดได้ โดยเปิดวาล์วให้ปิโตรเลียมอีเทอร์ที่ระเหยไหลไปรวมด้านบนของ Condenser นำ Soxhlet cup ที่ปราศจากปิโตรเลียมอีเทอร์แล้วไปอบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 30 นาที หรือจนน้ำหนักคงที่ นำ Soxhlet cup ที่ให้เย็นใน desiccator ชั่งน้ำหนัก Soxhlet cup

คำนวณหาปริมาณไขมันโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้ (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (g)}}$$

3.2.3 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ AOAC (1990)

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ทราบแน่นนอน 2.0000 กรัม ใส่ใน Kjeldahl tube เติมสารเร่งปฏิกิริยา 1 เม็ด (ประมาณ 10 g) และเติม H₂SO₄ เข้มข้น 20 ml ย่อยด้วยเครื่อง Digestion unit เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนตัวอย่างใสเป็นสีฟ้าอ่อน ทั้งให้ Kjeldahl tube เย็นแล้วจึงประกอบเข้ากับเครื่อง Distillation unit เตรียมสารละลายกรดบอริกความเข้มข้น 4% ใส่ flask 250 ml ปริมาตร 60 ml และหยดอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด เพื่อรองรับสารที่กลั่นได้ ตั้งโปรแกรมให้เครื่องเติมน้ำกลั่น 20 ml และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40% ปริมาตร 60 ml หรือเติมสารละลาย NaOH จนสารละลายตัวอย่างเป็นสีน้ำตาล ทำการกลั่นตัวอย่างนาน 3.5 นาที เสร็จแล้วจึงนำ flask ที่มีสารรองรับออกไต่เตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ 0.01 N จนสารละลายถึงจุดยุติเป็นสีชมพูอ่อน

คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีน โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน(\%)} = \frac{\text{ปริมาตรกรดเกลือที่ไต่เตรท (ml)} \times \text{ความเข้มข้นกรดเกลือ (N)} \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง(g)}}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีนในแป้ง (\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} \times 6.25$$

3.2.4 ปริมาณเถ้า ตามวิธีการของ Smith และ Caruso (1964)

ซึ่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 2.0000 กรัม ใส่ใน crucible ที่เผาและทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว เผาตัวอย่างใน crucible ด้วยเตาให้ความร้อนจนตัวอย่างเป็นสีดำและไม่มีควัน นำตัวอย่างเข้าเผาใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550°C จนได้เถ้าเป็นสีขาว ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เสร็จแล้วชั่งน้ำหนัก

คำนวณหาปริมาณเถ้า โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักหลังเผา (g)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (g)}}$$

3.2.5 ปริมาณอะไมโลส ตามวิธีการของ Jayakody และคณะ (2007)

ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างที่ทราบแน่นอน 0.020 กรัม ใส่ในหลอดฝาเกลียว เดิม 90% Dimethyl sulfoxide (DMSO) 8 มิลลิลิตร ปิดฝาผสมให้เข้ากันด้วย vortex เป็นเวลา 2 นาที นำไปให้ความร้อนที่ 85°C นาน 30 นาที โดยทำการกวนตลอดเวลาขณะให้ความร้อน ตั้งทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 45 นาที เติมน้ำกลั่นปรับปริมาณเป็น 25 มิลลิลิตร ตีตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติม I₂/KI ความเข้มข้น 0.025/0.0065 โมลาร์ ปริมาณ 5 ml เขย่าให้เข้ากัน ปรับปริมาณเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 600 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ standard

หมายเหตุ ในการเตรียมกราฟมาตรฐานจะเตรียมตัวอย่างสารละลายมาตรฐานโดยทำการผสมระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคตินที่บริสุทธิ์ ในอัตราส่วนอะไมโลส 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100% และอะไมโลเพคติน 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 0% และดำเนินการวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างแป้ง

3.3 ศึกษาการดัดแปรแป้งข้าวเจ้าโดยใช้ความร้อนชื้น [วิธีการในการเตรียมตัวอย่างแป้งอ้างอิงตาม Watcharatwinkul และคณะ (2009)]

ทำการดัดแปรแป้งข้าวและแป้งฟลาวร์โดยศึกษาระยะเวลาการดัดแปร 2 ระดับ คือ 4 และ 16 ชั่วโมง ศึกษาความชื้นที่ใช้สำหรับดัดแปร 3 ระดับ คือ 20, 25, 30% และศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ดัดแปร 2 ระดับ คือ 100 และ 120°C การเตรียมแป้งข้าวและแป้งฟลาวร์ดัดแปรทำโดยการนำตัวอย่างแป้งแช่น้ำที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 1 คืน เพื่อให้แป้งดูดซับน้ำจนอิ่มตัว จากนั้นนำมาคูดน้ำออกให้แห้งหมาดๆ สุ่มวัดความชื้นโดยใช้เครื่อง moisture analyzer เมื่อได้ความชื้นที่ต้องการ คือ 20, 25, 30% นำแป้งใส่ภาชนะปิด เข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 100 และ 120°C นาน 4 และ 16 ชั่วโมง จากนั้นนำแป้งที่ผ่านการดัดแปรมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 40°C บดละเอียดและกรองด้วยตะแกรง

ขนาด 63 ไมครอน สำหรับแป้งข้าว และ 106 ไมครอน สำหรับแป้งฟลาวัวร์ และนำไปศึกษาคุณสมบัติที่เปลี่ยนแปลงไป

3.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวและแป้งฟลาวัวร์ดัดแปร

3.4.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) [Puncha-arnon และคณะ (2007)]

นำแป้งตัวอย่างปริมาณเล็กน้อยมาโรยบนเทปกาวสองหน้าที่ติดอยู่บนแท่ง aluminium stub นำแท่ง aluminium stub ที่ติดแป้งตัวอย่างแล้วเข้าเครื่องเคลือบทองที่ผิวของแป้งตัวอย่าง ส่องดูตัวอย่างโดยควบคุมสภาวะในการทดลองดังนี้ ค่าอัตราเร่งความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 10 หรือ 15 kV และใช้กำลังขยายที่ 3500 และ 10000 เท่า

3.4.2 ลักษณะโครงสร้างผลึก โดย X-ray diffractometer (Puncha-arnon และคณะ, 2007)

ชั่งตัวอย่างแป้งประมาณ 5 - 20 กรัม บรรจุลงในจานสำหรับตรวจวิเคราะห์ และปิดผิวหน้าของจานด้วยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงความชื้น วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง โดยทดสอบที่สภาวะดังต่อไปนี้คือ ใช้ target เป็นโลหะทองแดงที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าเท่ากับ 45.0 kV. ใช้กระแสไฟฟ้า 30.0 mA. เริ่ม scan ที่มุม 5.00 และหยุดที่มุม 45.00 โดยมีค่า step angle เท่ากับ 0.040

3.4.3 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) (Thitipraphunkul และคณะ, 2003)

เตรียมตัวอย่างแป้งให้มีความเข้มข้นร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก โดยชั่งแป้งเทในแคนอลูมิเนียม จากนั้นจึงชั่งน้ำกลั่นใส่แคนอลูมิเนียม ให้มีน้ำหนักรวม 28 กรัม ใช้ใบพัดกวนผสมให้เข้ากัน ใส่แคนอลูมิเนียมลงในเครื่อง RVA กำหนด profile ดังตาราง แล้วเดินเครื่อง เมื่อการวิเคราะห์สิ้นสุดจะได้กราฟของตัวอย่างและค่าต่างๆ ที่วิเคราะห์ได้

Time	Type[Temp/Speed]	Value [$^{\circ}$ C] or RPM
00:00:00	Temp	40
00:00:00	Speed	960
00:00:10	Speed	160
00:01:00	Temp	40
00:18:30	Temp	92.5
00:33:30	Temp	92.5

00:51:00	Temp	40
----------	------	----

หมายเหตุ

1. อุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืด (Pasting Temperature) คือ อุณหภูมิที่แป้งมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดมากที่สุด มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
2. ความหนืดสูงสุด (Peak Viscosity) คือ ความหนืดสูงสุดของแป้งในช่วงตั้งแต่เริ่มให้ความร้อนจนถึงสิ้นสุดการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 92.5°C มีหน่วยเป็น RVU
3. Breakdown เป็นค่าผลต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดกับค่าความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU
4. Setback เป็นค่าผลต่างระหว่างค่าความหนืดสุดท้ายลบด้วยค่าความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU

3.4.4 สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลิตไนซ์เซชันของแป้งด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter (DSC) (Puncha-arnon และคณะ, 2007)

เตรียมตัวอย่างแป้งที่ทราบค่าความชื้นแน่นอน ชั่งแป้ง 3 มิลลิกรัมโดยน้ำหนักแห้งลงใน aluminium pan ของเครื่อง DSC และเติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 6 มิลลิกรัม ทำการปิด aluminium pan นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำ pan ใส่ในช่อง sample ของเครื่อง DSC 1, (Mettler Toledo, Schwerzenbach, Switzerland) และวาง reference pan (panเปล่า) ให้ความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 30-100°C ที่อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 5°C/นาที คำนวณค่าทางเทอร์โมไดนามิกส์โดยใช้ระบบ autocalculation และบันทึกค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลิตไนซ์ได้แก่

1. อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตไนซ์ (onset temperature, T_o , °C)
2. อุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลลิตไนซ์สูงสุด (peak temperature, T_p , °C)
3. อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลิตไนซ์ (conclusion temperature, T_c , °C)
4. พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างเกิดเจลลิตไนซ์ (enthalpy, ΔH , J/g)

3.4.5 การทดสอบค่าแรงกด (Compressive test) ของเจลแป้งหลังจากผ่านเครื่อง RVA แล้วนำไปเก็บไว้ในอุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเจลแป้งที่ได้ไปวัดค่าด้วย Texture analyzer (Saartrat และคณะ, 2005)

นำเจลแป้งที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง RVA ซึ่งเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาวัดเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง texture analyzer รุ่น EZ50N ยี่ห้อ Shimadzu หัววัดรูปทรงกระบอกขนาด 20 มิลลิเมตร เลือกรูปแบบการวัดเป็นแบบ Compression แล้วให้เครื่องทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม มีรายละเอียดดังนี้

Mode	:	Measure force in compression
Option	:	Return to start
Pre-test speed	:	1.5 mm/sec
Test speed	:	2.0 mm/sec
Post-test speedm	:	2.0 mm/sec
Distance	:	20 mm
Trigger type	:	5 g

3.4.6 วิเคราะห์กำลังการพองตัวของเม็ดแป้งในน้ำ และน้ำมัน [ดัดแปลงจากวิธีการของ Matsunaga และคณะ (2003)]

เตรียมตัวอย่างแผ่นแป้งสำหรับวิเคราะห์การพองตัวในน้ำและในน้ำมันโดยเตรียมจากน้ำแป้งความเข้มข้น 40% ในน้ำ จากนั้นเทใส่เพลทขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 เซนติเมตร ปริมาตร 15 มิลลิลิตร นำไปนึ่งนาน 1.30 นาที ทิ้งให้เย็นจากนั้นลอกแผ่นแป้งออกจากเพลท นำเข้าอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 80°C นาน 15 นาที หลังจากนั้นนำมาบ่มที่อุณหภูมิห้องนาน 3 ชั่วโมง โดยใช้ผ้าขาวคลุมไว้ไม่ให้แผ่นแป้งแห้งจนเกินไป นำแผ่นแป้งที่ได้มาตัดเป็นชิ้นขนาด 1x1 เซนติเมตร และอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50°C ก่อนนำไปวิเคราะห์การพองตัว

การพองตัวในน้ำ

นำชิ้นแผ่นแป้งที่เตรียมได้จำนวน 3 ชิ้น ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ มาชั่งน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นใส่ในหลอดเติมน้ำหลอดละ 5 มิลลิลิตร ปิดฝาหลอด แล้วต้มในน้ำอุณหภูมิ 100°C นาน 5 นาที จากนั้นทิ้งไว้ให้หายร้อน 5 นาที เทน้ำออกและซับน้ำส่วนเกินให้หมด ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที นำไปชั่งน้ำหนัก

การพองตัวในน้ำมัน

นำชิ้นแผ่นแป้งที่เตรียมได้จำนวน 10 ชิ้น ตัวอย่างละ 5 ซ้ำ มาวัดปริมาตรเริ่มต้นโดยใช้ทรายละเอียดในการแทนที่ภายในภาชนะทรงกระบอก จากนั้นเคาะให้ทรายลงไปให้เต็ม โดยแบ่งการเติมทรายเป็น 4 ครั้ง แต่ละครั้งเคาะ 30 ครั้ง เมื่อทราบปริมาตรเริ่มต้นแล้ว นำชิ้นแผ่นแป้งเดิมไปทอดในน้ำมันอุณหภูมิ 180°C นาน 30 วินาที ซับน้ำมันส่วนเกินออก นำไปวัดปริมาตรหลังทอดอีกครั้ง

3.5 ศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

ย่อยเม็ดแป้งด้วยเอนไซม์อัลฟาอะไมเลสที่อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 120 นาที วิเคราะห์หาปริมาณกลูโคสที่เกิดขึ้นที่ระยะเวลาการย่อย 20 นาที สำหรับแป้งย่อยสลายเร็ว (RDS) ระยะเวลา

การย่อย 20-120 นาที สำหรับแป้งย่อยสลายช้า (SDS) และที่เวลาหลัง 120 นาที สำหรับแป้งทนการย่อยด้วยเอนไซม์ (RS)

3.5.1 การวิเคราะห์ปริมาณแป้งทั้งหมด (total starch; TS) โดยวิธี Phenol-sulfuric

ชั่งน้ำหนักตัวอย่างแป้ง 50 มิลลิกรัม แล้วจึงเติม 80% (v/v) เอทานอล ปริมาตร 200 ไมโครลิตร เพื่อช่วยในการกระจายตัว ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 10 นาที หลังจากนั้นเติม 90% DMSO ปริมาตร 5 มิลลิตร เขย่าให้เข้ากันและนำไปต้มในน้ำเดือดจนตัวอย่างละลายหมด ตูตสารละลายแป้งที่เจือจางแล้วมา 1 มิลลิตร เติมสารละลายฟีนอลเข้มข้นร้อยละ 5 ปริมาตร 1 มิลลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วจึงเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิตร เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลานาน 30 นาที แล้ววัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร เตรียม blank ในทำนองเดียวกันโดยเปลี่ยนจากสารละลายตัวอย่างเป็นน้ำกลั่น นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณแป้งโดยเปรียบเทียบกับกราฟมาตรฐานของน้ำตาลกลูโคสที่ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิตร

3.5.2 การวิเคราะห์ปริมาณ RDS, SDS และ RS (ดัดแปลงจากวิธีการของ Englyst และคณะ 1992)

การเตรียมสารเคมี

1. sodium acetate buffer เข้มข้น 0.1 โมลาร์ pH 5.2 เตรียมโดยชั่ง sodium acetate trihydrate 13.6 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร หลังจากนั้นใช้กรดแอซิดิกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ในการปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 5.2 และเติมสารละลาย CaCl_2 ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 4 มิลลิตรต่อลิตรของสารละลายบัฟเฟอร์
2. สารละลายเอทานอลความเข้มข้น 80% เตรียมโดยเจือจาง absolute ethanol ด้วยน้ำกลั่น
3. สารละลายเอนไซม์ α -amylase กิจกรรม 200 unit/ml เตรียมโดยละลายเอนไซม์ α -amylase 2.143 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิตร ผสมให้เข้ากันนาน 10 นาที จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 rpm เป็นเวลา 10 นาที
4. สารละลายเอนไซม์ amyloglucosidase กิจกรรม 300 units/ml โดยเจือจางเอนไซม์ amyloglucosidase ด้วยน้ำกลั่นให้ได้กิจกรรม 15 units/ml
5. สารละลายเอนไซม์ผสม เตรียมโดยปิเปตสารละลายเอนไซม์ α -amylase ปริมาตร 54 มิลลิตร ผสมสารละลายเอนไซม์ amyloglucosidase ปริมาตร 6 มิลลิตร

วิธีวิเคราะห์

แป้งที่ไม่ต้ม (uncooked sample)

1. ชั่งแป้ง 100 มิลลิกรัม ใส่ในพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำปริมาตร 2 มิลลิลิตร ใส่ glass bead ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรจำนวน 15 ลูก แล้วจึงเติมสารละลาย sodium acetate buffer 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นเติมเอนไซม์ผสมปริมาตร 5 มิลลิลิตร
3. ปิดพลาสติกด้วยลูกแก้วและบ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่า อุณหภูมิ 37°C เป็นเวลา 120 นาที โดยปรับความเร็วรอบ 130 stokes ต่อนาที
4. เมื่อบ่มครบ 20 และ 120 นาที ดูดตัวอย่าง 0.5 มิลลิลิตร นำมาผสมกับสารละลาย 80% เอทานอลปริมาตร 4.5 มิลลิลิตร (G_{20} และ G_{120}) จากนั้นนำไปปั่นเหวี่ยงที่อุณหภูมิห้องที่ความเร็วรอบ 5,000 rpm เป็นเวลา 10 นาที และนำไปวิเคราะห์หาปริมาณกลูโคสด้วยวิธี Glucose Oxidase/Peroxidase
5. คำนวณหาปริมาณ RDS, SDS และ RS จากสูตร

$$RDS = G_{20} \times 0.9$$

$$SDS = (G_{120} - G_{20}) \times 0.9$$

$$RS = TS - (RDS + SDS)$$

แป้ง/เจลที่ต้ม (cooked sample)

1. ชั่งแป้ง 100 มิลลิกรัม ใส่ในพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำปริมาตร 2 มิลลิลิตร
2. นำไปต้มที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 5 นาที
3. ใส่ glass bead ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตรจำนวน 15 ลูก แล้วจึงเติมสารละลาย sodium acetate buffer 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
4. เติมเอนไซม์ผสมปริมาตร 5 มิลลิลิตร จากนั้นทำการย่อยต่อและวิเคราะห์เช่นเดียวกับแป้งที่ไม่ต้ม

3.6 ศึกษาโครงสร้างทางเคมีภายในเม็ดแป้งหลังการตัดแปรร

ทำการแยกองค์ประกอบของแป้งคือโมเลกุลอะไมโลสและอะไมโลเพกตินออกจากกัน เพื่อนำแต่ละส่วนมาทำการศึกษาถึงโครงสร้างและสมบัติต่างๆ โดยวิธีที่ใช้ในการแยกโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน ตามวิธีของ [Takeda และคณะ \(1986\)](#) วิเคราะห์โครงสร้างของอะไมโลเพกตินดัดแปลงวิธีของ [Vandeputte และคณะ \(2003\)](#) ดังนี้

การแยกอะไมโลสและอะไมโลเพกติน

1. นำตัวอย่างแป้ง 10 g น้ำหนักแห้ง ละลายใน 90% dimethyl sulfoxide 300 ml ต้มในน้ำเดือดภายใต้สภาวะ N_2 กวนจนกระทั่งสารละลายใสประมาณ 30-60 นาที
2. ตกตะกอนด้วย 300 ml absolute ethanol โดยกวนทิ้งไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3. นำไปปั่นแยกตะกอนที่ความเร็ว 2,500 rpm อุณหภูมิห้อง นาน 15 นาที เก็บตะกอนไว้
4. นำตะกอนที่ได้มาละลายในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 70-80°C ปริมาตร 400 ml เติมสารละลาย 1-butanol 100 ml ร่วมกับ 3-methyl-1-butanol 100 ml เติมน้ำกลั่น 1300 ml แล้ว reflux นาน 3 ชั่วโมง
5. ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 50°C ก่อนตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง และห้องเย็น 4°C 48 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นแยกตะกอนที่ความเร็ว 9,000 rpm อุณหภูมิ 4°C นาน 20 นาที แยกส่วนตะกอน (อะไมโลส) และส่วนใส (อะไมโลเพคติน1)
6. นำส่วนตะกอนมาเติม 10% 1-butanol ปริมาตร 1,000 ml กวนให้ตะกอนละลาย แล้ว reflux นาน 1 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 50°C ก่อนตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง และห้องเย็น 4°C 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นแยกตะกอนที่ความเร็ว 9,000 rpm อุณหภูมิ 4°C นาน 20 นาที แยกส่วนตะกอน (อะไมโลส) และส่วนใส (อะไมโลเพคติน2)
7. นำตะกอนที่ได้มาละลายในน้ำกลั่นอุณหภูมิ 70-80°C ปริมาตร 350 ml อุ่นให้ตะกอนละลาย เติมน้ำกลั่นให้ครบ 1,000 ml เติมสารละลาย 1-butanol 100 ml แล้ว reflux นาน 10 นาที นำมากรองขณะร้อนด้วย glassfillter เบอร์ 4 นำกลับไป reflux 10 นาที ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 50°C ก่อนตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง และห้องเย็น 4°C 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปปั่นแยกตะกอนที่ความเร็ว 9,000 rpm อุณหภูมิ 4°C นาน 20 นาที แยกส่วนตะกอน (อะไมโลส) นำตะกอนไปบดให้ละเอียดด้วย absolute ethanol ก่อนกรองด้วย glassfillter เบอร์ 4 แล้วทำให้แห้งด้วย freeze-dry ได้อะไมโลส
8. ส่วนใสทั้งสองครั้งนำมารวมกัน (อะไมโลเพคติน1+อะไมโลเพคติน2) นำไปทำให้เข้มข้นโดยใช้ evaporator ให้เหลือปริมาตร 500 ml ก่อนตกตะกอนด้วย absolute ethanol จากนั้นนำไปปั่นแยกตะกอนที่ความเร็ว 9,000 rpm อุณหภูมิ 4°C นาน 20 นาที นำตะกอนที่ได้มาบดให้ละเอียดด้วย absolute ethanol ก่อนกรองด้วย glassfillter เบอร์ 4 แล้วทำให้แห้งด้วย freeze-dry ได้อะไมโลเพคติน

การศึกษาโครงสร้างของอะไมโลเพคติน

1. นำอะไมโลเพคตินที่แยกได้ 28 mg มาละลายในน้ำกลั่น 28 ml ต้มในน้ำเดือดให้ตัวอย่างละลายจนหมด เติมน้ำกลั่น 3.85 ml และสารละลายอะซีเตตบัฟเฟอร์ 0.35 ml pH 3.5 เขย่าให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 45°C นาน 10 นาที เติมเอนไซม์ isoamylase (0.03 unit/mg of substrate) บ่มที่อุณหภูมิ 45°C นาน 12 ชั่วโมง

2. หยุดปฏิกิริยาโดยการต้มในน้ำเดือดนาน 5 นาที นำอะไมโลเพคตินที่ตัดกิ่งได้มาทำให้แห้งด้วย freeze-dry
3. หาขนาดของสายโซ่อะไมโลเพคตินที่ตัดกิ่งแล้วโดยใช้ high-performance size-exclusion chromatography (HPSEC) โดยใช้ 2 column Zorbax PSM 60-S (Agilent, CA) ต่อกัน วิเคราะห์ด้วย refractive index (RI) detector อุณหภูมิที่ใช้สำหรับ column คือ 50°C ใช้ 90% DMSO เป็น mobile phase อัตราเร็ว 0.5 ml/นาที
4. นำอะไมโลเพคตินตัดกิ่ง 4 mg มาละลายใน 90% DMSO ปริมาตร 0.5 ml ต้มให้ละลายในน้ำเดือด 5 นาที จากนั้นเติมสารละลาย 90% DMSO อีก 0.5 ml กรองผ่าน nylon membrane 0.45 μ m
5. นำตัวอย่างที่กรองแล้ว 40 μ l ฉีดเข้าเครื่อง HPSEC วิเคราะห์ขนาดของอะไมโลเพคตินตัดกิ่งโดยเปรียบเทียบกับ standard คือ maltoheptaose และ pullulan standards P6000 และ P12000

3.7 ศึกษาการตัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงในแป้งข้าวและแป้งฟลาวร์

ศึกษาการตัดแปรด้วยวิธีแอนนิลลิงในแป้งข้าวและแป้งฟลาวร์ที่ความชื้นมากเกินไป ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55°C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีกายภาพเหมือนข้อ 3.3

3.8 ศึกษาการตัดแปรด้วยความร้อนชื้นในข้าวหัก

ศึกษาการตัดแปรด้วยความร้อนชื้นในข้าวหัก โดยใช้สภาวะเดียวกับการตัดแปรด้วยความร้อนชื้นที่ให้แป้งตัวอย่างที่มีการพองตัวต่ำที่สุดและมีแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์สูงที่สุด จากนั้นศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพเหมือนข้อ 3.3

บทที่ 4 ผลการทดลอง

4.1 คุณสมบัติของแป้งข้าวและแป้งฟลาร์

4.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวและแป้งฟลาร์ข้าว

จากตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวและแป้งฟลาร์ข้าว โดยแป้งข้าวจะมีองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า และฟอสฟอรัสในปริมาณ 0.48%, 0.01%, 0.19% และ 12.85 ppm ตามลำดับ ส่วนแป้งฟลาร์ข้าวที่ได้จากการโม่แห้งเมล็ดข้าวหักพบว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และฟอสฟอรัสเท่ากับ 4.98%, 0.24%, 0.18% และ 102.60 ppm ตามลำดับ จากรายงานที่ผ่านมามีพบว่า โปรตีน ไขมัน เถ้า ในแป้งข้าวจะมีค่าอยู่ประมาณ 0.24-0.56%, 0.46-0.51%, 0.17-0.21% ตามลำดับ ขึ้นกับสายพันธุ์ของข้าว (Khunae และคณะ, 2007) ในขณะที่แป้งฟลาร์ข้าวจะมีโปรตีน ไขมัน และเถ้าสูงกว่าคือ 7.85-8.26%, 0.37-0.72%, 0.46-0.73% ตามลำดับ (Lai, 2001) ซึ่งโปรตีนที่พบในข้าว ได้แก่ อัลบูมิน (Albumin) มีคุณสมบัติสามารถละลายได้ในน้ำ โกลบูลิน (Globulin) ละลายได้ในน้ำเกลือ โปรลามิน (Prolamin) ละลายได้ในแอลกอฮอล์ และกลูเตลิน (Glutelin) ละลายได้ในสารละลายกรดหรือด่าง ตามรายงานของ (Ju et al., 2001) พบว่าโปรตีนที่พบในข้าวส่วนใหญ่คือ กลูเตลิน ซึ่งมีปริมาณ 80-90% ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด และจากการศึกษาที่ผ่านมามีพบว่าโปรตีนมีบทบาทสำคัญมากต่อคุณสมบัติของแป้ง เช่น คุณสมบัติด้านความหนืด คุณสมบัติด้านความร้อน และเนื้อสัมผัสของแป้ง กระบวนการเตรียมแป้งข้าวจึงต้องมีการสกัดโปรตีนออกก่อน ส่วนปริมาณอะไมโลสที่ได้จากการวัดสีพบว่าแป้งข้าวมีปริมาณอะไมโลส 25.26% และในแป้งฟลาร์ข้าวพบว่ามีปริมาณต่ำกว่า คือ 14.79% เนื่องจากในแป้งฟลาร์ข้าวมีปริมาณ total starch น้อยกว่าแป้งข้าว โดยแป้งข้าวจะมีปริมาณ total starch 95.24% ส่วนแป้งฟลาร์ข้าวมีปริมาณ total starch 84.66% นอกจากนั้นยังพบความแตกต่างของการละลายตัวอย่างที่ไม่สมบูรณ์ทำให้ปริมาณของอะไมโลสที่วัดได้อาจจะน้อยกว่าความเป็นจริง

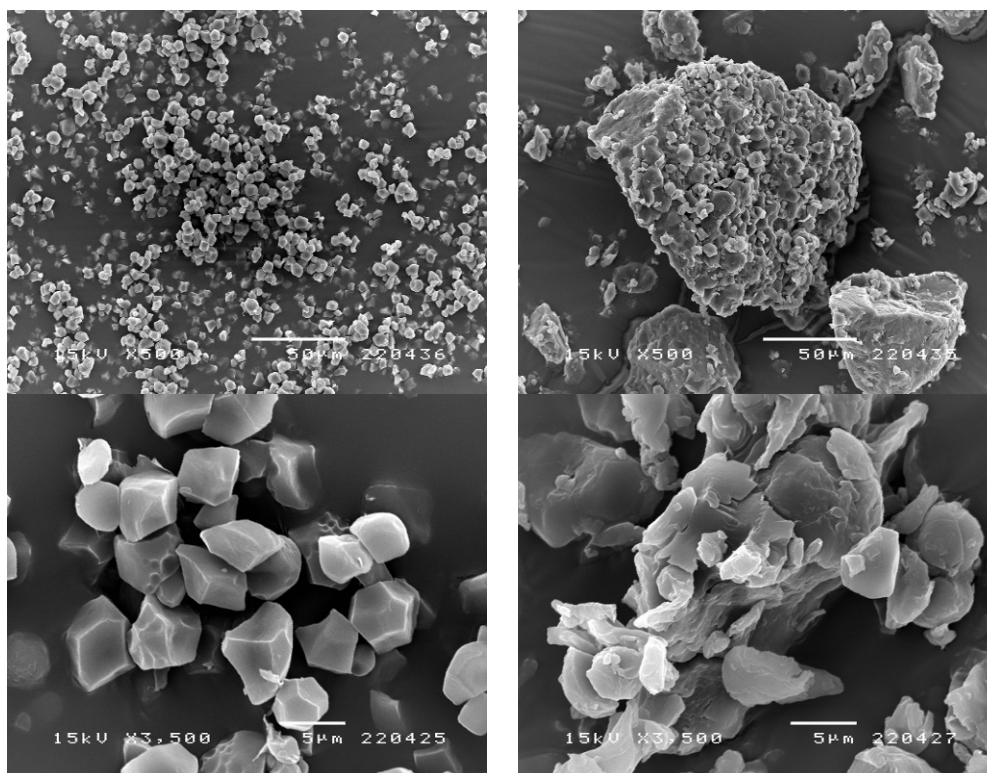
ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวและแป้งฟลาร์ข้าว

Characteristics	แป้งข้าว	แป้งฟลาร์ข้าว
ปริมาณโปรตีน (%)	0.48±0.01	4.98±0.02

ปริมาณไขมัน (%)	0.01±0.01	0.24±0.01
ปริมาณเถ้า (%)	0.19±0.01	0.18±0.01
ปริมาณฟอสฟอรัส (ppm)	12.85±0.82	102.60±2.95
ปริมาณอะไมโลส (%)	25.26±1.26	14.79±1.35
Total starch (%)	95.24±0.52	84.66±0.39

4.1.2 รูปร่างและลักษณะของเม็ดแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าว

เมื่อนำแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวมาดูลักษณะเม็ดแป้งด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope จะเห็นว่าเม็ดแป้งข้าวมีขนาดค่อนข้างเล็ก มีขนาดอยู่ระหว่าง 5-10 ไมครอน ลักษณะเป็นรูปทรงหลายเหลี่ยม ซึ่งแป้งข้าวที่ผ่านการสกัดโปรตีนและไขมันออก มีการกระจายตัวที่ดีกว่าฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้สกัดโปรตีนและไขมันออก โดยฟลาวร์ข้าวที่พบมีลักษณะเกาะกันเป็นกลุ่มขนาดใหญ่ 20-100 ไมครอน ซึ่งในตัวอย่างฟลาวร์ข้าวนอกจากจะเห็นเม็ดแป้งแล้วยังพบชิ้นส่วนขององค์ประกอบอื่นๆ แทรกอยู่ระหว่างเม็ดแป้งที่เกาะกลุ่มกันด้วย องค์ประกอบดังกล่าวอาจจะเป็นเศษชิ้นส่วนไฟเบอร์หรือโปรตีนที่มีอยู่ในฟลาวร์ข้าว (รูปที่ 1)



Native rice starch

Native rice flour

รูปที่ 1 SEM ของแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวที่กำลังขยาย 500 และ 3500 เท่า

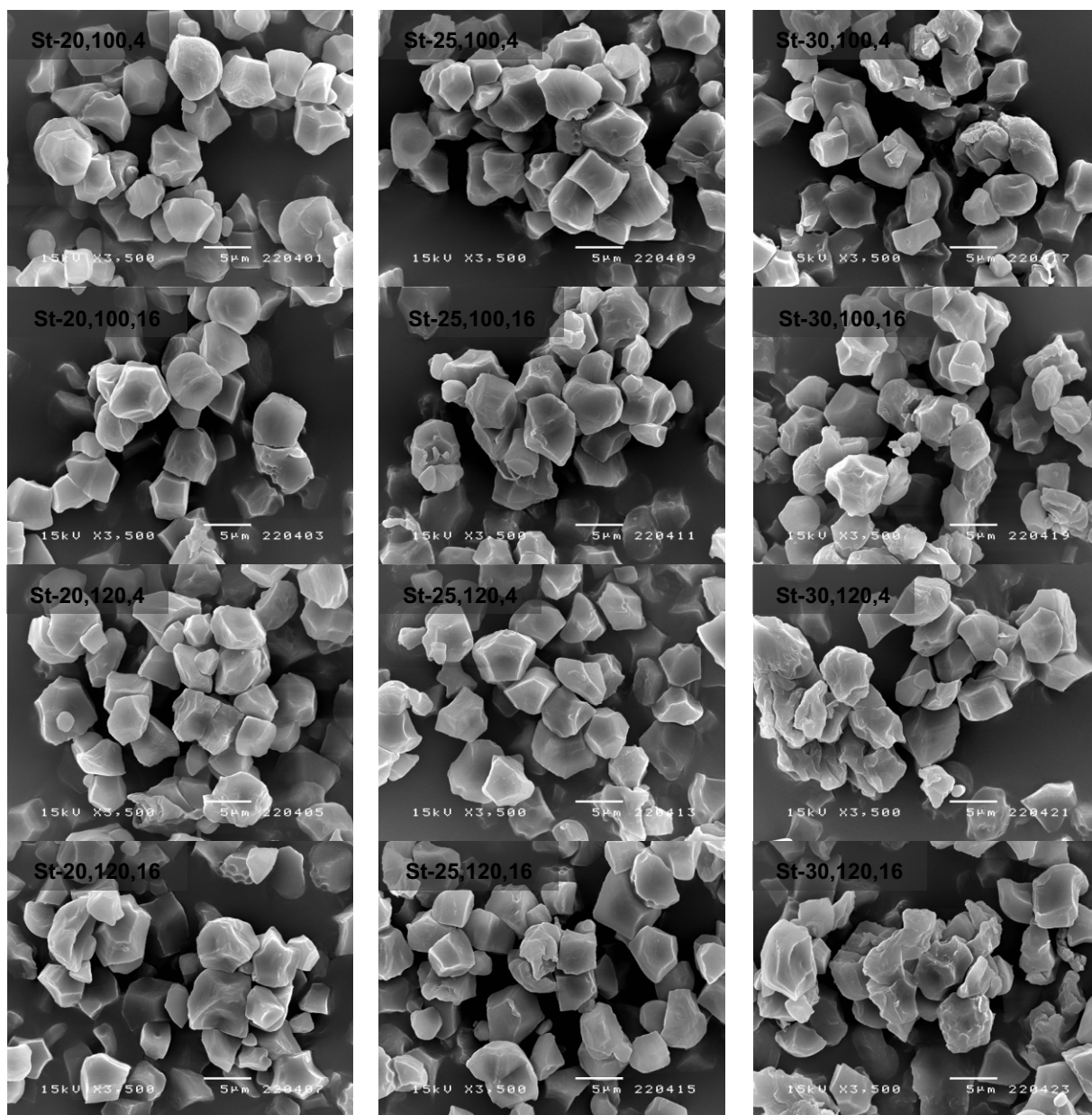
4.2 การดัดแปรแป้งข้าวเจ้าโดยใช้ความร้อนขึ้น

4.2.1 ลักษณะของเม็ดแป้งข้าวเจ้าและฟลาวร์ข้าวหลังการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)

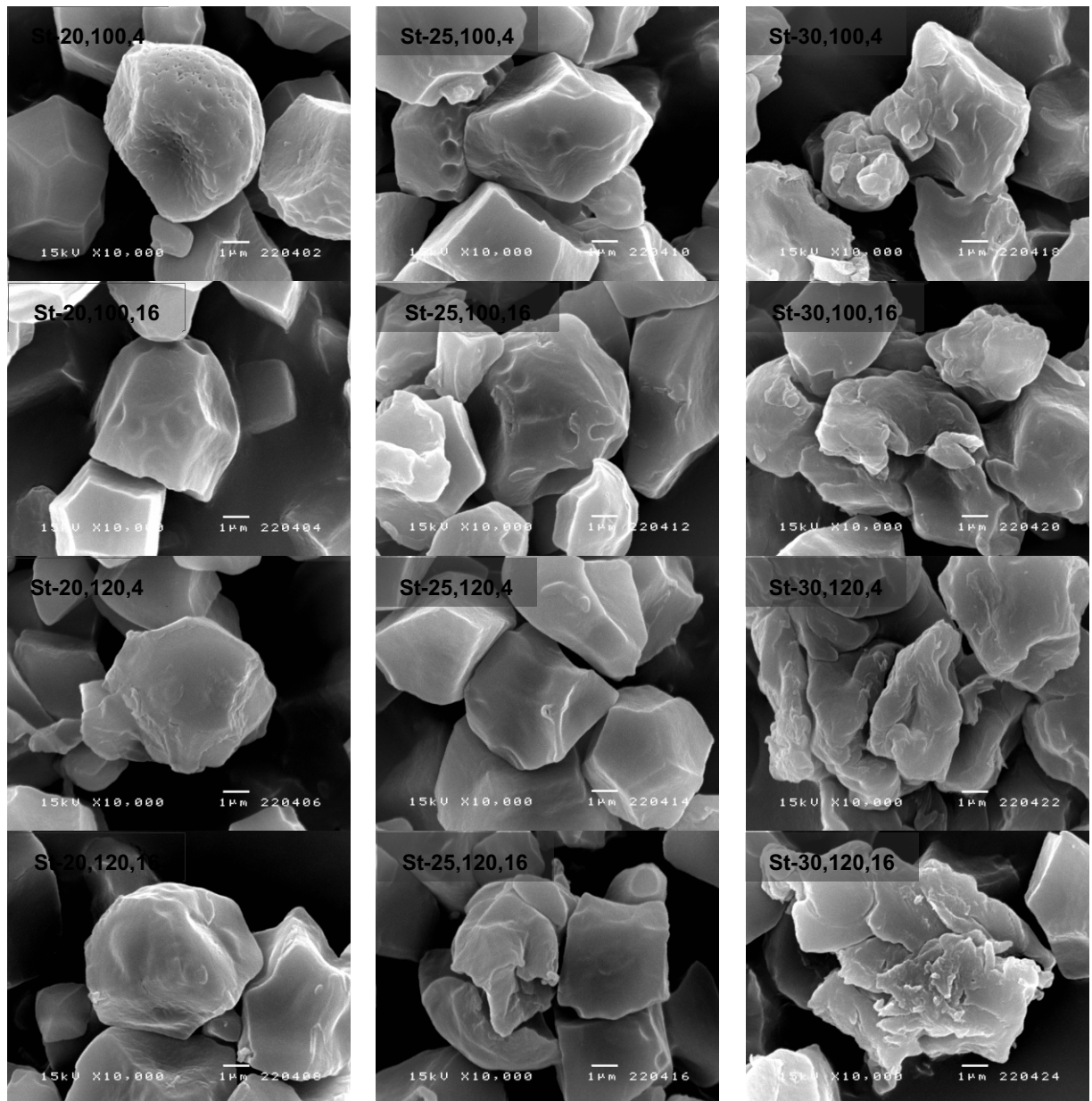
จากนั้นนำแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวไปดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น (รูปที่ 2) โดยใช้ความชื้น 3 ระดับคือ 20, 25, 30% อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ 100 และ 120°C ระยะเวลา 4 และ 16 ชั่วโมง พบว่าแป้งข้าวที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะของเม็ดแป้งภายหลังการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่รายงานคล้ายกันว่าการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นไม่ส่งผลต่อลักษณะภายนอกของเม็ดแป้ง (Gunaratne และ Hoover, 2002; Adebowale และคณะ 2005; Khunae และคณะ, 2007; Watcharatewinkul และคณะ, 2009) ยกเว้นแป้งข้าวที่ดัดแปรด้วยความชื้น 30% พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งเล็กน้อย เนื่องจากในการทดลองนี้ระดับความชื้นในการดัดแปรค่อนข้างสูง ดังนั้นปริมาณน้ำที่มากร่วมกับอุณหภูมิสูงจึงอาจจะทำให้เม็ดแป้งเกิดการเจลาติไนซ์ได้ โดยดูจากลักษณะของเม็ดแป้งที่ดัดแปรที่ความชื้น 30% เม็ดแป้งจะมีการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน เนื่องจากการเจลาติไนซ์ และผิวของเม็ดแป้งคล้ายถูกความร้อนจนมีลักษณะเป็นเจล (รูปที่ 3) ซึ่งคล้ายกับที่ Anderson และ Guraya (2006), Jiranuntakul และคณะ (2011) เคยรายงานไว้ ส่วนลักษณะของฟลาวร์ข้าวดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะมีลักษณะคล้ายกันแต่มองเห็นได้ไม่ชัดเจน (ไม่ได้แสดงภาพไว้)

4.2.2 ลักษณะการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์ของเม็ดแป้งหลังการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

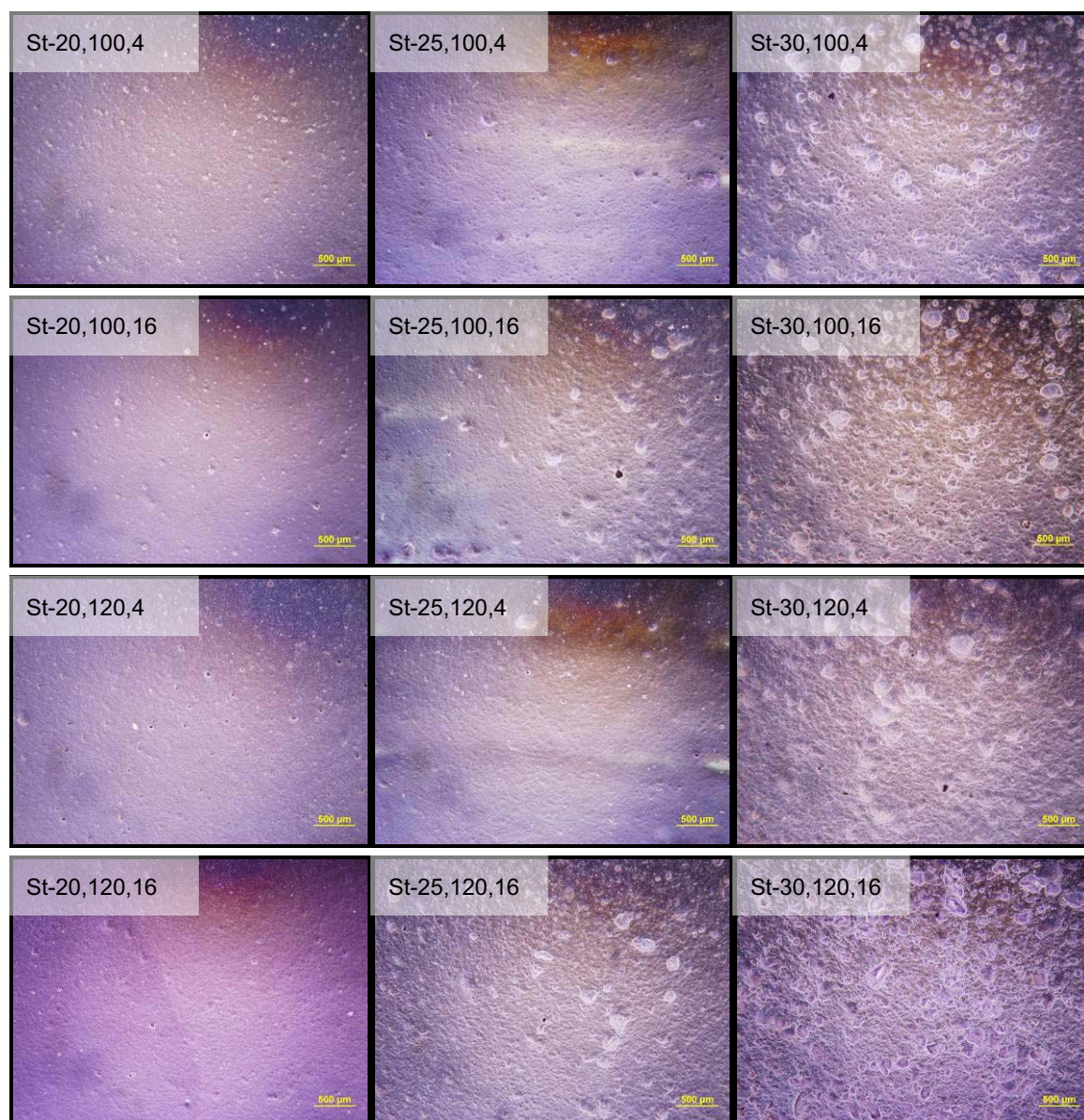
เนื่องจากเม็ดแป้งข้าวมีขนาดเล็กมากประมาณ 5-10 ไมครอน ทำให้การสังเกตลักษณะการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์ของเม็ดแป้งทำได้ยาก และไม่สามารถเห็นได้ชัดเจนที่กำลังขยาย 1000 เท่า ซึ่งเป็นข้อจำกัดของกล้องจุลทรรศน์ แต่จากรายงานที่ผ่านมาในแป้งข้าวโพดและแป้งมันฝรั่งพบว่าลักษณะการบิกระนาบแสงโพลาไรซ์ของเม็ดแป้งที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะลดลง โดยจะสังเกตเห็นเป็น hollow อยู่ตรงกลางของเม็ดแป้ง (Vermeylen และคณะ, 2006; Chung และคณะ, 2009a) นอกจากนั้นในรูปที่ 4 จะเห็นการเกาะกลุ่มกันของแป้งหลังการดัดแปรอย่างชัดเจน โดยการเกาะกลุ่มจะเพิ่มขึ้นตามความชื้น อุณหภูมิ และระยะเวลาการดัดแปร ซึ่งลักษณะการเกาะกลุ่มกันของแป้งภายหลังการดัดแปรสามารถพบได้ในแป้งขนาดเล็ก เช่น แป้งข้าว (Anderson และ Guraya, 2006; Zavareze และคณะ, 2010; Jiranuntakul และคณะ, 2011)



รูปที่ 2 แบ่งข้าวหลังการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ความชื้น 20, 25, 30% อุณหภูมิ 100 และ 120 °C ระยะเวลา 4 และ 16 ชั่วโมง (x3500, bar as 5 μm)



รูปที่ 3 แป้งข้าวหลังการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ความชื้น 20, 25, 30% อุณหภูมิ 100 และ 120°C ระยะเวลา 4 และ 16 ชั่วโมง (x10000, bar as 1 μm)

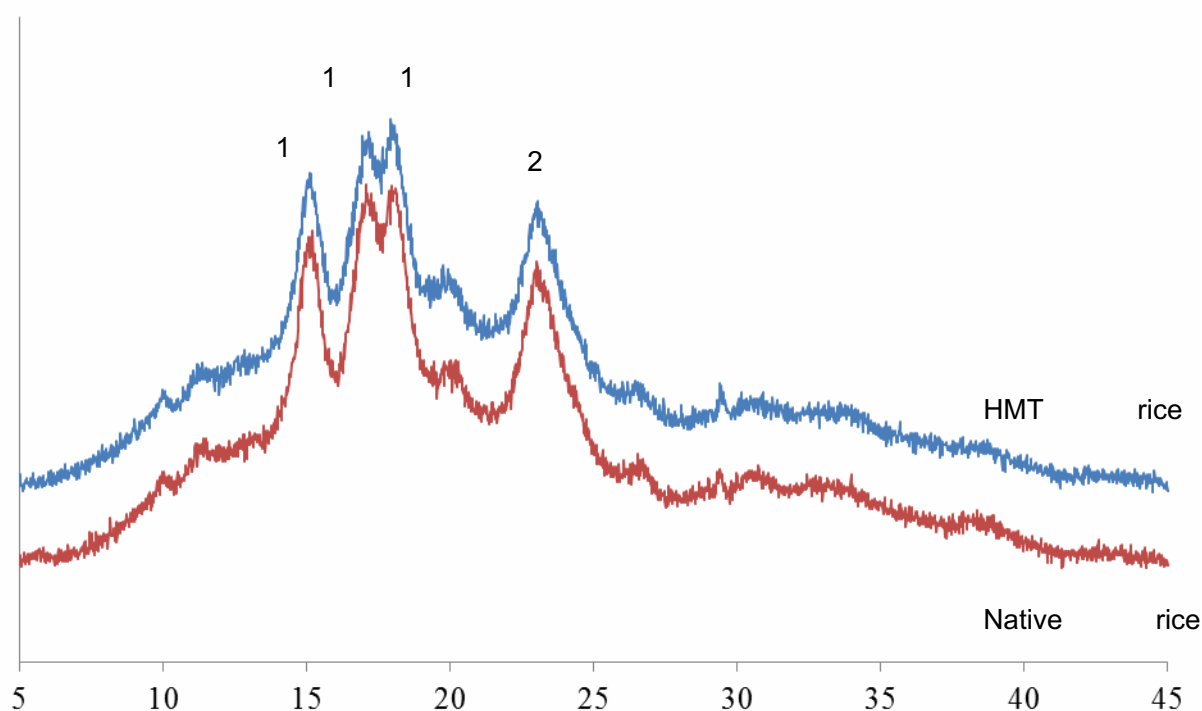


รูปที่ 4 เจลแป้งข้าวตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นหลังจากวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ที่ความเข้มข้น 8%

4.2.3 ลักษณะโครงสร้างผลึก โดย X-ray diffractometer หลังการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

จากรูปที่ 5 แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งที่ไม่ได้ตัดแปรเปรียบเทียบกับแป้งตัดแปรที่เลือกจากสภาวะที่น่าจะเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจน ได้แก่เม็ดแป้งที่ตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น 25% อุณหภูมิ 100 °C นาน 16 ชั่วโมง พบว่าลักษณะโครงสร้างผลึกของแป้งข้าวมีลักษณะเป็นแบบ A-type ซึ่งมีพีคสำคัญที่ตำแหน่ง 15, 17, 18, 23 และเมื่อนำแป้งข้าวไปตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง ซึ่งตรงกับรายงานการวิจัยทั่วไปที่ได้ตัดแปรแป้งข้าวด้วยความร้อนขึ้น โดยแป้งข้าวหลังผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะยังคงมีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ A-type เช่นเดิม (Zavareze และคณะ, 2010; Jiranuntakul และคณะ, 2011) เนื่องจากลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ A-type ค่อยข้างหนาแน่น ทำ

ให้โมเลกุลมีการเคลื่อนที่ได้น้อยกว่าแป้งที่มีลักษณะแบบ B-type เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งพุทธรักษา (Jiranuntakul และคณะ, 2011; Watcharatawinkul, 2009)



รูปที่ 5 X-ray diffraction patterns ของแป้งข้าว (A) และแป้งข้าวที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ความชื้น 25% อุณหภูมิ 100°C เวลา 16 ชั่วโมง (B)

4.2.4 วิเคราะห์กำลังการพองตัวของเม็ดแป้งในน้ำ และน้ำมัน

เมื่อนำตัวอย่างแป้งไปขึ้นรูปให้เป็นแผ่นแล้วนำมาหาค่ากำลังการพองตัวในน้ำและน้ำมัน แสดงผลในตารางที่ 2 พบว่า แป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นส่วนใหญ่มีการพองตัวในน้ำลดลงเล็กน้อยประมาณ 6-15% ส่วนฟลาวร์ข้าวที่ดัดแปรพบว่ามีค่าการเพิ่มขึ้นของกำลังการพองตัวในน้ำ โดยจะเพิ่มขึ้นประมาณ 10-55% ซึ่งผลการดัดแปรในแป้งข้าวสอดคล้องกับการทดลองที่ผ่านมาของ [Zavareze และคณะ \(2010\)](#) เนื่องจากกระบวนการพองตัวของเม็ดแป้งจะเริ่มจากเมื่อมีปริมาณน้ำเพียงพอและอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลของแป้ง น้ำจะถูกดูดซึมเข้าสู่โมเลกุลของแป้ง และทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดแป้งเกิดการดูดซับน้ำและพองตัวออก แต่ในแป้งที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นโมเลกุลของแป้งจะมีความแข็งแรงมากขึ้นจากการจัดเรียงตัวกันใหม่ในส่วน crystalline region และการเกิด interaction กันระหว่างอะไมโลสและอะไมโลเพคติน ([Hoover และ Vasanthan, 1994](#); [Waduge และคณะ, 2006](#)) ทำให้มีการเพิ่มขึ้นของ crystallinity แต่ในทางตรงกันข้ามฟลาวร์ข้าวที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีการพองตัวในน้ำสูงกว่าฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรเล็กน้อย เนื่องจากฟลาวร์ข้าวมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีน และไขมันในปริมาณที่มากกว่า ทำให้เมื่อดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นทำให้เกิด interaction กันระหว่างโมเลกุลของแป้งกับโปรตีน

หรือแข่งกับไขมันภายในเม็ดแป้ง เกิด amylose-protein interaction หรือ amylose-lipid complex ทำให้การจัดเรียงตัวใหม่ของอะไมโลสกับอะไมโลเพคตินในการเกิด crystallinity ลดน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งสามารถพองตัวได้มากกว่าเดิม นอกจากนี้ในฟลาวร์ข้าวสามารถวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสได้น้อยกว่าแป้งข้าว ซึ่งเมื่อศึกษาจากรายงานวิจัยที่ผ่านมา รายงานว่าปริมาณอะไมโลสมีผลต่อการพองตัวของแป้ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่าจะมีการพองตัวสูงกว่าแป้งที่มีอะไมโลสสูง (Sasaki และ Matsuki, 1998; Tattiyakul และคณะ, 2006) เมื่อทดสอบการพองตัวในน้ำมันที่อุณหภูมิ 180°C พบว่าทั้งแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีแนวโน้มที่จะมีกำลังการพองตัวลดลงตามความขึ้น อุณหภูมิ และเวลาการดัดแปรที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ Hamaker และ Griffin (1990) รายงานว่าการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นอาจทำให้เกิดพันธะ disulfide ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งลดลง

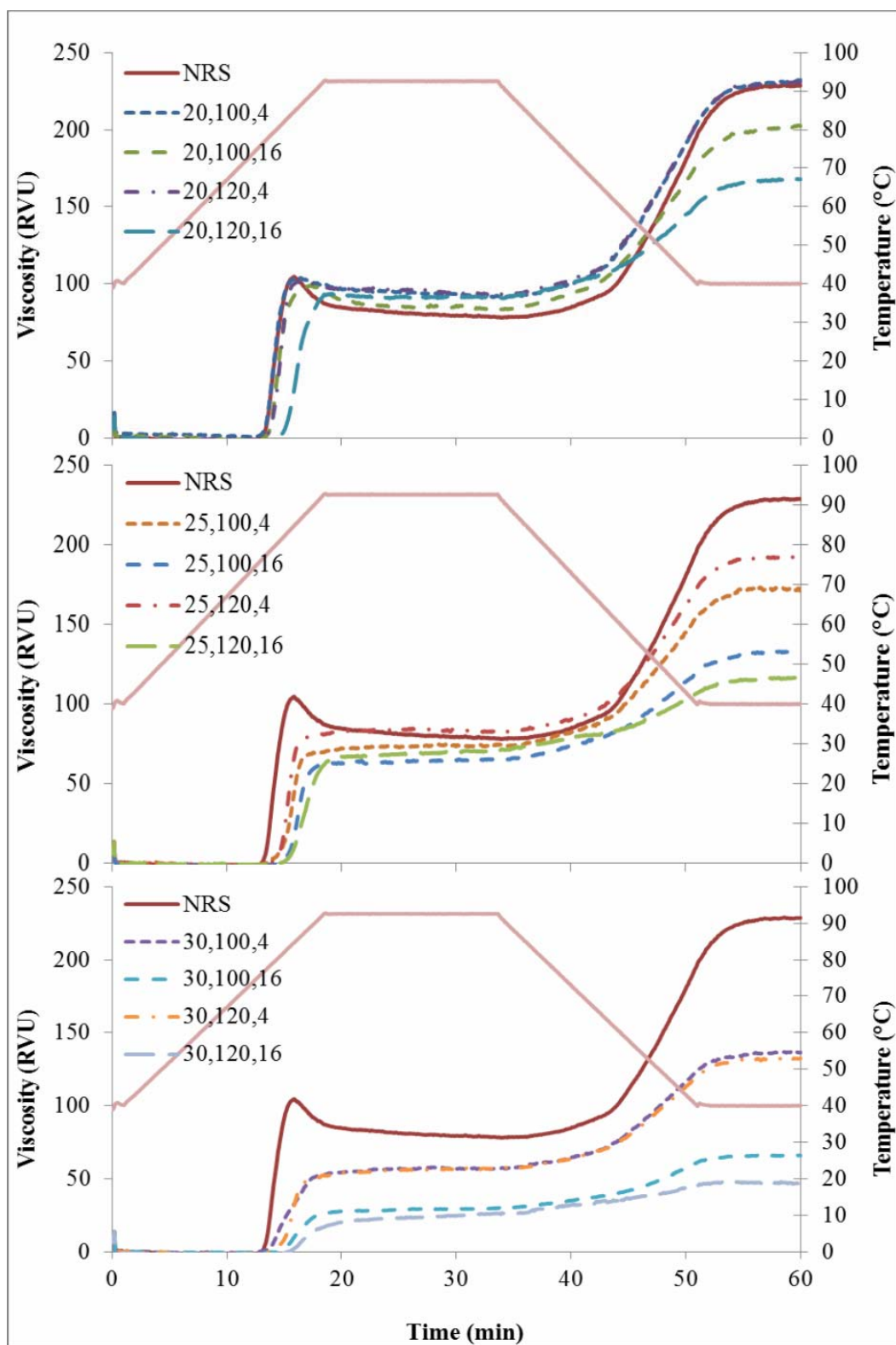
4.2.5 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA)

เมื่อทดสอบคุณสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA พบว่า แป้งข้าวมีอุณหภูมิในการเกิดเจลต่ำกว่าฟลาวร์ข้าวเล็กน้อย (5.1°C) และมีค่า peak viscosity, breakdown และ setback สูงกว่าฟลาวร์ข้าว (3.3, 14.5, 70.7 RVU ตามลำดับ) (รูปที่ 6 และ 7) เมื่อนำไปดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น แป้งที่ดัดแปรจะมี peak viscosity, breakdown และ setback ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อวิเคราะห์ด้วยสถิติ พบว่าความขึ้นในการดัดแปรแป้งข้าวมีผลต่อ peak viscosity อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 โดยที่ความขึ้น 25 และ 30% มีความหนืดลดลงจาก 103.7 RVU เหลือ 64.8-86.6 และ 25.1-55.8 RVU ตามลำดับ แต่แป้งข้าวที่ดัดแปรด้วยความขึ้น 20% ความหนืดจะไม่แตกต่างจากแป้งที่ไม่ได้ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ส่วนค่า breakdown และ setback มีแนวโน้มลดลงเช่นเดียวกับ peak viscosity โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติด้านความหนืดตามลำดับ ได้แก่ ความขึ้น ระยะเวลา และอุณหภูมิ ตามลำดับ ส่วนการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในฟลาวร์ข้าวพบว่าการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในฟลาวร์ข้าวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดมากกว่าการดัดแปรในแป้งข้าว โดยการใช้ความขึ้นในการดัดแปร 30% เจลของฟลาวร์ข้าวแทบจะไม่มี ความหนืดเพิ่มขึ้น (ไม่สามารถอ่านค่า peak viscosity, breakdown และ setback ได้) และจากที่ฟลาวร์ข้าวมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดมากกว่าแป้งข้าวนั้น จากองค์ประกอบทางเคมีในตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าฟลาวร์ข้าวมีโปรตีนแตกต่างจากแป้งข้าวประมาณ 10 เท่า ซึ่งโปรตีนค่อนข้างจะมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติด้านความหนืดของเจลแป้ง การดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นอาจทำให้เกิด interaction กันของ starch-protein, starch-starch, protein-protein ทำให้ความหนืดของฟลาวร์ข้าวลดลงอย่างมาก Lim และคณะ (1999) ทดลองสกัดโปรตีนออกจากฟลาวร์ข้าว ตั้งแต่ 0 ถึง 3 ครั้ง แล้วนำไปหาความหนืด พบว่าการสกัดโปรตีนออกจากแป้งทำให้ peak viscosity เพิ่มขึ้น และแป้งที่มีโปรตีนสูงจะมี pasting temperature สูงกว่าแป้งที่มีโปรตีนต่ำกว่า อย่างไรก็ตามแม้ว่าการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นส่วนใหญ่ไม่มีผลต่อลักษณะปรากฏของเม็ดแป้ง แต่จากรายงานที่ผ่านมาสามารถพบความเปลี่ยนแปลงสมบัติด้านความหนืดของเจลแป้ง โดยระดับการ

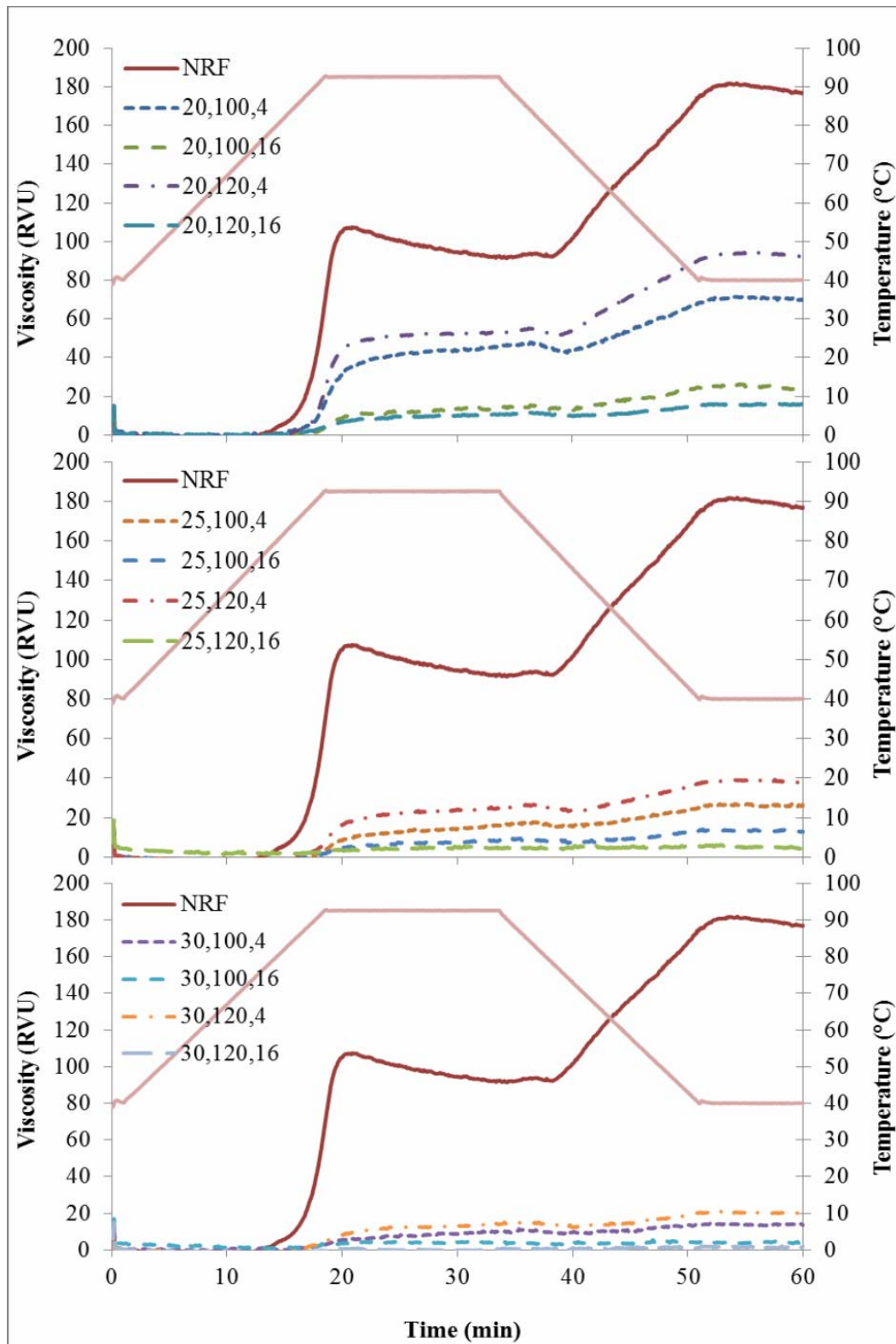
เปลี่ยนแปลงจะขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในการดัดแปร สอดคล้องกับการทดลองในแป้งพุทธรักษาของ Watcharatawinkul และคณะ (2009) ที่รายงานว่า การดัดแปรที่ความชื้นสูงขึ้นทำให้เม็ดแป้งพุทธรักษาที่มีความหนืด breakdown และ setback ลดลง เนื่องจากการให้ความร้อนในสภาวะที่มีความชื้นอยู่ภายในเม็ดแป้งค่อนข้างสูง มีโอกาสทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของโมเลกุลที่อยู่ภายในเม็ดแป้งอย่างเป็นระเบียบมากขึ้น ทำให้เม็ดแป้งมีแนวโน้มที่จะแข็งแรงมากขึ้น ทำให้การพองตัวของเม็ดแป้งลดลงและมีความหนืดลดลง

ตารางที่ 2 กำลังการพองตัวในน้ำและน้ำมันของแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

ตัวอย่าง	กำลังการพองตัวในน้ำ (%)	กำลังการพองตัวในน้ำมัน (%)	ตัวอย่าง	กำลังการพองตัวในน้ำ (%)	กำลังการพองตัวในน้ำมัน (%)
Native rice starch	214 $\pm$ 5	424 $\pm$ 29	Native rice flour	167 $\pm$ 9	334 $\pm$ 47
St-20,100,4	192 $\pm$ 11	193 $\pm$ 7	Fl-20,100,4	190 $\pm$ 10	218 $\pm$ 30
St-20,100,16	228 $\pm$ 18	248 $\pm$ 45	Fl-20,100,16	233 $\pm$ 13	202 $\pm$ 15
St-20,120,4	196 $\pm$ 2	366 $\pm$ 60	Fl-20,120,4	211 $\pm$ 11	266 $\pm$ 8
St-20,120,16	180 $\pm$ 11	403 $\pm$ 68	Fl-20,120,16	187 $\pm$ 10	162 $\pm$ 32
St-25,100,4	201 $\pm$ 11	406 $\pm$ 32	Fl-25,100,4	225 $\pm$ 8	194 $\pm$ 34
St-25,100,16	180 $\pm$ 10	349 $\pm$ 65	Fl-25,100,16	201 $\pm$ 5	119 $\pm$ 32
St-25,120,4	238 $\pm$ 36	259 $\pm$ 10	Fl-25,120,4	184 $\pm$ 14	175 $\pm$ 27
St-25,120,16	195 $\pm$ 10	176 $\pm$ 7	Fl-25,120,16	206 $\pm$ 13	111 $\pm$ 5
St-30,100,4	194 $\pm$ 8	257 $\pm$ 11	Fl-30,100,4	259 $\pm$ 9	177 $\pm$ 15
St-30,100,16	212 $\pm$ 17	175 $\pm$ 8	Fl-30,100,16	226 $\pm$ 10	117 $\pm$ 23
St-30,120,4	206 $\pm$ 4	228 $\pm$ 10	Fl-30,120,4	202 $\pm$ 12	166 $\pm$ 31
St-30,120,16	201 $\pm$ 31	209 $\pm$ 8	Fl-30,120,16	205 $\pm$ 6	88 $\pm$ 13



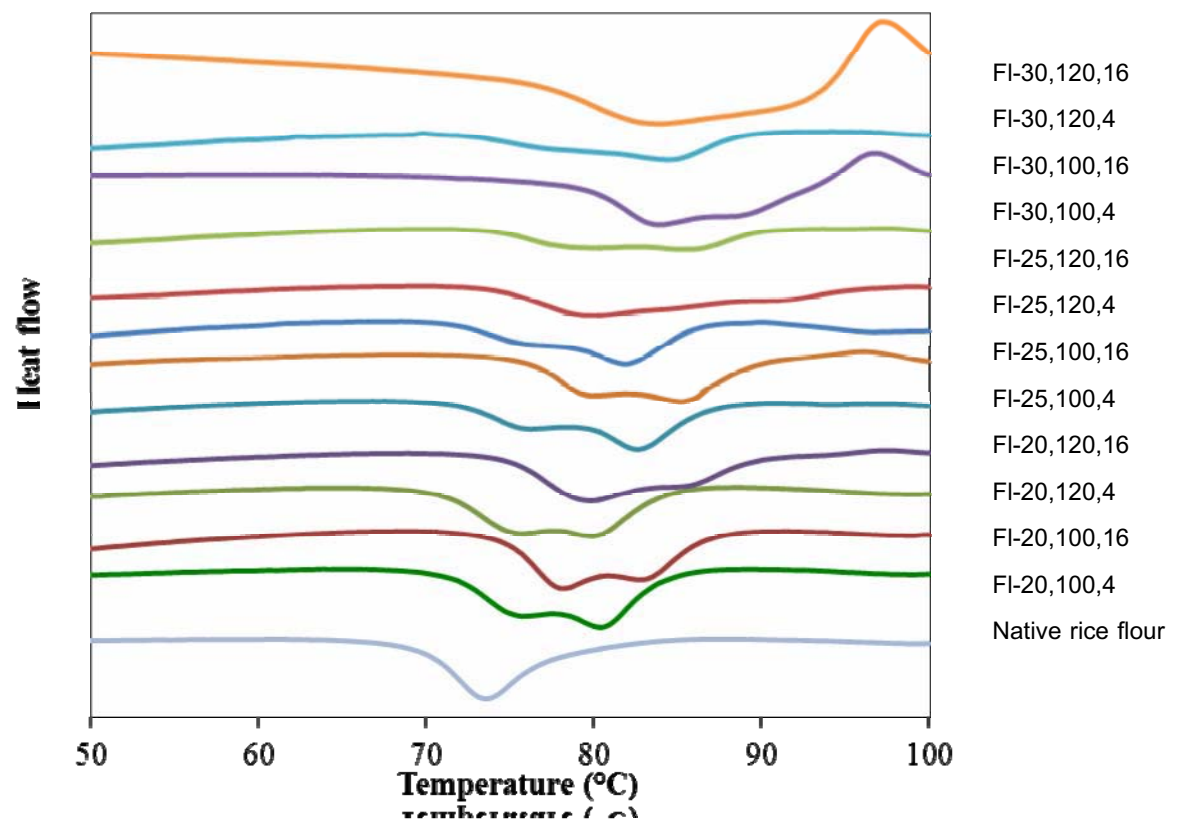
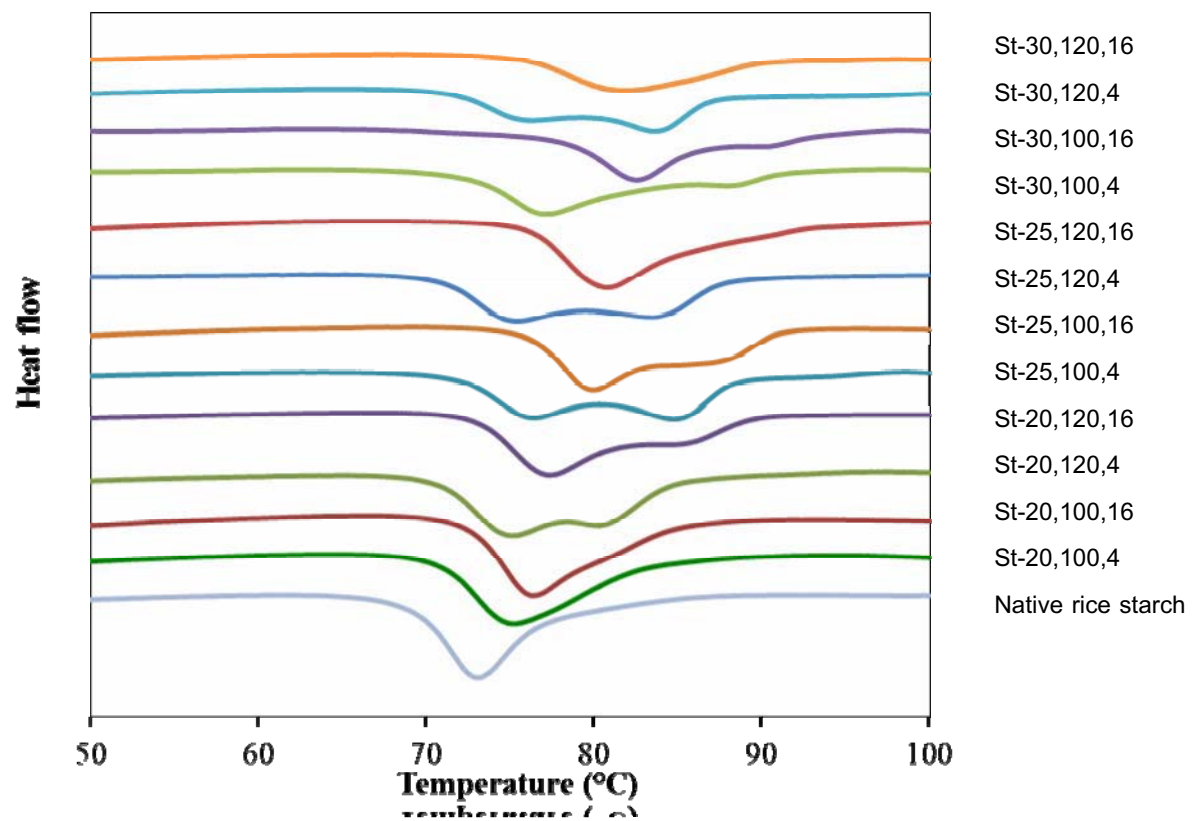
รูปที่ 6 กราฟความหนืดที่ได้จากเครื่อง RVA ของแป้งข้าวและแป้งข้าวตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น



รูปที่ 7 กราฟความหนืดที่ได้จากเครื่อง RVA ของฟลาวร์ข้าวและฟลาวร์ข้าวตัดแปรด้วย ความร้อนขึ้น

4.2.6 สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลิตไนเซชันของแป้งด้วยเครื่อง differential scanning calorimeter (DSC)

การตรวจสอบการเกิดเจลลิตไนเซชันของแป้งทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างแป้งที่ผสมกับน้ำจนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงการเกิดเจลลิตไนเซชันจะได้ thermogram ระหว่าง heat flow และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลิตไนเซชัน (ΔH , J/g) ที่ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้ง ค่า ΔH จะบ่งบอกถึงความแข็งแรงของโครงสร้างภายในเม็ดแป้ง แสดงในตารางที่ 3 โดยแป้งข้าวมีอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลิตไนเซชัน (T_o) อุณหภูมิเกิดเจลลิตไนเซชันสูงสุด (T_p) อุณหภูมิสิ้นสุดการเกิดเจลลิตไนเซชัน (T_c) และค่าความร้อนในการเกิดเจลลิตไนเซชัน (ΔH) เท่ากับ 69.20, 73.10, 77.93°C และ 14.88 J/g ส่วนฟลัวร์ข้าวมีค่า T_o , T_p และ T_c ไม่แตกต่างจากแป้งข้าว แต่มีค่า ΔH น้อยกว่าคือ 11.41 J/g เมื่อนำไปตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น พบว่าค่า T_o , T_p และ T_c ของทั้งแป้งข้าวและฟลัวร์ข้าวจะมีค่าสูงขึ้นอยู่ในช่วง (70.83-77.91, 75.10-89.83, 82.70-94.10 สำหรับแป้งข้าว และ 71.89-79.85, 75.07-92.55, 81.78-97.21 สำหรับฟลัวร์ข้าว) โดยอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลิตไนเซชันจะเพิ่มขึ้นและช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตไนเซชันจะกว้างขึ้นตามระดับความชื้นของแป้งในขณะตัดแปรที่เพิ่มขึ้น นอกจากนั้นบางตัวอย่างของแป้งตัดแปรพบว่ามีอุณหภูมิเกิดเจลลิตไนเซชันสูงสุด 2 พีค (รูปที่ 8) เช่นในตัวอย่างการตัดแปรที่ความชื้น 20%, 120°C, 4 ชั่วโมง ที่ความชื้น 25 และ 30% ทุกตัวอย่างยกเว้นที่ตัดแปรด้วยอุณหภูมิ 120°C นาน 16 ชั่วโมง ส่วนค่า ΔH ในแป้งข้าวตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นพบว่ามีค่าลดลงตามความชื้น อุณหภูมิ และเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานที่ผ่านมาของ [Watcharatawinkul และคณะ \(2009\)](#) ที่พบอุณหภูมิเกิดเจลลิตไนเซชันสูงสุดเป็น 2 พีค และการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นทำให้ได้ค่า ΔH ลดลง โดยเสนอเหตุผลไว้ว่าการที่อุณหภูมิเกิดเจลลิตไนเซชันสูงสุดเป็น 2 พีค และมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลิตไนเซชัน ($T_c - T_o$) ที่มีความกว้างเพิ่มขึ้น บ่งบอกถึงความแตกต่างของโครงสร้างภายในส่วนอสัณฐานและส่วนผลึกของเม็ดแป้ง ส่วน ΔH ที่มีค่าต่ำลงอาจเป็นเพราะว่าโมเลกุลแป้งภายในเม็ดแป้งมีการจัดตัวอย่างเป็นระเบียบ ความเป็นผลึกลดลงโดยเกลียวคู่ของสายโซ่กิ่งของอะไมโลเพคตินอาจถูกทำลายไปบางส่วน ส่วน endotherm ที่กว้างขึ้นบ่งบอกถึงความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างภายใน (inhomogeneity) ที่เพิ่มขึ้นจากการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ผลของการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นต่อลักษณะ endotherm ของแป้งข้าวและฟลัวร์ข้าวนี้จะคล้ายกับแป้งจากธัญพืชและพืชหัวอื่นๆ เช่น แป้งข้าวโพด ([Jiranuntakul และคณะ, 2011](#)) แป้งพุทธรักษา ([Watcharatawinkul และคณะ, 2009](#)) แป้งข้าวเจ้า ([Khunae และคณะ, 2007](#)) แป้งข้าวโพด ([Hoover และ Manuel, 1996](#)) แป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง ([Gunaratne และ Hoover, 2002](#)) เป็นต้น



รูปที่ 8 Thermogram ของแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์การเกิดเจลลาติไนเซชันของแป้งข้าวและฟลัวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

ตัวอย่าง	Gelatinization ($^{\circ}\text{C}$)				Enthalpy
	T_o	T_{p1}	T_{p2}	T_c	ΔH (J/g)
Native rice starch	69.20	73.10	-	77.93	14.88
St-20,100,4	70.83	75.19	-	83.28	14.03
St-20,100,16	72.23	75.95	-	82.70	16.07
St-20,120,4	70.98	75.28	80.25	85.01	15.55
St-20,120,16	72.99	77.30	84.42	89.02	15.25
St-25,100,4	72.06	76.23	84.32	88.41	13.98
St-25,100,16	76.18	79.98	86.26	91.23	15.42
St-25,120,4	71.08	75.56	82.85	87.54	15.78
St-25,120,16	76.45	80.96	-	86.97	11.86
St-30,100,4	72.45	76.98	87.74	91.88	12.42
St-30,100,16	77.91	82.40	89.83	94.10	11.49
St-30,120,4	71.61	76.27	83.81	87.40	10.93
St-30,120,16	75.75	81.89	-	91.21	9.29
Native rice flour	69.36	73.17	-	77.74	11.41
FI-20,100,4	73.12	75.33	80.36	84.14	14.42
FI-20,100,16	74.42	78.10	83.14	86.78	14.82
FI-20,120,4	71.89	75.07	79.86	81.78	13.59
FI-20,120,16	74.67	79.79	86.00	90.67	14.77
FI-25,100,4	74.05	76.51	83.47	87.90	9.25
FI-25,100,16	77.04	79.34	85.17	88.75	13.09
FI-25,120,4	72.20	75.55	81.84	86.25	9.29
FI-25,120,16	73.67	80.18	92.55	96.77	10.08
FI-30,100,4	74.77	77.85	84.93	86.88	7.33
FI-30,100,16	79.85	-	88.54	96.23	14.66
FI-30,120,4	72.89	-	85.92	88.80	6.69
FI-30,120,16	77.61	82.72	92.64	97.21	16.42

4.2.7 เนื้อสัมผัสของเจลแบ่ง

เมื่อนำเจลแบ่ง 8% ที่ผ่านเครื่อง RVA มาเก็บที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาทำการทดสอบความแข็งของเจลหลังการรีโทรเกรดด้วยเครื่อง texture analyzer (ตารางที่ 4) จากการสังเกตลักษณะเนื้อเจลแบ่งก่อนที่หัววัดจะกดลงไปบนเนื้อเจล พบว่าลักษณะเนื้อเจลของแบ่งข้าวมีลักษณะสีขาวขุ่น เจลมีลักษณะยืดหยุ่น ส่วนเจลของฟลาวร์ข้าวมีลักษณะสีขาวขุ่นเช่นกัน เนื้อเจลมีลักษณะค่อนข้างอ่อนนุ่ม แบ่งข้าวมีความแข็งของเจลแบ่ง 1098 gf ส่วนฟลาวร์ข้าวมีความแข็ง 439 gf เนื่องจากฟลาวร์ข้าวมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่นปริมาณโปรตีนและไขมันสูง เมื่อเกิดการรีโทรเกรดองค์ประกอบอื่นๆ จะมีส่วนในการขัดขวางการเกิดพันธะของอะไมโลสกับอะไมโลส หรืออะไมโลสกับอะไมโลเพคตินที่เป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ความแข็งแรงของเจลแบ่งทำให้เจลแบ่งมีความแข็งลดลง เมื่อนำมาทดสอบกับเจลแบ่งที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นพบว่า เจลแบ่งข้าวและฟลาวร์ข้าวส่วนใหญ่มีความแข็งลดลง โดยความแข็งจะลดลงตามเปอร์เซ็นต์ความขึ้นของการดัดแปร อุณหภูมิในการดัดแปรและระยะเวลาการดัดแปรที่เพิ่มขึ้นตามลำดับ สอดคล้องกับผลของสมบัติด้านความหนืดของแบ่งที่แสดงในรูปที่ 6 และ 7 แม้ว่าผลที่ได้จะแตกต่างจากที่ [Horndok และ Noomhorm \(2007\)](#) รายงานไว้ แต่เนื่องจากซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าอะไมโลสที่จับตัวกันเป็นร่างแหเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ความแข็งแรงของเจลแบ่ง ซึ่งการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นทำให้เกิดการเคลื่อนที่ภายในโมเลกุลของเม็ดแบ่ง นอกจากนั้นในการดัดแปรในแบ่งข้าวหรือฟลาวร์ข้าวนั้นทำให้เกิดการเจลาติไนซ์บางส่วนหรือภายในเม็ดแบ่ง ([Jiranuntakul และคณะ, 2011](#)) ทำให้สายอะไมโลสที่จับตัวกันเป็นร่างแหจับตัวกันใหม่ได้ยาก

ตารางที่ 4 เนื้อสัมผัสของเจลแป้งข้าวและฟลาวร์ข้าวที่ไม่ได้ดัดแปรและแป้งดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

ตัวอย่าง	Hardness (g)	ตัวอย่าง	Hardness (g)
Native rice starch	1098 $\pm$ 148	Native rice flour	439 $\pm$ 20
St-20,100,4	1332 $\pm$ 24	FI-20,100,4	394 $\pm$ 59
St-20,100,16	1062 $\pm$ 33	FI-20,100,16	259 $\pm$ 4
St-20,120,4	1164 $\pm$ 2	FI-20,120,4	407 $\pm$ 25
St-20,120,16	986 $\pm$ 22	FI-20,120,16	144 $\pm$ 14
St-25,100,4	848 $\pm$ 72	FI-25,100,4	245 $\pm$ 6
St-25,100,16	901 $\pm$ 122	FI-25,100,16	192 $\pm$ 6
St-25,120,4	919 $\pm$ 45	FI-25,120,4	234 $\pm$ 32
St-25,120,16	702 $\pm$ 36	FI-25,120,16	82 $\pm$ 26
St-30,100,4	683 $\pm$ 50	FI-30,100,4	142 $\pm$ 25
St-30,100,16	395 $\pm$ 12	FI-30,100,16	78 $\pm$ 3
St-30,120,4	704 $\pm$ 93	FI-30,120,4	149 $\pm$ 14
St-30,120,16	360 $\pm$ 30	FI-30,120,16	52 $\pm$ 4

4.3 ศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์

แบ่งการศึกษาการย่อยสลายด้วยเอนไซม์เป็น 2 การทดลอง คือ การย่อยสลายในแป้งดิบหรือแป้งที่ไม่ผ่านการเจลาติไนซ์ และแป้งที่ผ่านการต้มหรือการเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิ 100°C นาน 5 นาทีก่อนนำมาทดสอบการย่อยสลาย เพื่อเปรียบเทียบการเข้าไปทำงานของเอนไซม์ระหว่างเม็ดแป้งดิบและแป้งสุก (ตารางที่ 5)

4.3.1 การวิเคราะห์ปริมาณ RDS, SDS และ RS ของแป้งที่ไม่ต้ม (uncooked sample)

เมื่อพิจารณาแบ่งตามความสามารถในการถูกย่อยสลายสามารถแบ่งประเภทของแป้งในอาหารได้แก่แป้งที่สามารถถูกย่อยได้อย่างรวดเร็ว (Rapidly digestible starch; RDS) แป้งที่สามารถถูกย่อยได้อย่างช้าๆ (Slowly digestible starch; SDS) และแป้งที่ไม่สามารถย่อยได้ด้วยเอนไซม์ (Resistant starch; RS) เมื่อนำเม็ดแป้งดิบมาวิเคราะห์การย่อยสลายด้วยเอนไซม์พบว่า มีปริมาณ SDS และ RS ของแป้งข้าวดิบเท่ากับ 41.01 และ 38.97% ฟลาวร์ข้าวเท่ากับ 35.23 และ 42.23% ตามลำดับ เมื่อผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ความชื้น 20% พบว่ามีค่า RS เพิ่มขึ้นเล็กน้อยอยู่ระหว่าง 41.06-50.15% แต่มีปริมาณ SDS ลดลงเหลือ 32.40-37.05% น้อยกว่าที่พบในฟลาวร์ข้าวเล็กน้อย เนื่องจากการให้ความร้อนทำให้โมเลกุลมีการเคลื่อนที่เกิดการจัดเรียงตัวกันเป็นระเบียบมากขึ้น เอนไซม์จึงเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ยาก ส่วนแป้งข้าวที่ดัดแปรด้วยความชื้น 25 และ 30% มีค่า SDS และ RS ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เพราะปริมาณความชื้นที่ค่อนข้างสูงทำให้เม็ด

แป้งที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น 25 และ 30% เกิดการเจลาติไนซ์ระหว่างการตัดแปร ซึ่งเม็ดแป้งที่ถูกเจลาติไนซ์จะทำให้เอนไซม์เข้าถึงโมเลกุลแป้งและเกิดการย่อยสลายได้ง่ายขึ้น (Juangsang และคณะ, 2011) การตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในฟลาวร์ข้าวให้ผลการทดลองคล้ายคลึงกับการตัดแปรในแป้งข้าว

4.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณ RDS, SDS และ RS ของแป้งที่ต้ม 5 นาที (cooked sample)

ซึ่งปริมาณ RDS, SDS และ RS ของแป้งดิบและแป้งที่ผ่านการเจลาติไนซ์จะแตกต่างกัน เนื่องจากเหตุผลที่กล่าวไปข้างต้นว่าการเกิดเจลาติไนซ์จะทำให้เม็ดแป้งแตกออกและโมเลกุลภายในกระจัดกระจายออกมามาก เอนไซม์สามารถเข้าไปย่อยสลายได้ง่ายขึ้นกว่าเม็ดแป้งดิบ ปริมาณ SDS และ RS ของแป้งข้าวที่ผ่านการเจลาติไนซ์มีค่าลดลงเท่ากับ 12.12 และ 31.13% ส่วนฟลาวร์ข้าวผ่านการเจลาติไนซ์มีค่าลดลงเท่ากับ 6.08 และ 31.23% ตามลำดับ และเมื่อนำไปตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในแป้งข้าวพบว่าปริมาณ SDS ส่วนใหญ่มีค่าลดลงเหลือประมาณ 2.43-21.85% แต่มีปริมาณของ RS เพิ่มขึ้นเป็น 42.61-62.28% การที่แป้งข้าวตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีปริมาณ RS ที่สูงขึ้นนั้น อาจเนื่องมาจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลที่ทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยดูได้จากคุณสมบัติด้านความหนืดที่มีค่า peak viscosity และ breakdown ลดลง และมี pasting temperature สูงขึ้น ทำให้ระดับการเจลาติไนซ์ในแป้งข้าวที่ไม่ได้ตัดแปรและแป้งข้าวที่ตัดแปรแตกต่างกัน Juangsang และคณะ (2011) รายงานไว้ถึงระดับการเจลาติไนซ์ต่อปริมาณ RDS, SDS และ RS ของแป้งพุทธรักษาว่าเวลาในการเจลาติไนซ์มีผลต่อเม็ดแป้งและปริมาณ RDS, SDS และ RS ส่วนในฟลาวร์ข้าวตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นให้ผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณ RDS, SDS และ RS ไม่ชัดเจนเนื่องจากในฟลาวร์ข้าวมีองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ไขมันและโปรตีน ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองชนิดมีบทบาทสำคัญต่อคุณสมบัติของแป้งข้าวและการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับความร้อน ซึ่งจะทำให้การศึกษาในโอกาสต่อไป