ผลของการเติมไหมข้าวโพดต่อสมบัติของแป้งข้าวเจ้า

นางสาวชาลินี ติวารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECTS OF CORN SILK ADDITION ON RICE FLOUR PROPERTIES

Miss Chalinee Tiwaree

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Food Technology
Department of Food Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2012
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการเติมไหมข้าวโพดต่อสมบัติของแป้งข้าวเจ้า
โดย	นางสาวชาลินี ติวารี
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ อนันตกูล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ อนันตกูล)

.... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ขนิษฐา ธนานุวงศ์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สุนีย์ โชตินีรนาท)

ชาลินี ติวารี : ผลของการเติมไหมข้าวโพดต่อสมบัติของแป้งข้าวเจ้า. (EFFECTS OF CORN SILK ADDITION ON RICE FLOUR PROPERTIES) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.จิรารัตน์ อนันตกูล, 107 หน้า.

ข้าวเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญแต่มีปริมาณใยอาหารต่ำ จากการค้นคว้าข้อมูลพบว่าไหมข้าวโพดมีคุณค่าทางอาหารและมีปริมาณเส้นใยสูง ในปัจจุบันผู้คนส่วนใหญ่เริ่มหันมาใส่ใจสุขภาพกันมากขึ้น และเลือกรับประทานอาหารที่มีผลดีต่อสุขภาพ เช่น อาหารที่มีปริมาณเส้นใยสูง และอาหารที่มีปริมาณไขมันต่ำ เป็นต้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มเส้นใยในแป้งข้าวโดยการผสมไหมข้าวโพด และศึกษาผลของการเติมไหมข้าวโพดที่มีอนุภาคขนาด ≤45 ถึง ≤300 ไมครอน ในอัตราส่วนทดแทนร้อยละ 5 ถึง 20 ต่อสมบัติของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง จากการวิเคราะห์พบว่า เมื่อผสมไหมข้าวโพดในแป้งข้าวเจ้าในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นค่าความสว่าง (L*) มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขณะที่ค่า a* และ b* มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยขนาดของไหมที่ใหญ่ขึ้นมีผลทำให้ความสว่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และทำให้ค่า a* และ b* มีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนความหนืดสูงสุด ความหนืดต่ำสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย การคืนตัว และเวลาที่เกิดความหนืดสูงสุดมีแนวโน้มลดลง แต่ค่าอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ขณะที่แป้งข้าวเจ้าผสมมีความสามารถในการจับน้ำสูงขึ้นและความสามารถในการจับน้ำมันมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนไหมข้าวโพดในแป้งข้าวเจ้าผสม นอกจากนี้ยังพบว่า ไหมข้าวโพดที่มีอนุภาคขนาดเล็กมีความสามารถในการจับน้ำเพิ่มขึ้นมากกว่าไหมที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ แต่ค่าความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งผสมที่เติมไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคต่างกันมีความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต...
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยาพนธ์ปรึกษาหลัก...............
ปีการศึกษา 2555

527269623 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : corn silk / rice flour / mixed flour / properties / fiber

CHALINEE TIWAREE : EFFECTS OF CORN SILK ADDITION ON RICE FLOUR PROPERTIES. ADVISOR : ASSOC. PROF. JIRARAT ANUNTAGOOL,Ph.D, 107 pp.

Rice is the major source of carbohydrates but low in fiber content. Researches have shown that corn silk (CS) is nutritious and high in fiber. At present, people become more health conscious. They tend to consume a healthy diet with high fiber content, foods with low fat content, etc. This research aimed to formulate high fiber rice flour-cornsilk mixture and study the effect of the addition of corn silk with particle size of ≤45 to ≤300 microns in 5 to 20 percent replacement ratio on the properties of rice flour (RF) from Chiang Phatthalung. The results showed that the addition of CS with increase proportion decreased the brightness (L*) and increased a* and b* significantly ($p \leq 0.05$).The CS with larger size was likely to increase the brightness and reduce the a* and b* values of the mixture significantly ($p \leq 0.05$). The peak viscosity, trough viscosity, breakdown, final viscosity, setback and peak tended to decrease, while the pasting temperature of the mixture tended to rise significantly ($p \leq 0.05$) with reducing CS particle size. The RF-CS mixture had higher water holding capacity and lower oil holding capacity when the ratio of CS was increased. It was also found that CS with small particles had the ability to hold water more than larger particles. But no significant difference ($p \leq 0.05$) was found for oil holding capacity when RF was mixed with CS with different particle sizes.

Department : Food Technology	Student's Signature ....
Field of Study : Food Technology	Advisor's Signature ....
Academic Year : 2012	

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.จิรารัตน์ อนันตกูล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้แนวคิดและโอกาสในการริเริ่มงานวิจัยนี้ตลอดจนสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และข้อมูลทางวิชาการและความช่วยเหลืออื่นๆที่เป็นประโยชน์ รวมไปถึงกำลังใจที่มีค่าแก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการทำวิจัย ตลอดจนตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ขนิษฐา ธนานุวงศ์ และ ดร.สุนีย์ โชตินีรนาท ที่สละเวลามาร่วมเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งแนวทางแก้ไขปรับปรุงทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารและเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ช่วยดูแลและคอยอำนวยความสะดวกในด้านต่างๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ระดับปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับมิตรไมตรีอันดีงาม คำแนะนำ ความมีน้ำใจและกำลังใจที่มีให้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ญาติพี่น้อง รวมทั้งผู้ที่มีส่วนช่วยเหลือโดยมิได้กล่าวนาม ที่คอยเป็นกำลัง ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนในทุกๆด้านเป็นอย่างดีเสมอมาจนข้าพเจ้าสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฏ
บทที่	
1 บทนำ	1
2 วารสารปริทัศน์	2
2.1 ข้าวพื้นเมือง	2
2.2 แป้งข้าวเจ้า	2
2.3 สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวเจ้า	3
2.4 ไหมข้าวโพด	6
2.5 การเสริมใยอาหาร	7
2.6 ประโยชน์ของใยอาหาร	11
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของการเติมใยอาหารต่อสมบัติของแป้ง	12
3 วิธีการดำเนินการวิจัย	14
3.1 วัตถุดิบ	14
3.2 สารเคมีและอุปกรณ์	14
3.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย	15
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ	19
4 ผลการทดลองและวิจารณ์	20
4.1 ปริมาณร้อยละของผลผลิตทีได้ของไหมข้าวโพด	20
4.2 สมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด	20
4.3 สมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด	23
4.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด	29
4.5 สมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด	31

หน้า

4.6 สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด 42

5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 55

5.1 สรุปผลการทดลอง 55

5.2 ข้อเสนอแนะ 55

รายการอ้างอิง 56

ภาคผนวก 61

ภาคผนวก ก 62

ภาคผนวก ข 81

ภาคผนวก ค 90

ภาคผนวก ง 92

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 107

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไหมข้าวโพด 7

2.2 องค์ประกอบทางเคมีของใยอาหาร 10

3.1 ส่วนผสมแบทเทอร์ 19

4.1 ปริมาณของผลผลิตที่ได้ของไหมข้าวโพดแต่ละขนาด 20

4.2 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณแอมิโลส ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารทั้งหมด 22

4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด 23

4.4 ความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด 30

4.5 กำลังการพองและการละลายของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด 31

4.6 ค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด 33

4.7 ขนาดและการกระจายอนุภาคของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด 37

4.8 ความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด 44

4.9 กำลังการพองและการละลายของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด 47

4.10 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด 50

4.11 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด 52

4.12 ปริมาณการดูดซับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านการทอด 54

ก.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่เป็นแบบ A, B และ C 77

ก.2 Temperature profile STD 1 78

ค.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเจ้า 90

ค.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไหมข้าวโพด 91

ตารางที่		หน้า

ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 92

ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 92

ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 93

ง.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 93

ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 94

ง.6 Tests of Between-Subjects Effects ของค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 95

ง.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดและการกระจายอนุภาคของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 96

ง.8 Tests of Between-Subjects Effects ของขนาดและการกระจายอนุภาคของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 97

ง.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 97

ง.10 Tests of Between-Subjects Effects ของความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 98

ง.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 99

ง.12 Tests of Between-Subjects Effects ของกำลังการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 100

ตารางที่ **หน้า**

ง.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้า และแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 101
ง.14 Tests of Between-Subjects Effects ของสมบัติด้านการเกิดเพสต์ ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 102
ง.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแข็งแรงของเจลแป้งข้าวเจ้าและ แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 104
ง.16 Tests of Between-Subjects Effects ของความแข็งแรงของ เจลแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 105
ง.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการดูดซับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและ แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 105
ง.18 Tests of Between-Subjects Effects ของการดูดซับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและ แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 106

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
3.1	วิธีการเตรียมแป้งข้าวเจ้า	15
4.1	ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่กำลังขยาย 70 และ 200 เท่า ของแป้งข้าวเจ้าและเส้นไหมข้าวโพด	24
4.2	ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่กำลังขยาย 70 และ 200 เท่า ของไหมข้าวโพดที่ไม่แยกขนาดและขนาด 300 ไมครอน	25
4.3	ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่กำลังขยาย 70 และ 200 เท่า ของไหมข้าวโพดที่ ขนาด 150 และ 125 ไมครอน	26
4.4	ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่กำลังขยาย 70 และ 200 เท่า ของไหมข้าวโพดที่ ขนาด 75 และ 45 ไมครอน	27
4.5	X-ray diffraction pattern แป้งข้าวเจ้า	28
4.6	X-ray diffraction pattern ของไหมข้าวโพด	28
4.7	ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 20 ที่ขนาด 300 150 125 75 45 ไมครอน ที่กำลังขยาย 700 เท่า	34
4.8	ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 20 ที่ขนาด 300 150 125 75 45 ไมครอน ที่กำลังขยาย 2000 เท่า	35
4.9	การกระจายขนาดอนุภาคของแป้งข้าวผสมไหมข้าวโพดใน อัตราส่วนแป้ง:ไหมข้าวโพดเท่ากับ 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20	38
4.10	การกระจายขนาดอนุภาคของแป้งข้าวผสมไหมข้าวโพด ที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ ≤45 µm ถึง ≤300 µm	40
4.11	เม็ดแป้งที่อยู่บริเวณโพรงของไหมข้าวโพด	45
ข.1	ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและ แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาด 300 ไมครอน	81
ข.2	ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและ แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาด 150 ไมครอน	81

ภาพที่ **หน้า**

ข.3 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาด 125 ไมครอน 82
ข.4 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาด 75 ไมครอน 82
ข.5 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาด 45 ไมครอน 83
ข.6 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 5 83
ข.7 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 10 84
ข.8 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 15 84
ข.9 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 20 85
ข.10 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 300 ไมครอน ที่อัตราส่วนต่างๆ 85
ข.11 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมครอน ที่อัตราส่วนต่างๆ 86
ข.12 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 125 ไมครอน ที่อัตราส่วนต่างๆ 86
ข.13 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 75 ไมครอน ที่อัตราส่วนต่างๆ 87
ข.14 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 45 ไมครอน ที่อัตราส่วนต่างๆ 87
ข.15 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วน 95:5 ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 88

ภาพที่ **หน้า**

ข.16 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด ที่อัตราส่วน 90:10 ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 88
ข.17 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด ที่อัตราส่วน 85:15 ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 89
ข.18 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด ที่อัตราส่วน 80:20 ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ 89

บทที่ 1

บทนำ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญและเป็นอาหารหลักของคนไทย ประเทศไทยส่งออกข้าวได้มากเป็นอันดับ 3 ของโลก (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554) ส่วนใหญ่นิยมบริโภคในรูปของข้าวสุกโดยใช้วิธีหุงต้ม นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปข้าวเป็นผลิตภัณฑ์อาหารชนิดต่างๆ อาทิ เช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ ขนมจีน และก๋วยจั๊บ ใช้เป็นส่วนประกอบในอาหารขบเคี้ยว เช่น ข้าวเกรียบ หรือผลิตภัณฑ์อาหารเสริม เช่น อาหารเช้าจากธัญชาติ อาหารเด็ก (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550) และแปรรูปเป็นแป้งและสตาร์ชและอีกหลากหลายผลิตภัณฑ์รวมถึงผลิตภัณฑ์แป้งผสมสำหรับทำแป้งชุบทอด เป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับข้าวและเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคมากยิ่งขึ้น

ประเทศไทยมีข้าวหลายสายพันธุ์โดยส่วนใหญ่แบ่งตามปริมาณแอมิโลส ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงเป็นข้าวพื้นเมืองทางภาคใต้ของไทย สามารถเจริญได้ดีทั้งในนาดอนและนาลุ่ม มีปริมาณแอมิโลสสูง เหมาะสำหรับการนำมาแปรรูป แป้งที่ผลิตจากข้าวที่ขัดสีแล้วและผ่านการโม่น้ำซึ่งเป็นรูปแบบการโม่ที่นิยมในอุตสาหกรรมนั้นมีปริมาณใยอาหารต่ำ (ในข้าวกล้องพบว่ามีปริมาณใยอาหาร 3.5 กรัม/ข้าว 100 กรัม เมื่อผ่านการขัดสีแล้วพบว่ามีปริมาณใยอาหารเพียง 0.6 กรัม/ข้าว 100 กรัม) (ประสิทธิ์ วังภคพัฒนวงศ์, 2553) มีรายงานว่าการบริโภคอาหารที่มีเส้นใยต่ำจะเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดโรคความดันโลหิตสูง (hypertension) โรคเบาหวาน (diabetes) และโรคมะเร็งลำไส้ใหญ่ (colon cancer) (Elleuch et.,al, 2011) และจากการศึกษาข้อมูลของไหมข้าวโพดพบว่ามีปริมาณใยอาหารสูง และมีรายงานการใช้ในการรักษาโรคในประเทศจีน ประกอบกับในปัจจุบันผู้คนเริ่มหันมาใส่ใจสุขภาพและเลือกรับประทานอาหารที่ดีต่อสุขภาพ จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการเติมไหมข้าวโพดต่อสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวเจ้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มใยอาหารให้กับแป้งข้าวเจ้าและศึกษาผลของการเติมไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ ≤45 ถึง ≤300 ไมครอน และที่สัดส่วนทดแทนร้อยละ 5 ถึง 20 ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้า

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าวพื้นเมือง

ข้าวเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว จัดอยู่ในวงศ์ Grammineae จีนัส *Oryza* ซึ่งข้าวที่มีการเพาะปลูกอย่างกว้างขวางคือ *Oryza sativa* L. (Wikipedia, 2011) ในปัจจุบันมีข้าวที่นิยมปลูกและบริโภคหลายสายพันธุ์ด้วยกัน ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงเป็นข้าวพันธุ์พื้นเมืองชนิดข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง (จะออกดอกเมื่อมีแสงไม่เกิน 12 ชั่วโมงต่อวัน หรือ ช่วงวันสั้น) นิยมปลูกมากในภาคใต้ ให้ผลผลิตค่อนข้างสูง สามารถปรับตัวได้ดีทั้งในพื้นที่ที่เป็นนาดอนและนาลุ่ม มีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 27 (กรมการข้าว, 2554) ปัจจุบันมีการนำไปแปรรูปเป็นแป้งและผลิตภัณฑ์ประเภทเส้นอย่างแพร่หลาย

2.2 แป้งข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้า คือ แป้งที่ได้จากข้าวขาวซึ่งเป็นข้าวเต็มเมล็ด ข้าวต้น ข้าวหักใหญ่ ข้าวหักหรือปลายข้าวที่ได้จากการสีข้าวเปลือกเจ้า (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529) แป้งโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยโปรตีน ไขมัน เกลือแร่และเส้นใย ซึ่งกระบวนการขัดสีข้าวจะทำให้ข้าวสูญเสียวิตามิน เกลือแร่ต่างๆ รวมไปถึงใยอาหาร มีการใช้แป้งข้าวในอุตสาหกรรมต่างๆนอกจากอุตสาหกรรมอาหารอย่างมากมาย สามารถใช้เป็นส่วนประกอบของแป้งฝุ่นในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในแป้งฝุ่นเด็กเนื่องจากแป้งข้าวไม่มีพิษและไม่มีสารระคายเคือง และใช้เป็นสารทำให้แข็ง (Laundry stiffening agent) ในการซักรีด การผลิตแป้งข้าวเจ้าในประเทศไทยนั้นนิยมการโม่แบบเปียกและข้าวที่ใช้ในการโม่มักเป็นข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูง เพราะเมื่อนำไปประกอบอาหาร เช่น ทอด จะให้ความกรอบแข็งหรือหากนำไปนึ่งเมื่อเย็นลงจะเกิดฟิล์ม เช่น ก๋วยเตี๋ยว เส้นหมี่ เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

2.3 สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าของแป้งข้าวเจ้า

2.3.1 สมบัติทางเคมี

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งประกอบไปด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 สูตรเคมีทั่วไปคือ ($C_6H_{10}O_5$) แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (แอมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (แอมิโลเพกติน) วางตัวในแนวรัศมี ซึ่งแป้งจากแหล่งที่แตกต่างกันจะมีอัตราส่วนของแอมิโลส และแอมิโลเพกตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีจะมีผลต่อข้าวและแป้งโดยองค์ประกอบที่มีผลมากได้แก่ โปรตีนและแอมิโลส โดยพบว่าข้าวที่มีโปรตีนสูงจะมีอัตราการดูดน้ำ (water absorption ratio) ต่ำกว่า เนื่องจากโปรตีนที่ติดอยู่กับเม็ดแป้งจะจัดเรียงตัวอยู่กับเม็ดแป้งทำให้เม็ดแป้งมีความแข็งแรง หากโปรตีนถูกทำลายลง เม็ดแป้งจะดูดน้ำและเกิดเจลาทิไนส์ได้ง่ายขึ้น (Hamaker, Griffin and Moldenhauer, 1991)

2.3.1.1 แอมิโลส

แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นซึ่งประกอบด้วยหน่วยย่อยของกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1,4 แอมิโลสสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนและให้สีน้ำเงิน โดยทั่วไปการแบ่งประเภทข้าวมักแบ่งตามปริมาณแอมิโลส โดยข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะดูดน้ำได้มากในระหว่างการหุงต้ม ทำให้ข้าวสุกที่ได้มีลักษณะร่วน แข็ง (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2550)

2.3.1.2 แอมิโลเพกติน

แอมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งที่เกิดจากการรวมตัวของกลูโคส โดยส่วนที่เป็นกิ่งจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α-1,6 แอมิโลเพกตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของแอมิโลส มีอัตราการคืนตัวต่ำ แอมิโลเพกตินมีความสำคัญทางด้านโครงสร้าง หน้าที่ แอมิโลเพกตินสามารถรวมตัวกันและทำให้เกิดโครงสร้างในส่วนที่เป็นผลึก (crystalline region) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous region) ซึ่งสามารถรวมตัวเป็นเม็ดสตาร์ชได้ ขณะที่สตาร์ชที่มีเพียงแอมิโลสไม่สามารถเกิดส่วนที่เป็นผลึกได้ (Oates, 1997)

2.3.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่

2.3.2.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง

แป้งที่พบทั่วไปในธรรมชาติจะอยู่ในรูปของเม็ดแป้งขนาดเล็ก มีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส และไม่ละลายในน้ำเย็น โดยขนาด ลักษณะและรูปร่างจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งนั้นๆ (Oates, 1997) การตรวจสอบลักษณะของเม็ดแป้งสามารถทำได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) สามารถตรวจสอบโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดแป้งได้อย่างละเอียด เนื่องจากมีกำลังขยายมากกว่ากล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาหลายร้อยเท่า

เม็ดแป้งมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ หากโครงสร้างเรียงตัวหนาแน่นมากจัดเป็นผลึกแบบ A เช่น แป้งจากธัญพืชเมื่อตรวจสอบ X-ray diffractogram จะพบพีคที่ 2θ มีค่าเท่ากับ 17 และ 17.9 องศา ถ้าโครงสร้างผลึกจัดเรียงแบบหลวมๆจัดเป็นผลึกแบบ B เช่น แป้งจากพืชหัวจะพบพีคที่ 2θ มีค่าเท่ากับ 5.6 และ 17.2 องศา ถ้าแป้งมีโครงสร้างผลึกคล้ายคลึงทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C เช่น แป้งจากพืชตระกูลถั่วจะพบพีคที่ 2θ มีค่าเท่ากับ 5.6 และ 17.9 องศา นอกจากนี้ยังมีผลึกแบบ V ซึ่งเป็นลักษณะของการรวมตัวของแอมิโลสกับกรดไขมัน และโมโนกลีเซอไรด์ พบน้อยมากในสตาร์ชธรรมชาติ โดยโครงสร้างผลึกที่ต่างกันจะให้ลักษณะการกระจายตัวของที่ต่างกัน สามารถตรวจชนิดของโครงสร้างของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (wide angle X-ray diffraction) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

2.3.2.2 กำลังการพองตัวและการละลาย

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ 3 แบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปที่ไม่อิสระ และน้ำในรูปอิสระ ซึ่งสามารถจับกับแป้งได้แน่นตามลำดับ ซึ่งแป้งที่มีปริมาณความชื้นประมาณร้อยละ 8 ถึง 10 จะจับกับน้ำได้แน่นกว่าแป้งที่มีความชื้นสูง เนื่องจากการจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสในแต่ละหน่วยของแป้งจะได้สตารช์โมโนไฮเดรต [n($C_6H_{10}O_5$.H_2O)] แป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาทิไนเซชัน เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนที่เกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ เชื่อมต่อกันอยู่ เมื่ออุณหภูมิของน้ำเพิ่มสูงกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชัน พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้าจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัวเป็นหลายเท่าของขนาดเดิม การละลาย

ความหนืด และความใสของจะเพิ่มขึ้น กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ ความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่แยกออกด้วยการปั่นเหวี่ยง ซึ่งการละลายและการพองตัวมีความสัมพันธ์กัน เมื่อเม็ดแป้งพองตัวจะทำให้เกิดรอยแตกบนเม็ดแป้งและทำให้แอมิโลสหลุดออกมาทำให้ค่าการละลายสูงขึ้น ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและการละลายของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดของเม็ดแป้ง อัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกติน สิ่งเจือปนในแป้ง เช่น ไขมัน โปรตีน ฟอสฟอรัส ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว เป็นต้น (Leach, McCowen and Schoch, 1959)

2.3.2.3 **สมบัติด้านความหนืด**

ความหนืดเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพซึ่งแป้งแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติด้านความหนืดที่แตกต่างกัน การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งสามารถทำได้หลายวิธี โดยมากนิยมใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ในการประเมินค่าความหนืดในขณะให้ความร้อนและความเย็นของตัวอย่างน้ำแป้ง โดยเครื่อง RVA สามารถเปลี่ยนระดับของอุณหภูมิทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ และรักษาอุณหภูมิให้คงที่เนื่องจากมีกลไกส่งผ่านความร้อนที่ดี ใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยในการวิเคราะห์ เมื่อแป้งผสมกับน้ำและได้รับความร้อน เม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัวมากขึ้น ทำให้น้ำบริเวณรอบเม็ดแป้งลดน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากและเกิดความหนืดขึ้น อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวอย่างเต็มที่ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีกมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้โครงสร้างภายในเม็ดแป้งแตกออกทำให้ความหนืดลดลง เมื่อลดอุณหภูมิลงทำให้เกิดรีโทรเกรเดชัน ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีกซึ่งเกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลแอมิโลสที่หลุดออกมาจากเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

2.3.2.4 **การเกิดเจลาทิไนเซชัน**

แป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ แต่เนื่องจากเม็ดแป้งไม่ละลายในน้ำเย็นดังนั้นจึงดูดน้ำและพองตัวได้น้อย เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้งเม็ดแป้งจะดูดน้ำและพองตัว น้ำแป้งจะมีความหนืดและใสมาก

ขึ้นเนื่องจากน้ำอิสระที่อยู่รอบแป้งลดน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาทิไนเซชัน (gelatinization) โดยอุณหภูมิที่สารละลายเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาทิไนเซชัน แป้งแต่ละชนิดจะมีการเกิดเจลาทิไนเซชันที่แตกต่างกัน อุณหภูมิในการเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้งแต่ละชนิดไม่เท่ากัน การเกิดเจลาทิไนเซชันของเม็ดแป้งแบ่งเป็น 3 ระยะ คือ เริ่มแรกเม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัด เกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ ความหนืดของน้ำแป้งจะไม่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างลักษณะไบรีฟรินเจนซ์ไว้ได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิที่แท้จริงของชนิดของเม็ดแป้ง เมื่อเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำมากและพองตัวอย่างรวดเร็วเป็นการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ ความหนืดของของน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนรูปร่าง เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปจนเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อทำให้เย็นจะเกิดเป็นเจล (กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

2.3.2.5 **การเกิดรีโทรเกรเดชัน**

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาทิไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปจนเม็ดแป้งพองตัวเต็มที่แล้วแตกออก โมเลกุลของแอมิโลสหลุดออกมา เมื่อทิ้งให้เย็นลงโมเลกุลของแอมิโลสจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ เกิดเป็นร่างแหสามมิติที่แข็งแรง และอาจมีการขับน้ำออกมา (syneresis) เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน เจลจะมีลักษณะขาวขุ่นและมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

2.4 **ไหมข้าวโพด**

ข้าวโพดมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Zea mays* Linn. จัดอยู่ในวงศ์ Grammineae ข้าวโพดเป็นพืชจำพวกหญ้า ลำต้นตรงมีลักษณะเป็นข้อต่อ ใบยาวเรียวเกาะติดกับลำต้น ฝักข้าวโพดจะมีซังเป็นที่สำหรับให้เมล็ดข้าวโพดเกาะ บริเวณปลายฝักจะมีเกสรตัวเมีย (style) ลักษณะคล้ายเส้นไหม เมื่อยังอ่อนมีสีน้ำตาลอ่อนผิวเส้นมันหรือสีเหลืองปนม่วงอ่อน เมื่อฝักแก่จัดเส้นนี้จะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล เรียกว่า corn silk หรือไหมข้าวโพด (กรมวิชาการเกษตร, 2524) ไหมข้าวโพดประกอบไปด้วย โปรตีน วิตามิน คาร์โบไฮเดรต เกลือของแร่ธาตุได้แก่ แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม โซเดียม สารอัลคาลอยด์ ซาโปนิน แทนนิน ฟลาโวนอยด์ และสารกลุ่มสเตอรอยด์ เช่น sitosterol และ stigmasterol เป็นต้น (Guo et.,al, 2009)

ในประเทศจีนมีการใช้ไหมข้าวโพดในวิธีการรักษาแบบสมุนไพรจีน ไหมข้าวโพดมีประโยชน์ในการรักษาอาการกระเพาะปัสสาวะอักเสบเรื้อรัง แก้อาการโรคนิ่ว ลดอาการบวมที่เกิดจากไตอักเสบ แก้ระบบย่อยอาหารไม่ปกติ ใช้ในการรักษาโรคหนองใน รักษาอาการดีซ่าน และโรคอ้วนได้ Wang และคณะ (2011) ศึกษาความเป็นพิษของไหมข้าวโพดในหนูทดลองพบว่าปริมาณของไหมข้าวโพดที่หนูทดลองรับได้ต่อวัน (daily intake) เท่ากับ 9.354 และ 10.308 กรัมต่อวันต่อกิโลกรัมน้ำหนักตัว สำหรับหนูตัวผู้และหนูตัวเมียตามลำดับ ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า การบริโภคไหมข้าวโพดไม่มีผลกระทบและยังปลอดภัยสำหรับมนุษย์อีกด้วย

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของไหมข้าวโพด

องค์ประกอบทางเคมี	**ปริมาณในไหมข้าวโพด** (%)
ความชื้น	9.65 ± 0.16
เถ้า	3.91 ± 0.11
ไขมัน	0.29 ± 0.07
โปรตีน	17.6 ± 0.82
เส้นใย	40 ± 0.60

ที่มา : Wang และคณะ (2011)

2.5 การเสริมใยอาหาร

ใยอาหารเป็นส่วนของโอลิโกแซคคาไรด์หรือพอลิแซคคาไรด์และอนุพันธ์ซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชและไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ในระบบทางเดินอาหารของมนุษย์ เนื่องจากในร่างกายของมนุษย์ไม่มีเอนไซม์ หรือน้ำย่อยที่สามารถย่อยได้ แต่อาจถูกย่อยด้วยจุลินทรีย์บางชนิดในลำไส้ใหญ่ได้จึงทำให้ร่างกายดูดซึมใยอาหารได้น้อยมากและเหลืออยู่ในระบบทางเดินอาหารเพื่อขับถ่ายออกมา (ผกาวดี นารอง, 2543) หากแบ่งประเภทของใยอาหารตามองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติการละลายน้ำของใยอาหารแล้วสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ ใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำและใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ (Baghurst, Baghurst and Record, 1996; Schneeman, 1986)

2.5.1 ใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำ (Soluble dietary fiber)

ใยอาหารชนิดนี้มีความสามารถในการละลายน้ำ ไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์ในระบบทางเดินอาหารแต่สามารถถูกย่อยโดยแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ซึ่งสามารถย่อยใยอาหาร

ชนิดที่ละลายน้ำได้เป็นผลิตภัณฑ์ เช่น กรดแอซิติค กรดโพรพิโอนิค ก๊าซมีเทนและไฮโดรเจน เป็นต้น ตัวอย่างใยอาหารชนิดที่ละลายน้ำ ได้แก่ เพคติน กัมและมิวซิเลจ ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของเพคตินและกัม

2.5.1.1 **เพคติน** (Pectin)

เพคติน เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วย methylated galacturonic acid โดยจะประกอบเป็นสารเชิงซ้อนร่วมกับโปรตีน เป็นส่วนประกอบในโครงสร้างผนังเซลล์พืช โดยแทรกอยู่ระหว่างเซลลูโลสเช่นเดียวกับเฮมิเซลลูโลส เพคตินสามารถละลายได้ในน้ำร้อนและเกิดเป็นเจลมีคุณสมบัติในการดูดน้ำ พบมากในแอปเปิ้ลและผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวของกรดซิตริก เช่น ส้ม ฝรั่ง เป็นต้น

2.5.1.2 **กัมและมิวซิเลจ** (Gum and mucilages)

กัมและมิวซิเลจ เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ประกอบด้วย galacturonic acid ซึ่งจับกับน้ำตาลชนิดต่างๆ เช่น mannose rhamnose arabinose หรือ xylose โดยกัมเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่พืชหลั่งออกมาเมื่อมีบาดแผล สามารถพบได้ในข้าวบาร์เลย์ ข้าวโอ๊ต และถั่วเมล็ดแห้ง ส่วนมิวซิเลจ คือ พอลิแซคคาไรด์ที่ถูกหลั่งในส่วนของ endosperm ของเซลล์พืชเพื่อทำหน้าที่ป้องกันการเสียน้ำมากเกินไป สามารถพบได้ในเมล็ดพืชชนิดต่างๆ

2.5.2 **ใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ** (Insoluble dietary fiber)

ใยอาหารชนิดนี้มีคุณสมบัติในการดูดความชื้นสูงเนื่องจากสามารถพองตัวและดูดน้ำได้ถึง 20 เท่าของน้ำหนัก โดยใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำนี้จะสามารถถูกแบคทีเรียในลำไส้ย่อยสลายได้บางส่วน ดังนั้นจึงมีบทบาทในการเพิ่มกากอาหารในลำไส้ใหญ่ คือทำให้ร่างกายขับกากอาหารออกได้เร็วขึ้น ตัวอย่างใยอาหารชนิดที่ไม่ละลายน้ำ ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน (Lunn and Buttriss, 2007) ตารางที่ 2.2 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหารประเภทเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส

2.5.2.1 **เซลลูโลส** (Cellulose)

เซลลูโลส เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นองค์ประกอบหลักของผนังเซลล์พืช มักพบอยู่ร่วมกับกับเฮมิเซลลูโลส เพคตินและลิกนิน ประกอบด้วยโมเลกุลของ glucose จำนวนมากเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ (β-1,4)-glycosidic ซึ่งโมเลกุลของเซลลูโลสจะเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบไปทางเดียวกัน ต่อกับกิ่งที่มีโมเลกุลเรียงตัวในทิศตรงกันข้ามด้วยพันธะไฮโดรเจนแต่มี

บางส่วนที่เรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ (amorphous cellulose) ซึ่งส่วนนี้สามารถดูดซับโมเลกุลของน้ำได้และมีผลทำให้เกิดการพองตัว สามารถพบได้ในผัก ผลไม้และธัญพืช

2.5.2.2 **เฮมิเซลลูโลส** (Hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลส เป็นพอลิแซคคาไรด์ที่แทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสในผนังเซลล์พืช ประกอบด้วยโมโนแซคคาไรด์ต่อกันด้วยพันธะ (β-1,4)-glycosidic และมักมีน้ำตาลโมโนแซคคาไรด์ต่อเป็นกิ่งก้าน ซึ่งเฮมิเซลลูโลสจะมีความหลากหลายแตกต่างตามชนิดของพืช สามารถพบได้ในรำข้าวสาลี รำข้าวโพด และถั่วทั้งเมล็ด (Kalia, Kaith, and Kaur, 2011)

2.5.2.3 **ลิกนิน** (Lignin)

ลิกนิน เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตแต่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของ aromatic alcohols ที่ประกอบด้วย phenylpropane (ภาพที่ 2.4) โดยลิกนินจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้แก่ผนังเซลล์ของพืช ลิกนินจะถูกสร้างมากขึ้นเมื่อพืชมีอายุเพิ่มมากขึ้น สามารถพบได้ในธัญพืช (Kalia, et.,al, 2011)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของใยอาหาร

Fibers	Main chain	Branch units
Cellulose	β-(1,4) glucose	
β-glucans	β-(1,4) glucose and β-(1,3) glucose	
Hemicellulose		
Xylans	β-D-(1,4) xylose	
Arabinoxylans	β-D-(1,4) xylose	Arabinose
Mannans	β-D-(1,4) mannose	
Glucomanns	β-D-(1,4) mannose and β-D-(1,4) glucose	
Galactoglucomannans	β-D-(1,4) mannose, β-D-(1,4) glucose	Galactose
Galactomannans	β-(1,4) mannose	α-D-galactose
Xyloglucans	β-D-(1,4) gluose	α-D-xylose
Pectin		
Homogalacturonan	α-(1.4)-D-galacturonic acid (some of the carboxyl groups are methyl esterified)	
Rhamnogalacturonan-I	(1,4) galacturonic acid, (1,2) rhamnose and 1-, 2-, 4-rhamnose	Galactose, arabinose, xylose, rhamnose, galacturonic acid
Rhamnogalacturonan-II	α-(1,4) galacturonic acid	Unusual sugar such as: apiose
Arabinanes	α-(1.5)-L-arabinofuranose	α-arabinose
Galactanes	β-(1-4)-D-galactopyranose	
Arabinogalactanes-I	β-(1-4)-D-galactopyranose	α-arabinose
Arabinogalactanes-II	β-(1-3)- and b-(1-6)-D-galactopyranose	α-arabinose
Xylogalacturonan	α-(1-4) galacturonic acid	xylose

ที่มา: Elleuch และคณะ (2011)

ตารางที่ 2.2(ต่อ) องค์ประกอบทางเคมีของใยอาหาร

Fibers	Main chain	Branch units
Inulin	β-(2-1)-D-fructosyl-fructose	
Gum[a]		
Alginate	β-(1,4)-D-mannuronic acid or α-(1-4)-L-guluronic acid	
Carrageenan	Sulfato-galactose	
Lignin	Polyphenols: Syringyl alcohol (S), Guaiacyl alcohol (G) and p-coumaryl alcohol (H)	
Chitosan	β-(1-4)-linked D-glucosamine and N-acetyl-D-glucosamine	

[a]Chemical structure of gums depends of its source. ที่มา: Elleuch และคณะ (2011)

2.6 ประโยชน์ของใยอาหาร

2.6.1 ประโยชน์ของใยอาหารเชิงสุขภาพ (ผกาวดี นารอง, 2543)

2.6.1.1 ด้านการแพทย์

เนื่องจากใยอาหารมีโครงสร้างคล้ายฟองน้ำและมีประจุไฟฟ้าจึงสามารถจับกับสารอาหาร และน้ำดีได้ดี ดังนั้นจึงช่วยยับยั้งและต่อต้านการเกิดพิษของสารพิษในระบบการย่อยและดูดซึมอาหารได้ นอกจากนั้นยังป้องกันการเกิดโรคหลายชนิด เช่น ป้องกันการเกิดโรคมะเร็งในลำไส้ใหญ่ และโรคเบาหวานได้

2.6.1.2 ด้านการเสริมสร้างระบบการทำงานของลำไส้ในร่างกายมนุษย์

การรับประทานอาหารที่มีกากใยอาหารจำนวนมาก จะช่วยเพิ่มปริมาตรของกากอาหารในลำไส้ ส่งผลให้ไปกระตุ้นการเคลื่อนไหวของลำไส้ให้ทำงานมากขึ้น ทำให้ความดันในลำไส้ลดลง หลอดเลือดดำที่ผนังลำไส้ไม่โป่งพอง ช่วยป้องกันการเกิดโรคริดสีดวงทวารได้ นอกจากนั้นยังทำให้กากอาหารที่ผ่านการย่อยมีความนุ่มชื้น ซึ่งจะเป็นผลดีต่อระบบการดูดซึม การขับถ่าย ตลอดจนการรักษาอาการโรคท้องผูกได้

2.6.1.3 **ด้านการลดน้ำหนัก**

เส้นใยอาหารจากพืชที่มีเพคติน เฮมิเซลลูโลส และกลูโคแมนแนนเป็นองค์ประกอบจะสามารถดูดซึมน้ำได้มาก ดังนั้นผู้รับประทานอาหารที่มีเส้นใยเหล่านี้เป็นส่วนประกอบ อาหารจะขยายตัวและเพิ่มปริมาตรในกระเพาะอาหารจึงทำให้เกิดความรู้สึกว่าอิ่มนานกว่าปกติ ทั้งๆ ที่ปริมาณที่รับประทานเข้าไปไม่ได้เพิ่มมากกว่าที่เคยรับประทาน จึงทำให้รับประทานอาหารได้น้อยลงและอาจส่งผลให้น้ำหนักตัวลดลงได้

2.6.2 **ประโยชน์ของใยอาหารในเชิงหน้าที่**

2.6.2.1 **การเพิ่มความสามารถในการจับน้ำ** (water holding capacity)

การจับน้ำของใยอาหารจะเกิดในส่วนที่เป็นพอลิแซคคาไรด์ของใยอาหาร ซึ่งสามารถเกิดได้ 2 แบบ คือ การเกิดเจล และ การดูดซับน้ำ โดยใยอาหารจำพวกเพคตินและเฮมิเซลลูโลส (ส่วนน้อย) จะมี sugar residues ที่มี free polar group ซึ่งมีความชอบจับกับน้ำสูง เมื่ออยู่ในน้ำจะมีลักษณะเหมือนแป้งเมื่อถูกความร้อน คือ สามารถพองตัวและเกิดเป็นเจลได้ ส่วนใยอาหารจำพวกเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสจะมีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง สามารถดูดซับน้ำไว้บนบริเวณของโมเลกุลที่มีพันธะไฮโดรเจนเป็น intermolecular bond ได้ (Schneeman, 1986)

2.6.2.2 **การเพิ่มความสามารถในการจับน้ำมัน** (oil holding capacity)

คุณสมบัติในด้านความสามารถในการอุ้มน้ำมัน ของใยอาหารจะส่งเสริมความสามารถในการดูดซับสารก่อการกลายพันธุ์ (mutagen) และคอเลสเตอรอลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความสามารถในการอุ้มน้ำมันจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหาร ได้แก่ ลิกนิน ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต แต่เป็นสารประกอบพอลิเมอร์ของ aromatic alcohol คือ phenylpropane ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) สามารถจับกับน้ำมันได้ดี แต่ปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมัน คือลักษณะโครงสร้างของใยอาหารและความพรุน ซึ่งมีอิทธิพลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำมันมากกว่าองค์ประกอบทางเคมีของใยอาหารเอง (Elleuch et.,al, 2011)

2.7 **งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลของการเติมใยอาหารต่อสมบัติของแป้ง**

Wang และคณะ (2002) ศึกษาผลของการเสริมใยอาหารจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ ใยอาหารจาก carob inulin และใยอาหารจาก pea ต่อคุณภาพของขนมปัง และพบว่าการเสริมใยอาหารจาก carob และ pea ทำให้ปริมาตรของขนมปังลดลง ซึ่งในกรณีของ carob นั้นปริมาตรลดลงเพียง

เล็กน้อย และยังทำให้เนื้อขนมปังมีความอ่อนนุ่มเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเมื่อทดสอบทางประสาทสัมผัสขนมปังที่มีการเสริมใยอาหาร พบว่า ผู้บริโภคสามารถยอมรับได้

กุลรภัส วชิรศิริ และคณะ (2553) ศึกษาผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยใยอาหารที่สกัดจากเปลือกมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ในระดับ 0% 5% 7.5% และ 10% ในขนมปังขาไก่ พบว่าการทดแทนแป้งสาลีด้วยใยอาหารในสัดส่วนที่สูงขึ้นมีผลทำให้ระยะเวลาในการบ่มโด ความคงทนต่อการแตกหัก ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด และฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการทดแทนที่ 5% ไม่ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างจากตัวอย่างควบคุมในด้านความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ

โศรดา วัลภา และคณะ (2553) ศึกษาผลของการเสริมใยอาหารที่สกัดจากเปลือกทุเรียนต่อคุณภาพของขนมปังขาวโดยการทดแทนส่วนของแป้งสาลีเป็นร้อยละ 5 10 15 และ 20 ในขนมปังขาว พบว่าการเพิ่มปริมาณใยอาหารจากเปลือกทุเรียนมีผลทำให้ปริมาตรของขนมปังลดลงและมีสีคล้ำมากขึ้น มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่นิ่มลง มีความเหนียวเหนอะเพิ่มขึ้นและมีความยืดหยุ่นลดลง และการเสริมใยอาหารร้อยละ 5 ไม่ทำให้ปริมาตรและเนื้อสัมผัสเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การเสริมใยอาหารร้อยละ 10 ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร เนื้อสัมผัส และสีอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสพบว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างขนมปังที่ไม่มีการเสริมใยอาหารและขนมปังที่เสริมใยอาหารร้อยละ 5 อย่างมีนัยสำคัญ

Lai และคณะ (2011) ศึกษาลักษณะทางเคมีกายภาพของสตาร์ชแป้งข้าวเจ้าที่มีการเติมใยอาหาร โดยการเติมเส้นใยอาหารที่สกัดจากข้าวเจ้าสายพันธุ์ TCS10 และ TNu67 และตรวจสมบัติของแป้งเปียกและสมบัติการไหลของสตาร์ชข้าวเจ้า พบว่า การเติมใยอาหารปริมาณ 5% ของน้ำหนักแห้งของสตาร์ชทำให้กำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่าการเติมใยอาหาร 10% ของน้ำหนักแห้งของสตาร์ชสามารถปรับปรุงค่าการไหลของเจลสตาร์ชได้ นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มใยอาหาร การเคลื่อนที่ของโมเลกุลน้ำในเจลสตาร์ชจะมีค่าลดลงเมื่อวัดด้วยเทคนิค NMR

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงจากศูนย์พันธุ์ข้าวพัทลุง (PHATTHALUNG RICE RESEARCH CENTER) เก็บเกี่ยววันที่ 20 มกราคม 2554

3.1.2 ไหมข้าวโพดของข้าวโพดหวานจากตลาดสี่มุมเมือง เก็บเกี่ยววันที่ 18 กรกฎาคม 2554

3.2 สารเคมีและอุปกรณ์

3.2.1 สารเคมี

3.2.1.1 Sodium hydroxide (AR grade)

3.2.1.2 Ethanol (AR grade)

3.2.1.3 Acetic acid (AR grade)

3.3.1.4 Iodine (AR grade)

3.3.1.5 Potassium iodide (AR grade)

3.2.2 อุปกรณ์

3.2.2.1 Tray dryer (บริษัท เหยี่ยวเฮง จำกัด รุ่น HA-100s, ประเทศไทย)

3.2.2.2 Hot air oven (Memmert รุ่น 300, Germany)

3.2.2.3 Hot air oven (Memmert รุ่น 600, Germany)

3.2.2.4 Blender (Waring blender รุ่น 8011BU, USA)

3.2.2.5 Chroma meter CR-400 (Konica Minolta Sensing Inc., Japan)

3.2.2.6 Spectrophotometer (Thermo Spectronic รุ่น Genesys 10 UV, USA)

3.2.2.7 Water bath (Thermo Scientific รุ่น NESLAB EX10, USA)

3.2.2.8 Centrifuge (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF,USA)

3.2.2.9 Rapid Visco-Analyzer RVA-4 (Newport Scientific, Warriewood, New South Wales, Australia)

3.2.2.10 Multi-wavelength Particle Size Analyzer with Tornado (Dry Power Module) System (Beckman Coulter รุ่น LS13320, USA)

3.2.2.10 Texture analyser, TA XT2 (Stable Micro Systems, Surrey, UK)

3.2.2.11 Cryogenic Freezer (Taylor-Wharton รุ่น XL-55 HP, New York, USA)

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

3.3.1.1 ข้าวพันธุ์เฉี้ยงพัทลุง (Rice flour; RF)

เตรียมแป้งข้าวโดยการโม่น้ำตามวิธีของ Varavinit และคณะ (2003) แล้วร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh ตามภาพที่ 3.1 บรรจุแป้งที่ผ่านการร่อนลงในถุงซิปพลาสติกชนิด PE แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น ใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้นเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

แช่ข้าวกับน้ำกลั่นในอัตราส่วนข้าวต่อน้ำเท่ากับ 1:2 (w/v) นาน 1 ชั่วโมง

↓

โม่ด้วยวิธีโม่เปียก

↓

กรองน้ำแป้ง

↓

อบแป้งที่กรองได้ด้วยตู้ tray dryer ที่อุณหภูมิ 45^{o}C นาน 24 ชั่วโมง

↓

บดแป้งที่ผ่านการอบแล้วด้วย blender

↓

ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh

↓

บรรจุในถุงพลาสติก

ภาพที่ 3.1 วิธีการเตรียมแป้งข้าวเจ้า

3.3.1.2 ไหมข้าวโพด (Cornsilk; CS)

เตรียมผงไหมข้าวโพดโดยเริ่มจากล้างทำความสะอาดด้วยน้ำ 3 ครั้ง ผึ่งให้สะเด็ดน้ำนาน 20 นาที แล้วอบที่อุณหภูมิ 45 ºC นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นตัดเส้นไหมข้าวโพดให้สั้นลงแล้วจึงบดละเอียดด้วย blender (Waring blender, Model 8011BU, USA) และร่อนผ่านตะแกรงด้วย test sieve ขนาดต่างๆดังนี้ 50 mesh (300 micron), 100 mesh (150 micron), 120 mesh (125 micron), 200 mesh (75 micron), 325 mesh (45 micron) บรรจุไหมข้าวโพดที่ร่อนได้ลงในถุงซิปพลาสติกชนิด PE แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น โดยใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดความชื้นเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไปและคำนวณปริมาณร้อยละของผลผลิตที่ได้ของไหมข้าวโพดแต่ละขนาด

3.3.2 ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

สำหรับการวิเคราะห์ในข้อ 3.3.2.1 ถึง 3.3.2.14 ทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

3.3.2.1 วิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.03 (ภาคผนวก ก.1)

3.3.2.2 วิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.05 (ภาคผนวก ก.2)

3.3.2.3 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.22 (ภาคผนวก ก.3)

3.3.2.4 วิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.13 (ภาคผนวก ก.4)

3.3.2.5 วิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.15 (ภาคผนวก ก.5)

3.3.2.6 คำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งข้าวเจ้าจากผลต่างขององค์ประกอบต่างๆ (ภาคผนวก ก.6)

3.3.2.7 วิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวเจ้าด้วยวิธี Amperometric ตามวิธีของ Gibson, Solah และ McCleary (1997) ตรวจวิเคราะห์โดยหน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปแป้งมันสำปะหลัง ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ (ภาคผนวก ก.7)

3.3.2.8 วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble dietary fiber) ของไหมข้าวโพดตามวิธี In house method ที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ AOAC (2005) section 45.4.07 ของศูนย์ประกันคุณภาพอาหาร สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ภาคผนวก ก.8)

3.3.2.9 วิเคราะห์ค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด โดยใช้เครื่อง Chroma meter (Minolta รุ่น CR-400 series, Japan) โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 (ภาคผนวก ก.9)

3.3.2.10 วิเคราะห์ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity) ตามวิธีของ Medcalf และ Gilles (1965) (ดังแสดงในภาคผนวก ก.10)

3.3.2.11 วิเคราะห์ความสามารถในการจับน้ำมัน (Oil holding capacity) โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Vergara-Valenciaa และคณะ (2007) (ภาคผนวก ก.11)

3.3.2.12 วิเคราะห์กำลังการพองตัวและการละลาย โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ Schoch (1964) (ภาคผนวก ก.12)

3.3.2.13 วิเคราะห์ลักษณะรูปร่างและพื้นผิวของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (JEOL รุ่น JSM-5800 LV, Japan) ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้กำลังขยาย 700x และ 2000x สำหรับแป้งข้าวเจ้า 70x และ 200x สำหรับไหมข้าวโพด (ภาคผนวก ก.13)

3.3.2.14 วิเคราะห์รูปแบบและปริมาณผลึกของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดโดยใช้เครื่อง X-Ray Diffractometer (Bruker, Model D8 Discover, Germany) (ภาคผนวก ก.14)

3.3.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

ผสมแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดแต่ละขนาด โดยแปรสัดส่วนระหว่างแป้ง:ไหมข้าวโพด (RF:CS) 5 ค่า ในช่วง 100:0 ถึง 80:20 โดยผสมแป้งกับไหมข้าวโพดด้วยเครื่องผสมอาหาร (KitchenAid, รุ่น K5SS, U.S.A.) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 นาที แล้ววิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวผสมไหมข้าวโพด โดยทำการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ดังนี้

3.3.3.1 วิเคราะห์ค่าสีแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด โดยใช้เครื่อง Chroma meter (Minolta รุ่น CR-400 series, Japan) โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D65 เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.9

3.3.3.2 วิเคราะห์ลักษณะรูปร่างและพื้นผิวของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) เช่นเดียวกับข้อ 3.3.2.13

3.3.3.3 วิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งข้าวผสมโดยใช้เครื่อง Laser Diffraction Particle Size Analyzer with Tornado (Dry Powder Module) System (Beckman Coulter รุ่น LS 13 320, U.S.A.) ตามวิธีของ Beckman coulter (ภาคผนวก ก.15)

3.3.3.4 วิเคราะห์ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity) เช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.2.10

3.3.3.5 วิเคราะห์ความสามารถในการจับน้ำมัน (Oil holding capacity) เช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.2.11

3.3.3.6 วิเคราะห์กำลังการพองตัวและการละลาย โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Schoch (1964) เช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.2.12

3.3.3.7 วิเคราะห์สมบัติด้านการเกิดเพสต์โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (Newport Scientific รุ่น RVA-4, Australia) (ภาคผนวก ก.16)

3.3.3.8 วิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture analyzer (Stable Micro System, Surrey, UK) โดยใช้วิธีที่ดัดแปลงวิธีจาก Lanier (1992) นำตัวอย่างที่วัด RVA แล้วมาวัดเนื้อสัมผัส (ภาคผนวก ก.17)

3.3.3.9 วิเคราะห์การดูดซับน้ำมันของแบทเทอร์ที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด โดยใช้สูตรแบทเทอร์พื้นฐานที่รายงานใน วรดา อ่ำบุญ (2550) ดังตารางที่ 3.1 โดยผสมแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดกับเกลือและน้ำตาลด้วยเครื่องผสม ใช้ความเร็วเบอร์ 1 นาน 1 นาที เติมน้ำในอัตราส่วนแป้งผสมต่อน้ำ เท่ากับ 1 ต่อ 1.5 ผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหาร (KitchenAid, รุ่น K5SS, U.S.A.) ใช้ความเร็วเบอร์ 1 นาน 2 นาที ตวงปริมาตร 5 มิลลิลิตร ลงในกระบวยสำหรับทอด ทอดโดยใช้หม้อทอดควบคุมอุณหภูมิที่ 170 ± 5°C ในน้ำมันปาล์ม 1 ลิตร ทอดครั้งละ 4 ชิ้น นาน 5 ± 1 นาที นำขึ้นพักบนตะแกรงเพื่อให้สะเด็ดน้ำมันและเย็นเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทุบตัวอย่างให้แหลกและวิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธี AOAC (2005) เช่นเดียวกันกับข้อ 3.3.2.4

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมแป้งสำหรับเตรียมแบทเทอร์

ส่วนผสม	**ปริมาณ (กรัม)**
แป้ง	100
เกลือ	2.5
น้ำตาล	2.0

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) สำหรับการวิเคราะห์ในข้อ 3.3.2.1 ถึง 3.3.2.6 และ 3.3.2.9 ถึง 3.3.2.12 และ Factorial Design with control (4×5 with control) สำหรับการวิเคราะห์ในข้อ 3.3.3.1 และ 3.3.3.3 ถึง 3.3.3.9 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT) ที่ p=0.05 ตามวิธีของ Montgomery (2005) ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS version 16

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ปริมาณของผลผลิตที่ได้ของไหมข้าวโพดแต่ละขนาด

จากการแยกขนาดอนุภาคของไหมข้าวโพด (CS) ออกเป็น 5 ขนาด โดยใช้ test sieve ที่มีรูเปิดขนาดต่างกัน และคำนวณปริมาณผลผลิตที่ได้ของไหมข้าวโพดแต่ละขนาดพบว่า ไหมข้าวโพดที่มีอนุภาคขนาดใหญ่ไม่สามารถลอดผ่าน sieve ที่มีรูเปิดขนาด 150 ไมครอนแต่ลอดผ่าน sieve ที่มีรูเปิด 300 ไมครอนได้ มีปริมาณของผลผลิตมากที่สุด (43.7%) ไหมข้าวโพดที่มีอนุภาคขนาดเล็กลงมีปริมาณของผลผลิตน้อยลงตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณของผลผลิตที่ได้ของไหมข้าวโพดแต่ละขนาด

Particle size	%yield
ไม่ผ่าน sieve	0.4
≤300μm (50 mesh)	43.7
≤150μm (100 mesh)	19.9
≤125μm (120 mesh)	23.9
≤75μm (200 mesh)	5.4
≤45μm (325 mesh)	6.7
total	100.0

4.2 สมบัติทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

4.2.1 องค์ประกอบของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าพันธุ์เฉี้ยงพัทลุงและไหมข้าวโพดที่ขนาดอนุภาคต่างๆกัน พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีความชื้นร้อยละ 8.87 ของน้ำหนักเปียก มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นหลักร้อยละ 90.70 โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบร้อยละ 8.48, 0.29, 0.32 และ 0.23 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ (ตารางที่ 4.2) และจากการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสของแป้งข้าวเจ้าพบว่า แป้งข้าวเจ้ามีแอมิโลสเป็นองค์ประกอบอยู่ร้อยละ

25.45 ของสตาร์ช ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มของแป้งข้าวเจ้าที่มีแอมิโลสสูง (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2547) ไหมข้าวโพดมีคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วงร้อยละ 57.5 - 61.2 ของน้ำหนักแห้ง มีความชื้นของไหมข้าวโพดที่ไม่ผ่านการแยกขนาดและที่ผ่านการแยกขนาดอยู่ในช่วงร้อยละ 7.8 – 10.6 ของน้ำหนักเปียก ส่วนโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 16.8 – 21.0 มีไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.9 – 1.6 มีเถ้าอยู่ในช่วงร้อยละ 3.7 – 4.8 และมีเส้นใยหยาบอยู่ในช่วงร้อยละ 14.9 -17.9 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งมีปริมาณโปรตีนและเถ้าที่วิเคราะห์ได้ในตัวอย่างที่ทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่รายงานโดย Wang และคณะ (2011) แต่มีปริมาณไขมันสูงกว่าและมีเส้นใยหยาบต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากไหมข้าวโพดที่นำมาวิเคราะห์มีสายพันธุ์และแหล่งในการเพาะปลูกที่แตกต่างกัน ส่งผลให้มีองค์ประกอบทางเคมีที่แตกต่างกัน สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารทั้งหมดของไหมข้าวโพดที่ไม่ผ่านการแยกขนาดพบว่า ไหมข้าวโพดที่ไม่ผ่านการแยกขนาดมีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำร้อยละ 35.85 มีปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำร้อยละ 1.41 และมีปริมาณใยอาหารทั้งหมดร้อยละ 37.27 เห็นได้ว่าไหมข้าวโพดที่ไม่ผ่านการแยกขนาดมีปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำสูงกว่าปริมาณใยอาหารที่ละลายน้ำจึงสามารถบ่งบอกได้ว่าไหมข้าวโพดจัดเป็นใยอาหารประเภทที่ไม่ละลายน้ำ ทั้งนี้ ในการทดลองนี้ไม่ได้วิเคราะห์ปริมาณใยอาหารชนิดต่างๆในไหมข้าวโพดที่มีขนาดต่างกัน เนื่องจากมีสมมติฐานว่าไม่ว่าไหมข้าวโพดที่ขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่จะยังคงสมบัติของการเป็นใยอาหารอยู่ นอกจากนี้ทางผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์ที่จะดูผลของความแตกต่างของขนาดไหมข้าวโพด ต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเจ้าเพียงเท่านั้น

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณแอมิโลส ปริมาณใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ ใยอาหารที่ละลายน้ำ และใยอาหารทั้งหมด

ชนิดตัวอย่าง	คาร์โบไฮเดรต (%db)	ความชื้น (%wb)	โปรตีน (%db)	ไขมัน (%db)	เถ้า (%db)	เส้นใยหยาบ (%db)	แอมิโลส (% g of starch)	ใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ (%)	ใยอาหารที่ละลายน้ำ (%)	ใยอาหารทั้งหมด (%)
แป้งข้าวเจ้าเฉี้ยงพัทลุง	90.70	8.87 ± 0.18	8.48 ± 0.13	0.29 ± 0.01	0.32 ± 0.02	0.23 ± 0.02	25.45 ± 0.08	n/a	n/a	n/a
CS ไม่แยกขนาด	60.36^{a}	7.88^{c} ± 0.02	18.19^{bc} ± 0.56	0.98^{d} ± 0.01	3.79^{d} ± 0.04	16.67^{c} ± 0.18	n/a	35.85 ± 0.13	1.41 ± 0.13	37.27 ± 0.09
CS 300µm	61.24^{a}	10.64^{a} ± 0.18	16.89^{d} ± 0.20	0.77^{f} ± 0.01	3.75^{d} ± 0.01	17.35^{b} ± 0.03	n/a	n/a	n/a	n/a
CS 150µm	58.79^{b}	10.45^{a} ± 0.04	18.69^{b} ± 0.84	1.16^{c} ± 0.01	4.57^{c} ± 0.00	16.78^{c} ± 0.06	n/a	n/a	n/a	n/a
CS 125µm	60.37^{a}	10.35^{a} ± 0.05	17.90^{bcd} ± 0.34	0.94^{e} ± 0.02	4.63^{c} ± 0.01	16.17^{d} ± 0.04	n/a	n/a	n/a	n/a
CS 75µm	58.90^{b}	10.46^{a} ± 0.03	17.15^{cd} ± 0.49	1.28^{b} ± 0.04	4.74^{b} ± 0.04	17.91^{a} ± 0.10	n/a	n/a	n/a	n/a
CS 45µm	57.50^{c}	9.70^{b} ± 0.20	21.05^{a} ± 0.06	1.69^{a} ± 0.01	4.85^{a} ± 0.01	14.92^{e} ± 0.05	n/a	n/a	n/a	n/a

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

n/a หมายถึง not analyzed

4.3 สมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

4.3.1 ค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

จากการวัดค่าสีของแป้งข้าวเจ้า ไหมข้าวโพดที่ไม่ผ่านการแยกขนาดและไหมข้าวโพดที่ผ่านการแยกขนาดโดยใช้ test sieve ที่มีรูเปิด 300, 150, 125, 75 และ 45 ไมครอน (ตารางที่ 4.3) ด้วยเครื่อง Chroma meter พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีค่า L* (ความสว่าง) ค่า a* (+ สีแดง, - สีเขียว) และ b* (+ สีเหลือง, - สีน้ำเงิน) เท่ากับ 77.7 ± 0.1, (-1.1) ± 0.0 และ 1.5 ± 0.0 ตามลำดับ ไหมข้าวโพดที่ไม่ผ่านการแยกขนาดมีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 47.6 ± 0.1, 5.6 ± 0.0 และ 11.3 ± 0.1 ตามลำดับ ไหมข้าวโพดที่ขนาด ≤300 ไมครอน มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 48.3 ± 0.1, 6.4 ± 0.1 และ 14.0 ± 0.1 ตามลำดับ ไหมข้าวโพดที่ขนาด ≤150 ไมครอน มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 45.8 ± 0.1, 6.9 ± 0.1 และ 13.7 ± 0.1 ตามลำดับ ไหมข้าวโพดที่ขนาด ≤125 ไมครอน มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 47.5 ± 0.0, 6.7 ± 0.0 และ 14.2 ± 0.1 ตามลำดับ ไหมข้าวโพดที่ขนาด ≤75 ไมครอน มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 51.9 ± 0.1, 5.7 ± 0.0 และ 15.9 ± 0.1 ตามลำดับ ไหมข้าวโพดที่ขนาด ≤45 ไมครอน มีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 60.2 ± 0.0, 2.9 ± 0.0 และ 16.3 ± 0.0 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

ชนิดตัวอย่าง	ค่าสี		
	L*	a*	b*
แป้งข้าวเจ้าเฉี้ยงพัทลุง	77.7 ± 0.1	-1.1 ± 0.0	1.5 ± 0.0
CS ไม่แยกขนาด	47.6^{c} ± 0.1	5.6^{b} ± 0.0	11.3^{d} ± 0.1
CS 300μm	48.3^{bc} ± 0.1	6.4^{ab} ± 0.1	14.0^{c} ± 0.1
CS 150μm	45.8^{c} ± 0.1	6.9^{a} ± 0.1	13.7^{c} ± 0.1
CS 125μm	47.5^{c} ± 0.0	6.7^{a} ± 0.0	14.2^{bc} ± 0.1
CS 75μm	51.9^{b} ± 0.1	5.7^{b} ± 0.0	15.9^{ab} ± 0.1
CS 45μm	60.2^{a} ± 0.0	2.9^{c} ± 0.0	16.3^{a} ± 0.0

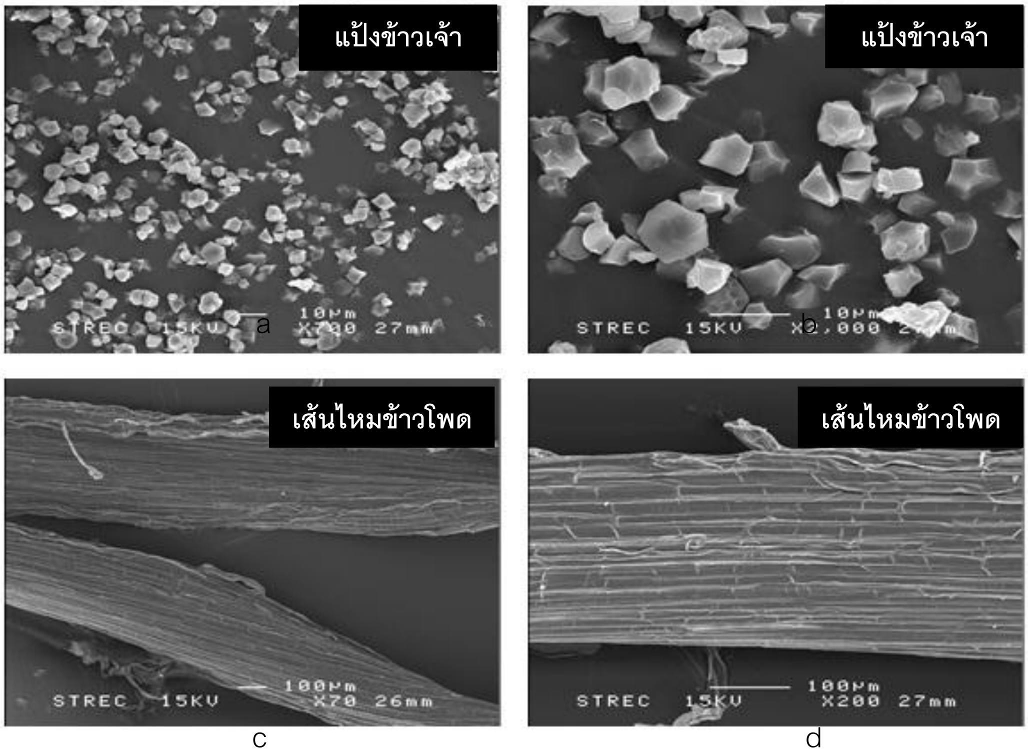
ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

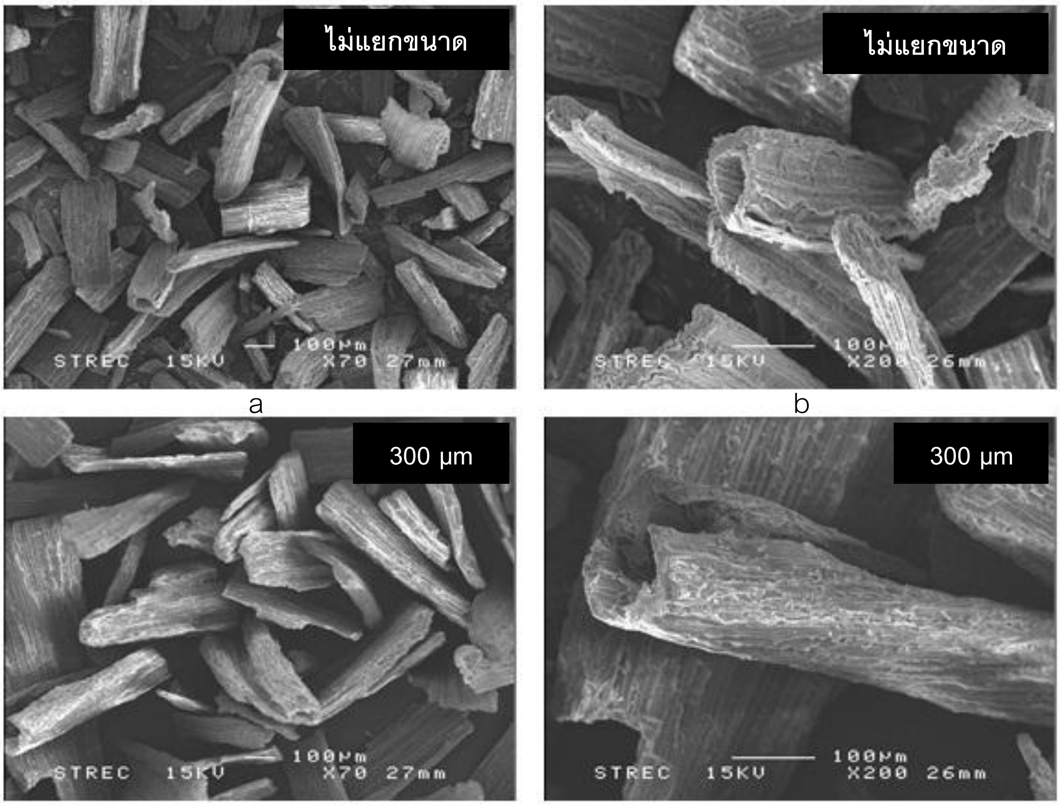
แป้งข้าวที่ได้จะมีสีขาว ส่วนไหมข้าวโพดจะมีสีน้ำตาลเหลือง ซึ่งไหมข้าวโพดจะมีค่าความสว่างน้อยกว่าแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) ไหมข้าวโพดที่ผ่านการบดลดขนาดแล้วมีแนวโน้มว่าจะมีความสว่างเพิ่มขึ้น ค่าสีแดงลดลงและค่าสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง โดยไหมข้าวโพดที่ขนาด 45 ไมครอน มีค่าความสว่างสูงกว่าไหมข้าวโพดที่ขนาด ≤300 ไมครอน อย่างมีนัยสำคัญเช่นเดียวกันกับรายงานของ Cha และคณะ (2012) พบว่าเมื่อขนาดอนุภาคของไหมข้าวโพดมีขนาดเล็กลงค่าความสว่างจะเพิ่มขึ้น อาจเป็นเพราะขนาดที่ต่างกันส่งผลให้เกิดการสะท้อนแสงต่างกัน ทำให้ไหมที่มีขนาดเล็กกว่ามีความสว่างสูงกว่า

4.3.2 **ลักษณะรูปร่างและพื้นผิวของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด**

เมื่อนำแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดมาวิเคราะห์รูปร่างและพื้นผิวด้วยด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาพที่ 4.1 ถึง 4.4) จะเห็นได้ว่าไหมข้าวโพดมีลักษณะเป็นแท่ง มีพื้นผิวขรุขระ เมื่อผ่านการแยกขนาดอนุภาคจะยังคงมีรูปร่างแบบแท่งอยู่ ขณะที่แป้งข้าวเจ้าจะมีรูปร่างหลายเหลี่ยม มีพื้นผิวเรียบ

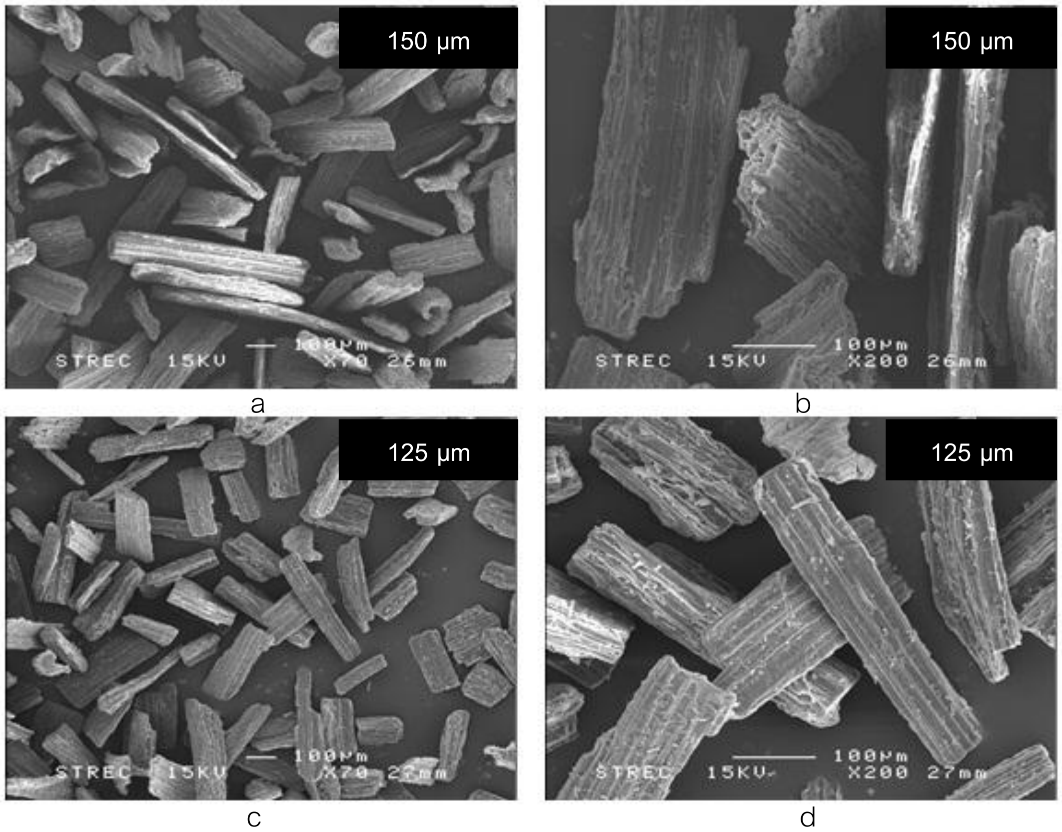


ภาพที่ 4.1 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวตัวอย่างที่กำลังขยาย 700 และ 2,000 เท่า สำหรับตัวอย่างแป้งข้าวเจ้า และที่กำลังขยาย 70 และ 200 เท่า สำหรับไหมข้าวโพด โดย a, b; แป้งข้าวเจ้า และ c, d; เส้นไหมข้าวโพด

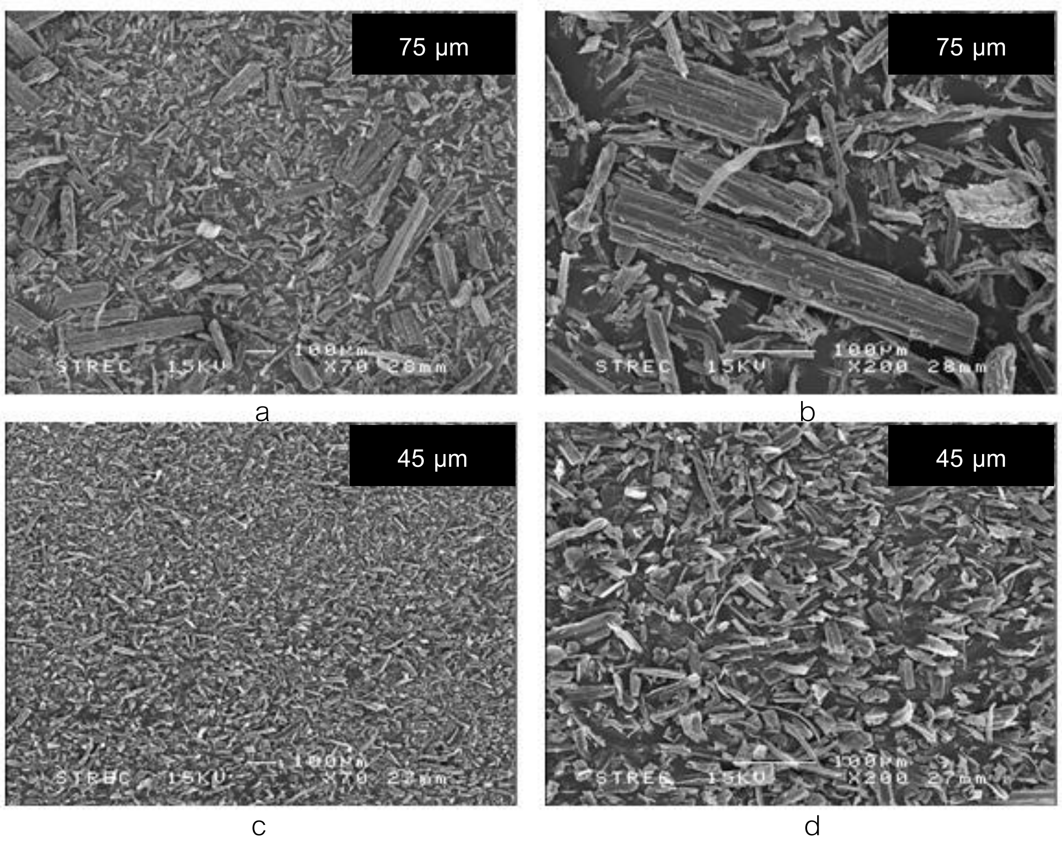


c d

ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่กำลังขยาย 70 และ 200 เท่า โดย a, b; ไหมข้าวโพดที่ไม่แยกขนาด และ c, d; ไหมข้าวโพดขนาด 300 ไมครอน



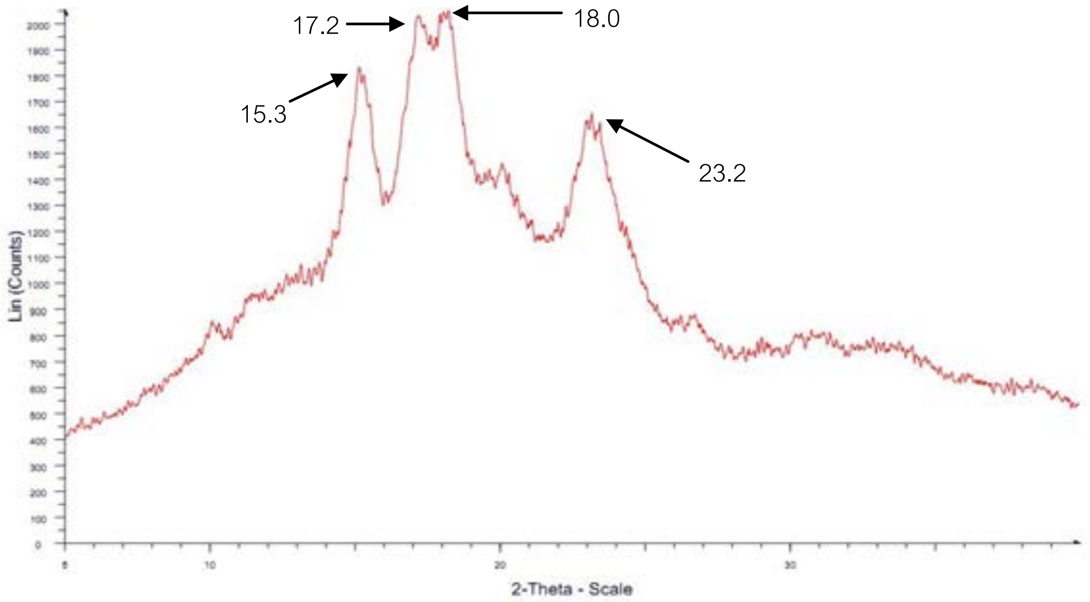
ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่กำลังขยาย 70 และ 200 เท่า โดย a, b; ไหมข้าวโพดขนาด 150 ไมครอน และ c, d; ไหมข้าวโพดขนาด 125 ไมครอน



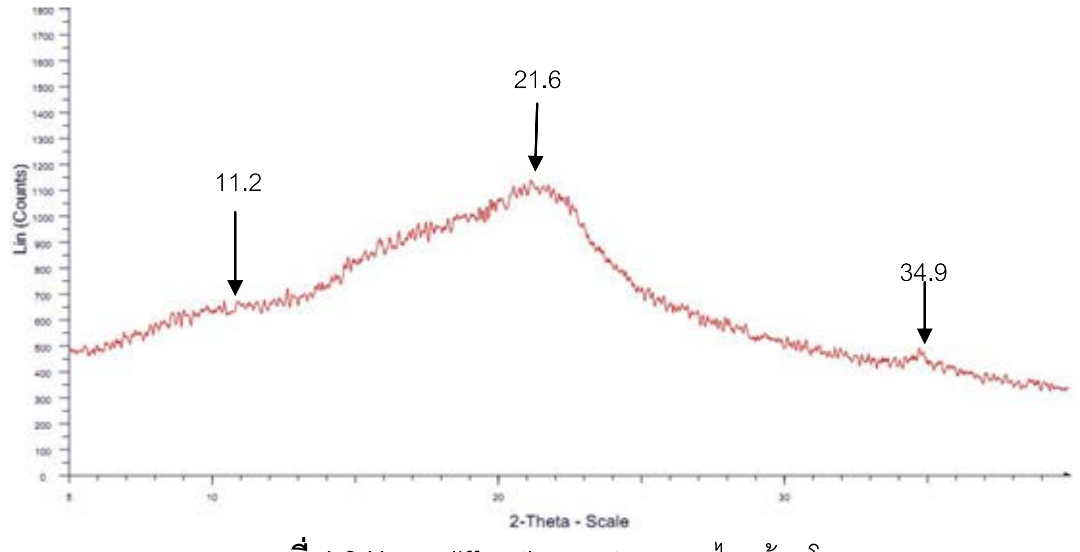
ภาพที่ 4.4 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างที่กำลังขยาย 70 และ 200 เท่า โดย a, b; ไหมข้าวโพดขนาด 75 ไมครอน และ c, d; ไหมข้าวโพดขนาด 45 ไมครอน

4.3.3 รูปแบบและปริมาณผลึกของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

จากการวิเคราะห์รูปแบบและปริมาณผลึกของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด (ภาพที่ 4.5) พบว่า diffractogram ของแป้งข้าวเจ้ามีพีคที่ 17.2 และ 18.0 องศา (2θ) และมีค่าความเป็นผลึกสูง เท่ากับร้อยละ 23.61 ซึ่งเป็นลักษณะโครงร่างผลึกแบบ A ที่พบมากในธัญพืช ขณะที่ไหมข้าวโพดที่ไม่แยกขนาด (ภาพที่ 4.6) มีค่าความเป็นผลึกเท่ากับร้อยละ 9.1 และพบพีคที่ไม่เด่นชัดที่ 11.2 21.6 และ 34.9 องศา (2θ)



ภาพที่ 4.5 X-ray diffraction pattern แป้งข้าวเจ้า



ภาพที่ 4.6 X-ray diffraction pattern ของไหมข้าวโพด

4.4 สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

4.4.1 ความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity) และความสามารถในการจับน้ำมัน (oil holding capacity) ของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

ตารางที่ 4.4 แสดงความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด จากตารางแป้งข้าวเจ้ามีความสามารถในการจับน้ำเท่ากับ 1.1 ± 0.0 กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้ง ไหมข้าวโพดที่ไม่แยกขนาด ไหมข้าวโพดที่แยกขนาดโดยใช้ test sieve ที่มีรูเปิด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน มีค่าความสามารถในการจับน้ำเท่ากับ 6.1 ± 0.2 5.8 ± 0.8 6.3 ± 0.2 6.5 ± 0.2 6.3 ± 0.2 5.2 ± 0.1 กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าไหมข้าวโพดมีความสามารถในการจับน้ำที่สูงกว่าแป้งข้าวเจ้าอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) ทั้งนี้เนื่องจากไหมข้าวโพดเป็นใยอาหารชนิดหนึ่งซึ่งใยอาหารมีคุณสมบัติในการอุ้มน้ำสูงจึงสามารถดูดซับน้ำไว้บนบริเวณของโมเลกุลที่มีพันธะไฮโดรเจนเป็น intermolecular bond ได้ แต่แป้งข้าวเจ้าโดยทั่วไปไม่ละลายในน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเกิดเจลาทิไนเซชัน ดังนั้นเมื่อเติมน้ำที่อุณหภูมิห้องและตั้งทิ้งไว้จึงทำให้จับกับน้ำได้น้อย สำหรับไหมข้าวโพดที่ไม่ผ่านการแยกขนาดและที่ผ่านการแยกขนาดโดยการลอดผ่าน test sieve ที่มีรูเปิด 300 ถึง 75 ไมครอน มีค่าความสามารถในการจับน้ำที่ใกล้เคียงกันจึงสรุปได้ว่าแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) ส่วนไหมที่มีขนาดเล็กสุด (≤45 ไมครอน) มีความสามารถในการจับน้ำลดลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยและความเป็นรูพรุนของไหมข้าวโพดอาจถูกทำลายในระหว่างการบดลดขนาดจึงทำให้มีการจับน้ำที่ลดลง (Raghavendra et.,al, 2004)

เมื่อพิจารณาความสามารถในการจับน้ำมัน พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีความสามารถในการจับน้ำมันเท่ากับ 1.4 ± 0.0 กรัมน้ำมัน/กรัมตัวอย่างแห้ง ไหมข้าวโพดที่ไม่แยกขนาด ไหมข้าวโพดที่แยกขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน มีค่าความสามารถในการจับน้ำมันเท่ากับ 2.6 ± 0.0 2.9 ± 0.0 2.7 ± 0.0 1.9 ± 0.2 2.9 ± 0.8 4.2 ± 0.0 กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าแป้งข้าวเจ้ามีความสามารถในการจับน้ำมันต่ำกว่าไหมข้าวโพด และเมื่อไหมข้าวโพดมีอนุภาคขนาดเล็กลงความสามารถในการจับน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่งสูงขึ้นและแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ (p>0.05) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไหมที่มีขนาดเล็กสุด (≤45 ไมครอน) มีความสามารถในการจับน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ จากรายงานของ Sangnark และ Noomhorm (2003) ได้อธิบายว่าการลดขนาดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการจับน้ำมันที่สูงขึ้น และโครงสร้าง

เมทริกซ์ที่หายไป พื้นที่ผิวสัมพัทธ์และปริมาณการอุ้มน้ำมันทั้งหมดมีค่าแปรผกผันกับขนาดอนุภาคของเส้นใย

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity) และความสามารถในการจับน้ำมัน (oil holding capacity) ของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

ชนิดตัวอย่าง	ความสามารถในการจับน้ำ (กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการจับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมตัวอย่างแห้ง)
แป้งข้าวเจ้าเฉี้ยงพัทลุง	1.1 ± 0.0	1.4 ± 0.0
CS ไม่แยกขนาด	6.1^{a} ± 0.2	2.6^{bc} ± 0.0
CS 300µm	5.8^{ab} ± 0.8	2.9^{b} ± 0.0
CS 150µm	6.3^{a} ± 0.2	2.7^{b} ± 0.0
CS 125µm	6.5^{a} ± 0.2	1.9^{c} ± 0.2
CS 75µm	6.3^{a} ± 0.2	2.9^{b} ± 0.8
CS 45µm	5.2^{b} ± 0.1	4.2^{a} ± 0.0

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.4.2 กำลังการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

จากการศึกษาความสามารถในการจับน้ำเปรียบเทียบกับกำลังการพองตัว การละลายของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด เมื่อมีการเติมน้ำแต่ไม่ได้ให้ความร้อน แป้งจะพองตัวได้เพียงเล็กน้อยแต่เมื่อให้ความร้อนจะทำให้โครงสร้างเกลียวคู่ในผลึกถูกทำลาย เม็ดแป้งมีการดูดน้ำและพองตัวได้เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ส่วนไหมข้าวโพดเมื่อให้ความร้อนจะสามารถพองตัวได้มากขึ้นโดยเมื่อไหมข้าวโพดมีขนาดเล็กลงกำลังการพองตัวจะมีแนวโน้มลดลงและแสดงความแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจนถึง 90°C พบว่ากำลังการพองตัวของไหมข้าวโพดมีแนวโน้มลดลงจากที่อุณหภูมิ 85°C เพียงเล็กน้อยซึ่งให้ผลแตกต่างอย่างไม่มีนัยสำคัญ ขณะที่ไหมข้าวโพดที่ขนาด 75 ไมครอนมีค่ากำลังการพองตัวลดลงอย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้การลดลงของกำลังการพองตัวของไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงอาจเป็นผลมาจากโครงสร้างรูพรุนของเส้นใยที่ถูกทำลายไปทำให้ลดช่องว่างในการจับน้ำของโครงสร้างเมทริกซ์ทำให้ไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ดี (Gupta and Premavalli, 2010) สำหรับค่าการละลายจะสัมพันธ์กับกำลังการพองตัวโดยจะเห็น

ได้ว่าค่าการละลายแปรตามค่ากำลังการพองตัว เมื่อกำลังการพองตัวมีค่าลดลงค่าการละลายจะมีค่าลดลงด้วย ในกรณีที่ค่าการละลายมีค่าสูงอาจเนื่องมาจากการที่มีไหมข้าวโพดลอยปะปนลงมาลงมากับน้ำ นอกจากนี้อาจมีสารประกอบต่างๆที่สามารถละลายน้ำได้ ผลงานวิจัยของ Cha และคณะ (2012) รายงานว่า ไหมข้าวโพดขนาดเฉลี่ยประมาณ 21 ถึง 200 ไมครอน มีองค์ประกอบเป็นน้ำตาลอิสระสูงถึงร้อยละ 5.9 ถึง 6.0 ซึ่งเป็นส่วนที่อาจจะละลายออกมาจากไหมข้าวโพดจึงทำให้ค่าการละลายมีค่าสูงขึ้น เมื่อเทียบกับแป้งข้าวเจ้า พบว่า ไหมทุกขนาดมีความสามารถในการพองตัวและการละลายมากกว่าแป้งข้าวเจ้า

ตารางที่ 4.5 กำลังการพองตัว และการละลายของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

ชนิดตัวอย่าง	กำลังการพองตัว (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)		การละลาย (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)	
	85°C	90°C	85°C	90°C
แป้งข้าวเจ้าเฉี้ยงพัทลุง	7.3 ± 0.0	9.9 ± 0.0	3.9 ± 0.0	5.5 ± 0.0
CS ไม่แยกขนาด	14.9^{a} ± 0.2	11.4^{a} ± 0.3	37.3^{a} ± 3.8	20.7^{bc} ± 0.5
CS 300µm	12.0^{a} ± 0.0	12.8^{a} ± 1.5	19.2^{c} ± 2.2	28.6^{ab} ± 3.2
CS 150µm	13.7^{a} ± 0.7	13.1^{a} ± 0.1	26.0^{b} ± 1.0	27.3^{abc} ± 3.7
CS 125µm	12.9^{a} ± 0.3	12.9^{a} ± 0.1	25.0^{b} ± 2.3	27.7^{abc} ± 0.1
CS 75µm	11.6^{a} ± 0.3	7.7^{b} ± 1.7	40.6^{a} ± 1.3	30.2^{a} ± 5.8
CS 45µm	15.2^{a} ± 3.7	11.7^{a} ± 0.1	25.1^{b} ± 1.1	19.8^{c} ± 0.9

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ
ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \le 0.05$)

4.5 สมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

4.5.1 ค่าสีของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด พบว่าเมื่อเพิ่มสัดส่วนของไหมข้าวโพดขนาดต่างๆ ที่ระดับทดแทนร้อยละ 5 10 15 และ 20 ลงในแป้งข้าวเจ้าจะเห็นได้ว่าค่า L* (ความสว่าง) ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \le 0.05$) ขณะที่ค่า a* (+แดง, -เขียว) และ b* (+เหลือง, -น้ำเงิน) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \le 0.05$)

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ขนาด อัตราส่วน และอิทธิพลร่วมของขนาดและอัตราส่วน มีผลต่อค่าสีของแป้งผสมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าแป้งที่ผสมไหมข้าวโพดขนาด ≤300 ไมครอน มี L* หรือความสว่างสูงที่สุด รองลงมาเป็นขนาด 125 150 75 และ 45 ไมครอน ตามลำดับ ขณะที่ค่า a* ของแป้งที่ผสมไหมขนาด ≤75 ไมครอน มีค่า a* หรือค่าสีแดงสูงที่สุด รองลงมาเป็นขนาด 125 45 150 และ 300 ไมครอน ตามลำดับ ค่า b* ของแป้งที่ผสมไหมขนาด ≤45 ไมครอน มีค่าสูงที่สุดหรือค่าสีเหลืองมากที่สุดรองลงมาคือ 75 125 150 และ 300 ไมครอน ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 5 ส่งผลให้มีค่า L* มากที่สุด รองลงมาคือ ร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ ขณะที่ค่า a* และ b* มีค่าต่ำที่สุดที่สัดส่วนทดแทนร้อยละ 5 และมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของไหมข้าวโพดเป็นร้อยละ 10 15 และ 20 ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าแป้งผสมจะมีสีเหลืองน้ำตาลอ่อนไปจนถึงสีเหลืองอ่อนเมื่อเพิ่มสัดส่วนของไหมข้าวโพดในแป้งผสมความเข้มของสีจะเพิ่มขึ้น

4.5.2 **ลักษณะรูปร่างและพื้นผิวของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด**

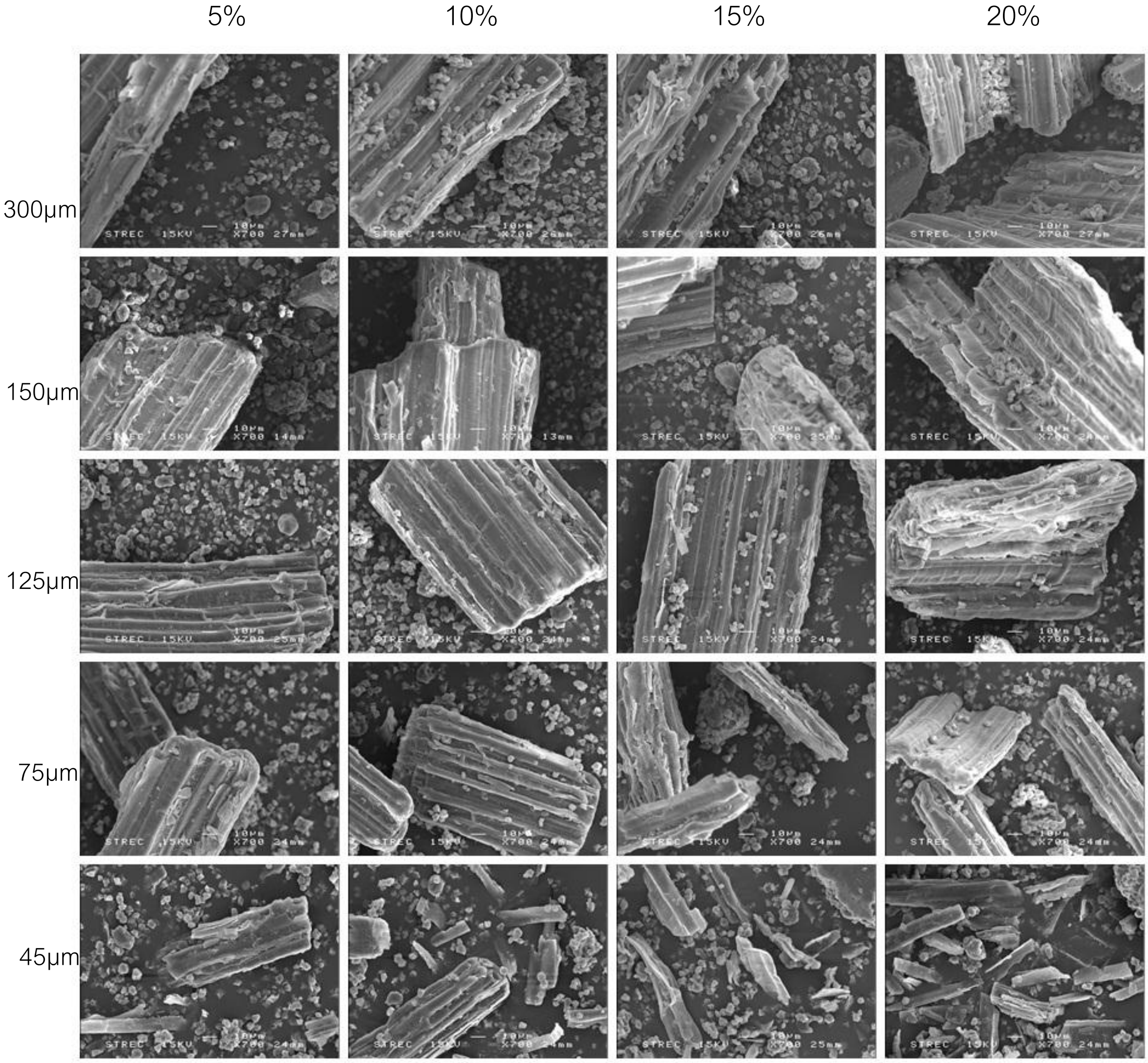
จากการวิเคราะห์รูปร่างและพื้นผิวของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาดอนุภาคและระดับทดแทนต่างๆ พบว่า ไหมข้าวโพดที่ขนาดอนุภาคต่างๆ มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าแป้งข้าวเจ้า เมื่อลดขนาดอนุภาคของไหมข้าวโพดจะเห็นได้ว่าไหมข้าวโพดมีขนาดเล็กลงแต่ยังคงมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าแป้งข้าวเจ้าอยู่ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการบดลดขนาดและการแยกขนาดอนุภาคของไหมข้าวโพด ด้วยลักษณะที่เป็นรูปร่างแบบแท่งจึงอาจทำให้ไหมข้าวโพดสามารถลอดผ่านรูตะแกรงของ test sieve ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าอนุภาคของแป้งข้าวเจ้าเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของไหมข้าวโพด โดยบางส่วนมีการเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ทำให้เมื่อส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดจึงเห็นลักษณะดังภาพที่ 4.7 และ 4.8

ตารางที่ 4.6 ค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

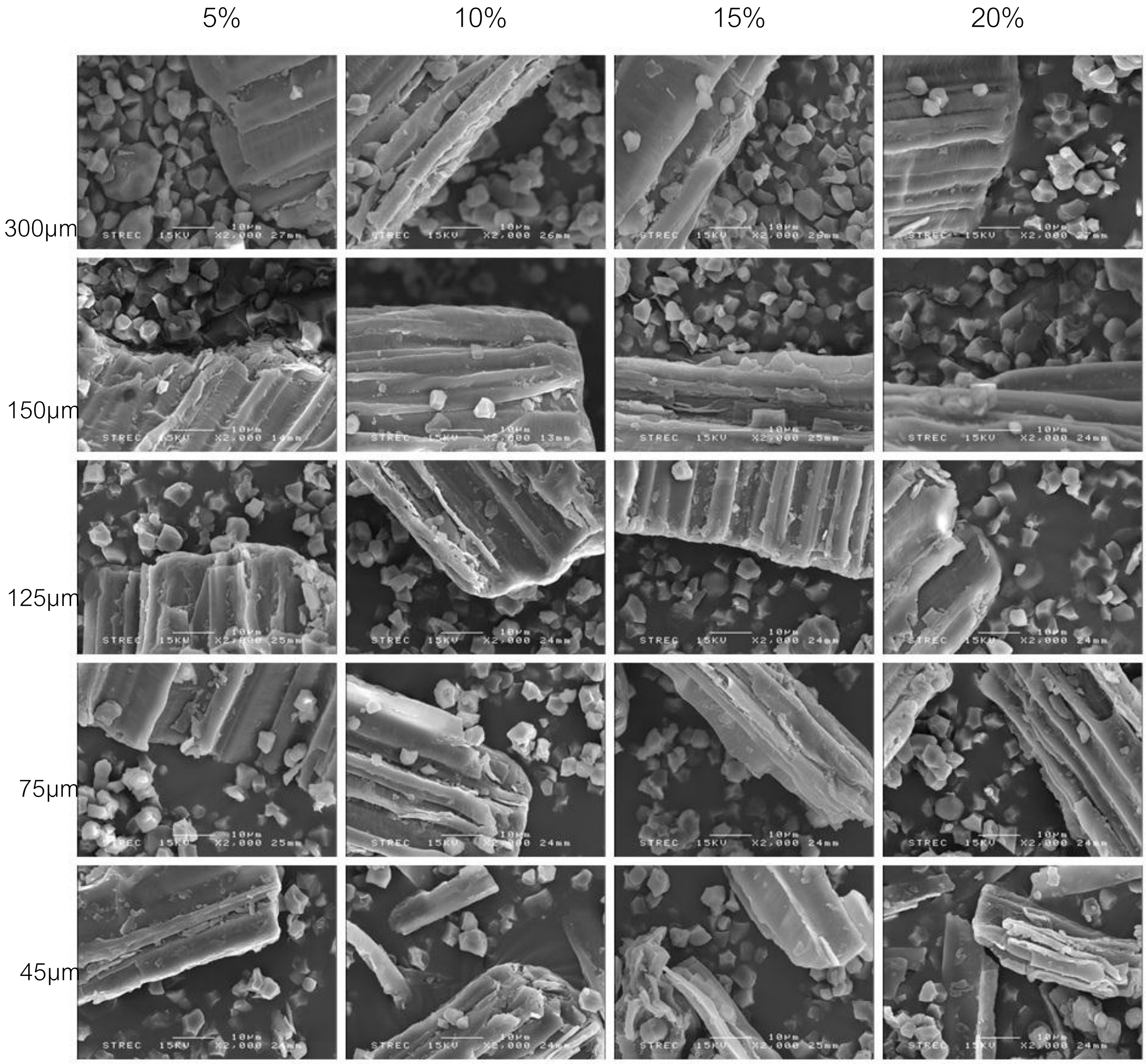
ขนาด CS	อัตราส่วน	ค่าสี		
		L*	a*	b*
	0%	$77.7^{a} \pm 0.1$	$-1.1^{r} \pm 0.0$	$1.5^{s} \pm 0.0$
300µm	5%	$75.7^{b} \pm 0.3$	$-0.6^{q} \pm 0.0$	$1.6^{r} \pm 0.0$
	10%	$74.0^{e} \pm 0.1$	$-0.2^{n} \pm 0.0$	$2.1^{q} \pm 0.0$
	15%	$72.1^{h} \pm 0.1$	$0.1^{j} \pm 0.0$	$2.5^{o} \pm 0.1$
	20%	$70.6^{j} \pm 0.3$	$0.4^{f} \pm 0.0$	$3.0^{l} \pm 0.0$
150µm	5%	$74.4^{d} \pm 0.1$	$-0.5^{p} \pm 0.0$	$1.7^{r} \pm 0.0$
	10%	$73.4^{f} \pm 0.1$	$-0.1^{m} \pm 0.0$	$2.4^{p} \pm 0.0$
	15%	$70.6^{j} \pm 0.2$	$0.2^{i} \pm 0.0$	$2.6^{n} \pm 0.1$
	20%	$69.6^{l} \pm 0.3$	$0.6^{d} \pm 0.0$	$3.5^{j} \pm 0.1$
125µm	5%	$75.2^{c} \pm 0.1$	$-0.3^{o} \pm 0.0$	$2.2^{q} \pm 0.0$
	10%	$72.8^{g} \pm 0.1$	$0.1^{k} \pm 0.0$	$2.7^{m} \pm 0.0$
	15%	$70.9^{i} \pm 0.1$	$0.4^{g} \pm 0.0$	$3.3^{k} \pm 0.1$
	20%	$68.5^{kl} \pm 0.1$	$0.7^{c} \pm 0.0$	$4.2^{h} \pm 0.1$
75µm	5%	$73.9^{e} \pm 0.1$	$-0.0^{l} \pm 0.0$	$3.7^{i} \pm 0.0$
	10%	$71.6^{i} \pm 0.1$	$0.5^{e} \pm 0.0$	$5.1^{g} \pm 0.1$
	15%	$70.0^{k} \pm 0.1$	$0.8^{b} \pm 0.0$	$6.6^{e} \pm 0.1$
	20%	$68.5^{n} \pm 0.1$	$1.2^{a} \pm 0.2$	$7.7^{d} \pm 0.1$
45µm	5%	$73.6^{ef} \pm 0.1$	$-0.3^{o} \pm 0.0$	$6.1^{f} \pm 0.0$
	10%	$71.5^{i} \pm 0.1$	$0.0^{l} \pm 0.0$	$8.0^{c} \pm 0.0$
	15%	$69.9^{kl} \pm 0.1$	$0.3^{h} \pm 0.0$	$9.5^{b} \pm 0.0$
	20%	$68.1^{m} \pm 0.1$	$0.6^{d} \pm 0.0$	$10.7^{a} \pm 0.0$

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.7 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 20 โดยใช้ไหมข้าวโพดที่มีขนาด ≤300 ≤150 ≤125 ≤75 และ ≤45 ไมครอน (ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 700 เท่า)



ภาพที่ 4.8 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 5 10 15 20 โดยใช้ไหมข้าวโพดที่มีขนาด ≤300 ≤150 ≤125 ≤75 และ ≤45 ไมครอน (ภาพถ่ายที่กำลังขยาย 2,000 เท่า)

4.5.3 ขนาดและการกระจายอนุภาคเฉลี่ยของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

จากการวิเคราะห์ขนาดเฉลี่ยและการกระจายขนาดของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ จะทำให้ค่าเฉลี่ยของขนาดมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาด ≤45 µm มีแนวโน้มลดลงแต่ยังมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยมากกว่าแป้งข้าวเจ้า (ภาพที่ 4.9 และ 4.10) เมื่อดูจากการเปลี่ยนขนาดที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่า เมื่อไหมข้าวโพดมีขนาดเล็กลงจะทำให้ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งผสมมีค่าลดลงด้วย

เมื่อพิจารณาจากอิทธิพลของขนาด อัตราส่วน และอิทธิพลร่วมของขนาดและอัตราส่วนพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) โดยพบว่าในทุกอัตราส่วนของไหมข้าวโพดที่ขนาด ≤300 ไมครอน จะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาเป็น ≤150 ≤125 ≤75 และ ≤45 ไมครอน ตามลำดับ ขณะที่ในทุกขนาดของไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 20 จะมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุด รองลงมาเป็นร้อยละ 15 10 และ 5 ตามลำดับ

คุณสมบัติทางเคมีกายภาพของใยอาหารขึ้นอยู่กับโครงสร้างและองค์ประกอบของใยอาหาร จากหลายๆ งานวิจัยบ่งชี้ว่าขนาดของอนุภาคมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางเคมีกายภาพของใยอาหาร (Mongeau and Brassard, 1982)

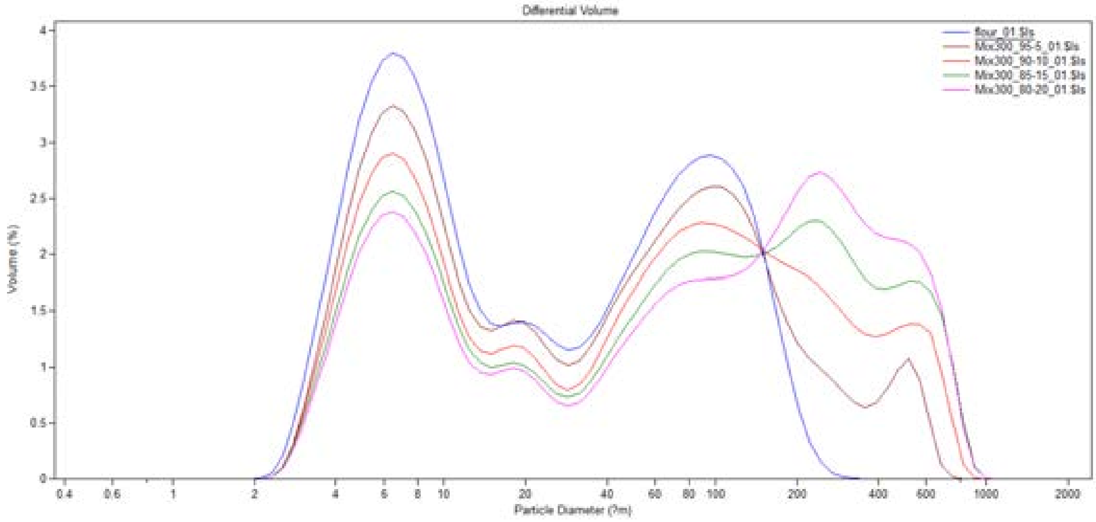
ตารางที่ 4.7 ขนาดและการกระจายอนุภาคของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ขนาดอนุภาคเฉลี่ย* D[4, 3] (μm)
แป้งข้าวเจ้า	0%	44.96[l] ± 1.19
แป้งข้าวเจ้า + CS ≤300μm	5%	81.45[f] ± 1.42
	10%	119.70[c] ± 0.42
	15%	150.45[b] ± 1.06
	20%	167.55[a] ± 0.21
แป้งข้าวเจ้า + CS ≤150μm	5%	69.88[h] ± 0.08
	10%	86.52[e] ± 2.58
	15%	99.45[d] ± 3.47
	20%	119.55[c] ± 1.63
แป้งข้าวเจ้า + CS ≤125μm	5%	61.39[j] ± 0.62
	10%	74.15[g] ± 1.91
	15%	86.36[e] ± 3.15
	20%	99.86[d] ± 0.77
แป้งข้าวเจ้า + CS ≤75μm	5%	54.78[k] ± 0.03
	10%	66.13[i] ± 1.80
	15%	69.50[h] ± 0.68
	20%	73.05[g] ± 0.19
แป้งข้าวเจ้า + CS ≤45μm	5%	44.14[l] ± 0.29
	10%	40.75[m] ± 0.31
	15%	39.75[m] ± 0.16
	20%	38.01[m] ± 0.35

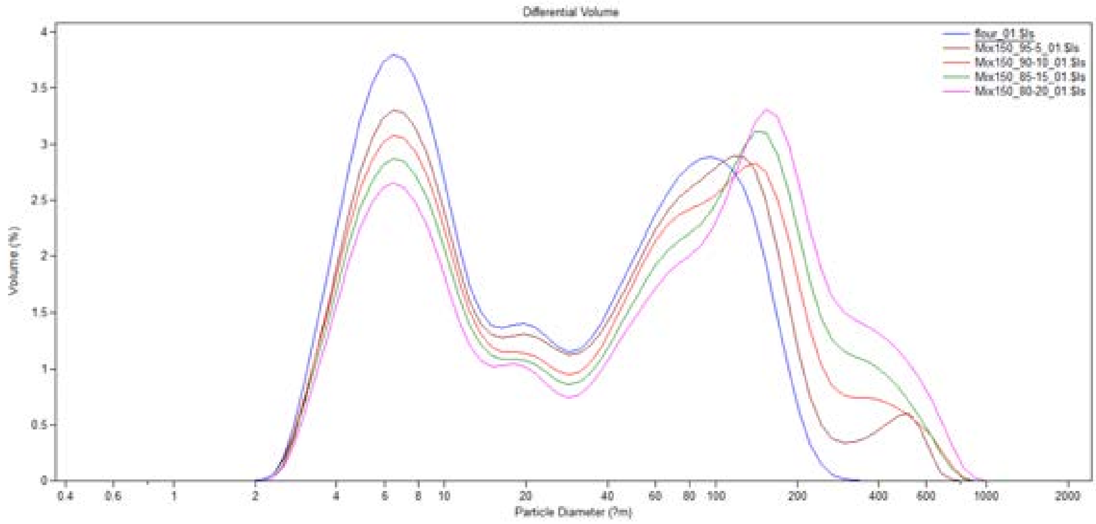
ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

*ค่าเฉลี่ยของขนาดและการกระจายอนุภาคโดยปริมาตรต่อพื้นผิว

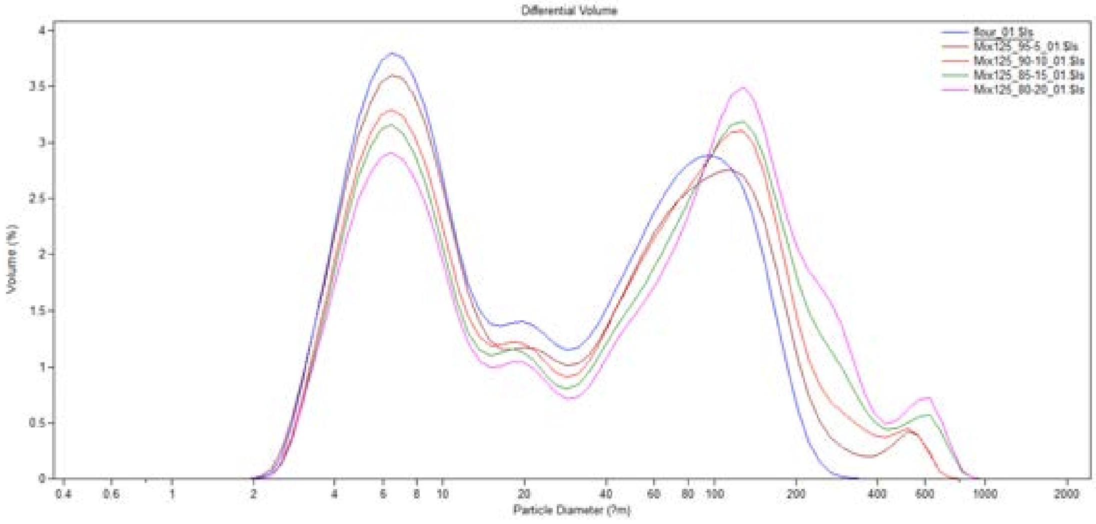


(a) แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาด ≤300 μm ทุกอัตราส่วน

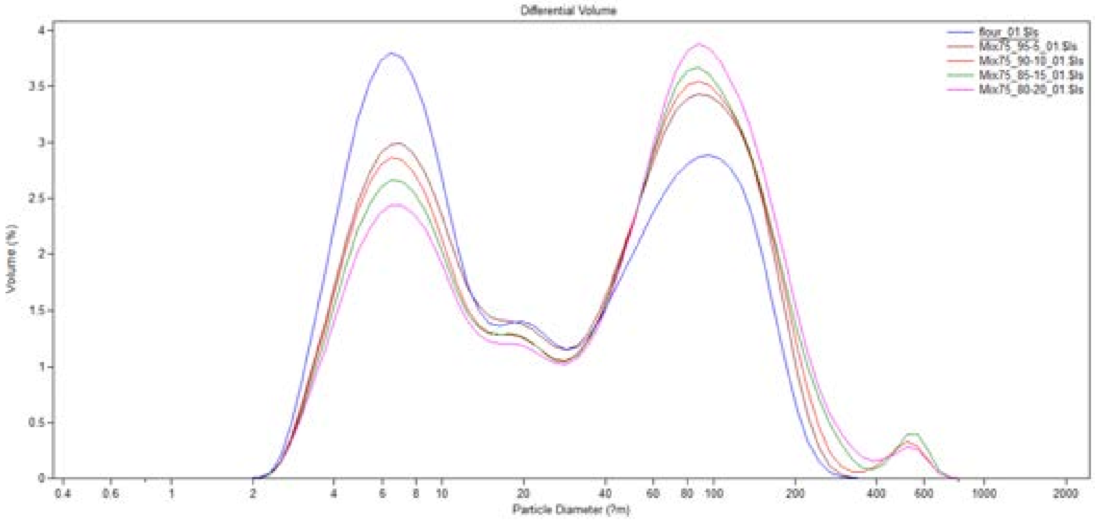


(b) แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาด ≤150 μm ทุกอัตราส่วน

ภาพที่ 4.9 การกระจายขนาดอนุภาคของแป้งข้าวผสมไหมข้าวโพดในอัตราส่วนแป้ง:ไหมข้าวโพดเท่ากับ 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 โดยใช้ไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ (a) ≤300 μm (b) ≤150 μm (c) ≤125 μm (d) ≤75 μm (e) ≤45 μm

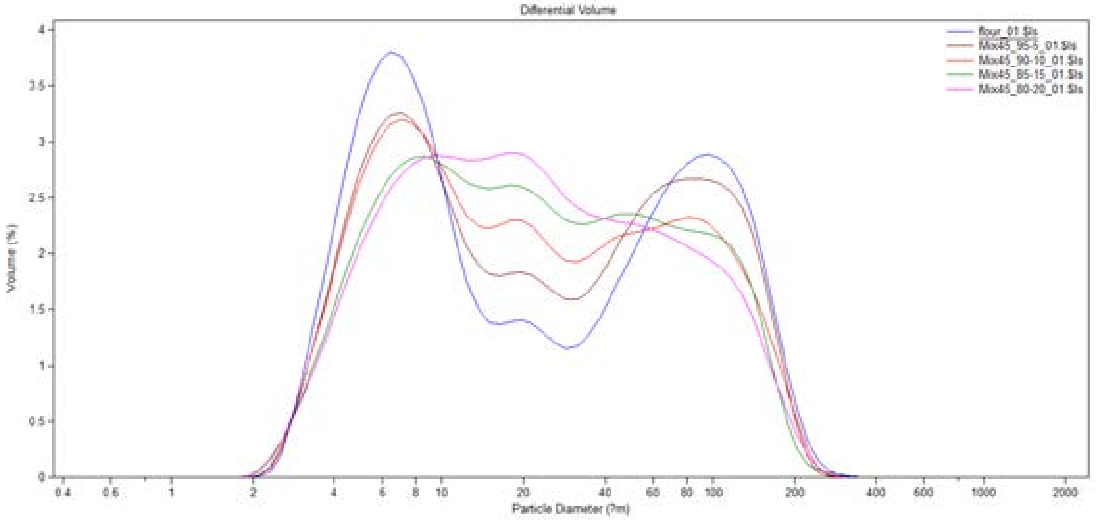


(c) แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาด ≤125 μm ทุกอัตราส่วน



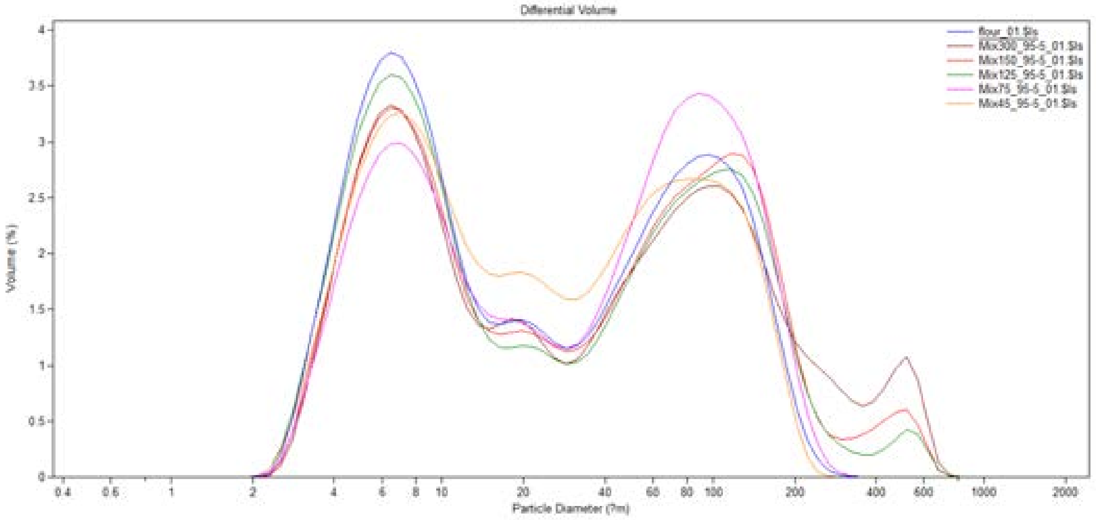
(d) แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาด ≤75 μm ทุกอัตราส่วน

ภาพที่ 4.9 (ต่อ) การกระจายขนาดอนุภาคของแป้งข้าวผสมไหมข้าวโพดในอัตราส่วนแป้ง:ไหมข้าวโพดเท่ากับ 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 โดยใช้ไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ (a) ≤300 μm (b) ≤150 μm (c) ≤125 μm (d) ≤75 μm (e) ≤45 μm



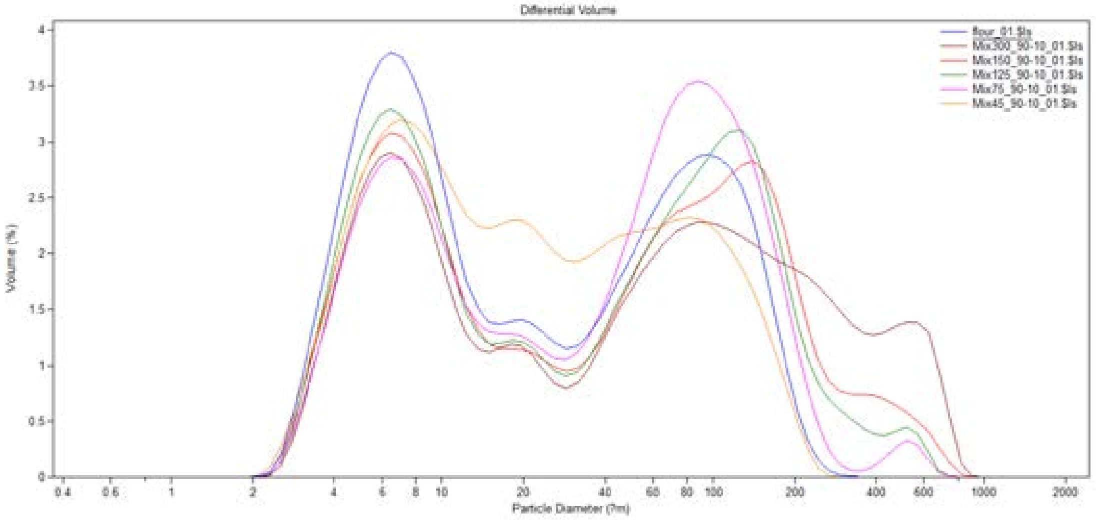
(e) แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาด ≤45 μm ทุกอัตราส่วน

ภาพที่ 4.9 (ต่อ) การกระจายขนาดอนุภาคของแป้งข้าวผสมไหมข้าวโพดในอัตราส่วนแป้ง:ไหมข้าวโพดเท่ากับ 100:0 95:5 90:10 85:15 และ 80:20 โดยใช้ไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ (a) ≤300 μm (b) ≤150 μm (c) ≤125 μm (d) ≤75 μm (e) ≤45 μm

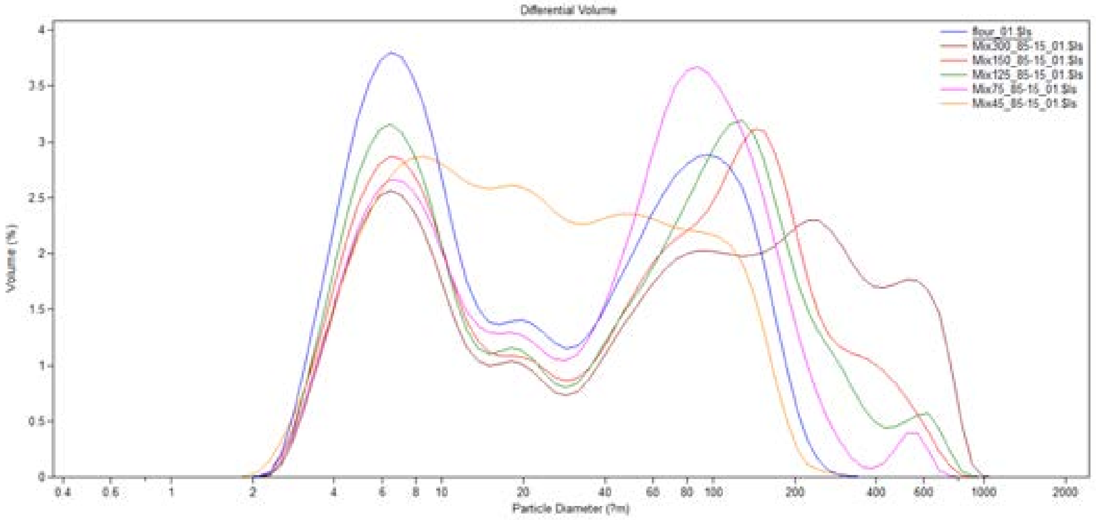


(a) แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่มีอัตราส่วน 95:5 ทุกขนาด

ภาพที่ 4.10 การกระจายขนาดอนุภาคของแป้งข้าวผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ ≤45 μm ถึง ≤300 μm ในสัดส่วนแป้ง:ไหมข้าวโพดต่างๆ (a) 95:5 (b) 90:10 (c) 85:15 (d) 80:20

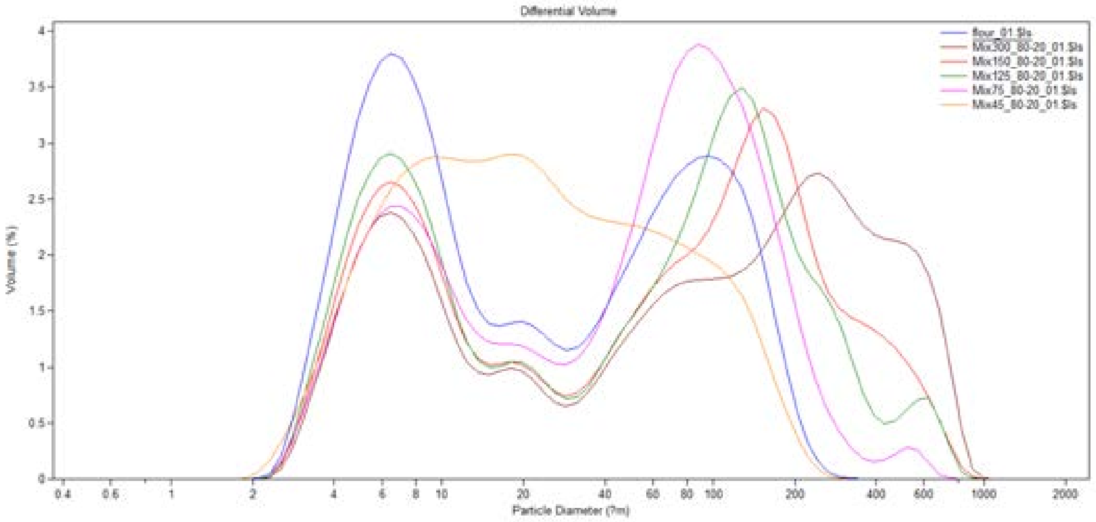


(b) แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่มีอัตราส่วน 90:10 ทุกขนาด



(c) แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่มีอัตราส่วน 85:15 ทุกขนาด

ภาพที่ 4.10 (ต่อ) การกระจายขนาดอนุภาคของแป้งข้าวผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ ≤45 µm ถึง ≤300 µm ในสัดส่วนแป้ง:ไหมข้าวโพดต่างๆ (a) 95:5 (b) 90:10 (c) 85:15 (d) 80:20



(d) แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่มีอัตราส่วน 80:20 ทุกขนาด

ภาพที่ 4.10 (ต่อ) การกระจายขนาดอนุภาคของแป้งข้าวผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคตั้งแต่ ≤45 μm ถึง ≤300 μm ในสัดส่วนแป้ง:ไหมข้าวโพดต่างๆ (a) 95:5 (b) 90:10 (c) 85:15 (d) 80:20

4.6 สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

4.6.1 ความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

จากการวิเคราะห์ความสามารถในการจับน้ำของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด พบว่า แป้งข้าวเจ้ามีค่าความสามารถในการจับน้ำเท่ากับ 1.10 ± 0.0 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ไหมข้าวโพดที่ขนาด ≤300 ≤150 ≤125 ≤75 และ ≤45 ไมครอนในทุดสัดส่วน มีค่าความสามารถในการจับน้ำอยู่ในช่วง 1.27-1.73 1.19-1.91 1.23-1.74 1.15-1.73 และ 1.21-1.63 กรัมน้ำต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ เมื่อเทียบกับแป้งข้าวเจ้าเห็นได้ว่าแป้งผสมมีค่าความสามารถในการจับน้ำสูงกว่าแป้งข้าวเจ้า (ตารางที่ 4.8) เมื่อเพิ่มสัดส่วนของไหมข้าวโพด พบว่า แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดมีค่าความสามารถในการจับน้ำเพิ่มสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) ขณะที่การเปลี่ยนขนาดของไหมข้าวโพดที่สัดส่วนทดแทนต่างๆ ไม่มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการจับน้ำที่ชัดเจน อาจสรุปได้ว่าขนาดของไหมข้าวโพดไม่มีผลต่อความสามารถในการจับน้ำ

เมื่อวิเคราะห์ความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาดและสัดส่วนต่างๆ พบว่าแป้งข้าวเจ้ามีค่าความสามารถในการจับน้ำมันเท่ากับ 1.38 ± 0.1

กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง แป้งผสมไหมข้าวโพดที่ขนาด ≤300 ≤150 ≤125 ≤75 และ ≤45 ไมครอนในทุดสัดส่วน มีค่าความสามารถในการจับน้ำอยู่ในช่วง 1.28-1.53 1.18-1.32 1.24-1.29 0.96-1.35 และ 1.23-1.39 กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ แป้งผสมไหมข้าวโพดมีความสามารถในการจับน้ำมันน้อยกว่าแป้งข้าวเจ้า โดยขนาดและอัตราส่วนของไหมข้าวโพดส่งผลต่อความสามารถในการจับน้ำมันเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาอิทธิพลของขนาดของไหมข้าวโพดต่อความสามารถในการจับน้ำมัน พบว่า ในทุกสัดส่วนทดแทน ไหมข้าวโพดที่ขนาด ≤300 ไมครอน ส่งผลให้แป้งผสมมีค่าความสามารถในการจับน้ำมันมากที่สุด ขณะที่ไหมข้าวโพดขนาด ≤75 ไมครอน มีความสามารถในการจับน้ำมันน้อยที่สุด ในส่วนของอิทธิพลของสัดส่วนทดแทนต่อความสามารถในการจับน้ำมัน พบว่า ในทุกขนาดของไหมข้าวโพดที่สัดส่วนร้อยละ 20 มีความสามารถในการจับน้ำมันมากที่สุด รองลงมาเป็นอัตราส่วนร้อยละ 15 10 และ 5 ตามลำดับ

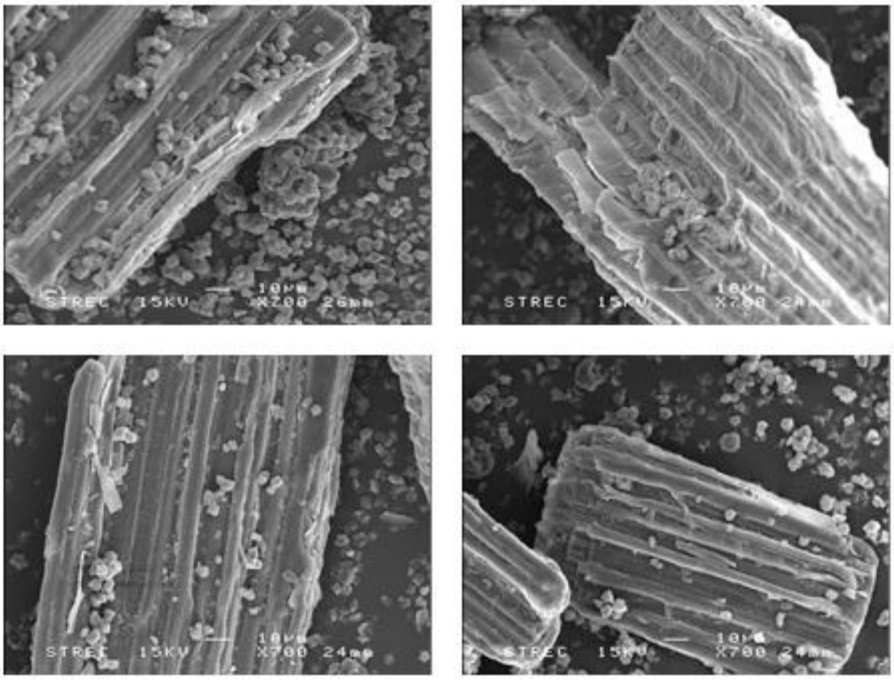
เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับผลการจับน้ำมันของไหมข้าวโพด จะเห็นว่าในการทดลองนี้ไหมข้าวโพดมีความสามารถในการจับน้ำมันสูงกว่าแป้งข้าว ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากไหมข้าวโพดมีโพรงและความพรุนสูง (ภาพที่ 4.11) แต่เมื่อผสมไหมข้าวโพดกับแป้งข้าวเจ้าแล้วกลับทำให้แป้งผสมมีความสามารถในการจับน้ำมันลดลง สันนิษฐานว่ามีเม็ดแป้งเข้าไปอุดในโพรงทำให้ไหมข้าวโพดไม่สามารถดูดน้ำมันเข้าในโพรงได้อย่างเต็มที่ นอกจากนี้ เม็ดแป้งที่อยู่ในโพรงยังมีโอกาสสัมผัสกับน้ำมันได้น้อย ทำให้แป้งผสมไหมข้าวโพดจับน้ำมันได้น้อยลง

ตารางที่ 4.8 ความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	ความสามารถในการจับน้ำ (กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่างแห้ง)	ความสามารถในการจับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมตัวอย่างแห้ง)
แป้งข้าวเจ้า	0%	1.10[l] ± 0.0	1.38[bc] ± 0.1
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤300µm	5%	1.27[hi] ± 0.0	1.32[bcdef] ± 0.1
	10%	1.32[gh] ± 0.2	1.28[defg] ± 0.0
	15%	1.38[fg] ± 0.1	1.31[bcde] ± 0.0
	20%	1.73[b] ± 0.0	1.53[a] ± 0.1
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤150µm	5%	1.19[jk] ± 0.0	1.32[bcdef] ± 0.1
	10%	1.33[gh] ± 0.0	1.19[hi] ± 0.1
	15%	1.40[d] ± 0.2	1.22[ghi] ± 0.1
	20%	1.91[a] ± 0.2	1.18[i] ± 0.1
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤125µm	5%	1.23[ij] ± 0.0	1.25[efghi] ± 0.0
	10%	1.43[f] ± 0.0	1.24[efghi] ± 0.0
	15%	1.53[d] ± 0.0	1.29[defg] ± 0.1
	20%	1.74[ab] ± 0.1	1.29[defg] ± 0.4
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤75µm	5%	1.15[kl] ± 0.1	0.94[j] ± 0.1
	10%	1.34[g] ± 0.0	1.27[efgh] ± 0.0
	15%	1.54[d] ± 0.0	1.25[efghi] ± 0.0
	20%	1.73[b] ± 0.0	1.35[bcd] ± 0.1
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤45µm	5%	1.21[ijk] ± 0.0	1.32[bcdef] ± 0.0
	10%	1.35[g] ± 0.0	1.23[fghi] ± 0.0
	15%	1.49[e] ± 0.0	1.30[cdefg] ± 0.0
	20%	1.63[c] ± 0.0	1.39[b] ± 0.1

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)



ภาพที่ 4.11 เม็ดแป้งอยู่ในบริเวณโพรงไหมข้าวโพด

4.6.2 กำลังการพองและการละลายของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพด

จากการศึกษากำลังการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด พบว่า กำลังการพองตัวมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ผลของการศึกษากำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 85°C และ 90°C ที่ทุกขนาดของไหมข้าวโพด พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนและลดขนาดอนุภาคของไหมข้าวโพด กำลังการพองตัวมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณไหมข้าวโพดที่เพิ่มขึ้นแทนที่ส่วนของแป้งข้าวเจ้าที่มีกำลังการพองตัวสูง และการลดขนาดทำให้โครงสร้างรูพรุนของไหมข้าวโพดถูกทำลาย จึงทำให้แป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดมีกำลังการพองตัวลดลง ทั้งนี้กำลังการพองตัวของแป้งผสมแปรอยู่ในช่วงแคบๆ กล่าวคือ 6.5 ถึง 7.3 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้งที่อุณหภูมิ 85°C และ 7.9 ถึง 9.8 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้งที่อุณหภูมิ 90°C จากการศึกษาค่าการละลายที่อุณหภูมิ 85°C และ 90°C ของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด พบว่า ค่าการละลายของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาค ≤300 และ ≤150 ไมครอน มีค่าการละลายเพิ่มสูงขึ้นในขณะที่ค่าการละลายของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาดอนุภาคตั้งแต่ ≤125 ≤75 และ ≤45 ไมครอน มีค่าการละลายลดลงอย่างมาก ทั้งนี้จากการทดลอง สังเกตได้ว่าแป้งข้าวเจ้าที่ผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาด ≤125 ≤75 และ ≤45 ไมครอน เมื่อได้รับความร้อนแล้วจะมีลักษณะ

คล้ายเจล สันนิษฐานว่า ไหมข้าวโพดขนาดเล็กมีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นและจับกับแอมิโลสที่ละลายออกมาได้ดีขึ้น จึงส่งเสริมให้มีการสร้างเจลได้ดีขึ้นการละลายจึงลดลง

ในส่วนของอิทธิพลของสัดส่วนทดแทนต่อค่าการละลายของไหมข้าวโพดที่อุณหภูมิ 85°C และ 90°C ของแป้งผสมไหมข้าวโพด พบว่า แป้งที่ผสมไหมข้าวโพดขนาดต่างๆในสัดส่วนร้อยละ 20 มีค่าการละลายมากที่สุด ขณะที่ค่าการละลายของแป้งที่ผสมไหมข้าวโพดขนาดต่างๆ ในสัดส่วนร้อยละ 5 มีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.9 กำลังการพองและการละลายของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	กำลังการพองตัว (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)		การละลาย (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)	
		85°C	90°C	85°C	90°C
แป้งข้าวเจ้า	0	$7.3^{ab} \pm 0.0$	$9.9^{a} \pm 0.0$	$3.9^{e} \pm 0.0$	$5.5^{g} \pm 0.0$
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤300µm	5%	$7.3^{a} \pm 0.2$	$9.5^{b} \pm 0.1$	$4.4^{d} \pm 0.0$	$6.9^{f} \pm 0.4$
	10%	$7.0^{cd} \pm 0.1$	$9.2^{bcd} \pm 0.0$	$5.0^{c} \pm 0.1$	$8.5^{bc} \pm 0.0$
	15%	$6.8^{defg} \pm 0.1$	$8.9^{efg} \pm 0.2$	$5.0^{c} \pm 0.1$	$7.8^{de} \pm 0.2$
	20%	$6.8^{def} \pm 0.0$	$8.9^{efg} \pm 0.1$	$6.2^{b} \pm 0.1$	$8.9^{b} \pm 0.1$
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤150µm	5%	$7.1^{bc} \pm 0.1$	$9.8^{a} \pm 0.2$	$4.5^{d} \pm 0.0$	$7.3^{ef} \pm 0.2$
	10%	$7.1^{bc} \pm 0.0$	$9.3^{bc} \pm 0.0$	$5.0^{c} \pm 0.1$	$7.3^{f} \pm 0.2$
	15%	$6.9^{cd} \pm 0.0$	$9.0^{cde} \pm 0.3$	$6.2^{b} \pm 0.0$	$8.1^{cd} \pm 0.9$
	20%	$6.9^{cde} \pm 0.0$	$8.9^{def} \pm 0.0$	$7.4^{a} \pm 0.2$	$9.8^{a} \pm 0.1$
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤125µm	5%	$6.8^{def} \pm 0.1$	$8.8^{efg} \pm 0.2$	$0.6^{kl} \pm 0.0$	$1.0^{h} \pm 0.0$
	10%	$6.9^{cde} \pm 0.0$	$8.6^{fgh} \pm 0.0$	$0.7^{ijk} \pm 0.0$	$1.1^{h} \pm 0.0$
	15%	$6.8^{def} \pm 0.1$	$8.3^{hij} \pm 0.0$	$0.8^{hi} \pm 0.0$	$1.2^{h} \pm 0.0$
	20%	$6.8^{def} \pm 0.3$	$8.1^{ijk} \pm 0.0$	$1.0^{fg} \pm 0.1$	$1.3^{h} \pm 0.0$
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤75µm	5%	$7.0^{cd} \pm 0.0$	$8.4^{hi} \pm 0.0$	$0.6^{l} \pm 0.0$	$0.9^{h} \pm 0.0$
	10%	$6.7^{efgh} \pm 0.1$	$8.5^{gh} \pm 0.1$	$0.7^{jkl} \pm 0.0$	$1.0^{h} \pm 0.0$
	15%	$6.5^{h} \pm 0.1$	$8.0^{jk} \pm 0.1$	$0.9^{h} \pm 0.0$	$1.0^{h} \pm 0.0$
	20%	$6.8^{def} \pm 0.2$	$8.1^{jk} \pm 0.3$	$1.0^{g} \pm 0.0$	$1.1^{h} \pm 0.0$
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤45µm	5%	$6.9^{cde} \pm 0.1$	$8.8^{efg} \pm 0.1$	$0.7^{jkl} \pm 0.0$	$0.9^{h} \pm 0.0$
	10%	$7.1^{bc} \pm 0.1$	$8.6^{fgh} \pm 0.2$	$0.8^{hij} \pm 0.0$	$1.0^{h} \pm 0.1$
	15%	$6.6^{fgh} \pm 0.1$	$8.3^{hij} \pm 0.0$	$1.0^{g} \pm 0.0$	$1.1^{h} \pm 0.0$
	20%	$6.5^{gh} \pm 0.1$	$7.9^{k} \pm 0.0$	$1.1^{f} \pm 0.0$	$1.3^{h} \pm 0.0$

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.6.3 สมบัติด้านการเกิดเพสต์

สมบัติทางการเกิดเพสต์เป็นสมบัติที่สำคัญและมีประโยชน์ในการบ่งบอกลักษณะของแป้ง เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงให้เหมาะสมกับคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ หรือใช้ในการกำหนดปรับเปลี่ยนสูตรที่ใช้ในการผลิตได้ ตารางที่ 4.10 แสดงผลการศึกษาสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ทุกขนาดอนุภาคของไหมข้าวโพด พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของไหมข้าวโพด ค่า peak viscosity ค่า trough ค่า breakdown ค่า final viscosity ค่า setback และค่า peak time มีแนวโน้มลดลงขณะที่ค่า pasting temperature มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อลดขนาดอนุภาคของไหมข้าวโพดที่สัดส่วนต่างๆ มีผลทำให้ค่าพารามิเตอร์ของสมบัติทางการเกิดเพสต์มีแนวโน้มลดลง สอดคล้องกับการทดลองข้อ 4.6.2 ในเรื่องความสามารถในการพองตัวของแป้งผสม การพองตัวที่สูงมีผลทำให้เกิดความข้นหนืดได้ แต่การเพิ่มสัดส่วนของไหมข้าวโพดเป็นการลดสัดส่วนของแป้งที่มีการพองตัวสูง จึงส่งผลให้แป้งผสมมีการพองตัวลดลง ดังนั้นค่า peak viscosity จึงลดลง

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของขนาด สัดส่วน และอิทธิพลร่วมของขนาดอนุภาคและสัดส่วนของไหมข้าวโพดต่อแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด พบว่า การลดขนาดของไหมข้าวโพดส่งผลให้ค่า peak viscosity ค่า trough ค่า final viscosity และค่า peak time มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับค่า breakdown และ ค่า setback ของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาดอนุภาค ≤45 ไมครอน จะมีค่า breakdown และ ค่า setback มากที่สุด และที่อนุภาคขนาด ≤300 ไมครอน มีค่า breakdown และ ค่า setback น้อยที่สุด ขณะที่ค่า pasting temperature ของแป้งผสมไหมข้าวโพดที่มีอนุภาคขนาด ≤150 ไมครอน จะมีค่า pasting temperature สูงที่สุด และแป้งผสมไหมข้าวโพดที่มีอนุภาคขนาด ≤45 ไมครอน มีค่า pasting temperature ต่ำที่สุด นั่นคือ การลดขนาดของไหมข้าวโพดส่งผลให้ค่า pasting temperature มีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาอิทธิพลของสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ทุกขนาดอนุภาค พบว่า ที่สัดส่วนการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยไหมข้าวโพดที่ร้อยละ 5 มีค่า peak viscosity ค่า trough ค่า breakdown ค่า final viscosity ค่า setback และค่า peak time มากที่สุด และที่สัดส่วนการทดแทนที่ร้อยละ 20 มีค่า peak viscosity ค่า trough ค่า breakdown ค่า final viscosity ค่า setback และค่า peak time น้อยที่สุด ขณะที่ค่า pasting temperature ที่สัดส่วนการทดแทนที่ร้อยละ 15 มีค่ามากที่สุดและที่สัดส่วนทดแทนที่ร้อยละ 5 มีค่า pasting temperature น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าถ้ามีปริมาณแป้งข้าวเจ้าสูง ค่า peak viscosity ค่า breakdown ค่า setback จะมีค่าสูง ถ้าลดสัดส่วนของแป้งข้าวเจ้า

ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ก็จะลดลง โดยไหมที่มีอนุภาคขนาดเล็กรบกวนระบบน้อยจึงทำให้เมื่อลดขนาดของไหมข้าวโพด ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยลง

ตารางที่ 4.10 สมบัติด้านการเกิดความหนืดของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

ขนาด (µm)	อัตราส่วน	Peak viscosity (cP)	Trough (cP)	Breakdown (cP)	Final viscosity (cP)	Setback (cP)	Peak time (cP)	Pasting temperature (Cº)
	0%	3314.8^{a} ± 131.9	2860.0^{a} ± 128.5	454.8^{fgh} ± 34.2	5113.2^{a} ± 152.1	2253.2^{a} ± 161.7	6.5^{a} ± 0.1	88.2^{efgh} ± 0.5
300	5%	2497.7^{de} ± 357.8	2197.0^{de} ± 316.0	300.7^{i} ± 43.1	3718.8^{cd} ± 571.5	1521.8^{defg} ± 256.6	6.5^{a} ± 0.0	89.2^{cde} ± 0.5
	10%	2426.0^{def} ± 103.8	2021.3^{fg} ± 71.9	404.7^{gh} ± 34.6	4081.5^{c} ± 172.4	2060.2^{ab} ± 105.0	6.1^{fgh} ± 0.1	88.8^{ef} ± 0.3
	15%	1813.7^{i} ± 66.1	1584.0^{jk} ± 62.6	229.7^{jk} ± 14.1	3066.8^{efg} ± 85.7	1482.8^{efg} ± 56.8	6.1^{efgh} ± 0.1	90.2^{bc} ± 0.5
	20%	1389.8^{j} ± 34.8	1237.7^{m} ± 23.6	152.2^{l} ± 15.9	2452.2^{hi} ± 102.9	1214.5^{h} ± 86.6	6.0^{ghi} ± 0.1	90.7^{ab} ± 0.6
150	5%	2814.0^{bc} ± 392.4	2340.3^{cd} ± 289.8	473.7^{fg} ± 104.4	4624.2^{b} ± 611.9	2283.8^{a} ± 323.8	6.2^{defg} ± 0.0	87.6^{ghi} ± 0.6
	10%	2101.3^{gh} ± 108.7	1787.0^{hi} ± 78.2	314.3^{i} ± 31.6	3429.2^{de} ± 179.4	1642.2^{cde} ± 103.9	6.2^{cdef} ± 0.0	89.9^{bcd} ± 0.6
	15%	1867.8^{i} ± 67.0	1615.0^{jk} ± 41.4	252.8^{ij} ± 26.6	2897.5^{fg} ± 129.1	1282.5^{gh} ± 90.7	6.3^{cde} ± 0.0	91.2^{a} ± 0.3
	20%	1339.3^{j} ± 90.6	1175.5^{m} ± 73.5	163.8^{kl} ± 17.6	2339.5^{i} ± 125.3	1164.0^{h} ± 52.0	6.0^{hi} ± 0.0	91.3^{a} ± 0.2
125	5%	3199.0^{a} ± 83.7	2448.3^{bc} ± 63.6	750.7^{b} ± 74.4	4508.5^{b} ± 98.1	2060.2^{ab} ± 99.0	6.4^{abc} ± 0.1	87.9^{fghi} ± 0.2
	10%	2634.0^{cd} ± 58.5	2071.8^{ef} ± 32.4	562.2^{de} ± 46.6	3850.3^{c} ± 63.5	1778.5^{bc} ± 64.4	6.3^{bcd} ± 0.1	88.0^{fghi} ± 0.3
	15%	2320.3^{efg} ± 24.7	1915.3^{fgh} ± 60.7	405.0^{gh} ± 55.7	3256.8^{ef} ± 122.0	1341.5^{fgh} ± 179.2	6.4^{abc} ± 0.1	89.0^{def} ± 0.4
	20%	1984.8^{hi} ± 30.3	1588.5^{jk} ± 53.5	396.3^{h} ± 39.5	2754.3^{gh} ± 50.7	1165.8^{h} ± 87.6	6.3^{cde} ± 0.1	88.7^{efg} ± 0.5
75	5%	3362.0^{a} ± 142.4	2558.7^{b} ± 102.6	803.3^{ab} ± 43.8	4699.7^{b} ± 166.3	2141.0^{a} ± 65.4	6.5^{a} ± 0.1	87.3^{hij} ± 0.8
	10%	2921.8^{b} ± 115.5	2344.8^{cd} ± 135.8	577.0^{cd} ± 73.3	3947.2^{c} ± 112.2	1602.3^{cdef} ± 134.2	6.5^{a} ± 0.2	88.3^{efgh} ± 0.4
	15%	2266.3^{fg} ± 103.9	1852.2^{ghi} ± 84.5	414.2^{gh} ± 25.0	3234.3^{ef} ± 108.4	1382.2^{efgh} ± 86.3	6.4^{abcd} ± 0.1	88.7^{efg} ± 0.3
	20%	1912.0^{hi} ± 64.5	1469.2^{kl} ± 41.7	442.8^{fgh} ± 36.4	2835.7^{g} ± 68.1	1366.5^{fgh} ± 40.0	6.1^{efgh} ± 0.1	88.0^{fghi} ± 0.3
45	5%	3235.5^{a} ± 63.7	2413.7^{bc} ± 51.3	821.8^{a} ± 38.1	4565.0^{b} ± 68.3	2151.3^{a} ± 45.9	6.5^{ab} ± 0.1	87.1^{ij} ± 0.6
	10%	2622.0^{cd} ± 74.8	1989.5^{fg} ± 44.7	632.5^{c} ± 77.1	3817.8^{c} ± 168.7	1828.3^{bc} ± 148.4	6.4^{abcd} ± 0.1	87.2^{hij} ± 0.7
	15%	2229.3^{fg} ± 43.4	1732.2^{ij} ± 32.3	497.2^{ef} ± 20.6	3364.0^{de} ± 43.5	1631.8^{cde} ± 48.2	6.2^{defg} ± 0.1	87.0^{ij} ± 0.5
	20%	1771.7^{i} ± 15.5	1329.8^{lm} ± 7.9	441.8^{fgh} ± 9.7	2879.3^{fg} ± 77.2	1549.5^{def} ± 71.9	5.9^{i} ± 0.0	86.3^{j} ± 0.3

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.6.4 สมบัติด้านความแข็งแรงของเจลแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

จากการวัดความแข็งแรงของเจลแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดด้วยเครื่อง Texture Analyzer พบว่า การเพิ่มสัดส่วนของไหมข้าวโพดมีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) เมื่อลดขนาดของไหมข้าวโพดให้มีอนุภาคที่เล็กลง พบว่า ขนาดของไหมข้าวโพดที่เล็กลงตั้งแต่ที่ขนาด ≤300 ≤150 และ ≤125 ไมครอน มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลแป้งผสมค่าเพิ่มขึ้นขณะที่ไหมข้าวโพดที่มีขนาด ≤75 และ ≤45 ไมครอน มีผลทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลแป้งผสมมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05)

จากการศึกษาอิทธิพลของขนาด สัดส่วน และอิทธิพลร่วมของขนาดและสัดส่วน พบว่า ทั้งขนาด สัดส่วน และอิทธิพลร่วมของขนาดและสัดส่วนของไหมข้าวโพดมีผลต่อค่าความแข็งแรงของเจลแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดอย่างมีนัยสำคัญ (p≤0.05) พบว่าที่ทุกสัดส่วนของไหมข้าวโพดที่ขนาด ≤125 ไมครอน จะมีค่าความแข็งแรงของเจลแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดมากที่สุด และที่ขนาด ≤150 ≤300 ≤75 และ≤ 45 ไมครอน จะมีค่ารองลงมาตามลำดับ เมื่อพิจารณาสัดส่วนการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยไหมข้าวโพดพบว่า ที่สัดส่วนร้อยละ 5 มีค่าความแข็งแรงของเจลแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดมากที่สุด ที่สัดส่วนร้อยละ 10 15 และ 20 มีค่าความแข็งแรงของเจลรองลงมาตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อลดขนาดอนุภาคของไหมข้าวโพดจนถึงขนาด ≤125 ไมครอน จะมีค่าความแข็งแรงของเจลเพิ่มสูงขึ้นและมีค่าความแข็งแรงของเจลลดลงเมื่อมีขนาด ≤75 และ≤ 45 ไมครอนเมื่อเทียบกับแป้งข้าวเจ้า ขณะที่เพิ่มสัดส่วนการทดแทนไหมข้าวโพดในแป้งข้าวเจ้าพบว่า ที่ระดับการทดแทนสัดส่วนที่เพิ่มขึ้น มีแนวโน้มทำให้ค่าความแข็งแรงของเจลมีค่าลดลง

ตารางที่ 4.11 สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพด

ตัวอย่าง	อัตราส่วน	Gel strength (g.cm)
แป้งข้าวเจ้า	0%	$1.36^{bc} \pm 0.00$
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤300μm	5%	$1.32^{c} \pm 0.01$
	10%	$1.15^{de} \pm 0.02$
	15%	$0.89^{h} \pm 0.01$
	20%	$0.69^{i} \pm 0.05$
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤150μm	5%	$1.45^{b} \pm 0.06$
	10%	$1.27^{cd} \pm 0.01$
	15%	$0.92^{gh} \pm 0.10$
	20%	$0.59^{i} \pm 0.04$
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤125μm	5%	$1.64^{a} \pm 0.07$
	10%	$1.34^{bc} \pm 0.04$
	15%	$1.03^{fg} \pm 0.10$
	20%	$0.67^{i} \pm 0.05$
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤75μm	5%	$1.37^{bc} \pm 0.01$
	10%	$1.07^{ef} \pm 0.04$
	15%	$0.82^{h} \pm 0.13$
	20%	$0.41^{j} \pm 0.01$
แป้งข้าวเจ้า+CS ≤45μm	5%	$1.26^{cd} \pm 0.04$
	10%	$0.89^{h} \pm 0.04$
	15%	$0.58^{j} \pm 0.07$
	20%	$0.35^{i} \pm 0.05$

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

4.3.8 การดูดซับน้ำมัน

จากการศึกษาการดูดซับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดหลังทอด (ตารางที่ 4.12) พบว่า เมื่ออัตราส่วนของไหมข้าวโพดเพิ่มขึ้นและขนาดอนุภาคของไหมข้าวโพดมีขนาดเล็กลงค่าร้อยละการดูดซับน้ำมันมีแนวโน้มลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) เมื่อพิจารณาอิทธิพลของขนาด สัดส่วน และอิทธิพลร่วมของขนาดและสัดส่วน พบว่า เมื่อเติมไหมข้าวโพดลงในแป้งข้าวเจ้า แป้งผสมมีการดูดซับน้ำมันลดลง โดยการลดขนาดอนุภาคของไหมข้าวโพดส่งผลให้แป้งผสมมีแนวโน้มในการดูดซับน้ำมันหลังการทอดลดลง การเพิ่มสัดส่วนของไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคต่างๆ จากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 20 ส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำมันมีค่าลดลงเช่นกัน ซึ่งสอดคล้องกับค่าการจับน้ำมันของแป้งผสมที่แสดงในผลการทดลองหัวข้อ 4.6.1 ขณะที่การผสมไหมข้าวโพดที่มีขนาดลดลงจาก ≤300 เป็น ≤125 ไมครอน ในสัดส่วนใดๆ ส่งผลให้ค่าการดูดซับน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อลดขนาดไหมข้าวโพดจนถึงขนาด ≤75 และ ≤45 ไมครอน ค่าการดูดซับน้ำมันกลับมีแนวโน้มลดลง

ตารางที่ 4.12 ปริมาณการดูดซับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านการทอด

ขนาด	อัตราส่วน	ปริมาณไขมัน (%)
	0%	$32.8^{a} \pm 0.4$
300µm	5%	$23.4^{d} \pm 0.3$
	10%	$19.9^{gh} \pm 0.2$
	15%	$17.1^{kl} \pm 0.4$
	20%	$14.5^{o} \pm 0.3$
150µm	5%	$25.4^{c} \pm 0.1$
	10%	$24.2^{d} \pm 0.5$
	15%	$21.3^{e} \pm 0.1$
	20%	$14.9^{no} \pm 0.2$
125µm	5%	$28.1^{b} \pm 0.3$
	10%	$20.3^{fg} \pm 0.3$
	15%	$18.7^{ij} \pm 0.1$
	20%	$15.1^{no} \pm 0.6$
75µm	5%	$21.1^{ef} \pm 0.0$
	10%	$19.3^{hi} \pm 0.4$
	15%	$16.3^{lm} \pm 0.2$
	20%	$15.4^{mn} \pm 0.1$
45µm	5%	$19.9^{gh} \pm 0.5$
	10%	$16.3^{lm} \pm 0.6$
	15%	$13.3^{p} \pm 0.7$
	20%	$17.9^{jk} \pm 0.9$

ค่าที่แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการทดลอง 2 ซ้ำ

ค่าเฉลี่ยในสดมภ์เดียวกันที่มีอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

การเติมไหมข้าวโพดลงในแป้งข้าวเจ้าส่งผลให้ค่าความสว่างของแป้งเจ้า ความสามารถในการจับน้ำมัน กำลังการพองตัว สมบัติด้านการเพสต์ ความแข็งแรงของเจลแป้งผสม และการดูดซับน้ำมันมีค่าลดลง ขณะที่ความสามารถในการจับน้ำ และค่าการละลายมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อใช้ไหมข้าวโพดที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงในการทดแทนแป้งข้าวเจ้าทำให้ค่า L* มีค่าลดลง ขณะที่ค่า a* และ b* มีค่าเพิ่มขึ้น ขนาดไหมข้าวโพดที่เล็กลงทำให้ค่า peak viscosity ค่า trough ค่า final viscosity และค่า peak time มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนการเพิ่มสัดส่วนการทดแทนไหมข้าวโพดลงในแป้งข้าวเจ้าจากร้อยละ 5 เป็นร้อยละ 20 ค่า L* มีค่าลดลง ขณะที่ค่า a* และ b* มีค่าเพิ่มขึ้น ค่า peak viscosity ค่า breakdown ค่า setback และ ค่า pasting temperature มีแนวโน้มลดลง ขณะที่ค่า pasting temperature มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ความสามารถในการจับน้ำมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ขณะที่ความสามารถในการจับน้ำมันมีแนวโน้มลดลงซึ่งจะเห็นได้ว่า การใช้ไหมข้าวโพดผสมลงในแป้งข้าวเจ้านั้น นอกจากจะเป็นการเพิ่มใยอาหารแล้ว ยังอาจปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของแป้งข้าวเจ้าได้ อาทิ ลดการเกิด breakdown และ setback ลดการอมน้ำมันในผลิตภัณฑ์แป้งชุบทอด

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีในแต่ละช่วงอายุของไหมข้าวโพด เช่น ไหมข้าวโพดที่ได้จากข้าวโพดอ่อนและไหมข้าวโพดที่ได้จากข้าวโพดทั่วไป

2.ศึกษาการนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวเจ้าอื่นๆ อาทิเช่น เส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมไทยต่างๆ ขนมชั้น ปาท่องโก๋ เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

การข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรม. 2554. องค์ความรู้เรื่องข้าว. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.brrd.in.th/rkb/ [2554, มีนาคม 19]

วิชาการเกษตร, กรม. 2524. ข้าวโพด. เล่มที่ 4. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : ธนประดิษฐ์การพิมพ์.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า มอก. 683-2529. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.oae.go.th/main.php?filename=index [2554, มีนาคม 19]

กล้าณรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กุลรภัส วชิรศิริ, โศรดา วัลภา, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์ และ ฐิติชญา สุวรรณทัพ. 2553. ผลของการทดแทนแป้งสาลีด้วยใยอาหารจากเปลือกมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์ต่อลักษณะทางเคมีกายภาพ และคุณภาพทางประสาทสัมผัสของขนมปังขาไก่. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 (กันยายน-ธันวาคม 2553): 309-312.

ประสิทธิ์ วังภคพัฒนวงศ์. 2553. โภชนาการของข้าวและนวัตกรรมการใช้ประโยชน์. วารสารคลินิกอาหารและโภชนาการ (วคอภ.) 4 (มกราคม-มิถุนายน 2553): 32-40.

ผกาวดี นารอง. 2543. เส้นใยอาหาร (Dietary fibre): บทบาทสำคัญที่ไม่ควรมองข้าม. วารสารศูนย์บริการวิชาการ 8 (มกราคม-มีนาคม): 23-25.

วรดา อ่ำบุญ. 2550. ผลของไฮดรอกซีโพรพิลเมทิลเซลลูโลสต่อสมบัติของแบทเทอร์แป้งข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โศรดา วัลภา, กุลรภัส วชิรศิริ, ดำรงชัย สิทธิสำอางค์ และ ฐิติชญา สุวรรณทัพ. 2553. ผลของการเสริมใยอาหารจากเปลือกทุเรียนต่อคุณภาพของขนมปังขาว. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร 41 (กันยายน-ธันวาคม 2553): 205-208.

สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2547. คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย. กรุงเทพฯ: จิรวัฒน์เอ็กซ์เพรส.

อรอนงค์ นัยวิกุล. 2550. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

AOAC. 2005. Official Methods of Analysis. 17th ed. Association of Official Analysis Chemists. Washington, D.C.

Baghurst, P.A., Baghurst K.I., and Record S.J. 1996. Dietary Fiber, non-starch polysaccharides and resistant starch-A. review. Food Australia 48 (3): S3-S35.

Cha, S., Son, B., Lee, J., Baek, S., Kim, S., Ku, J., Hwang, J., Song, B., Woo, S., Kwon, Y., and Kim, J. 2012. Effect of particle size on physio-chemical properties and antioxidant activity of corn silk powder. Journal of Crop Science. 57(1): 41-50.

Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., and Blecker, C. 2011. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. Food Chemistry 124: 411-421.

Gibson, T.S., Solah, V.A., and McCleary, B.V. 1997. A procedure to measure amylose in cereal starches and flours with Concanavalin A. Journal of Cereal Science. 25: 111-119

Guo, J., Liu, T., Han, L., and Liu, Y. 2009. The effects of corn silk on glycemic metabolism. Nutrition snd Metabolism 47 (*In Press*) DOI : 10.1186/1743-7075-6-47.

Gupta, P. and Premavalli, K.S. 2010. Effect of particle size reduction on physiochemical properties of ashgourd (*Benincasa hispida*) and radish (*Raphanus sativus*) fibres. International Journal of Food Science and Nutrition. 61(1): 18-28.

Hamaker, R. B., Griffin, K.V. and Moldenhauer, K. A. K. 1991. Potential influence of a starch granule-associated protein on cooked rice stickiness. Journal of Food Science. 56(5): 1327-1329.

Hoover, R., Li, Y.X., Hynes, H., and Senanayake, N. 1997. Physicochemical characterization of mung bean starch. Food Hydrocolloids 11 : 401-408.

Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. Cereal Science Today 16(10) : 334-360.

Kalia, S., Kaith, B.S., and Kaur, I. 2011. Cellulose fibers: bio- and nano-polymer composites. New York: Springer.

Lai, P., Li, Y.K., Lu, S., and Chen H.H. 2011. Physiochemical characteristics of rice starch supplemented with dietary fibre. Food Chemistry 127 : 153-158.

Lanier, T.C. 1992. Measurement of surimi composition and functional properties. Surimi Technology. New York: Marcel Dekker, pp. 123-166.

Larrauri, J.A., Rupérez, P., Borroto, B., and Suara-Calixto F. 1996. Mango peels as a new tropical fibre: Preparation and characterization. Food Science and Technology 29 : 729-733.

Leach, H. W., McCowen, L. D., and Schoch, T. J. 1959. Structure of the starch granule.I. Swelling and solubility pattern of various starches. Cereal Chemistry 36: 534-544.

Lunn, J., and Buttriss, J.L. 2007. Carbohydrates and dietary fibre. Nutrition Bulletin. 32: 21-64.

Medcalf, D.G., and Gilles, K. A. 1965. Wheat starches I. Comparision of physicochemicals properties. Cereal Chemistry 42 : 558-568.

Montgomery, C.D. 2005. Design and Analysis of Experiments, 6thed. New York: Wiley.

Mongeau, R. and Brassard, R. 1982. Insoluble dietary fiber from breakfast cereals and brans: Bile salt binding and water holding capacity in relation to particle size. Cereal Chemistry 56 : 413-417.

Oates, C.G. 1997. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. Trends in Foods Science and Technology 8: 375-3382.

Prosky, L., Asp, N.G., Schweitzer, T.F., DeVries, W.J. and Furda, I. 1988. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: Interlaboratory. Journal of the Association of Official Analytical Chemists. 71: 1017-1024.

Raghavendra, S.N., Rastogi, N.K., Raghavarao, K.S.M.S., and Tharanathan, R.N. 2004. Dietary fiber from coconut residue: effects of different treatments and particle size on the hydration properties. European Food Research and Technology. 218: 563-567.

Sangnark, A., and Noomhorm, A. 2003. Effect of particle sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugarcane bagasse. Food Chemistry. 80: 221-229.

Schneeman, B.O. 1986. Dietary Fiber: physical and chemical properties, method of analysis and physiological effects. Food Technology. 40(2): 104-110.

Schoch, T.J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In R.L. Whistler, R.J. Smith, and J.N. Bemiller (eds.). Method in Carbohydrates Chemistry. Vol. VI. New York : Academic press, pp. 106-108.

Shin, F., and Daigle, K. 1999. Oil uptake properties of fried batters from rice flour. Journal of Agriculture Food Chemistry. 47: 1611-1615.

Varavinit, S., Shobsngob, S., Varanyanond, W., Chinachoti, P., and Naivikul, O. 2003. Effect of amylose content on gelatinization, retrogradation and pasting properties of flours from different cultivars of Thai rice. Starch/Stärke 55 : 410–415.

Vergara-Valenciaa N., Granados-Pe´reza E., Agama-Acevedoa E., Tovarb J., Rualesc J., and Bello-Pe´rez L.A. 2007. Fibre concentrate from mango fruit: Characterization, associated antioxidant capacity and application as a bakery product ingredient. Food Science and Technology 40 : 722-729.

Wang, C., Zhang, T., Liu, J., Lu, S., Zhang, C., Wang, E., and Wang, Z. 2011. Subchronic toxicity study of corn silk with rats. Journal of Ethnopharmacology 137 : 36-43.

Wang, J., Rosell, C.M., and Barber C.B. 2002. Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. Food Chemistry 79 : 221-226.

Wikipedia. 2011. Rice [Online]. Available from : http://en.wikipedia.org/wiki/Rice [2011, 16 June]

Yan-rong, Z., Xiao-ying, Y., Jia-ying, BU., Da-wei, W. 2009. Effect of particle size on physical properties of corn silk powder. Food Science 30(15) : 49-51.

Zhou, Y., Hoover, R., and Liu, Q. 2004. Relationship between α–amylase degradation and the structure and physicochemical properties of legume starches. Carbohydrate Polymers 57 : 299-317.

Zobel, H.F. 1964. X-ray analysis of granular starches. In R.L. Whistler, R.L., Smith, J.N. Bemiller, and M.L. Wolform (eds.) Methods in Carbohydrate Chemistry, Vol. IV. New York: Academic Press, pp. 109.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.03

<u>อุปกรณ์</u>

1.ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น W350, Germany)

2.ถ้วยอะลูมิเนียม

3.เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

4.โถดูดความชื้น (desiccator)

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ถ้วยอลูมิเนียมที่อบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน

2. นำตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ 130 ± 3 ^{o}C โดยเปิดฝาไว้ขณะอบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่

3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ตัวอย่างอยู่ในตู้อบ แล้วทิ้งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก

4. คำนวณหาปริมาณความชื้นจากสมการ

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ - น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}}$$

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.05

<u>อุปกรณ์</u>

1.เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)

2.ครูซิเบิล (Crusible)

3.Hot plate

4.เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

5.โถดูดความชื้น

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างแห้งที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 3-5 กรัม ใส่ในครูซิเบิลที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
2. นำตัวอย่างไปเผาบน hot plate ในตู้ดูดควัน จนตัวอย่างหมกควัน
3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 ^{o}C จนได้เถ้าสีขาวหรือน้ำหนักคงที่
4. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้และคำนวณหาปริมาณเถ้าจากสมการ

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.22

<u>อุปกรณ์</u>

1.Buchi digestion unit (รุ่น K-424, Switzerland)

2.Buchi scrubber (รุ่น B-414, Switzerland)

3.เครื่องกลั่นหาปริมาณไนโตรเจน (VELP scientific รุ่น UDK 127, Germant)

4.เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

<u>สารเคมี</u>

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (A.R. grade)
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 0.5 M
3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 0.1 M
4. สารละลายกรดบอริก (A,R, grade) ความเข้มข้น 4% (w/v)
5. สารเร่งปฏิกิริยา (selenium reagent mixture) (A.R. grade)
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 45% (w/v)
7. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมจากการละลายเมธิลเรด 1 กรัม ในเมธานอล 100 มิลลิลิตร

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.25 – 1.00 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ใส่ในหลอด Kjeldahl

2. เติมสารเร่งปฏิกิริยาประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้นปริมาตร 20 มิลลิลิตร

3. นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่อง Buchi digestion unit โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 แล้วปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอกรด (scrubber) ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดกลายเป็นสีน้ำตาลใส และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4. เทสารละลายกรดบอริกปริมาตร 50 มิลลิลิตร ลงในฟลาสก์ขนาด 500 มิลลิลิตร หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด นำฟลาสก์ที่ได้ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)

5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น นำสายสีดำของเครื่องกลั่นจุ่มลงในภาชนะบรรจุน้ำกลั่น ส่วนสายสีขาวจุ่มลงในภาชนะที่บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แล้วตั้งโปรแกรม distillation ดังนี้

NaOH	70	มิลลิลิตร
Time	8	นาที

6. ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนียขึ้น ซึ่งจะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริกในฟลาสก์ เมื่อกลั่นครบตามเวลาที่กำหนดจะได้สารละลายสีเขียวใส

7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่น ใส่ลงในฟลาสก์ที่รองรับสารที่กลั่นได้

8. นำสารละลายที่ได้จากการกลั่นมาไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานความเข้มข้น 0.5 M จนถึงจุดยุติ (end point) สารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง

9. ทำ blank โดยการเติมน้ำกลั่นปริมาตร 2 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง และวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} \times 5.95$$

เมื่อV คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

B คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต blank

N คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.13

อุปกรณ์

1.Soxhlet (Gerhardt รุ่น HC61, Germany)

2.เครื่อง evaporator (Eyela รุ่น SB-651, Japan)

3.Thimble

4.เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

5.โถดูดความชื้น (desiccator)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2-3 กรัม บนกระดาษกรอง Whatman No.1 ใส่ใน

2. นำ thimble ที่มีตัวอย่างบรรจุอยู่ใส่ลงในขวดสกัดที่อบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน

3. เติม petroleum ether ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด

4. สกัดไขมันเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง โดยให้ความร้อนแก่ petroleum ether และปรับให้หยดของตัวทำละลายกลั่นจาก condenser มีอัตรา 300-360 หยดต่อนาที

5. ระเหย petroleum ether ออกจากไขมันที่สกัดได้ แล้วนำขวดที่สกัดไปอบที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C เป็นเวลา 30 นาที หรือจนน้ำหนักคงที่

6. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด และคำนวณปริมาณไขมันจากสมการ

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธี AOAC (2005) section 32.1.15

<u>อุปกรณ์</u>

1.ครูซิเบิล (Crusible)

2.ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น W350, Germany)

3.เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)

4.เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

5.โถดูดความชื้น (desiccator)

<u>สารเคมี</u>

1.สารละลายกรดซัลฟิวริก (A.R. Grade) ความเข้มข้น 1.25% (v/v)

2.สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. Grade) ความเข้มข้น 1.25% (w/v)

3.เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

<u>วิธีทดลอง</u>

1. นำตัวอย่างที่สกัดไขมันออกแล้วใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 1.25% (v/v) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำร้อน
3. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิลิตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำกลั่นร้อนจนหมดความเป็นกรด ตรวจสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส
4. นำกากมาย่อยด้วยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% (w/v) ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มเดือดนาน 30 นาที ปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำร้อน
5. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิลิตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำกลั่นร้อนจนหมดความเป็นด่าง ตรวจสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส
6. ล้างกากที่ได้ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร 2 ครั้ง
7. อบกากที่ได้ที่อุณหภูมิ 105 ^{o}C จนน้ำหนักคงที่
8. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักก่อนนำไปเผา
9. นำตัวอย่างใส่ในครูซิเบิลที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักคงที่

10. เผาตัวอย่างบน hot plate จนหมดควัน แล้วนำเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550 °C จนได้เถ้าสีขาว

11. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมงและชั่งน้ำหนักหลังเผา คำนวณหาปริมาณเส้นใยจากสมการ

$$\text{ปริมาณเส้นใยหยาบ (\%)} = \frac{[\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)}] \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งที่ใช้ในการหาไขมัน (กรัม)}}$$

ก.6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

<u>วิธีคำนวณ</u>

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%db) = 100 - %(โปรตีน + เถ้า + ไขมัน + เส้นใยหยาบ)

ก.7 การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ตามวิธีของ Gibson, Solah และ McCleary (1997)

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Thermo Spectronic รุ่น Genesys 10 UV, USA)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

<u>สารเคมี</u>

1. สาร Concanavalin A type V1 from Sigma
2. สาร Solution 1 (เตรียมตามวิธีของ Yun และ Matheson, 1997)
3. สารละลาย 0.2 M acetate buffer pH 4.5
4. สาร α-amylase/amyloglucosidase
5. สาร Glucose-oxidase/ peroxide/ 4-aminoantipyrine/ *p*-hydroxybenzoic acid (GOPOD)

<u>วิธีทดลอง</u>

การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส

1. นำ Solution 1 ปริมาตร 0.75 มิลลิตร ใส่ในหลอด Eppendorf ขนาด 2 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลาย Con A ปริมาตร 0.75 มิลลิลิตร แล้วผสมให้เข้ากันเบาๆ
3. ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง จากนั้นปั่นเหวี่ยงที่ 10,000g เป็นเวลา 10 นาที
4. ดูดของเหลวใสที่ได้จากการปั่นเหวี่ยงมา 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดเซนติฟิวจ์ขนาด 10 มิลลิลิตร แล้วเติม 0.2 M อะซีเตทบัฟเฟอร์ (pH 4.5) ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เพื่อปรับให้มีค่า pH ประมาณ 5
5. ปิดฝาหลอดจากนั้นนำไปต้มในน้ำเดือดในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมินาน 5 นาที เพื่อทำลาย Con A แล้วจึงลดอุณหภูมิให้อยู่ 40°C และอุ่นต่ออีก 5 นาที
6. เติมสาร α-amylase/amyloglucosidase ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ขณะให้ความร้อนและเขย่าอย่างต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที
7. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 2,000g นาน 5 นาที ที่อุณหภูมิห้อง
8. ดูดของเหลวใสที่ได้มา 1 มิลลิลิตร แล้วเติมสาร GOPOD ปริมาตร 4 มิลลิลิตร แล้วนำไปอุ่นที่ 40°C นาน 20 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย blank กลูโคสมาตรฐาน และตัวอย่างที่ 510 นาโนเมตร
10. คำนวณปริมาณร้อยละของแอมิโลสจากสมการ

$$\text{ปริมาณแอมิโลส (\%)} = \frac{A_{510}\ \text{Con A supernatant}}{A_{510}\ \text{Total starch} \times 13} \times 6 \times 100$$

$$\text{ปริมาณแอมิโลส (\% กรัมของสตาร์ช)} = \frac{\text{ปริมาณแอมิโลส (\%กรัมของตัวอย่าง)} \times 100}{\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (\%db)}}$$

โดยที่ 6 และ 13 คือ dilution factors ของ Con A และ Total starch

ก.8 การวัดปริมาณใยอาหารทั้งหมด (Total dietary fiber) **และใยอาหารที่ไม่ละลายน้ำ** (Insoluble dietary fiber) **ของไหมข้าวโพดตามวิธี** In house method **ที่ดัดแปลงมาจากวิธีของ** AOAC (2005) section 45.4.07

สารเคมี

1. เอทานอล 95% (v/v)
2. เอทานอล 78% (v/v)
3. เมทานอล 85%
4. อะซีโตน
5. ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 0.08M pH 6.0
6. α-amylase (Termamyl)
7. Protease
8. Amyloglucosidase
9. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.275M
10. สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.325M
11. Celite

วิธีทดลอง

ใยอาหารทั้งหมด (Total Dietary Fiber)

1. เตรียมตัวอย่าง โดยอบแห้งตัวอย่างข้ามคืนที่ 70°C ด้วยตู้อบแบบสุญญากาศแล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น หากตัวอย่างมีปริมาณไขมันมากกว่าร้อยละ 10 ให้กำจัดไขมันออกด้วย ปิโตรเลียมอีเทอร์ล้าง 3 ครั้งในอัตราส่วน 25 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 กรัม

2. ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม .ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 400 มิลลิลิตร เติมฟอสเฟตบัฟเฟอร์ pH 6.0 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลาย Termamyl ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์แล้ววางในอ่างน้ำเดือดควบคุมอุณหภูมินาน 15 นาที และเขย่าเบาอีก 5 นาที

3. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 7.5 ± 0.2 ด้วย 0.275M สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร

4. เติม Protease 5 มิลลิกรัม ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วนำไปอุ่นพร้อมกวนเขย่าที่ 60°C นาน 30 นาที จากนั้นทิ้งให้เย็นแล้วเติม 0.325M สารละลายกรดไฮโดรคลอริกปริมาตร 10 มิลลิลิตร ค่า pH ควรอยู่ในช่วง 4.0-4.6

5. เติม Amyloglucosidase ปิดด้วยอะลูมิเนียมฟอยล์แล้วนำไปอุ่นพร้อมกวนเขย่าที่ 60°C นาน 30 นาที เติม 95% เอทิลแอลกอฮอล์ที่ preheat จนมีอุณหภูมิถึง 60°C ปริมาตร 280 มิลลิลิตร ปล่อยให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องนาน 60 นาที

6. ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลที่บรรจุ Celite จากนั้นใช้เอทิลแอลกอฮอล์ฉีดลงไปเพื่อทำให้กระจายตัวดีขึ้น แล้วจึงต่อเข้ากับเครื่อง suction

7. ล้างตัวอย่างที่เหลืออยู่ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 78% ปริมาตร 20 มิลลิลิตร 3 ครั้ง ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และล้างด้วยอะซีโตนปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ใช้ spatula ช่วยในการแยกผิวของฟิล์มเพื่อประสิทธิภาพในการกรอง

8. นำครูซิเบิลที่บรรจุตัวอย่างที่เหลืออยู่ไปอบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 70°C ในตู้อบแบบสุญญากาศ หรือ 105°C ที่ตู้อบลมร้อน แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักครูซิเบิลที่แน่นอน

9. จากนั้นแบ่งตัวอย่างที่เหลืออยู่ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ไปหาโปรตีนตามวิธีในข้อ ก.3 และส่วนที่ 2 ไปหาเถ้าตามวิธีในข้อ ก.2 เพื่อใช้ในการคำนวณดังสมการ

$$B = \text{Blank (มิลลิกรัม)} = \text{น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลืออยู่} - P_B - A_B$$

เมื่อ P_B = น้ำหนักของโปรตีน (มิลลิกรัม)

A_B = น้ำหนักของเถ้า (มิลลิกรัม)

$$\text{TDF (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลืออยู่} - P - A - B}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}} \times 100$$

ใยอาหารที่ละลายน้ำ (Soluble Dietary Fiber)

1.ทำการทดลองตามข้อ 1 ถึง ข้อ 4 ของวิธีทดลองในใยอาหารทั้งหมด

2. ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลที่บรรจุ Celite จากนั้นใช้น้ำฉีดลงไปเพื่อทำให้กระจายตัวดีขึ้น แล้วจึงต่อเข้ากับเครื่อง suction

3. ล้างตัวอย่างที่เหลืออยู่ด้วยน้ำปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และล้างด้วยอะซีโตนปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง ใช้ spatula ช่วยในการแยกผิวของฟิล์มเพื่อประสิทธิภาพในการกรอง

4. ปรับน้ำหนักสารที่ได้จากการกรองให้เป็น 100 กรัมด้วยน้ำ แล้วเติม 95% เอทิลแอลกอฮอล์ที่ preheat จนมีอุณหภูมิถึง 60°C ปริมาตร 400 มิลลิลิตร ปล่อยให้ตกตะกอนที่อุณหภูมิห้องนาน 60 นาที

5. นำครูซิเบิลที่บรรจุตัวอย่างที่เหลืออยู่ไปอบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 70°C ในตู้อบแบบสุญญากาศ หรือ 105°C ที่ตู้อบลมร้อน แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักครูซิเบิลที่แน่นอน

6. ชั่งน้ำหนักครูซิเบิลที่บรรจุ Celite จากนั้นใช้เอทิลแอลกอฮอล์ 78% ฉีดลงไปเพื่อทำให้กระจายตัวดีขึ้น แล้วจึงต่อเข้ากับเครื่อง suction

7. กรองสารที่ได้และล้างตัวอย่างที่เหลืออยู่ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 78% ปริมาตร 20 มิลลิลิตร 3 ครั้ง ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง และล้างด้วยอะซีโตนปริมาตร 10 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

8. นำครูซิเบิลที่บรรจุตัวอย่างที่เหลืออยู่ไปอบข้ามคืนที่อุณหภูมิ 70°C ในตู้อบแบบสุญญากาศ หรือ 105°C ที่ตู้อบลมร้อน แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนักครูซิเบิลที่แน่นอน

9. จากนั้นแบ่งตัวอย่างที่เหลืออยู่ออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ไปหาโปรตีนตามวิธีในข้อ ก.3 และส่วนที่ 2 ไปหาเถ้าตามวิธีในข้อ ก.2 เพื่อใช้ในการคำนวณดังสมการ

$$B = \text{Blank (มิลลิกรัม)} = \text{น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลืออยู่} - P_B - A_B$$

เมื่อ P_B = น้ำหนักของโปรตีน (มิลลิกรัม)

A_B = น้ำหนักของเถ้า (มิลลิกรัม)

$$SDF (\%) = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่เหลืออยู่} - P - A - B}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}} \times 100$$

$$TDF (\%) = SDF + IDF$$

ก.9 การวัดค่าสี (L*, a*, b*) **ด้วยเครื่อง** Chroma meter

อุปกรณ์

เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter รุ่น CR-400 series, Japan)

วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างใส่ในภาชนะสำหรับวัดตัวอย่างแบบผง
2. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 15 นาที จากนั้น calibrate เครื่องวัดสี
3. ตั้งเครื่องให้วัดค่า L (ความสว่าง) +a (ค่าสีแดง) +b (ค่าสีเหลือง) แล้ววัดค่าสีของตัวอย่าง โดยนำหัววัดไปสัมผัสกับภาชนะสำหรับบรรจุตัวอย่าง

ก.10 การวิเคราะห์ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity) **ตามวิธีของ** Medcalf **และ** Gilles (1965)

อุปกรณ์

1.เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, USA

2.เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 1 กรัม ใส่ลงในหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร
3. ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และกวนเป็นระยะทุกๆ 5 นาที
4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 5,000 × g เป็นเวลา 20 นาที
5. เทน้ำส่วนใสทิ้งและคว่ำหลอดทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที
6. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ได้
7. คำนวณหาความสามารถในการจับน้ำ (กรัมน้ำ/กรัมตัวอย่าง) ดังสมการ

$$\text{ความสามารถในการจับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการทดลอง - น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

ก.11 การวิเคราะห์ความสามารถในการจับน้ำมัน (Oil holding capacity) **โดยดัดแปลงวิธีของ** Vergara-Valenciaa **และคณะ** (2007)

<u>อุปกรณ์</u>

1.เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, USA

2.เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 1 กรัม ใส่ลงในหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. เติมน้ำมันปริมาตร 15 มิลลิลิตร
3. ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 1 นาที ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง
4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 5,000 × g เป็นเวลา 20 นาที
5. เทน้ำมันทิ้งและชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ได้
6. คำนวณหาความสามารถในการจับน้ำมัน (กรัมน้ำมัน/กรัมตัวอย่าง) ดังสมการ

$$\text{ความสามารถในการจับน้ำมัน} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการทดลอง - น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

ก.12 การวิเคราะห์กำลังการพองตัวและการละลาย โดยดัดแปลงจากวิธีของ Schoch (1964)

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, USA
2. อ่างน้ำพร้อมส่วนควบคุมอุณหภูมิ (Bath circulator with water bath, Thermo Scientific รุ่น NESLAB EX 10, USA)
3. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น W 350, Germany)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

วิธีทดลอง

1. นำหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร อบให้แห้งแล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างปริมาณ 0.5000 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน เติมน้ำกลั่นลงในหลอดพลาสติกปริมาตร 15 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex
3. นำหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่บรรจุตัวอย่างแช่ลงในอ่างน้ำพร้อมส่วนควบคุมอุณหภูมิที่ 85 และ 90 ^{o}C
4. ให้ความร้อนนาน 30 นาที และกวนผสมทุกๆ 5 นาที
5. เช็ดหลอดพลาสติกบริเวณด้านนอกที่เปียกน้ำให้แห้งสนิท
6. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 6,000 × g ที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C นาน 20 นาที
7. แยกส่วนใสออกจากตะกอน โดยใช้ปิเปตดูดส่วนใสออกมาใส่ภาชนะที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน พยายามดูดส่วนใสให้ได้มากที่สุดและระวังอย่าให้ตะกอนติดมาด้วย
8. นำหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่บรรจุตะกอนไปชั่งน้ำหนัก
9. นำส่วนใสในภาชนะไปอบที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C เพื่อระเหยน้ำออก จนภาชนะมีน้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักภาชนะเพื่อหาน้ำหนักของตัวอย่างที่ละลายน้ำ
10. คำนวณหากำลังการพองตัวและการละลายของตัวอย่างดังสมการ

$$\text{ร้อยละการละลาย (\% solubility)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ละลายน้ำ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว (swelling power)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนของตัวอย่าง (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

ก.13 ลักษณะรูปร่างและพื้นผิวของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

<u>อุปกรณ์</u>

1.กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (JEOL รุ่น JSM-6400, Japan)

2.เครื่องฉาบทอง (ion sputter) (Balzers Union รุ่น SCD 040, Liechtenstein)

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ติดเทปกาวสองหน้าบน stub จากนั้นนำตัวอย่างใส่บน stub และเคาะแป้งส่วนเกินออก

2. ฉาบด้วยทองหนา 20-30 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V Sputter Coater

3. บันทึกภาพโครงสร้างของตัวอย่างด้วย SEM ควบคุมที่ 15 KV โดยแป้งข้าวเจ้าใช้กำลังขยาย 700 และ 2000 สำหรับไหมข้าวโพดใช้กำลังขยาย 70 และ 200 ตามลำดับ

4. วิเคราะห์ลักษณะรูปร่างและพื้นผิวของตัวอย่างจากภาพที่บันทึกได้

ก.14 การวิเคราะห์รูปแบบและปริมาณผลึกของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดโดยใช้เครื่อง X-Ray Diffractometer

<u>อุปกรณ์</u>

เครื่อง Wide Andle X-ray Diffractometer (Bruker รุ่น D8-Discover, Germany)

<u>วิธีทดลอง</u>

1. นำตัวอย่างโรยบน sample plate แล้วกด sample plate ให้ตัวอย่างเรียงตัวอัดกันแน่น
2. นำ sample plate ใส่เข้าเครื่อง Wide Angle X-ray Diffractometer ที่ช่อง sample holder แล้วเปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที
3. วัดค่าในช่วงมุมที่ต้องการ โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมสภาวะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

Target:Cu

Voltage:40 kV

Current:40 mA

Start Angle:5 degree

Stop Angle:40 degree

Increment:0.02 degree/step

Scan speed:0.5 sec/step

Detector:VANTEC-1 Detector (super speed detector)

4. วิเคราะห์ X-ray Diffraction pattern โดยเทียบค่า 2θ, d-spacing และ Intensity ที่ได้รับลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชที่เป็น pattern มาตรฐาน ดังตารางที่ ก.1
5. คำนวณหาค่า degree of crystallinity ดังสมการ

$$\text{degree of crystallinity (\%)} = \frac{A_c \times 100}{A_t}$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่ใต้กราฟของส่วนผลึก (พื้นที่ใต้พีค)

A_t คือ พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดที่วัดจาก base line

ตารางที่ ก.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่เป็นแบบ A, B และ C

Starch X-ray diffraction								
A type			B type			C type		
d-spacing A°	Intensity*	2θ	d-spacing A°	Intensity*	2θ	d-spacing A°	Intensity*	2θ
8.72	w-	10.1	15.80	m	5.59	15.40	w	5.73
7.70	w-	11.5	8.90	w-	9.93	8.82	w-	10.00
5.78	s	15.3	7.84	w-	11.10	7.65	w-	11.50
5.17	s	17.1	6.14	m	14.40	5.78	s	15.30
4.86	s-	18.2	5.16	s	17.20	5.12	s	17.30
4.37	m	20.3	4.54	w+	19.50	4.85	m	18.30
3.78	s	23.5	4.00	m	22.20	4.35	w-	20.40
3.30	w+	27.0	3.70	m-	24.00	3.78	m+	23.50
2.88	w	31.0	3.38	w	26.30	3.32	w	26.80
			2.60	w	34.40			

*Intensity scale: strong (s), medium (m), weak (w), less than (-) and more than (+)

ที่มา: Zobel (1964)

ก.15 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคเฉลี่ยของแป้งข้าวผสมโดยใช้เครื่อง Laser Diffraction Particle Size Analyzer with Tornado (Dry Powder Module) System ตามวิธีของ Beckman coulter

<u>อุปกรณ์</u>

เครื่อง Multi-wavelength Particle Size Analyzer with Tornado (Dry powder Module) System (Beckman Coulter รุ่น LS 13 320, USA)

<u>วิธีทดลอง</u>

1. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 15 นาที
2. เตรียมตัวอย่างแป้งแห้งประมาณ 2-5 กรัม ใส่ลงในภาชนะสำหรับบรรจุตัวอย่าง และประกอบเข้ากับตัวเครื่อง

3. ประมวลผลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หาขนาดของอนุภาคที่มีมากที่สุด และสร้างกราฟกระจายตัวของขนาดอนุภาค

4. รายงานขนาดอนุภาคเป็นขนาดเฉลี่ยโดยปริมาตรต่อพื้นผิว

ก.16 การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer

อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA (Newport Scientific รุ่น 4D, Australia) พร้อมถ้วยบรรจุตัวอย่าง (can) และใบพัด (paddle)

2. คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA

3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA ทิ้งไว้ 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง

2. ปรับสภาวะการทำงานของเครื่อง โดยใช้ temperature profile: STD 1 ดังตารางที่ ก.2

3. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25.00 ± 0.1 มิลลิลิตร (สำหรับแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 14) ใส่ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่าง (can)

4. ชั่งตัวอย่าง 3.00 ± 0.01 กรัม ใส่ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่าง (can) ที่มีน้ำกลั่นอยู่แล้ว

5. ใส่ใบพัด (paddle) ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่าง หมุนใบพัดกวนไปมาแรงๆและดึงขึ้นเพื่อกวนตัวอย่างแรงๆประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกันเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดที่ใบพัดให้ทำซ้ำอีกครั้ง

ตารางที่ ก.2 Temperature profile STD 1

เวลา (นาที.วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (rpm)
0.00	50	960
0.10	50	160
1.00	50	160
4.42	95	160
7.12	95	160
11.00	50	160
13.00	50	160

ที่มา: Newport scientific (2007)

6. นำถ้วยบรรจุตัวอย่างที่ใส่ใบพัดไว้แล้วสอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์ลงเพื่อให้เครื่อง RVA เริ่มการทำงาน เมื่อเสร็จสิ้นการวัดของเครื่องให้นำถ้วยบรรจุตัวอย่างออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆดังนี้

6.1 เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที

6.2 อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) มีหน่วยเป็น ^{o}C

6.3 อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็น ^{o}C

6.4 ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น RVU

6.5 ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU

6.6 ความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วยเป็น RVU

6.7 ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด trough (setback from trough) มีหน่วยเป็น RVU

ก.17 การวิเคราะห์สมบัติด้านเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง texture analyzer โดยดัดแปลงวิธีจาก Lanier (1992)

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่อง Texture analyzer

<u>การเตรียมตัวอย่าง</u>

1. นำตัวอย่างที่ได้จากการวัด RVA แช่เย็นที่ 4°C นาน 24 ชั่วโมง
2. เคาะตัวอย่างออกจาก can
3. ปาดผิวหน้าของตัวอย่างให้เรียบ โดยให้ตัวอย่างมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร และสูงประมาณ 1.5 เซนติเมตร

<u>วิธีทดลอง</u>

1. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์เข้าโปรแกรม Texture export
2. Calibrate force โดยใช้ลูกตุ้ม 5 กิโลกรัม

3. Calibrate probe โดยติดตั้งหัววัดที่ใช้วัดเข้ากับตัวเครื่อง แล้วตั้งค่าระยะทางของหัววัดกับฐานแท่นวัดที่ 40 มิลลิเมตร จากนั้นเริ่ม calibrate

4. นำตัวอย่างที่เตรียมไว้วางบนแท่น แล้วตั้งค่า TA setting จากนั้นเข้าไปตั้งข้อมูลของตัวอย่างตามที่ต้องการที่ run a test

5.วัดตัวอย่างด้วยหัวลูกตุ้มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 มิลลิเมตร

6. วัดน้ำหนักที่กด (force) และระยะทางของหัวกดที่กดบนตัวอย่าง (cm)

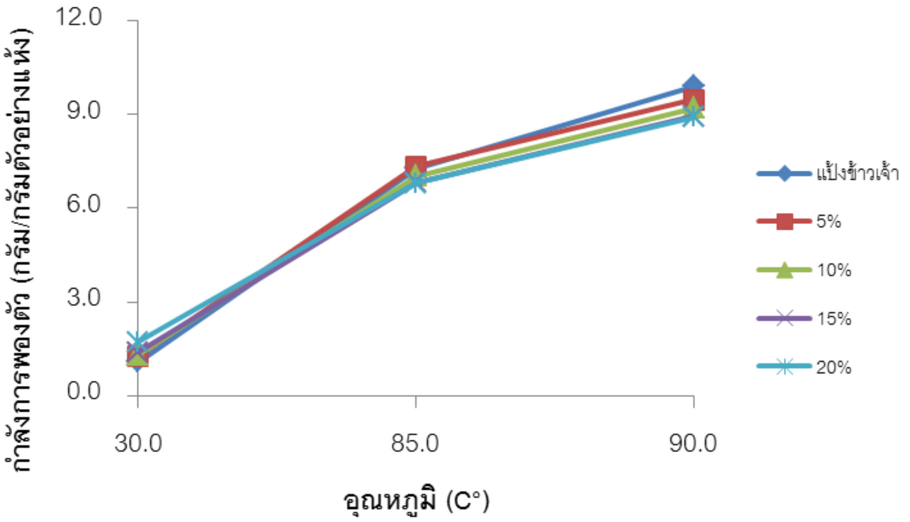
ความแข็งแรงของเจล (gel strength) = น้ำหนักที่กด (กรัม) × ระยะทางของหัวกด (cm)

ภาวะที่ใช้ใน TA setting:

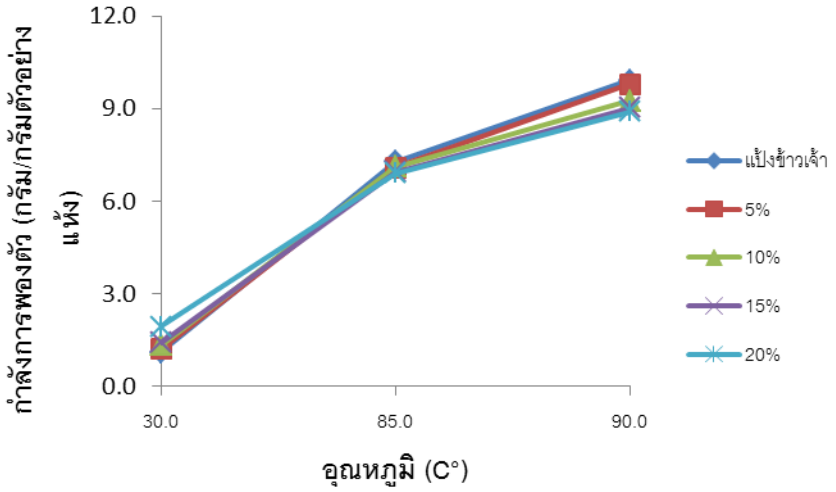
TA-XT2 setting mode	Measurement force in compress
option	Return to start
Pre-test speed	1.0 mm/sec
Test speed	1.1 mm/sec
Post-test speed	10.0 mm/sec
Distance	Deformation 30%
Trigger force	Auto-5 g
Data acquistron rate	100 pps

ภาคผนวก ข

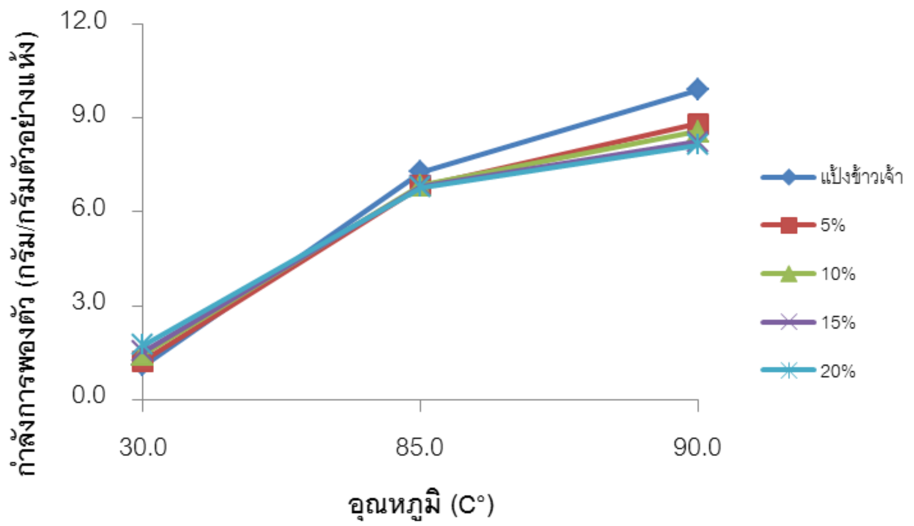
รายละเอียดภาพและกราฟผลการทดลองเพิ่มเติม



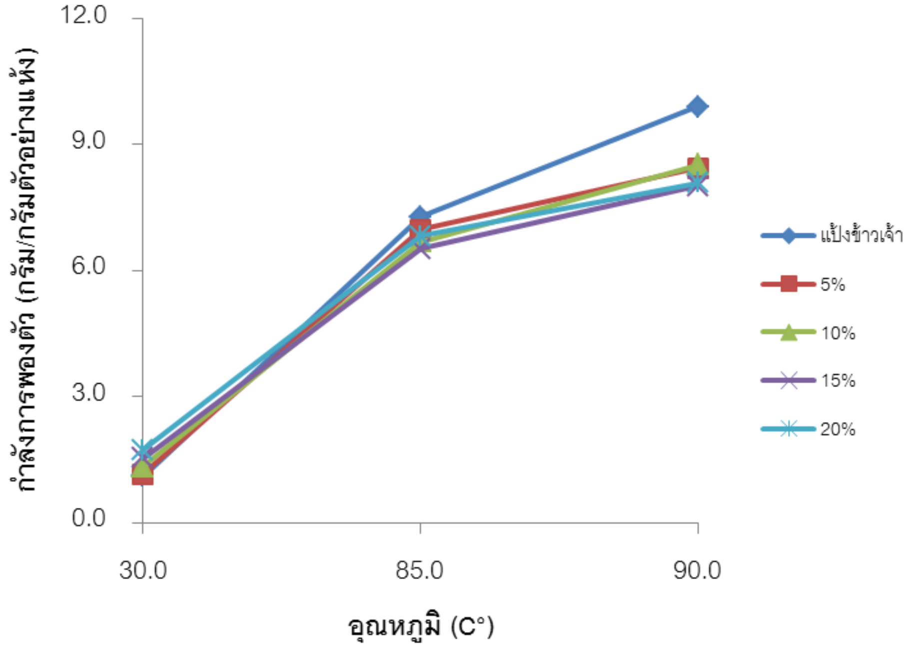
ภาพที่ ข.1 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาด 300 ไมครอน



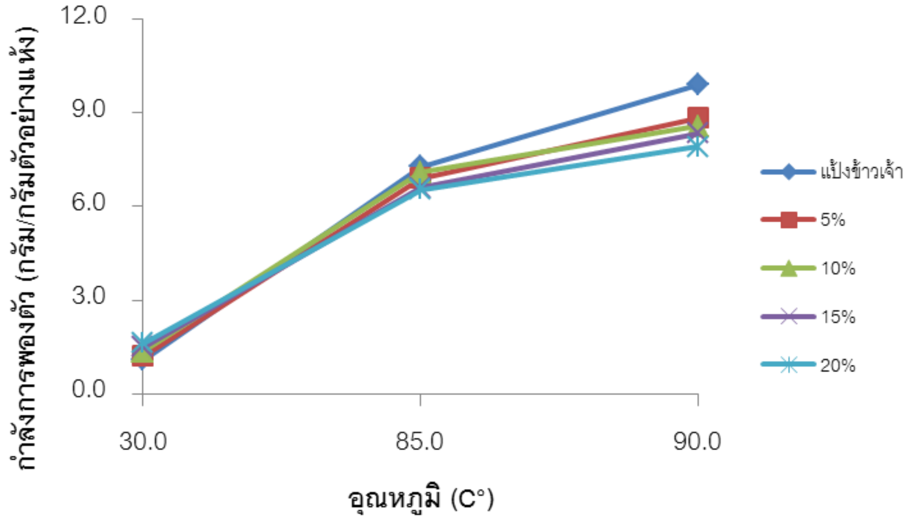
ภาพที่ ข.2 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาด 150 ไมครอน



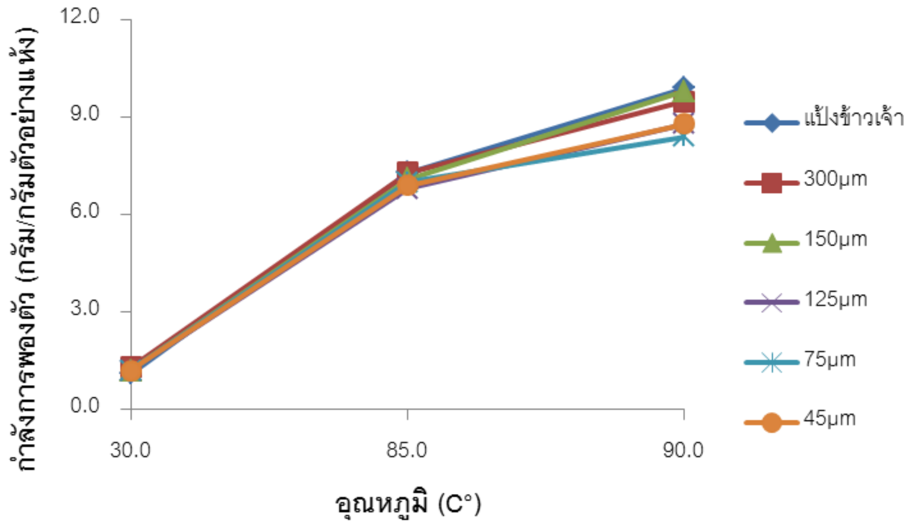
ภาพที่ ข.3 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาด 125 ไมครอน



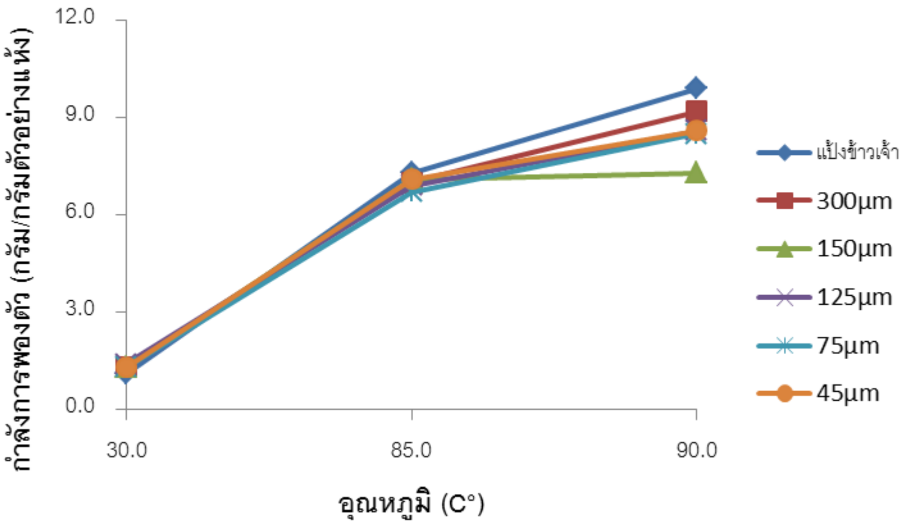
ภาพที่ ข.4 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาด 75 ไมครอน



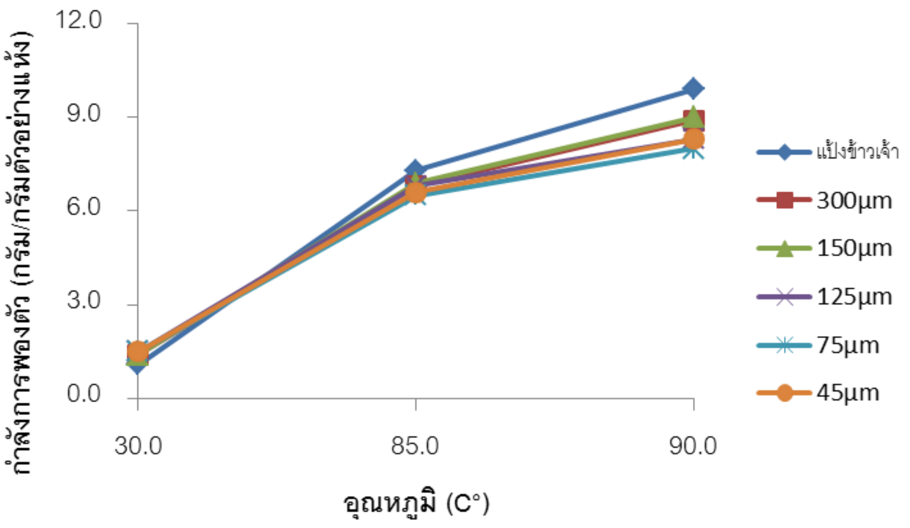
ภาพที่ ข.5 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ขนาด 45 ไมครอน



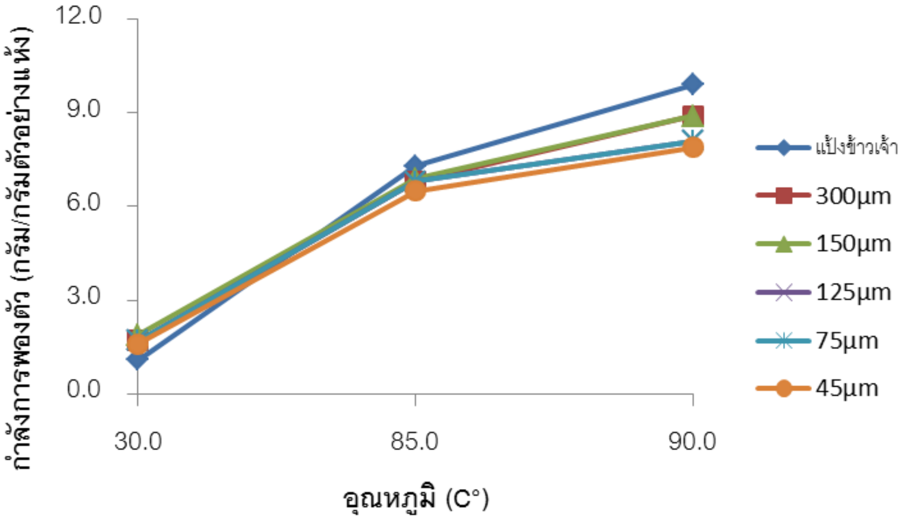
ภาพที่ ข.6 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 5



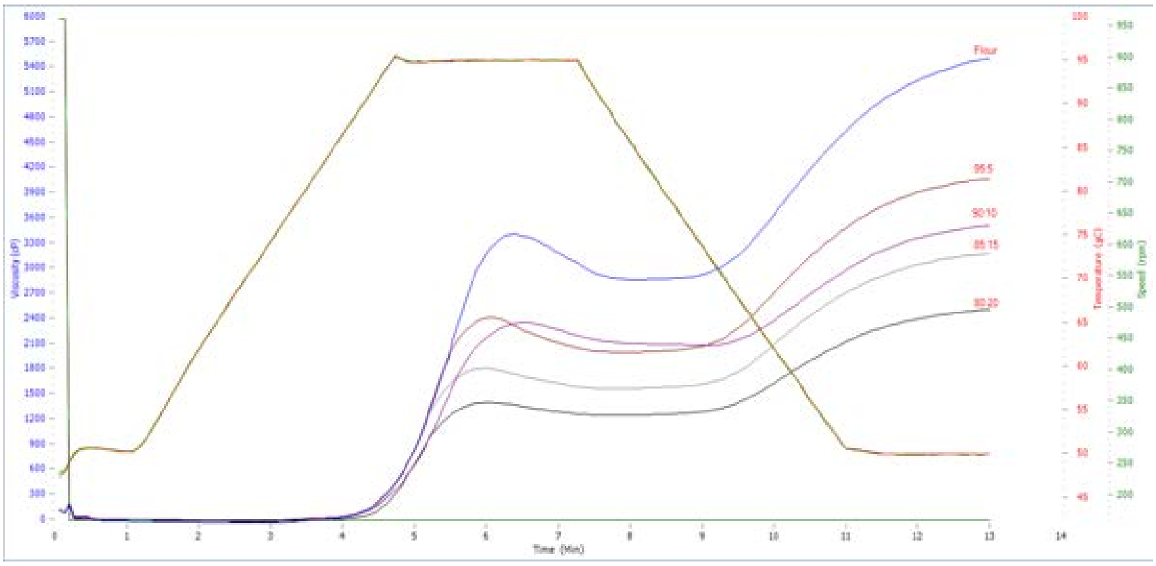
ภาพที่ ข.7 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 10



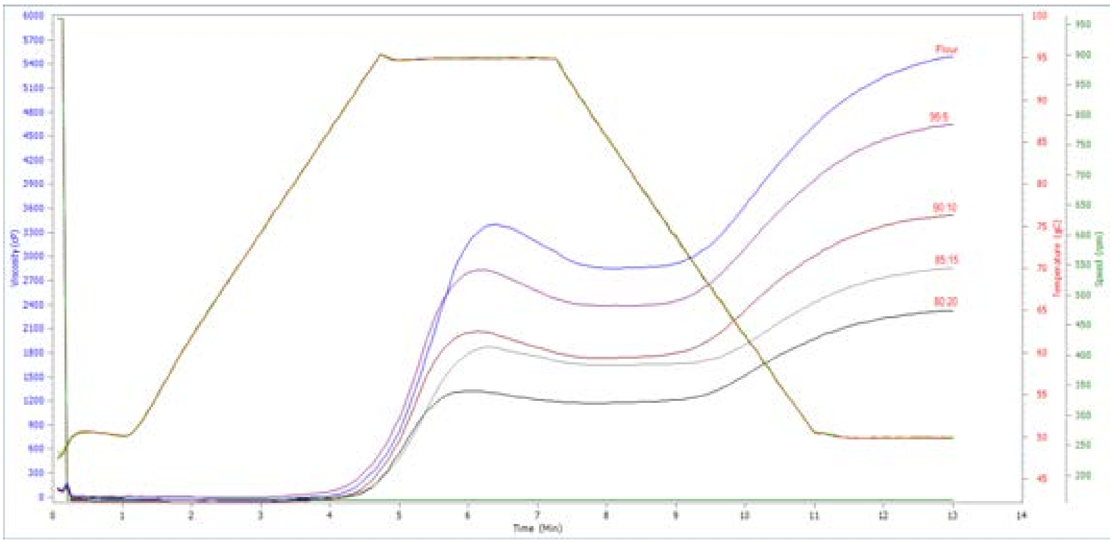
ภาพที่ ข.8 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 15



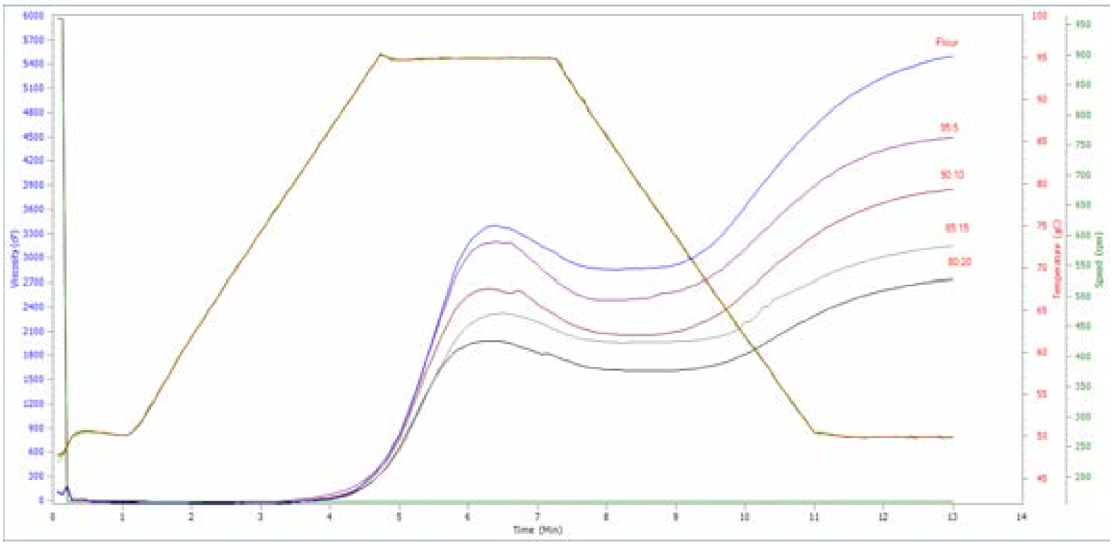
ภาพที่ ข.9 ความสามารถในการจับน้ำและกำลังการพองตัวของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วนร้อยละ 20



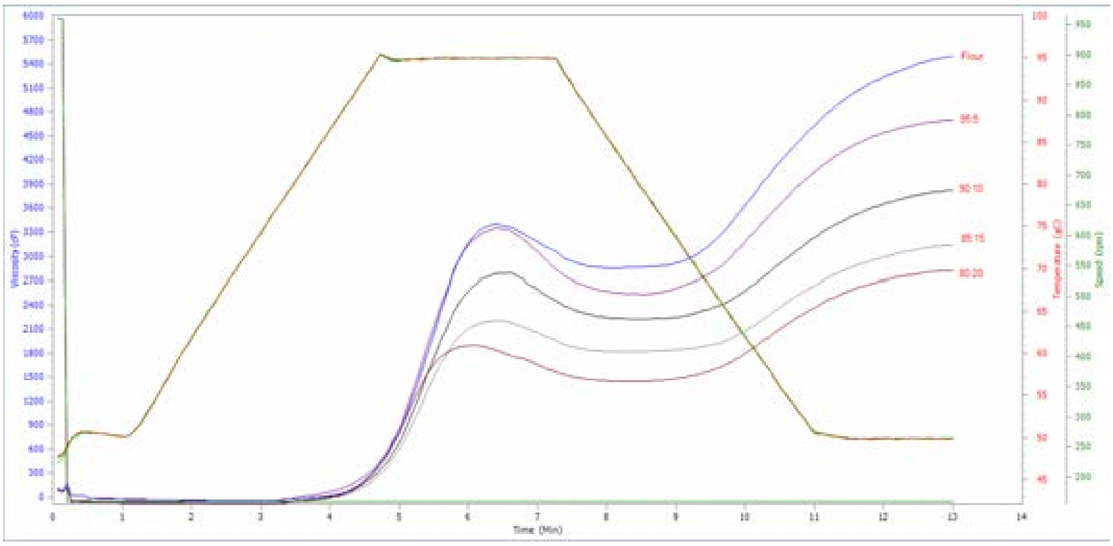
ภาพที่ ข.10 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 300 ไมครอน ที่อัตราส่วนต่างๆ



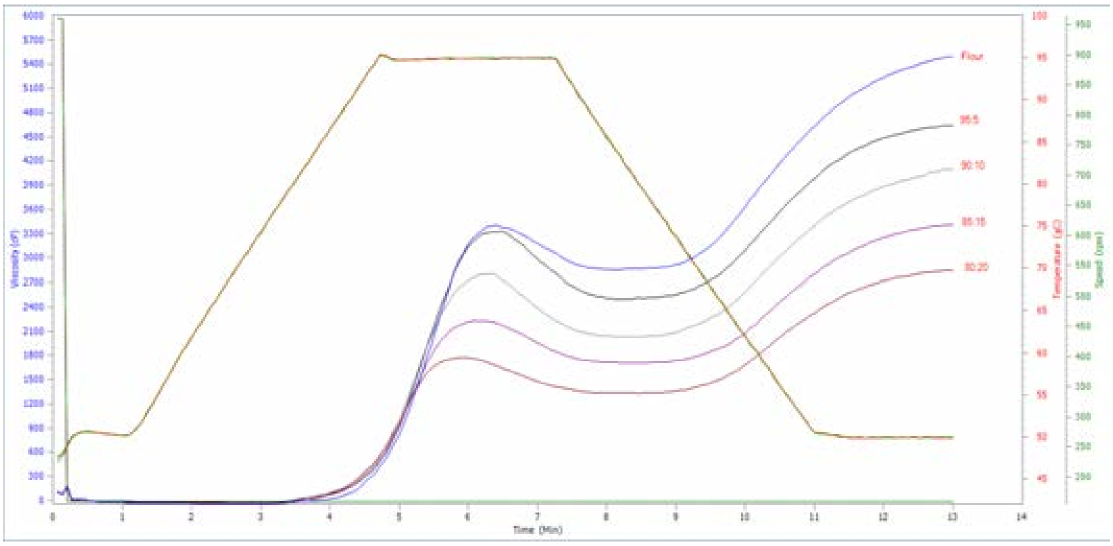
ภาพที่ ข.11 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 150 ไมครอน ที่อัตราส่วนต่างๆ



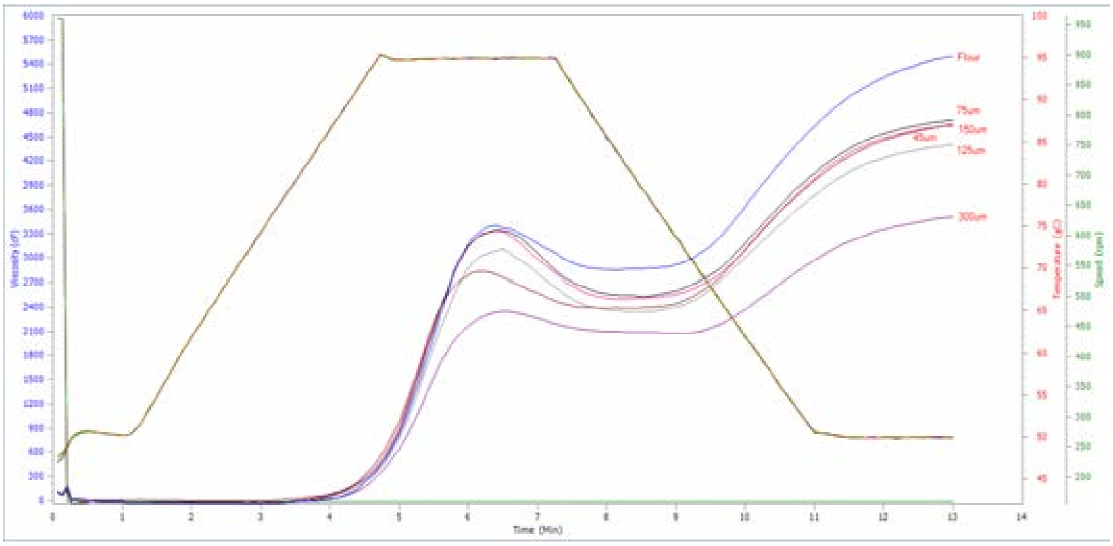
ภาพที่ ข.12 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 125 ไมครอน ที่อัตราส่วนต่างๆ



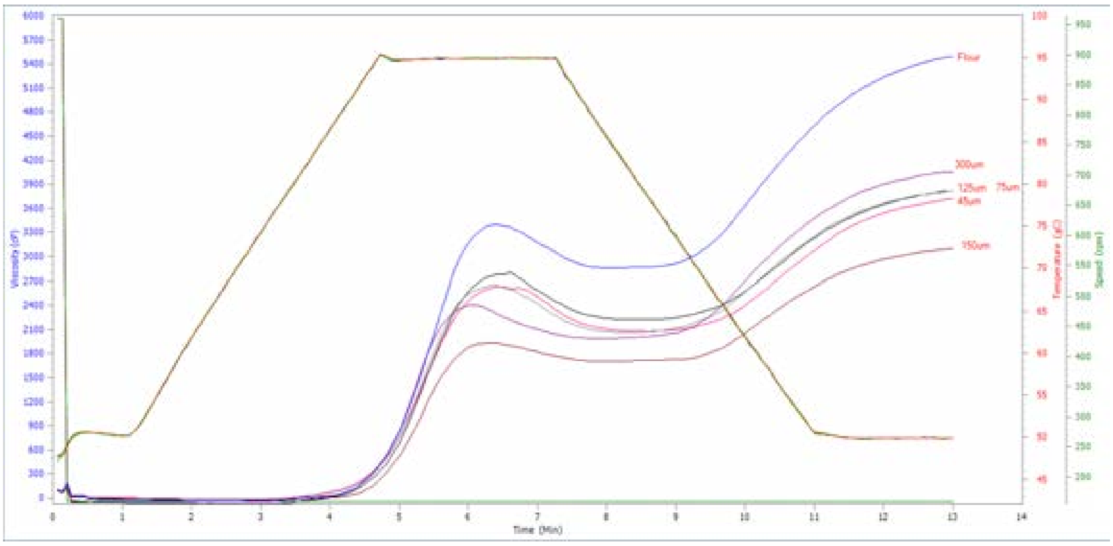
ภาพที่ ข.13 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 75 ไมครอน ที่อัตราส่วนต่างๆ



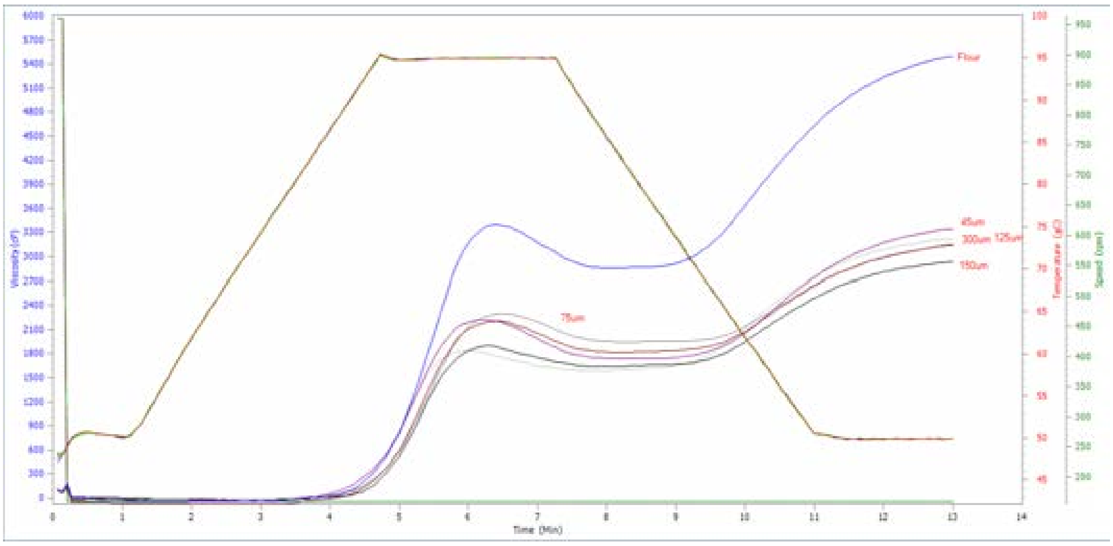
ภาพที่ ข.14 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 45 ไมครอน ที่อัตราส่วนต่างๆ



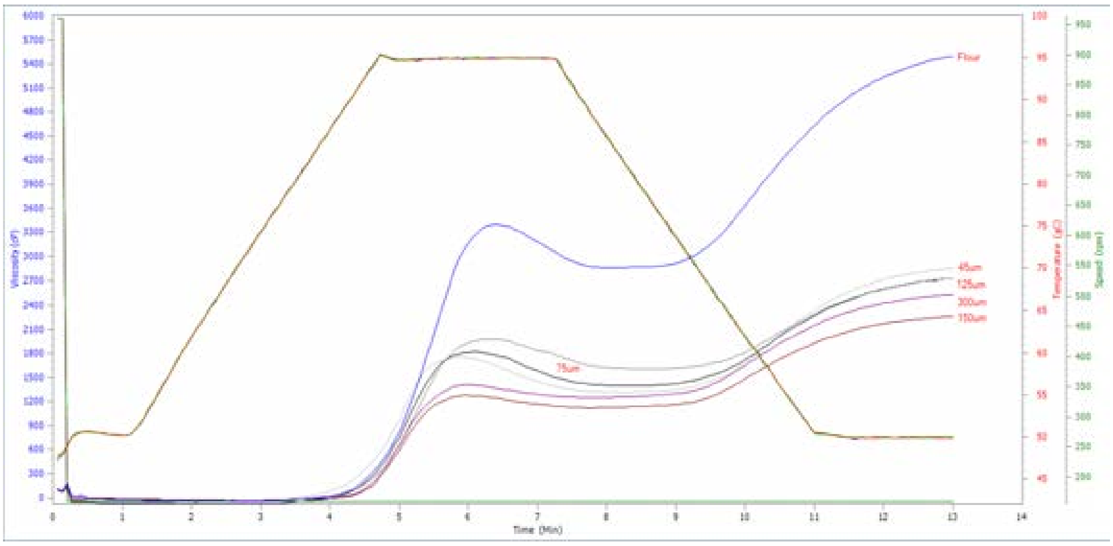
ภาพที่ ข.15 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วน 95:5 ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ



ภาพที่ ข.16 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วน 90:10 ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ



ภาพที่ ข.17 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วน 85:15 ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ



ภาพที่ ข.18 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่อัตราส่วน 80:20 ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ

ภาคผนวก ค

รายละเอียดข้อมูลผลการทดลองเพิ่มเติม

ค.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเจ้า

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแป้งข้าวเจ้า
(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta °	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
10.0344	8.8080	858	41.8
11.4520	7.7207	957	46.7
15.1287	5.8516	1836	89.5
15.2774	5.7950	1808	88.1
17.1661	5.1614	2033	99.1
18.0444	4.9121	2052	100.0
20.0592	4.4230	1465	71.4
23.0057	3.8628	1629	79.4
23.1600	3.8374	1657	80.7
23.4365	3.7927	1617	78.8
26.7114	3.3347	880	42.9
29.0245	3.0740	794	38.7
30.3925	2.9387	809	39.4
31.1186	2.8717	813	39.6
32.8525	2.724	794	38.7

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta °	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
10.1248	8.7295	830	41.1
11.4984	7.6896	955	47.3
15.0844	5.8687	1757	87.1
15.2366	5.8104	1755	87.0
17.2842	5.1264	1974	97.9
18.0765	4.9034	2017	100.0
20.0310	4.4292	1398	69.3
22.9183	3.8773	1590	78.8
23.1245	3.8432	1611	79.9
26.7983	3.3241	867	43.0
30.5462	2.9242	807	40.0
33.0886	2.7051	761	37.7

ค.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไหมข้าวโพด

ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของไหมข้าวโพด

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta °	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
17.1906	5.1541	970	85.7
21.1394	4.1994	1131	100.0
34.7167	2.5819	488	43.1

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta °	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
17.1888	5.1546	925	85.1
21.6172	4.1076	1087	100.0
34.8550	2.5720	448	41.2

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.2)

SOV	df	MS
คาร์โบไฮเดรต	5	3.77*
Error	11	0.24
ความชื้น	5	2.19*
Error	11	0.01
โปรตีน	5	4.48*
Error	11	0.23
ไขมัน	5	0.21*
Error	11	0.00
เถ้า	5	0.48*
Error	11	0.00
เส้นใยหยาบ	5	2.11*
Error	11	0.00

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.3)

SOV	df	MS
L*	5	55.93*
Error	11	2.50
a*	5	4.24*
Error	11	0.10
b*	5	6.19*
Error	11	0.50

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.4)

SOV	df	MS
WHC	5	0.46*
Error	11	0.10
OHC	5	1.12*
Error	11	0.10

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.5)

SOV	df	MS
Swelling power 85°C	5	4.39
Error	11	2.45
Swelling power 90°C	5	8.00*
Error	11	0.89
Solubility 85°C	5	135.86*
Error	11	4.73
Solubility 90°C	5	37.93
Error	11	9.81

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.6)

SOV	df	MS
L*	20	12.10*
Error	41	0.00
a*	20	0.58*
Error	41	0.00
b*	20	14.90*
Error	41	0.00

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.6 Tests of Between-Subjects Effects ของค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.6)

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	L	175.76	19	9.25	267.74	0.00
	a	8.50	19	0.45	956.83	0.00
	b	281.40	19	14.81	10356.84	0.00
Intercept	L	206450.92	1	206450.92	5975424.56	0.00
	a	1.37	1	1.37	2920.43	0.00
	b	793.70	1	793.70	555036.93	0.00
size	L	24.98	4	6.24	180.72	0.00
	a	2.30	4	0.57	1228.16	0.00
	b	229.42	4	57.36	40109.14	0.00
ratio	L	148.73	3	49.58	1434.96	0.00
	a	6.13	3	2.04	4369.00	0.00
	b	42.27	3	14.09	9854.19	0.00
size * ratio	L	2.05	12	0.17	4.94	0.00
	a	0.07	12	0.01	13.34	0.00
	b	9.70	12	0.81	565.07	0.00

ตารางที่ ง.6 (ต่อ) Tests of Between-Subjects Effects ของค่าสีของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.6)

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Error	L	0.69	20	0.03		
	a	0.01	20	0.00		
	b	0.03	20	0.00		
Total	L	206627.37	40			
	a	9.87	40			
	b	1075.13	40			
Corrected Total	L	176.45	39			
	a	8.51	39			
	b	281.42	39			

ตารางที่ ง.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดและการกระจายอนุภาคของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.7)

SOV	df	MS
ขนาดและการกระจายอนุภาค	20	2553.15*
Error	41	0.00

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.8 Tests of Between-Subjects Effects ของขนาดและการกระจายอนุภาคของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.7)

Dependent Variable:Particle

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	48432.861[a]	19	2549.10	1175.00	0.00
Intercept	269741.21	1	269741.21	124400.00	0.00
size	35164.57	4	8791.14	4053.00	0.00
ratio	7680.24	3	2560.08	1180.00	0.00
size * ratio	5588.05	12	465.67	214.69	0.00
Error	43.38	20	2.17		
Total	318217.45	40			
Corrected Total	48476.24	39			

ตารางที่ ง.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.8)

SOV	df	MS
WHC	20	0.09*
Error	41	0.00
OHC	20	0.02*
Error	41	0.00

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.10 Tests of Between-Subjects Effects ของความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.8)

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	WBC	1.53	19	0.08	86.90	0.00
	OHC	0.45	19	0.02	19.17	0.00
Intercept	WBC	83.85	1	83.85	90661.12	0.00
	OHC	65.33	1	65.33	52519.57	0.00
size	WBC	0.02	4	0.01	5.97	0.00
	OHC	0.13	4	0.03	26.19	0.00
ratio	WBC	1.44	3	0.48	517.48	0.00
	OHC	0.09	3	0.03	23.60	0.00
size * ratio	WBC	0.07	12	0.01	6.23	0.00
	OHC	0.23	12	0.02	15.71	0.00
Error	WBC	0.02	20	0.00		
	OHC	0.02	20	0.00		
Total	WBC	85.40	40			
	OHC	65.80	40			
Corrected Total	WBC	1.55	39			
	OHC	0.48	39			

ตารางที่ ง.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.9)

SOV	df	MS
Swelling power 85°C	20	0.09*
Error	41	0.01
Swelling power 90°C	20	0.61*
Error	41	0.02
Solubility 85°C	20	11.19*
Error	41	0.00
Solubility 90°C	20	24.67*
Error	41	0.06

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.12 Tests of Between-Subjects Effects ของกำลังการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.9)

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	swell85	1.53	19	0.08	7.09	0.00
	swell90	9.33	19	0.49	22.96	0.00
	solu85	220.86	19	11.62	3585.20	0.00
	solu90	488.28	19	25.70	413.79	0.00
Intercept	swell85	1886.89	1	1886.89	166070.14	0.00
	swell90	3015.47	1	3015.47	140961.98	0.00
	solu85	288.58	1	288.58	89005.81	0.00
	solu90	598.09	1	598.09	9630.27	0.00
size	swell85	0.42	4	0.11	9.29	0.00
	swell90	5.96	4	1.49	69.63	0.00
	solu85	207.25	4	51.81	15980.75	0.00
	solu90	474.62	4	118.66	1910.54	0.00
ratio	swell85	0.59	3	0.20	17.24	0.00
	swell90	2.99	3	1.00	46.57	0.00
	solu85	7.57	3	2.52	778.74	0.00
	solu90	6.19	3	2.06	33.25	0.00
size * ratio	swell85	0.52	12	0.04	3.82	0.00
	swell90	0.38	12	0.03	1.50	0.21
	solu85	6.03	12	0.50	154.96	0.00
	solu90	7.46	12	0.62	10.01	0.00
Error	swell85	0.23	20	0.01		
	swell90	0.43	20	0.02		
	solu85	0.06	20	0.00		
	solu90	1.24	20	0.06		
Total	swell85	1888.65	40			
	swell90	3025.23	40			
	solu85	509.50	40			
	solu90	1087.62	40			

ตารางที่ ง.12 (ต่อ) Tests of Between-Subjects Effects ของกำลังการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.9)

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Total	swell85	1.76	39			
	swell90	9.76	39			
	solu85	220.92	39			
	solu90	489.52	39			

ตารางที่ ง.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.10)

SOV	df	MS
Peak viscosity	20	737031.26*
Error	41	9846.58
Trough	20	422906.07*
Error	41	5814.28
Breakdown	20	72533.44*
Error	41	1016.63
Final viscosity	20	1261899.51*
Error	41	27445.43
Setback	20	273975.61*
Error	41	12317.76
Peak time	20	0.07*
Error	41	0.00
Pasting temperature	20	3.92*
Error	41	0.21

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.14 Tests of Between-Subjects Effects ของสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.10)

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	PV	12913494.72	19	679657.62	121.82	0.00
	TV	6642173.66	19	349588.09	115.34	0.00
	BD	1450651.72	19	76350.09	86.37	0.00
	FV	20379878.11	19	1072625.16	67.59	0.00
	SB	4745778.00	19	249777.79	26.21	0.00
	Ptime	1.22	19	0.06	11.28	0.00
	Ptemp	78.20	19	4.12	19.82	0.00
Intercept	PV	218168443.93	1	218168443.93	39103.08	0.00
	TV	141916752.90	1	141916752.90	46822.77	0.00
	BD	8166131.43	1	8166131.43	9237.92	0.00
	FV	494527861.92	1	494527861.92	31162.01	0.00
	SB	106604437.56	1	106604437.56	11186.64	0.00
	Ptime	1566.00	1	1566.00	275220.03	0.00
	Ptemp	314009.03	1	314009.03	1512094.15	0.00
size	PV	2559210.14	4	639802.53	114.67	0.00
	TV	672901.93	4	168225.48	55.50	0.00
	BD	752141.74	4	188035.44	212.71	0.00
	FV	994472.07	4	248618.02	15.67	0.00
	SB	260642.21	4	65160.55	6.84	0.00
	Ptime	0.25	4	0.06	10.81	0.00
	Ptemp	51.47	4	12.87	61.96	0.00

ตารางที่ ง.14 (ต่อ) Tests of Between-Subjects Effects ของสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.10)

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ratio	PV	9990092.07	3	3330030.69	596.85	0.00
	TV	5781553.28	3	1927184.43	635.84	0.00
	BD	599144.63	3	199714.88	225.93	0.00
	FV	17888023.72	3	5962674.57	375.73	0.00
	SB	3410856.35	3	1136952.12	119.31	0.00
	Ptime	0.63	3	0.21	36.95	0.00
	Ptemp	11.52	3	3.84	18.48	0.00
size * ratio	PV	364192.51	12	30349.38	5.44	0.00
	TV	187718.45	12	15643.20	5.16	0.00
	BD	99365.35	12	8280.45	9.37	0.00
	FV	1497382.32	12	124781.86	7.86	0.00
	SB	1074279.44	12	89523.29	9.39	0.00
	Ptime	0.34	12	0.03	5.02	0.00
	Ptemp	15.21	12	1.27	6.10	0.00
Error	PV	111586.33	20	5579.32		
	TV	60618.69	20	3030.93		
	BD	17679.59	20	883.98		
	FV	317391.55	20	15869.58		
	SB	190592.43	20	9529.62		
	Ptime	0.11	20	0.01		
	Ptemp	4.15	20	0.21		

ตารางที่ ง.14 (ต่อ) Tests of Between-Subjects Effects ของสมบัติด้านความหนืดของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.10)

Source	Dependent Variable	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Total	PV	231193524.98	40			
	TV	148619545.25	40			
	BD	9634462.74	40			
	FV	515225131.58	40			
	SB	111540807.99	40			
	Ptime	1567.34	40			
	Ptemp	314091.39	40			
Corrected Total	PV	13025081.04	39			
	TV	6702792.35	39			
	BD	1468331.31	39			
	FV	20697269.66	39			
	SB	4936370.43	39			
	Ptime	1.33	39			
	Ptemp	82.35	39			

ตารางที่ ง.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความแข็งแรงของเจลแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.11)

SOV	df	MS
Gel strength	20	0.27*
Error	41	0

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.16 Tests of Between-Subjects Effects ของความแข็งแรงของเจลแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.11)

Dependent Variable:GelStrength

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F
Corrected Model	5.04	19	0.27	79.46
Intercept	38.84	1	38.84	11629.69
size	0.73	4	0.18	54.58
ratio	4.20	3	1.40	419.09
size * ratio	0.11	12	0.01	2.84
Error	0.07	20	0.00	
Total	43.95	40		
Corrected Total	5.11	39		

ตารางที่ ง.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการดูดซับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.12)

SOV	df	MS
ร้อยละการดูดซับน้ำมัน	20	47.73*
Error	41	0.17

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.18 Tests of Between-Subjects Effects ของการดูดซับน้ำมันของแป้งข้าวเจ้าและแป้งข้าวเจ้าผสมไหมข้าวโพดที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ (ตารางที่ 4.12)

Dependent Variable:FatAbsorb

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F
Corrected Model	600.35	19	31.60	192.30
Intercept	14601.95	1	14601.95	88864.25
size	112.58	4	28.15	171.29
ratio	364.96	3	121.65	740.36
size * ratio	122.81	12	10.23	62.28
Error	3.29	20	0.16	
Total	15205.59	40		
Corrected Total	603.64	39		

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชาลินี ติวารี เกิดวันที่ 11 มกราคม 2529 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร จากมหาวิทยาลัยรังสิต เมื่อปีการศึกษา 2550 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552

<u>ผลงานวิจัย</u>

นำเสนอผลงานทางวิชาการเรื่อง PROPERTIES OF RICE FLOUR – CORN SILK MIXTURE ในการประชุมวิชาการระดับชาติ "The 38th Congress on Science and Technology of Thailand (STT38)" ครั้งที่ 38 ระหว่างวันที่ 17-19 ตุลาคม 2555 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่