

ผลของพันธุ์และกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่าง



นางสาวภัณฑิรา เหมภัทรสุวรรณ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2083-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF VARIETY AND PROCESSING ON THE QUALITY OF SORGHUM FLOUR  
AND STARCH



Miss Pantira Hempattarasuwan

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University


Academic Year 2005

ISBN 974-14-2083-8

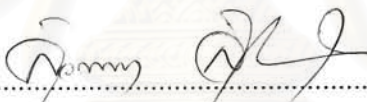
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของพันธุ์และกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของแป้งและสตาร์ชข้าว  
ฟาง  
โดย นางสาวภัณฑิรา เหมภัทรสุวรรณ  
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร  
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬห์ ชัยวานิชศิริ  
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลานสงคราม

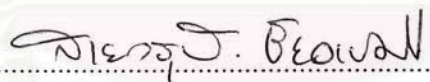
---

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท


  
.....รักษาราชการแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตสานต์)  
รองคณบดีฝ่ายบริหาร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ สุภิมารส)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬห์ ชัยวานิชศิริ)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลานสงคราม)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณ-ตุลย์ธัญ)

  
..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร. จิราพันธ์ ทัดติยกุล)

ภณทิรา เหมภัทรสุวรรณ : ผลของพันธุ์และกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่าง  
(EFFECTS OF VARIETY AND PROCESSING ON THE QUALITY OF SORGHUM FLOUR AND STARCH). อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร. กัลยา เลานสงคราม 133 หน้า. ISBN 974-14-2083-8.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของพันธุ์และกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างโดยนำข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 มาไม่ด้วยวิธีไม่แห้งและไม่เปียก ก่อนนำมาสกัดเอาโปรตีนออกด้วยสารสกัด 2 ชนิดคือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.5 % และสารละลายโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (DoBS) เข้มข้น 1.2 % ที่มีโซเดียมซัลไฟต์ 0.12 % พบว่าเมล็ดข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน เมื่อนำเมล็ดมาไม่แห้งและไม่เปียก พบว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 มีโปรตีนมากกว่าแต่มีคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และแป้งที่ผ่านการไม่แห้งมีโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย และอะไมโลส มากกว่าแต่มีคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าแป้งที่ผ่านการไม่เปียก เม็ดสตาร์ชทั้ง 2 พันธุ์ มีรูปร่างหลายเหลี่ยมและมีหลุม (pore) กระจายอยู่บนเม็ดสตาร์ช เม็ดสตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งสูญเสีย birefringence ไปบางส่วนจากการวัดค่าสี พบว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีค่า  $a$  สูงกว่าแต่มีค่า  $L$  และ  $b$  ต่ำกว่าพันธุ์ KU 630 แป้งข้าวฟ่างไม่แห้งมีค่า  $L$  ต่ำกว่าแต่มีค่า  $a$  และ  $b$  สูงกว่าแป้งข้าวฟ่างไม่เปียก แป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีค่า onset temperature ( $T_o$ ), peak temperature ( $T_p$ ) ต่ำกว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 แป้งไม่แห้งมีปริมาณ damaged starch ความสามารถในการจับน้ำ กำลังการพองตัวและการละลาย  $T_o$ ,  $T_p$  และการคืนตัว สูงกว่าแต่ค่า pasting temperature, peak viscosity, breakdown และ พลังงานในการเกิดเจลลาคีโนส ( $\Delta H_{gel}$ ) ต่ำกว่าแป้งข้าวฟ่างไม่เปียก จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณ damaged starch ความสามารถในการจับน้ำ วัดค่าสี สมบัติทางด้านความเหนียว สมบัติทางด้านความร้อนและการคืนตัวของสตาร์ชที่สกัดได้ พบว่า พันธุ์ วิธีการไม่และชนิดสารสกัดมีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพต่าง ๆ ของสตาร์ชที่สกัดได้ โดยสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมัน ค่า  $a$  สูงกว่า แต่มีปริมาณโปรตีน damaged starch ค่า  $L$ , ค่า  $b$ , pasting temperature, ค่า  $T_o$  และ  $T_p$  ต่ำกว่าสตาร์ชพันธุ์ KU 630 สตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย damaged starch ความสามารถในการจับน้ำ ค่า  $a$  สูงกว่าแต่มีคาร์โบไฮเดรต ค่า  $L$  ค่า  $b$  peak viscosity, breakdown,  $T_o$  และ  $\Delta H_{gel}$  ต่ำกว่าการไม่เปียก และการสกัดด้วย NaOH ให้สตาร์ชที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมัน damaged starch ค่า  $L$  ค่า  $b$  และ  $\Delta H_{gel}$  สูงกว่าแต่มีโปรตีน ค่า  $a$  ต่ำกว่าการสกัดด้วย DoBS จากการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง (3-9) น้ำตาล (5-20 %) และเกลือ (1-5 %) ต่อความเหนียวของแป้งและสตาร์ช พบว่าแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างที่มีความเป็นกรด-ด่าง 9 มีความเหนียวที่สุด และการเติมน้ำตาลและเกลือทำให้ความเหนียวของแป้งและสตาร์ชเพิ่มขึ้น โดยความเหนียวจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อนิสิต.....ภณทิรา เหมภัทรสุวรรณ.....  
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....วิเศษชัย เจริญกุล.....  
ปีการศึกษา.....2548.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



# # 4572430623 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORDS : SORGHUM/ PHYSICOCHEMICAL PEOPERTIES / STARCH/FLOUR

PANTIRA HEMPATTARASUWAN : EFFECTS OF VARIETY AND PROCESSING ON THE QUALITY OF SORGHUM FLOUR AND STARCH. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SAIWARUN CHAIWANICHSIRI, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. KALAYA LAOHASONGKRAM, Ph.D., 133pp. ISBN 974-14-2083-8.

This research aimed at investigating the effects of variety and processing on the quality of sorghum flours and starches. Two varieties of sorghum (KU 439 and KU 630), two milling methods (dry-milling and wet-milling), and two extract solutions (0.5 % sodium hydroxide (NaOH) and 1.2 % dodecyl benzene sulfonate (DoBS) containing 0.12 % sodium sulfite) were studied. The result showed that the chemical compositions of both varieties were different. Flour from KU 630 had higher protein and lower carbohydrate and amylose contents than KU 439. Flour from dry-milling had higher protein, fat, ash, fiber and amylose and lower carbohydrate than those from wet-milling. The starch granules from both varieties were polygonal in shape with pores randomly distributed over the surface of granules. The birefringence of dry-milled starch granule was partially lost. From the color measurement it was found that KU 439 flour had higher *a* but lower *L* and *b* values than KU 630 flour with those from dry-milling had lower *L* and higher *a* and *b* values than the wet-milling. Furthermore, flour from KU 439 had lower onset temperature ( $T_o$ ), peak temperature ( $T_p$ ) than KU 630. The dry-milled flours were found to have higher damaged starch, water-binding capacity, swelling power and solubility,  $T_o$ ,  $T_p$ , retrogradation but lower pasting temperature, peak viscosity, and breakdown, enthalpy of gelatinization ( $\Delta H_{gel}$ ) than those from wet-milling. From the chemical and physical analysis of starches, it showed that varieties, milling methods and type of extract solutions affected these properties. Starch from KU 439 had higher carbohydrate and fat contents, and *a* value but lower protein content, % damaged starch, *L* and *b* values,  $T_o$  and  $T_p$  than KU 630 starch. Starch from dry-milling was found to have higher protein, fat, ash, fiber contents, % damaged starch, water-binding capacity, *a* value but lower carbohydrate content, *L* and *b* values, pasting temperature, peak viscosity, breakdown,  $T_o$  and  $\Delta H_{gel}$  than those from wet-milling. Starch extracted with NaOH had higher carbohydrate and fat contents, % damaged starch, *L* and *b* values,  $\Delta H_{gel}$  but lower protein content, and *a* value than those from DoBS. From the study on the effect of pH (3-9), sugar (5-20 %) and salt (1-5 %) on pasting properties of sorghum flour and starch pastes, it was found that the pastes at pH 9 had the highest viscosity and addition of sugar and salt increased the viscosity with the effect increased as the concentration increased.

Department.....Food Technology.....Student's signature..... *Pantira Hempattarasuwan*  
 Field of study.....Food Technology..... Advisor's signature ..... *Saiwarun*  
 Academic year .....2005..... Co-advisor's signature ..... *K. Laohasongkram*

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญาโทบริหารธุรกิจบัณฑิตและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาสงคราม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และกำลังใจ ตลอดจนการทำวิจัย และกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ศิษย์ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ สุภิมาธ รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณ ตูลย์ธัญ และอาจารย์ ดร. จิราวัฒน์ ทัดติยกุล ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน ที่ให้คำแนะนำและคณาจารย์ของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน

ขอขอบคุณ การสนับสนุนจากหน่วยงานต่าง ๆ ดังนี้

งบประมาณสำหรับการวิจัย

- งบประมาณแผ่นดิน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัสดุดิบ

- อาจารย์ อังระศิลป์ โพธิสูง ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ

อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา

ขอบคุณเพื่อน ๆ ปริญญาโททุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและให้กำลังใจกันมาตลอดการวิจัย

ขอบคุณพี่ น้อง และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่สาวและพี่ชาย ที่สนับสนุนในด้านการเงิน คำแนะนำ และให้กำลังใจผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ฒ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	2
2.1 ข้าวฟ่าง.....	2
2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่าง.....	4
2.3 การผลิตแป้งและสตาร์ช.....	9
2.4 สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของสตาร์ช.....	13
3. ขั้นตอนการทดลอง.....	26
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ.....	26
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	26
3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวฟ่าง.....	26
3.2.2 การศึกษาผลของวิธีไม่แป้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของ แป้งข้าวฟ่าง.....	27
3.2.3 การศึกษาผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ช ข้าวฟ่าง.....	29
3.2.4 การศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้ง และสตาร์ชข้าวฟ่าง.....	30
3.2.5 การศึกษาผลของน้ำตาลและเกลือต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ช.....	30
4. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	32
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวฟ่าง.....	32
4.2 ผลของวิธีไม่แป้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวฟ่าง.....	33

บทที่	หน้า
4.3	ผลของวิธีการสกัดสสารต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของสสารสีขาวฟาง... ..49
4.4	ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้งและสสาร.....67
4.5	ผลของน้ำตาลต่อความหนืดของแป้งและสสาร.....71
4.6	ผลของเกลือต่อความหนืดของแป้งและสสาร.....75
5.	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....79
	รายการอ้างอิง.....81
	ภาคผนวก.....91
	ภาคผนวก ก.....92
	ภาคผนวก ข.....110
	ภาคผนวก ค.....130
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....133

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวฟ่าง.....	6
2.2 น้ำหนักและองค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวฟ่าง.....	7
2.3 สมบัติด้านความเหนียวของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ.....	16
2.4 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ.....	18
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630.....	33
4.2 ปริมาณผลผลิตของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	34
4.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	35
4.4 ปริมาณอะไมโลสและขนาดโมเลกุลอะไมโลสของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	39
4.5 ขนาดโมเลกุลอะไมโลสของแป้งชนิดต่าง ๆ.....	39
4.6 ค่าสี (L, a, b) ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	40
4.7 ปริมาณ damaged starch ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	41
4.8 ค่าความสามารถในการจับน้ำของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	42
4.9 ความเหนียวของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียกในช่วง heating-cooling cycle .....	45
4.10 สมบัติด้านความร้อนและการคืนตัวของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	47
4.11 ลักษณะโครงสร้างของเจลแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียกเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งหลาย ๆ รอบ.....	48
4.12 ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	50

ตารางที่	หน้า
4.13 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	52
4.14 ปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้ จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างชนิด.....	57
4.15 ค่าสี (L, a, b) ของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้ จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	58
4.16 ปริมาณ damaged starch ในสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการโม่และ สกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	60
4.17 ค่าความสามารถในการจับน้ำในสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีน ด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	60
4.18 ความหนืดของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ผ่านการโม่และสกัดโปรตีน ด้วยสารละลายชนิดต่างกันในช่วง heating-cooling cycle ของสตาร์ชข้าวฟ่าง.....	63
4.19 สมบัติด้านความร้อนและการคืนตัวของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ผ่านการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	65
4.20 ลักษณะโครงสร้างเจลสตาร์ชที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างชนิดกัน หลังผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งหลาย ๆ รอบ.....	66
4.21 ค่า peak viscosity ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน.....	68
4.22 ค่า breakdown ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน.....	69
4.23 ค่า setback/trough ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน.....	69
4.24 ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน.....	69
4.25 ค่า peak viscosity ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน.....	70
4.26 ค่า breakdown ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน.....	70
4.27 ค่า setback/trough ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน.....	70
4.28 ค่า pasting temperature ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน.....	71
4.29 ค่า peak viscosity ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน.....	73
4.30 ค่า breakdown ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน.....	73
4.31 ค่า setback/trough ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน.....	73
4.32 ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน.....	74
4.33 ค่า peak viscosity ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน.....	74

4.34	ค่า breakdown ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน.....	74
4.35	ค่า setback/trough ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน.....	75
4.36	ค่า pasting temperature ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน.....	75
4.37	ค่า peak viscosity ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่าง ๆ.....	76
4.38	ค่า breakdown ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน.....	76
4.39	ค่า setback/trough ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน.....	77
4.40	ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน.....	77
4.41	ค่า peak viscosity ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน.....	77
4.42	ค่า breakdown ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน.....	78
4.43	ค่า setback/trough ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน.....	78
4.44	ค่า pasting temperature ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน.....	78
ก.1	Ferricyanide-Maltose Conversion.....	103
ก.2	ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA.....	107
ข.1	ความแปรปรวนของปริมาณผลผลิตของแป้งที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	110
ข.2	ความแปรปรวนปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	110
ข.3	ความแปรปรวนปริมาณโปรตีนของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้ จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	111
ข. 4	ความแปรปรวนปริมาณไขมันของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้ จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	111
ข.5	ความแปรปรวนปริมาณเถ้าของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้ จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	111
ข.6	ความแปรปรวนปริมาณเส้นใยของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้ จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	112
ข.7	ความแปรปรวนปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้ จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	112
ข.8	ความแปรปรวนค่าสี L ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้ จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....	112

ข.9 ความแปรปรวนค่าสี $a$ ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	113
ข.10 ความแปรปรวนค่าสี $b$ ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	113
ข.11 ความแปรปรวนปริมาณ damaged starch ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	112
ข.12 ความแปรปรวนค่าความสามารถในการจับน้ำของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	114
ข.13 ความแปรปรวนค่า peak viscosity ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	114
ข.14 ความแปรปรวนค่า trough ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	114
ข.15 ความแปรปรวนค่า breakdown ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	115
ข.16 ความแปรปรวนค่า setback ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	115
ข.17 ความแปรปรวนค่า setback/trough ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	115
ข.18 ความแปรปรวนค่า pasting temperature ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	116
ข.19 ความแปรปรวนค่า onset temperature ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	116
ข.20 ความแปรปรวนค่า peak temperature ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	117
ข.21 ความแปรปรวนค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลลาคีไนซ์ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	117
ข.22 ความแปรปรวนการคืนตัวของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียก.....	118





ข.37 ความแปรปรวนค่า breakdown ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	125
ข.38 ความแปรปรวนค่า setback ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	126
ข.39 ความแปรปรวนค่า setback/trough ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	126
ข.40 ความแปรปรวนค่า pasting temperature ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	127
ข.41 ความแปรปรวนค่า onset temperature ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	127
ข.42 ความแปรปรวนค่า peak temperature ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	128
ข.43 ความแปรปรวนค่าเอนทัลปีของการเกิดเจลลาติโนซ์ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	128
ข.44 ความแปรปรวนการคืนตัวของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน.....	129

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	ลักษณะเมล็ดข้าวฟ่างชนิดข้าวฟ่างเมล็ด..... 3
2.2	โครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่าง.....5
2.3	เอนโดสเปิร์มส่วนอ่อนและส่วนแข็ง.....5
2.4	ภาพจำลองการจับตัวของอะไมโลสกับสารอินทรีย์.....8
2.5	ลักษณะเกลียวของอะไมโลส.....8
2.6	วิธีการไม่ข้าวฟ่างแบบแห้งและเปียก.....10
2.7	กระบวนการผลิตสตาร์ชข้าวฟ่าง.....12
2.8	ระยะเวลาในการเกิดเจลาติโนเซชันของเม็ดสตาร์ช.....15
2.9	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA.....16
2.10	กลไกการเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ช.....19
2.11	รูปแบบการพองตัวของแป้งต่างชนิด.....23
2.12	รูปแบบการละลายของแป้งต่างชนิด.....23
3.1	วิธีไม่แห้ง.....27
3.2	วิธีไม่เปียก.....28
4.1	Scanning Electron Micrograph ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....37
4.2	ลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก.....38
4.3	กำลังการพองตัวของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการ ไม่แห้งและไม่เปียก.....43
4.4	การละลายของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้ง และไม่เปียก.....44
4.5	โครงสร้างของเจลแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง รอบที่ 7.....49
4.6	Scanning Electron Micrograph แสดงรูปร่างและพื้นผิวเม็ดสตาร์ชของสตาร์ช ข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลาย ต่างชนิดกัน.....54

4.6	(ต่อ) Scanning Electron Micrograph แสดงรูปร่างและพื้นผิวเม็ดสตาร์ชของ สตาร์ชข้าวฟ่าง พันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วย สารละลายต่างชนิดกัน.....	55
4.7	ลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างชนิดกัน.....	56
4.8	กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วย สารละลายต่างชนิดกัน.....	61
4.9	การละลายของสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วย สารละลายต่างชนิดกัน.....	61
4.10	โครงสร้างของเจลสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 ที่ผ่านการไม่และสกัดโปรตีน ด้วยสารละลายชนิดต่างกันเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง รอบที่ 7.....	67
ก.1	กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส.....	99
ค.1	เมล็ดข้าวฟ่างก่อนสีและหลังสี.....	130
ค.2	แป้งข้าวฟ่างไม่แห้งและไม่เปียก.....	131
ค.3	สตาร์ชข้าวฟ่าง .....	132



# บทที่ 1

## บทนำ

เมล็ดข้าวฟ่างเป็นอาหารที่สำคัญของมนุษย์ในหลายประเทศ โดยเฉพาะในทวีปแอฟริกาและเอเชีย นอกจากนี้แล้วยังใช้ทำเป็นอาหารสัตว์ได้ดี และเริ่มมีความนิยมนำมาผลิตเป็นอาหารสัตว์มากขึ้นเรื่อย ๆ ในแถบทวีปแอฟริกาและเอเชีย เมื่อเปรียบเทียบกับข้าวโพด ข้าวฟ่างจะมีราคาถูกกว่าแต่มีปริมาณไขมันน้อยกว่าเล็กน้อย (ประสิทธิ์ ใจศีล, 2529) สำหรับประเทศไทย ข้าวฟ่างเป็นพืชที่ปลูกมากในแถบภาคเหนือและบางจังหวัดของภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคกลาง ข้าวฟ่างประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรต 75 % โปรตีน 8 - 12 % และไขมัน 3 - 4 % (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2540) จึงอาจจัดได้ว่าข้าวฟ่างเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่ดี แต่เนื่องจากประเทศไทยบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักและเมล็ดข้าวฟ่างมีความแข็งมากเมื่อเทียบกับเมล็ดข้าว จึงทำให้คนไทยไม่นิยมนำข้าวฟ่างมาบริโภค ดังนั้นการปลูกข้าวฟ่างในปัจจุบันส่วนใหญ่จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เลี้ยงสัตว์และส่งออกเป็นอาหารสัตว์ จัดเป็นพืชราคาถูก โดยที่ข้าวฟ่างเป็นพืชที่ปลูกได้ง่ายทนความแห้งแล้งดีและสามารถปลูกได้ในดินเกือบทุกชนิด ไม่ต้องการการดูแลรักษาเท่าอัญพืชชนิดอื่น ๆ จึงมีการนำข้าวฟ่างไปแปรรูป โดยนำไปผลิตเป็นแป้งข้าวฟ่างเพื่อใช้เป็นอาหารสำหรับมนุษย์ เช่นใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าในการผลิตเส้นหมี่ ขนมจีน และทดแทนแป้งสาลีในการผลิตมะกะโรนี ทำให้คุณค่าทางโภชนาการของผลิตภัณฑ์ที่ได้สูงกว่าการใช้แป้งข้าวเจ้าหรือแป้งสาลีเพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะปริมาณโปรตีน นอกจากนี้ข้าวฟ่างยังใช้ในอุตสาหกรรมต่อเนื่องอีกหลายชนิด เช่น ใช้ในอุตสาหกรรมทำไม้อัด กาว กระดาษ ผ้า และแอลกอฮอล์ ข้าวฟ่างบางพันธุ์มีรสขมและฝาดจึงอาจนำมาหมักเป็นเบียร์ได้ (ประสิทธิ์ ใจศีล, 2529) อย่างไรก็ตามยังไม่มีผู้ศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่าง

จากเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างจากข้าวฟ่าง 2 พันธุ์ เพื่อเป็นข้อมูลในการนำไปประยุกต์ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมต่าง ๆ เพื่อเพิ่มมูลค่าของข้าวฟ่างและในอนาคต ข้อมูลจากงานวิจัยอาจเป็นแรงจูงใจให้ข้าวฟ่างกลายเป็นพืชเศรษฐกิจอีกชนิดหนึ่งของประเทศได้

## บทที่ 2

### วารสารปริทัศน์

#### 2.1 ข้าวฟ่าง (Sorghum)

ข้าวฟ่าง เป็นพืชตระกูลหญ้าในวงศ์ Gramineae ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Sorghum bicolor* (L.) Moench (รูปที่ 2.1) ชื่ออื่น ๆ เรียกตามแหล่งเพาะปลูก เช่น ประเทศอินเดีย เรียก Jowar และ Cholam ประเทศฝรั่งเศส เรียก Sorgo ประเทศญี่ปุ่น เรียก Morokoshi เป็นต้น (FAO, 1982) มีลักษณะ คือ เมล็ดกลมรีติดกันเป็นช่อ มีความแข็ง สีและลักษณะเมล็ดจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดและสายพันธุ์ เมื่อพิจารณาประโยชน์ของข้าวฟ่างอาจแบ่งตามลักษณะของข้าวฟ่างได้ 5 ชนิด (จุฬี ทิพย์รักษ์, 2536) ดังนี้ คือ

1. ข้าวฟ่างเมล็ดหรือข้าวฟ่างเพื่อใช้เมล็ด (Grain sorghums) มีขนาดของเมล็ดใหญ่กว่าต้นเตี้ยกว่า และผลผลิตเมล็ดมากกว่าข้าวฟ่างชนิดอื่น ข้าวฟ่างเมล็ดมีความสำคัญมากคือ เป็นหนึ่งในห้าของธัญพืชที่เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์และเป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ การนำเมล็ดข้าวฟ่างมาใช้เลี้ยงสัตว์นั้น อาจพิจารณาสีของเมล็ด เช่น เมล็ดสีน้ำตาล หรือ เมล็ดข้าวฟ่างที่นกไม่กินหรือพันธุ์ต้านทานนก เป็นเมล็ดที่มีสารแทนนินซึ่งเมื่อสัตว์กินจะทำให้ระบบย่อยโปรตีนของสัตว์มีปัญหา อย่างไรก็ตามคุณค่าทางอาหารหรือส่วนประกอบทางเคมีรวมทั้งสารแทนนินของเมล็ดไม่สามารถบ่งบอกได้ชัดเจนจากสีของเมล็ดข้าวฟ่างที่มองเห็น จำเป็นต้องวิเคราะห์ทางเคมี สำหรับสารแทนนินนั้นสามารถทำให้ปริมาณลดลงหรือหมดไปได้โดยความร้อนหรือสารเคมีบางชนิด อาหารที่ทำจากข้าวฟ่างแตกต่างกันไปตามประเทศ เช่น ประเทศอินเดียทำจาปาตี ประเทศจีนใช้เมล็ดข้าวฟ่างทำเหล้า เรียก เหล้าเกาเหลียง (kaoliangs) เป็นต้น และต้นข้าวฟ่างใช้เลี้ยงสัตว์ได้ดี ทั้งสด ทำแห้งหรือหมัก

2. ข้าวฟ่างหวาน (Sorgos หรือ Sweet sorghums) ข้าวฟ่างชนิดนี้มีลักษณะสำคัญ คือ น้ำในลำต้นจะหวานกว่าและมีปริมาณมากกว่าเมื่อเทียบกับข้าวฟ่างชนิดอื่น ข้าวฟ่างหวานเป็นพืชที่ใช้ประโยชน์ได้ทุกส่วน น้ำหวานที่คั้นหรือหีบจากลำต้นนำไปผลิตแอลกอฮอล์ น้ำตาลทรายหรือน้ำเชื่อมได้ ลำต้นที่หีบน้ำออกแล้วนำไปให้สัตว์กินสดหรือนำไปหมักก่อนให้สัตว์กิน หรืออาจนำไปทำเชื้อเพลิงและกระดาษ เมล็ดใช้เลี้ยงสัตว์ได้เช่นกัน และคุณค่าทางอาหารขึ้นอยู่กับพันธุ์ของข้าวฟ่าง เช่นเดียวกับ ข้าวฟ่างที่ใช้เมล็ด

3. ข้าวฟ่างไม้กวาด (Broomcorns) ข้าวฟ่างชนิดนี้มีก้านดอกยาวและแข็งมีจำนวนใบและเมล็ดน้อย เนื่องจากมีชื่อที่มีก้านดอกยาว ประเทศในยุโรป และสหรัฐอเมริกา นิยมนำไปทำไม้กวาด

4. ข้าวฟ่างหญ้า (Grass sorghums) ข้าวฟ่างชนิดนี้มีลักษณะเฉพาะและแตกต่างจากข้าวฟ่างเมล็ดมาก คือเมล็ดมีขนาดเล็ก ต้นและใบเล็กแต่จำนวนใบต่อต้นมาก แตกหน่อได้ดี จึงใช้ปลูกเป็นทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์หรืออาจจะใช้ทำหญ้าหมัก หญ้าแห้ง

5. ข้าวฟ่างคั่ว (Pop sorghums) เป็นข้าวฟ่างที่เมื่อนำมาคั่วแล้วจะแตกออกเช่นเดียวกับข้าวโพดคั่ว หลายประเทศนิยมรับประทาน มีลักษณะเด่น คือ เมล็ดมีสีเหลืองนวลใส มีคุณค่าทางอาหารสูง เปลือกเมล็ดหนา พันธุ์ที่รู้จักกันทั่วไปในประเทศไทยคือ ข้าวฟ่างหางช้าง

ข้าวฟ่างที่นิยมปลูกในประเทศไทย คือ ข้าวฟ่างที่ใช้เมล็ด ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ ข้าวฟ่างพันธุ์แท้และข้าวฟ่างพันธุ์ลูกผสม ข้าวฟ่างพันธุ์แท้ที่มีคุณภาพดีและนิยมปลูกสามารถนำมาบริโภคได้แก่ พันธุ์ KU 439 ซึ่งเมล็ดมีสีขาว และพันธุ์ KU 630 ซึ่งเมล็ดมีสีแดง เนื่องจากมีแคโรทีนในเมล็ดสูงกว่า ข้าวฟ่างทั้งสองพันธุ์เป็นข้าวฟ่างที่มีระดับสารแทนนินต่ำ คือน้อยกว่า 0.16 % (ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ, 2538)



รูปที่ 2.1 ลักษณะเมล็ดข้าวฟ่างชนิดข้าวฟ่างเมล็ด

ที่มา : Rampho (2005)

## 2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่าง

เมล็ดข้าวฟ่างมีรูปร่างกลมแบน (flattened spheres) มีความยาว 4.0 mm. กว้าง 3.5 mm. และหนา 2.5 mm. (Watson, 1984) โครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่าง (sorghum kernel หรือ caryopsis) (รูปที่ 2.2) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ เพอริคาร์พ (pericarp) คัพภะ (embryo หรือ germ) และเนื้อเมล็ด (endosperm) (Rooney and Miller, 1982)

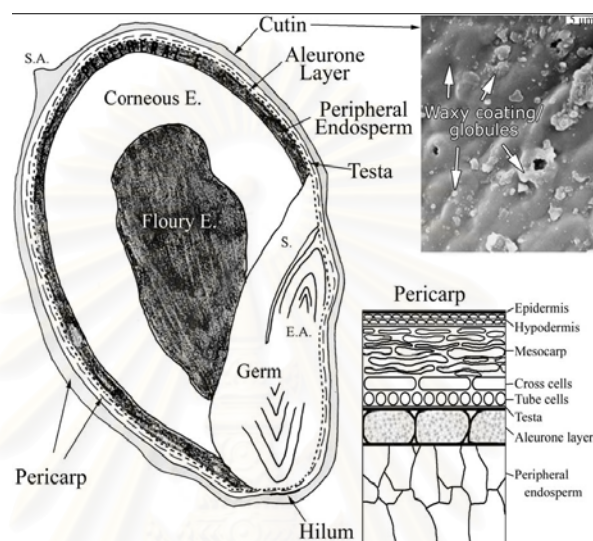
เพอริคาร์พเกิดมาจากผนังรังไข่ (ovary wall) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือชั้นเอพิคาร์พ (epicarp) เมโซคาร์พ (mesocarp) และเอนโดคาร์พ (endocarp) โดยชั้นนอกสุดคือชั้นเอพิคาร์พแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือเอพิเดอร์มิส (epidermis) เป็นชั้นของเซลล์ที่มีรูปลิ่มเหลี่ยมผืนผ้าที่หนาเคลือบด้วยชั้นของ คิวติน (cutin layer) และบางที่จะมีรงควัตถุอยู่ด้วย และชั้นไฮโปเดอร์มิส (hypodermis) จะเป็นเซลล์ที่ประกอบกันตั้งแต่ 1-3 ชั้น แต่ขนาดและความหนาจะมีขนาดเล็กกว่าชั้นเอพิเดอร์มิส ชั้นกลางคือชั้น เมโซคาร์พ ชั้นนี้จะมีลักษณะโปร่งแสง (translucent) และมีลักษณะคล้ายชอล์ค (chalky appearance) ชั้นเมโซคาร์พมีความแข็งแรงจึงสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของรา (mold resistant) ได้ และจะทำให้เอนโดสเปิร์มมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนชั้นในสุดคือ เอนโดคาร์พ ประกอบด้วยเซลล์ชนิด cross-cell layer และ tube-cell layer โดย cross-cell layer มีลักษณะยาวและแคบมีการจัดเรียงตัวแบบตั้งฉากกับเมล็ดข้าวฟ่าง ส่วน tube-cell layer มีการจัดเรียงตัวแบบขนานกับความยาวของเมล็ดข้าวฟ่าง ทั้ง 2 เซลล์นี้มีหน้าที่ลำเลียงน้ำออกจากเมล็ดและจะเกิดการแตกหักเมื่อทำการเอาเพอริคาร์พออกขณะทำการไม่แห้งเมล็ดข้าวฟ่าง

คัพภะ ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เอ็มบริโอแกนิก แอซีส (embryonic axis) และสคิวเทลลัม (scutellum) โดยเซลล์สคิวเทลลัมจะมีไขมันอยู่ในรูป oil globules และโปรตีนอยู่ในรูป protein bodies

เอนโดสเปิร์ม ประกอบด้วยชั้นอะลูโรนเลเยอร์ (aleurone layer) เพอริเฟอรอล (peripheral) เอนโดสเปิร์มส่วนแข็งหรือส่วนใส (corneous or translucent portions) เอนโดสเปิร์มส่วนอ่อนหรือส่วนขุ่น (floury or opaque portions) ในชั้นอะลูโรนเลเยอร์ อะลูโรนเซลล์จะมีแร่ธาตุ วิตามินที่ละลายน้ำ เอนไซม์ และไขมันเป็นองค์ประกอบ ชั้นเพอริเฟอรอลประกอบด้วยเซลล์ขนาดเล็กที่มีเม็ดสตาร์ชอยู่ด้วย เอนโดสเปิร์มส่วนแข็งจะอยู่ใกล้กับชั้นเพอริเฟอรอล เอนโดสเปิร์มส่วนนี้จะมีเม็ดสตาร์ชและโปรตีนอยู่อย่างหนาแน่น ไม่มีช่องว่างระหว่างโปรตีนและเม็ดสตาร์ช แสดงดังรูปที่ 2.3 (b) เม็ดสตาร์ชบริเวณนี้มีรูปร่างหลายเหลี่ยม (angular หรือ polyhedral) เนื่องจากเกิดการบีบตัวกัน (depressions) ของ protein bodies ทำให้พันธะระหว่างสตาร์ชกับโปรตีน (starch-protein bond) แข็งแรงมาก เมื่อทำการแยกเอาเม็ดสตาร์ชออกจากโปรตีน เม็ดสตาร์ชจะเกิดการ



แตกหักได้ง่าย และเอนโดสเปิร์มส่วนใส มีการรวมตัวกันอย่างหลวม ๆ มีช่องว่าง (voids) เกิดขึ้นระหว่างเม็ดสตาร์ช แสดงดังรูปที่ 2.3 (a) เม็ดสตาร์ชบริเวณนี้มีรูปร่างกลม (spherical) บริเวณนี้มีโปรตีนโครงร่างตาข่าย (protein matrix) เล็กน้อยหรือไม่มีเลย และส่วนนี้จะมี protein bodies น้อยกว่าบริเวณเอนโดสเปิร์มส่วนแข็ง อัตราส่วนของเอนโดสเปิร์มส่วนแข็งและส่วนอ่อน นั้นขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาวะการเจริญเติบโต (Kavitha and Chandrashekar, 1992)



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่าง

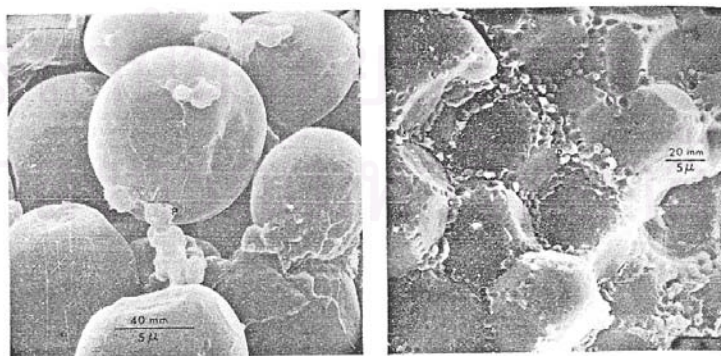
S.A. คือ Stylar area

S คือ Scutellum

E คือ Endosperm

E.A. คือ Embryonic axis

ที่มา : Earp, McDonough, และ Rooney (2004)



(a)

(b)

รูปที่ 2.3 เอนโดสเปิร์ม (a) ส่วนอ่อนและ (b) ส่วนแข็ง

ที่มา : Hosney, Davis, และ Harbers (1974)

เมล็ดข้าวฟ่างที่เจริญเติบโตเต็มที่ที่มีองค์ประกอบทางเคมี คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้า แสดงในตารางที่ 2.1 โดยในส่วนต่าง ๆ ของโครงสร้างของเมล็ดข้าวฟ่างก็จะมีปริมาณแตกต่างกัน (ตารางที่ 2.2)

### ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวฟ่าง

องค์ประกอบ	ปริมาณ(%db)	ค่าเฉลี่ย (%db)
ความชื้น (%wb)	8 – 20	15.5
สตาร์ช	60 – 77	74.1
โปรตีน	6.6 – 16	11.1
ไขมัน	1.4 – 6.1	3.7
เถ้า	1.2 – 7.1	1.5
เส้นใย	0.4 – 13.4	2.6
Pentoglycans	1.8 – 4.9	2.5
น้ำตาล	0.5 – 2.5	1.8
แทนนิน	0.003 – 0.17	0.1
แว็กซ์ (wax)	0.2 – 0.5	0.3

ที่มา : Watson (1984)

คาร์โบไฮเดรต เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดในเมล็ดข้าวฟ่าง (80 – 85 % ของเมล็ด) ซึ่งคาร์โบไฮเดรตนี้ หมายรวมถึง สตาร์ช เซลลูโลส (cellulose) น้ำตาล และเพนโทไกลแคน (pentoglycans) โดยมีการศึกษาคุณสมบัติต่าง ๆ ของสตาร์ชมากกว่าองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ของเมล็ดข้าวฟ่าง (Rooney and Clark, 1968) โดยทั่วไปสตาร์ชข้าวฟ่างจะมีปริมาณอะไมโลส 20 – 30 % และอะไมโลเพกทิน 70 – 80 % (Rooney and Clark, 1968; Hulse, Laing, and Pearson, 1980)

อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์แบบสายตรงประกอบด้วยหน่วยกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-ดี-1,4-กลูโคสิดิก ( $\alpha$ -D-1,4-glucosidic linkage) ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 1,500 หน่วยกลูโคส (glucose unit) มีน้ำหนักโมเลกุล  $1 \times 10^5 - 3 \times 10^5$  กิโลดาลตัน (Waniska and Rooney, 2000) อะไมโลสสามารถทำปฏิกิริยากับไอโอดีน และสารประกอบอินทรีย์อื่น ๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอลและไฮโดรคาร์บอน ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่ง

ไม่ละลายน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ แสดงดังรูปที่ 2.4 (Swinkels, 1985)

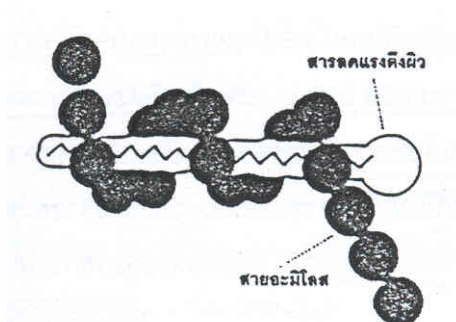
### ตารางที่ 2.2 น้ำหนักและองค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างต่าง ๆ ของเมล็ดข้าวฟ่าง

		ร้อยละ (น้ำหนักแห้ง)	องค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างต่าง ๆ (%db)			
			สตาร์ช	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า
คัพภะ	ช่วง	7.8 – 12.1	-	18.0 – 19.2	26.9 – 30.6	-
	ค่าเฉลี่ย	9.8	13.4	18.9	28.1	10.36
เอนโดสเปิร์ม	ช่วง	80.0 – 84.6	81.3 – 83.0	11.2 – 13.0	0.4 – 0.8	0.30 – 0.44
	ค่าเฉลี่ย	82.3	82.5	12.3	0.6	0.37
รำ	ช่วง	7.3 – 9.3	-	5.2 – 7.6	3.7 – 6.0	-
	ค่าเฉลี่ย	7.9	34.6	6.7	4.9	2.02
เมล็ด	ช่วง	-	72.3 – 75.1	11.5 – 13.2	3.2 – 3.9	1.57 – 1.68
	ค่าเฉลี่ย	-	73.8	12.3	3.6	1.65

ที่มา : Watson (1984)

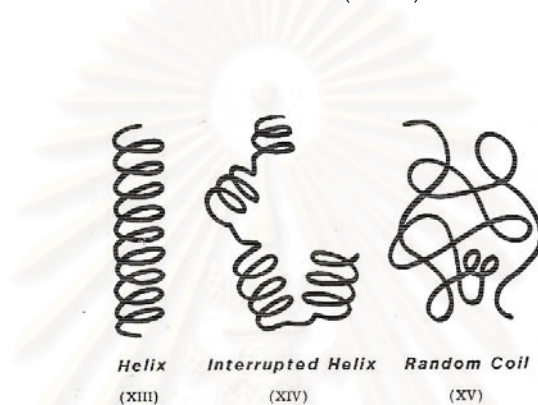
โครงสร้างของอะไมโลสเมื่ออยู่ในสารละลายจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คล้ายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอิสระ (random coil) แสดงดังรูปที่ 2.5 อะไมโลสจะอยู่ในลักษณะเป็นม้วนอิสระซึ่งจะเกิดเมื่ออะไมโลสละลายอยู่ในน้ำที่มี pH เป็นกลางด้วยไปแต่สเซียมคลอไรด์และโครงสร้างจะขยายเมื่ออยู่ในสภาพเป็นด่าง ส่วนโครงสร้างที่เป็นเกลียวม้วน จะเกิดเมื่อมีสารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน และมีสภาพที่มี pH เป็นด่าง (pH 12) หรือ pH เป็นกลาง (Whistler and Daniel, 1984)

อะไมโลเพกทิน เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง ที่แตกเป็นสาขามากมาย กลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะแอลฟา-ดี-1,4-กลูโคสิดิกและทุก ๆ 12 – 20 หน่วยของกลูโคสจะมีส่วนที่เป็นกิ่งสาขาเป็น พอลิเมอร์กลูโคสสายสั้นเชื่อมต่อกันด้วยพันธะแอลฟา-ดี-1,6-กลูโคสิดิกประกอบด้วยสายพอลิเมอร์ประมาณ 3,000 สาย มีน้ำหนักโมเลกุล  $8 \times 10^6$  -  $10 \times 10^6$  กิโลดาลตัน (Waniska and Rooney, 2000) อะไมโลเพกทิน ถือว่ามีความสำคัญมากกว่าอะไมโลส ทั้งด้านโครงสร้างหน้าที่ และการนำไปใช้ ดังนั้น เมื่อมีอะไมโลเพกทินอย่างเดียวย่อมสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดสตาร์ชได้ (Oates, 1997)



รูปที่ 2.4 ภาพจำลองการจับตัวของอะมิโลสกับสารอินทรีย์

ที่มา : Galliard และ Bowler (1987)



รูปที่ 2.5 ลักษณะเกลียวของอะมิโลส

ที่มา : Whistler และ Daniel (1984)

โปรตีน เป็นส่วนประกอบที่มีปริมาณมากรองลงมาจากคาร์โบไฮเดรต ข้าวฟ่างประกอบด้วยโปรตีนหลัก 4 ชนิด ได้แก่ อัลบูมิน (albumin) 1 – 8 % สามารถละลายได้ในน้ำ โกลบูลิน (globulin) 2 – 9 % สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือ คาเฟอริน (kafirin) หรือโปรลามิน (prolamin) 32 – 59 % สามารถละลายได้ในสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ และ กลูเตลิน (glutelin) 19 – 39 % สามารถละลายได้ในสารละลายเกลือเจือจาง (Virupaksha and Sastry, 1968; Wall and Blessin, 1970) โดยโปรตีนในเมล็ดข้าวฟ่างจะมีรูปร่าง 2 แบบ คือ โครงสร้างเป็น protein bodies ซึ่งส่วนมากจะเป็นโปรตีนโปรลามิน และโครงสร้างโปรตีนร่างแห ส่วนมากจะเป็นโปรตีนกลูเตลิน (Rooney and Miller, 1982) และในบริเวณคัพภะจะมีโปรตีนอัลบูมินและโกลบูลิน ส่วนในเอนโดสเปิร์มจะมีโปรตีนคาเฟอรินและกลูเตลินอยู่มาก และโปรตีนอัลบูมิน โกลบูลิน และกลูเตลินจะมีไลซีน (lysine) และกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกาย (essential amino acid) อื่น ๆ อยู่ด้วย (Waniska and Rooney, 2000)



ไขมัน ในเมล็ดข้าวฟ่างส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณคัพพะมากที่สุด และจะมีปริมาณน้อยที่สุดที่บริเวณเอนโดสเปิร์ม (Hulse, Laing, and Pearson, 1980) และเมื่อเอาคัพพะออกระหว่างการสี ปริมาณไขมันจะลดลงมาก (Waniska and Rooney, 2000) กรดไขมันในข้าวฟ่างจะเหมือนกับในข้าวโพด โดยจะมีกรดไขมันลิโนเลอิก (linoleic acids) และกรดไขมันโอเลอิก (oleic acids) (Wall and Blessin, 1970)

ถ้า โดยทั่วไปข้าวฟ่างมีปริมาณเถ้าอยู่ประมาณ 1.65 % โดยน้ำหนักแห้ง (Rooney and Clark, 1968) แร่ธาตุที่พบได้แก่ โปแตสเซียม แมกนีเซียม เหล็ก สังกะสี และทองแดง แต่จะมีแคลเซียมและโซเดียมอยู่น้อยมาก (Waniska and Rooney, 2000)

## 2.3 การผลิตแป้งและสตาร์ช

### 2.3.1. การผลิตแป้งข้าวฟ่าง

ข้าวฟ่างที่มนุษย์บริโภคนั้น ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของแป้งข้าวฟ่าง ซึ่งกรรมวิธีที่ใช้ในการผลิตแป้งข้าวฟ่างนั้น โดยทั่วไป จะมีหลักการเหมือนกับการผลิตแป้งจากเมล็ดธัญพืชชนิดอื่น ๆ คือ การโม่แห้ง (Dry milling) และการโม่เปียก (Wet milling) (รูปที่ 2.6)

การโม่แห้งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการผลิตแป้ง เพราะเพียงบ้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องโม่เท่านั้นก็จะได้แป้งออกมา แต่แป้งที่ได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพต่ำ เพราะมีความสะอาดไม่เพียงพอ และค่อนข้างหยาบ ไม่สามารถเก็บได้นาน มีกลิ่นเหม็นหืน เพราะยังมีไขมันสูงและเกิดมอดได้ง่าย อีกทั้งยังทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเสียหายได้ง่าย (วราทัศน์ วงศ์สุรไกร, 2539; Chen, Lu, and Lii, 1999)

การโม่เปียกเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด วิธีนี้จะนำวัตถุดิบมาแช่น้ำหรือในสารละลายที่มีซัลเฟอร์ไดออกไซด์และกรดก่อน (Watson, 1984) เพื่อให้เมล็ดข้าวฟ่างมีความนุ่ม จากนั้นนำมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด แล้วนำมาโม่กับน้ำสะอาด แยกน้ำออกและอบให้แห้งด้วยลมร้อน แป้งที่ได้จะมีคุณภาพดีและสามารถเก็บไว้ได้นาน เหมาะแก่การนำไปใช้ เนื่องจากแป้งที่ผ่านการโม่เปียกจะมีความละเอียดและมีคุณภาพสูง ไม่มีกลิ่นเหม็นหืน เพราะได้แยกสิ่งสกปรกต่าง ๆ รวมทั้งรำและไขมันออกไป แต่วิธีนี้มีต้นทุนในการผลิตสูง เกิดการสูญเสียวิตามินและสารอาหารอื่น ๆ ที่สามารถละลายได้ในน้ำ และทำให้น้ำทิ้งเกิดขึ้น (Chen *et al.*, 1999) โดยทั่วไป ก่อนที่จะทำการโม่เปียกนั้น ต้องทำให้เมล็ดข้าวฟ่างมีความนุ่มก่อน โดยอาจแช่ในสารละลายน้ำที่ไม่มีระบบหมุนเวียนหรือมีระบบหมุนเวียนของสารละลาย ซึ่งต้องควบคุมอัตราการไหลของสารละลาย อุณหภูมิ ความเข้มข้นของซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และความเป็นกรด-ด่าง (Watson, 1984) โดย



รูปที่ 2.6 วิธีการไม่ข้าวฟ่างแบบแห้งและเปียก  
ที่มา : ศิวาพร ศิวเวช (2539)

ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสารละลาย จะใช้เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (putrefactive organisms) เพิ่มปริมาณผลผลิตของสตาร์ช เนื่องจากการแช่เมล็ดข้าวฟ่างในสารละลายจะทำให้โปรตีนเกิดการพองตัว จนในที่สุดจะมีลักษณะกลม (globular) และละลายในสารละลายได้ ส่งผลให้เมล็ดสตาร์ชละลายออกจากโปรตีนได้ง่าย (Watson, 1984) แบ่งที่ได้จากการไม่เปียกจะมีการสูญเสียวิตามินที่สามารถละลายได้ในน้ำ โปรตีนอัลบูมิน น้ำตาล และไขมันบางส่วนระหว่างกระบวนการผลิต เมื่อนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีแบ่งเป็นองค์ประกอบ จะให้เนื้อสัมผัสที่ดีกว่าแบ่งที่ผ่านการไม่แห้ง (Chen *et al.*, 1999)

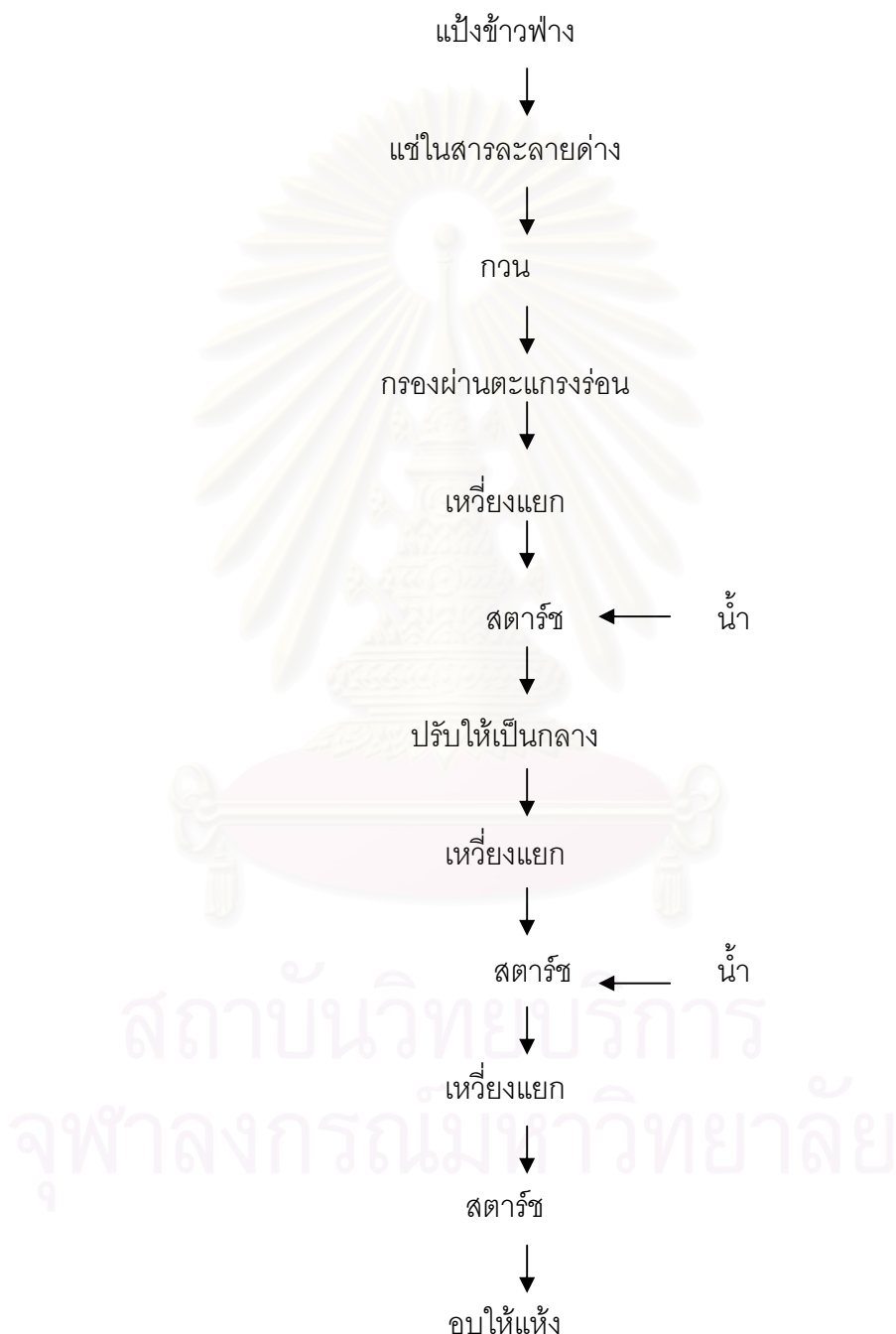
### 2.3.2. การผลิตสตาร์ช

เมล็ดข้าวฟ่างมีองค์ประกอบ โครงสร้างของเมล็ด คุณสมบัติของสตาร์ชและวิธีการสกัดสตาร์ชคล้ายกับเมล็ดข้าวโพด (Watson and Hirata, 1955; Watson, 1984) แต่การสกัดสตาร์ชจากเมล็ดข้าวฟ่างยากกว่าการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดข้าวโพด เนื่องจากเมล็ดข้าวฟ่างมีเอนโดสเปิร์มที่แข็งอยู่ถึง 65 % ในขณะที่เมล็ดข้าวโพดมีอยู่ 54 % (Wall and Blessin, 1970; Watson, 1984) เม็ดสตาร์ชในเอนโดสเปิร์มของข้าวฟ่างแข็งมีขนาดเล็กและโครงสร้างโปรตีน

(protein matrix) หนาและมีพันธะเชื่อมขวางที่หนาแน่น (heavily cross-linked) (Watson and Hirata, 1955) การผลิตสตาร์ชข้าวฟ่างมีขั้นตอนแสดงในรูปที่ 2.7 ในการสกัดโปรตีนออกจากเมล็ดหรือแป้งนั้น มีการใช้สารสกัดได้หลายชนิด เช่น การใช้สารละลายต่าง สารลดแรงตึงผิว (surfactant) และการใช้เอนไซม์โปรตีเอส

การใช้สารละลายต่างในกระบวนการผลิตสตาร์ชนั้น โดยทั่วไปโปรตีนกลูเตลินสามารถละลายในสารละลายต่าง เนื่องจากโปรตีนกลูเตลินมีพันธะที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic bonding) คือพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide linkages) ดังนั้นการละลายโปรตีนกลูเตลินได้จึงต้องใช้สารละลายที่มี pH น้อยกว่า 3 หรือสูงกว่า 10 (Juliano, 1984) Mistry และ Eckhoff (1992) ได้ศึกษาสมบัติของสตาร์ชข้าวโพดที่สกัดจากแป้งข้าวโพด โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 % และ 0.4 % ที่อุณหภูมิ 25 และ 55 °C ใช้เวลาในการสกัด 30 และ 90 นาที เปรียบเทียบกับสตาร์ชทางการค้าพบว่า สตาร์ชข้าวโพดที่ได้มีสมบัติทางด้านความหนืด เมื่อวัดด้วย Brabender Viscoamylograph และสมบัติทางด้านความร้อน เมื่อวัดด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter แตกต่างกัน และมีค่า pasting temperature ต่ำแต่มีความหนืดสูงกว่า สตาร์ชทางการค้า โดยรูปแบบของ X-ray diffraction, birefringence, รูปร่างของเม็ดสตาร์ช และลักษณะการย่อยของเอนไซม์ (enzymatic hydrolysis characteristics) ของสตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เหมือนกับสตาร์ชทางการค้า Radosavljevic, Jane, และ Johnson (1998) นำสารละลายต่างมาใช้ในการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดผักโขม (Amaranth) โดยนำเมล็ดผักโขมแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1.0 % 0.25 % 0.10 % และ 0.05 % นาน 24 ชม. ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าที่ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.0 % จะได้ปริมาณผลผลิตสูงที่สุดและสตาร์ชที่ได้มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุดนอกจากนี้ สารละลายต่างสามารถสกัดไขมันได้ด้วยแต่บางครั้งจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันและทำให้เกิดกลิ่นผิดปกติ (off odor) ของสตาร์ชได้ (Liukkonen, Kaukovirta-Norja, and Laakso, 1992; Matsunaga and Seib, 1997) เนื่องจากสตาร์ชข้าวที่สกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 % มีปริมาณไขมันทั้งหมดและไลโซฟอสโฟลิปิด (lysophospholipids) ต่ำ แต่มีปริมาณกรดไขมันอิสระเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชก่อนสกัดเอาโปรตีนออก (Azudin and Morrison, 1986) เกษมศรี พงษ์เสรี (2545) ได้สกัดโปรตีนจากแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการโม่แห้งและไม่เปียกโดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.25 N ที่ pH 9, 10, 11 และ 11.5 พบว่าแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการโม่แห้งจะสกัดเอาโปรตีนออกได้น้อยกว่าแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการโม่เปียก และแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 แบบเมื่อเพิ่ม pH ขึ้นจะสกัดโปรตีนออกจากแป้งได้เพิ่มขึ้น สตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลายต่างจะมีความบริสุทธิ์สูง ต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่จะทำให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไป (Lim *et al.*, 1999; Lumdubwong and Seib, 2000) ถ้ามีการตกค้างของโซเดียมในสตาร์ชจะทำให้

ความหนืดของสตาร์ชเพิ่มขึ้น (Mistry and Eckhoff, 1992) และทำให้มีน้ำทิ้งที่มีสารละลายต่าง และเกลือปนอยู่ (Lim *et al.*, 1999; Lumdubwong and Seib, 2000) ถึงแม้การใช้สารละลายต่าง ในการสกัดโปรตีนมีข้อเสียอยู่บ้าง แต่ในการผลิตสตาร์ชทางอุตสาหกรรมก็ยังนิยมใช้สารละลาย ต่างมากกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิว หรือเอนไซม์โปรตีเอส (Hoseney, 1994)



รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิตสตาร์ชข้าวฟ่าง  
ที่มา : Beta และคณะ (2000)

การใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นวิธีการสกัดโปรตีนที่มีประสิทธิภาพในการแยกโปรตีนออกดีพอสมควรว มีการเติมโซเดียมซัลไฟต์เพื่อทำหน้าที่เป็น reducing agent โดยไปทำลายพันธะไดซัลไฟด์ที่จับกันภายในและระหว่างโมเลกุลของโปรตีน และแยกเส้นใยออกจากเอนโดสเปิร์มได้อีกด้วย (Cagampang *et al.*, 1966; Lumdubwong and Seib, 2000) สารลดแรงตึงผิวที่ใช้กัน ได้แก่ ไดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (dodecylbenzene sulfonate) และ โซเดียม ลอริล ซัลเฟต (sodium lauryl sulfate) Lim และคณะ (1999) ทดลองสกัดโปรตีนจากแป้งข้าวโดยใช้ไดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนตเข้มข้น 1.2 % ที่มีโซเดียมซัลไฟต์ 0.12 % และโซเดียมลอริลซัลเฟตเข้มข้น 1.2 % ที่มีโซเดียมซัลไฟต์ 0.12 % พบว่าสตาร์ชที่สกัดด้วยไดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนตมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าสตาร์ชที่สกัดด้วยโซเดียมลอริลซัลเฟต การใช้สารเคมีประเภทนี้ก็ทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับน้ำทิ้งเช่นเดียวกับการใช้สารละลายต่างและยังอาจมีผลทำให้ความหนืดของแป้งเปียกมีค่าลดลง (Lumdubwong and Seib, 2000)

การใช้เอนไซม์โปรตีเอสเป็นวิธีการสกัดโปรตีนที่ไม่ทำลายเม็ดสตาร์ช เนื่องจากเอนไซม์มีความจำเพาะ (enzyme specificity) (Lumdubwong and Seib, 2000) โดยระหว่างการแช่ เอนไซม์โปรตีเอสจะไปตัดสาย (hydrolyzes) โปรตีนร่างแหบริเวณรอบ ๆ เม็ดสตาร์ช ทำให้ง่ายต่อการสกัดสตาร์ชได้ง่ายด้วยน้ำ (Radosavljevic *et al.*, 1998) Steinke และ Johnson (1991a, b) ทำการทดลองแช่แป้งข้าวโพดในสารละลายที่มีเอนไซม์โปรตีเอสและซัลเฟอร์ไดออกไซด์ พบว่าสามารถเพิ่มปริมาณผลผลิต และลดเวลาในการแช่ได้ Lumdubwong และ Seib (2000) ทดลองนำเอนไซม์โปรตีเอสมาสกัดโปรตีนออกจากแป้งข้าวที่ pH 10 อุณหภูมิ 55 °C นาน 12 ชม. ได้ปริมาณผลผลิตสตาร์ช 95 % มีปริมาณโปรตีนในสตาร์ช 0.52 % ปริมาณ damaged starch 2.1 % และสตาร์ชมีความสว่าง ไขมัน มากกว่าสตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลายต่างแต่มีความคงตัว (consistency) ต่ำหลังจากให้ความร้อน ข้อเสียของการใช้เอนไซม์โปรตีเอสในการสกัดคือ ใช้เวลาในการสกัดนานซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านจุลินทรีย์และสตาร์ชที่ได้มีความบริสุทธิ์ต่ำเนื่องจากแยกเอนไซม์ออกจากสตาร์ชได้ยาก อีกทั้งเอนไซม์ยังมีราคาแพงจึงทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง (Lim *et al.*, 1999; Lumdubwong and Seib, 2000)

## 2.4 สมบัติทางกายภาพที่สำคัญของสตาร์ช

### 2.4.1 การเกิดเจลลิตในเซชันของสตาร์ช

ความหนืดเป็นสมบัติที่สำคัญและเป็นประโยชน์มากที่สุดของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแป้ง การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเป็นสมบัติเฉพาะตัวและ



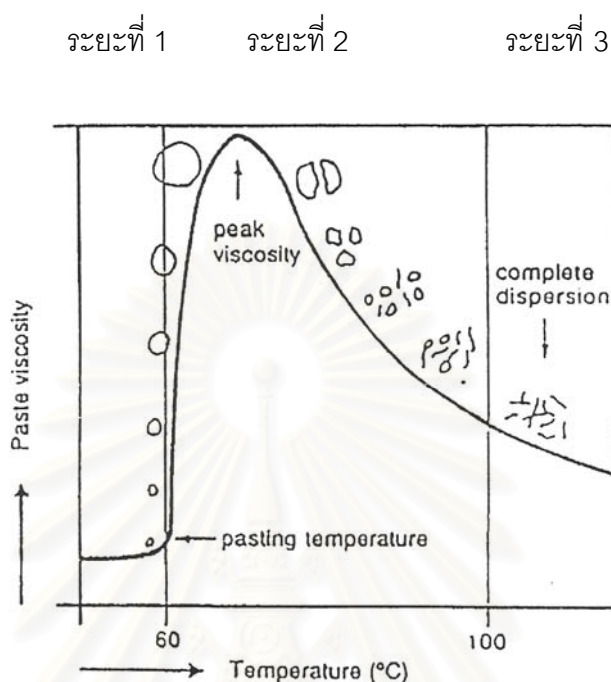
แตกต่างกันไปตามชนิดและสายพันธุ์ของแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2542) การตรวจวัดค่าความหนืดมีความสำคัญในแง่การใช้แป้งในอุตสาหกรรมอาหารเช่น ใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและให้น้ำเชื่อมข้นในอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ ทั้งในขั้นตอน sizing และ coating และใช้ในอุตสาหกรรมกาว เป็นต้น (Zobel, 1984)

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group) จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดสตาร์ชอยู่ในรูปร่าง micelles จึงทำให้เม็ดสตาร์ชละลายในน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็น เม็ดสตาร์ชจะคูดน้ำเล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัว เม็ดสตาร์ชจะคูดน้ำและพองตัวเพิ่มขึ้น ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดเพิ่มมากขึ้นและใสขึ้น โมเลกุลของน้ำอิสระที่อยู่รอบ ๆ เม็ดสตาร์ชจะเหลือน้อยลง เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ทำให้เกิดความหนืดเพิ่มขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2542)

การเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดสตาร์ชแบ่งได้ 3 ระยะ (Sanders, 1996) คือ ระยะแรกเม็ดสตาร์ชจะคูดน้ำได้อย่างจำกัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากรูปร่างระหว่าง micelles ยึดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดสตาร์ชยังคงรักษารูปร่าง และโครงสร้างของ birefringence ได้ ระยะที่ 2 เมื่อมีการใส่สารเคมีหรือเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง) เม็ดสตาร์ชจะพองตัวอย่างรวดเร็ว รูปร่าง micelles ภายในเม็ดสตาร์ชอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดสตาร์ชจะคูดน้ำเข้ามามาก และเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชัน เม็ดสตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และโครงสร้าง birefringence ความหนืดของสารละลายน้ำแป้งจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สตาร์ชที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ซึ่งถ้าเหวี่ยงแยกส่วนใส และหยดสารละลายไอโอดีนลงในส่วนใสจะเกิดสีน้ำเงิน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะเข้าสู่ระยะที่ 3 รูปร่างเม็ดสตาร์ชจะไม่แน่นอน การละลายของสตาร์ชจะเพิ่มขึ้น และมีการแตกของเม็ดสตาร์ชอย่างสมบูรณ์ ความหนืดของแป้งเปียกจะลดลง แสดงดังรูปที่ 2.8

การวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นมักใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Rapid Visco Analyser (RVA) ซึ่งลักษณะพิเศษของเครื่องมือนี้ คือสามารถเปลี่ยนแปลงระดับอุณหภูมิของน้ำแป้ง ทั้งการให้ร้อนหรือเย็นได้อย่างแม่นยำแน่นอน ตลอดจนสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ในช่วงเวลาที่กำหนดได้ การทำงานของเครื่องควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ทำให้ใช้งานและวิเคราะห์ผลได้ง่าย เม็ดสตาร์ชเมื่อได้รับความร้อนจะคูดน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น ขณะเดียวกันน้ำที่เหลืออยู่รอบ ๆ ลดลงทำให้เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยาก และในสภาวะที่มีการกวนภายใต้แรงเฉือน (shear force) ค่าหนึ่ง แป้งจะถูกเปลี่ยนเป็นเจล ซึ่งการ

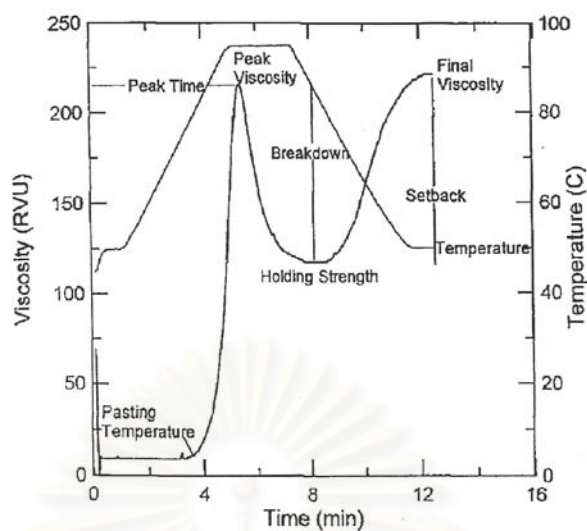
เกิดเจลาติไนเซชันของแป้งมีผลทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ซึ่งเป็นจุดที่เมล็ดสตาร์ชมีการพองตัวเต็มที่ การเพิ่มอุณหภูมิและการกวนต่อไปจะมีผล



รูปที่ 2.8 ระยะเวลาในการเกิดเจลาติไนเซชันของเมล็ดสตาร์ช

ที่มา : Sanders (1996)

ทำให้โครงสร้างภายในเมล็ดสตาร์ชแตกทำให้ความหนืดลดลงและเมื่อลดอุณหภูมิลงเจลาของแป้งจะเกิดรีโทรเกรเดชันทำให้มีความหนืดเพิ่มขึ้นอีก ความหนืดที่เพิ่มขึ้นนี้เกิดจากการเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะไมโลสที่หลุดออกมาจากเมล็ดสตาร์ช ลักษณะของกราฟความหนืดที่วัดด้วยเครื่อง RVA (Newport Scientific Pty, Ltd, 1995) แสดงในรูปที่ 2.9 นอกจากนี้การวัดการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างการทำให้ร้อนและเย็นยังสามารถใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Brabender Visco Amylograph โดยมีหลักการในการวัดความหนืดของแป้งที่แขวนลอยพร้อมกับการกวนตลอดเวลา ขณะที่ให้ความร้อนในอัตราของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิที่ต้องการระยะหนึ่ง จึงทำให้เย็นลงโดยการลดอุณหภูมิในอัตราที่ลดลงอย่างสม่ำเสมอเช่นเดียวกัน (อรพิน ภูมิภมร, 2533) แสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง ได้หน่วยความหนืดเป็น Brabender Unit (BU) (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2542) และทั้งนี้สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชแสดงดังตารางที่



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA  
ที่มา : Newport Scientific Pty, Ltd., (1995)

### ตารางที่ 2.3 สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ<sup>a</sup>

Type	Pasting temperature (°C)	Peak viscosity (RVU)	Setback (RVU)
Normal maize	82.0	152	74
Waxy maize	69.5	205	16
<i>du</i> Waxy maize	75.7	109	22
<i>ae</i> Waxy maize	83.2	162	40
Waxy rice	64.1	205	16
Sweet rice	64.6	219	28
Normal rice	79.9	113	64
Wheat	88.6	104	79
Cattail millet	74.2	201	128
Chinese taro	73.1	171	73
Tapioca	67.6	173	46

<sup>a</sup> ความเข้มข้นของสตาร์ช 8 % (w/w, db)

ที่มา : Jane และคณะ (1999)

## 2.4.2 สมบัติด้านความร้อน

การเกิดเจลาตินในเซชันเป็นการพองตัวและดูดซึมน้ำเข้าไปในเม็ดสตาร์ชหรือ อาจจะถูกกล่าวได้ว่าเป็นการหลอมละลาย (melting) ในส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) ของเม็ดสตาร์ช ซึ่งเป็นไปตามการวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิก (thermodynamic analysis) ซึ่งการศึกษาการเปลี่ยนแปลงพลังงานในการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้ง สามารถศึกษาได้ด้วยเครื่อง Differential Thermal Analyzer (DTA) และ Differential Scanning Calorimeter (DSC) (Zobel, 1984)

Differential Scanning Calorimeter (DSC) วัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพในรูปฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ปกติพอลิเมอร์ต่าง ๆ ในรูปผลึกและอสัณฐาน จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แป้งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย ( $T_m$ ) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วง  $160 - 200\text{ }^{\circ}\text{C}$  แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้นอุณหภูมิของการหลอมละลายก็จะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมีประมาณ 70 % หรือมากกว่าการหลอมละลายก็คือการเกิดเจลาตินในเซชัน ช่วงของอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลง (onset temperature) และอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (peak temperature) ของความร้อน คือช่วงอุณหภูมิของเจลาตินในเซชันเฉลี่ยนั่นเอง ดังนั้นการวัดลักษณะของการเกิดเจลาตินในเซชันของแป้งโดยใช้เครื่อง DSC จึงทำโดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างสารผสมแป้งกับน้ำถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลาตินในเซชัน จะได้ thermogram ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง heat flow และอุณหภูมิ โดยพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาตินในเซชัน ( $\Delta H$ ) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2542) ทั้งนี้สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืชแสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ

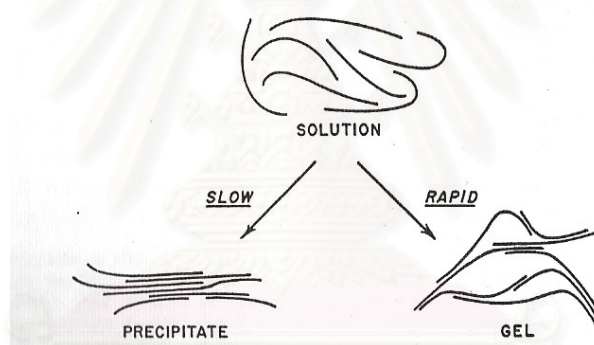
Type	$T_o$ (°C)	$T_p$ (°C)	$\Delta H_{gel}$ (J/g)	การคืนตัว (%)
A-type starch				
Normal maize	64.1±0.2	69.4±0.1	12.3±0.0	47.6
Waxy maize	64.0±0.2	69.2±0.0	15.4±0.0	47.0
<i>du</i> Waxy maize	66.1±0.5	74.2±0.4	15.6±0.2	71.2
Normal rice	70.3±0.2	76.2±0.0	13.2±0.6	40.5
Waxy rice	56.9±0.3	63.2±0.3	15.4±0.2	5.0
Sweet rice	58.6±0.2	64.7±0.0	13.4±0.6	4.3
Wheat	57.1±0.3	61.6±0.2	10.7±0.2	33.7
Barley	56.3±0.0	59.5±0.0	10.0±0.3	32.5
Waxy amaranth	66.7±0.2	70.2±0.2	16.3±0.2	5.2
Cattail millet	67.1±0.0	71.7±0.0	14.4±0.3	53.8
Mung bean	60.0±0.4	65.3±0.4	11.4±0.5	58.9
Chinese taro	67.3±0.1	72.9±0.1	15.0±0.5	32.0
Tapioca	64.3±0.1	68.3±0.2	14.7±0.7	25.3
B-type starch				
<i>ae</i> Waxy maize	71.5±0.2	81.0±1.7	22.0±0.3	61.6
Amylomaize V	71.0±0.4	81.3±0.4	19.5±1.5	80.8
Amylomaize VII	70.6±0.3	-	16.2±0.8	61.0
Potato	58.2±0.1	62.6±0.1	15.8±1.2	43.4
Green leaf canna	59.3±0.3	65.4±0.4	15.5±0.4	45.2
C-type starch				
Lotus root	60.6±0.0	66.2±0.0	13.5±0.1	43.2
Green banana	68.6±0.2	72.0±0.2	17.2±0.1	47.7
Water chestnut	58.7±0.5	70.1±0.1	13.6±0.5	47.9

ที่มา : Jane และคณะ (1999)



### 2.4.3 การคืนตัว (Retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดสตาร์ชของตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลอะไมโลสขนาด เล็กจะกระจายตัวออกมาทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวโมเลกุลอะไมโลสที่อยู่ใกล้กัน จะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติ ที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้าย ฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) แสดงดังรูปที่ 2.10 (Schoch, 1969) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีกลักษณะการเรียงตัว ของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมาจนออกเจล ซึ่งเรียก ปรากฏการณ์นี้ว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืด เพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2542)



รูปที่ 2.10 กลไกการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช

ที่มา : Schoch (1969)

การคืนตัวของแป้งนั้น เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนและขึ้นอยู่กับปัจจัยหลาย ๆ อย่าง เช่น ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง วิธีการต้ม อุณหภูมิ ระยะเวลาต้ม ความเป็นกรด-ด่าง วิธีการทำให้เย็น สารประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในแป้ง (Swinkels, 1985; Ward, Hosney, and Seib, 1994) และโครงสร้างของอะไมโลเพกทิน (Kalichevsky, Orford, and Ring, 1990) การคืนตัวของแป้งมักจะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของแป้งสูงและอุณหภูมิต่ำ อัตราการเกิดการคืนตัวของแป้งจะเกิดเร็วที่ pH 5 – 7 และอัตรานี้จะลดลงเมื่อ pH สูงและต่ำกว่านี้ การคืนตัวของแป้งจะไม่เกิดที่ pH สูงกว่า 10 หรือ pH ต่ำกว่า 2 การชะลอการเกิดการคืนตัวของแป้งสามารถทำได้โดยการ

เติมเกลือจำพวก monovalent anions และ cations แคลเซียมไนเตรทและยูเรีย (Swinkels, 1985)

โมเลกุลของอะไมโลสเป็นส่วนสำคัญและมีบทบาทในกระบวนการคืนตัวของแป้ง โดยอะไมโลสจะมีสมบัติเฉพาะคือ โมเลกุลอะไมโลสที่ละลายน้ำ (dissolved amylose) สามารถจัดเรียงตัวเป็นเส้นตรงขนานกันและจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุล ลักษณะเช่นนี้สายของอะไมโลสจะไหลรวมกัน ทำให้ไม่ละลายน้ำ โดยในสารละลายที่มีแป้งเจือจาง การรวมตัวใหญ่ขึ้นของสายอะไมโลสก็ทำให้เกิดการตกตะกอน ส่วนในสารละลายที่เข้มข้นขึ้น อะไมโลสที่รวมตัวใหญ่ขึ้นจะกัก (entrap) ส่วนของเหลวคือน้ำเข้าไปอยู่ในสายอะไมโลสที่ขนานกันนี้เกิดเป็นเจลขึ้น และจากการดูด้วย X-ray ของทั้งสองลักษณะที่เกิดขึ้นจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์รวมตัวเกิดขึ้น และการที่จะทำให้อนุภาคอะไมโลสที่เกิดจากการคืนตัวของแป้งกลับมาละลายใหม่อีก อาจต้องใช้อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 100 – 160 °C (Swinkels, 1985) อย่างไรก็ตาม ความง่ายและชนิดของการคืนตัวของแป้งมีความสัมพันธ์กับความยาวของโมเลกุลอะไมโลส กล่าวคือ โมเลกุลอะไมโลสที่ทำให้เกิดการคืนตัวของแป้งสูงสุด (หรือการละลายต่ำสุด) คืออะไมโลสที่มีกลูโคสต่อกันระหว่าง 100 – 200 หน่วยกลูโคส การคืนตัวของแป้งจะลดลง เมื่อโมเลกุลของสายอะไมโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ โดยโมเลกุลอะไมโลสที่สั้นเกินกว่าความยาวเหมาะสมนี้ จะอยู่รวมกันอย่างไม่สมบูรณ์แบบ และโมเลกุลสั้นเกินไปจะมีผลต่อการเกิดเจล ส่วนโมเลกุลที่ยาวเกินไปก็ไม่อาจจะเคลื่อนที่เข้าต่อกันอย่างแน่นกับโมเลกุลอื่น ๆ การเชื่อมต่อนี้ค่อนข้างจะลำบาก อะไมโลสของธัญพืชทั่ว ๆ ไปจะเกิดการคืนตัวได้ดี โดยเกิดการคืนตัวได้เร็วกว่าอะไมโลส ของพืชหัว (tuber) เนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูงและขนาดโมเลกุลพอเหมาะจึงรวมตัวกันได้ง่าย (อรพิน ภูมิภมร, 2533)

อะไมโลเพกทินมีบทบาทต่อการเกิดการคืนตัวของแป้งน้อยกว่าอะไมโลสทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลที่เป็นส่วนกิ่งของอะไมโลเพกทินเป็นอุปสรรคต่อการรวมตัวของโมเลกุลอะไมโลเพกทินที่ละลายในสารละลาย ทำให้สารละลายแป้งอยู่ในลักษณะเป็นสารละลายมากกว่าการเป็นเจลเมื่ออยู่ในสภาวะปกติ แต่ถ้าในสภาวะที่มีความเข้มข้นสูง ๆ หรืออยู่ที่อุณหภูมิแช่แข็ง บางส่วนของโมเลกุลแขนงอาจเกิดการคืนตัวของแป้งได้ ซึ่งมักจะเกิดในแป้งโมเลกุลแขนงที่อยู่ด้านนอก (outer chain) ของอะไมโลเพกทิน ที่มีขนาดความยาวสายกลูโคส 20 -30 หน่วยกลูโคส (อรพิน ภูมิภมร, 2533) อะไมโลเพกทินที่ได้จากธัญพืชจะเกิดการคืนตัวช้ากว่าอะไมโลเพกทินจากถั่ว มันฝรั่ง และพุทธรักษา (canna) ซึ่งทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของความยาวของสายกิ่ง โดยอะไมโลเพกทินจากถั่ว มันฝรั่ง และพุทธรักษา มีความยาวสายกิ่งสั้นกว่าอะไมโลเพกทินจากธัญพืช (Ring *et al.*, 1987; Kalichevsky *et al.*, 1990)

การวิเคราะห์การคืนตัวของแป้งอาจทำได้หลายวิธี ได้แก่ การพิจารณาค่า total setback ของแป้งที่วัดได้โดยเครื่อง Brabender visco amylograph หรือ Rapid visco analyzer

(Miles, Morris, and Ring, 1985) หรือพิจารณาค่าเอนทาลปี ( $\Delta H$ ) ที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะเก็บ เจลแข็งด้วยเครื่อง DSC โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลในเซชัน ( $\Delta H_{\text{gelatinization}}$ ) และค่าพลังงานในการรีเจลลิตในเซชัน (regelatinization) หรือค่าพลังงานในการ เกิด รีโทรเกรเดชัน ( $\Delta H_{\text{retrogradation}}$ ) (Stevens and Elton, 1971) และคำนวณค่าร้อยละการคืน ตัวได้จากสมการ

$$\text{ร้อยละการคืนตัว} = \frac{\Delta H_{\text{retrogradation}}}{\Delta H_{\text{gelatinization}}} \times 100 \quad 2.1$$

นอกจากนี้การคืนตัวยังสามารถตรวจสอบได้จากการวัดค่า freeze-thaw stability ของเจลแข็ง (Schoch, 1968) โดยการบอกรวมแนวโน้มการเกิดการคืนตัวจากปริมาณน้ำที่เกิดจาก syneresis ของเจลแข็ง ซึ่งเจลแข็งที่ syneresis มาก แสดงว่ามีการเกิดการคืนตัวมาก

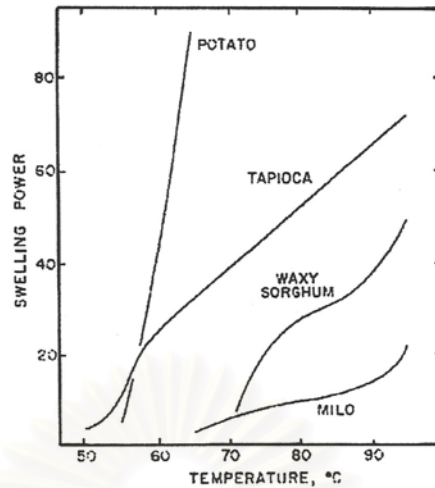
#### 2.4.4 กำลังการพองตัว (Swelling Power) และการละลาย (Solubility)

แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลลิตในน้ำ เนื่องจากมีพันธะ ไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ ๆ หรือ water bridges (กล้านรงค์ ศรีวรรต, 2542) โดยทั่วไปเม็ดสตาร์ชสามารถดูดซึมน้ำในบรรยากาศได้ จนเกิดความสมดุลระหว่าง ความชื้นภายในเม็ดสตาร์ชกับความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ดูดซึมจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและ ความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศ รวมทั้งแหล่งที่มาของแป้งด้วย โดยทั่วไปแป้งสามารถดูดซึมน้ำได้ ประมาณ 10 – 17 % (Leach, 1965) เมื่อละลายแป้งลงในน้ำที่อุณหภูมิต่ำ แป้งสามารถดูดน้ำ ได้ประมาณ 25 – 30 % และมีการพองตัวน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตได้ (Kerr, 1950) ซึ่งการ พองตัวลักษณะนี้สามารถผันกลับได้ คือ เมื่อทำให้แห้งเม็ดสตาร์ชก็จะมีลักษณะเป็นเม็ดสตาร์ชคง เดิม (อรพิน ภูมิภมร, 2533) แต่เมื่ออุณหภูมิของสารละลายน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิเจลลิต ในน้ำ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลอิสระ เม็ดสตาร์ช เกิดการพองตัว ทำให้เกิดการละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น birefringence จะหมดไป (กล้านรงค์ ศรีวรรต, 2542) เมื่อมีการให้ความร้อนแก่สารละลายน้ำแป้ง เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพอง ตัวและโมเลกุลอะไมโลสจะละลายออกมาในน้ำ ซึ่งกำลังการพองตัวของสตาร์ชจะแสดงเป็น ปริมาณน้ำหนักของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ ส่วน ความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแป้งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลาย ได้ ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายคือ ชนิดของแป้ง ความแข็งแรงและ

ลักษณะของร่างแหภายในเม็ดสตาร์ช สิ่งเจือปนภายในเม็ดสตาร์ชที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต ปริมาณน้ำในสารละลายแป้ง และการตัดแปรงทางเคมี (กล้าณรงค์ ศรีรอด, 2542)

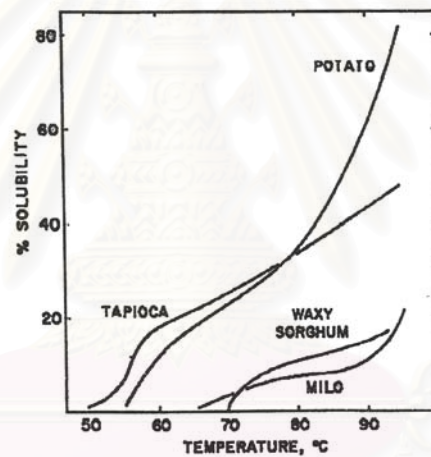
รูปแบบการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชมีอิทธิพลจากชนิดของแป้งเป็นสำคัญ (รูปที่ 2.11) โดยแป้งมันฝรั่งมีการพองตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ แสดงว่าแรงพันธะระหว่างโมเลกุลอ่อน (weak bonding forces) ส่วนแป้งมันสำปะหลังจะเริ่มพองตัวที่อุณหภูมิเดียวกับแป้งมันฝรั่ง แต่การพองตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ สันนิษฐานได้ว่า แรงพันธะภายในเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังมีช่วงกว้างมากกว่าแรงพันธะของแป้งมันฝรั่ง อย่างไรก็ตามแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเทียบกับแป้ง waxy sorghum และแป้ง milo แสดงว่าพันธะระหว่างโมเลกุลอ่อน ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ionizable esterified phosphate ช่วยเสริมการพองตัวโดยลักษณะการพองตัวเกิดอย่างต่อเนื่องและเร็ว เป็นลักษณะการพองตัวแบบขั้นเดียว (single-stage swelling) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแป้งที่เป็นโพลีอิเล็กโทรไลต์ กล่าวคือพันธะไฮโดรเจนในเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งบางส่วนจะปรากฏอยู่ที่ hydration water bridge แทนที่จะอยู่ร่วมในโมเลกุลเม็ดสตาร์ชอย่างแข็งแรง (Leach, 1965) ส่วนแป้งจากธัญพืช เช่น white milo (waxy sorghum) และ milo มีการพองตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากพืชหัว และรากและการพองตัวจะขยายขึ้นอย่างช้า ๆ ถึงแม้อุณหภูมิจะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีก การพองตัวจะเกิดเร็วขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะการพองตัวแบบสองขั้น (two-stage swelling) แสดงว่าภายในเม็ดสตาร์ชมีแรงพันธะอยู่สองลักษณะคือ พันธะแรงอ่อนจะคลายตัวที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 75 องศาเซลเซียส และพันธะแรงแข็งจะคลายตัวที่อุณหภูมิต่ำประมาณ 85 องศาเซลเซียส ขึ้นไป (Leach, 1965)

เมื่อนำค่าสมบัติการละลายมาพลอตเทียบกับอุณหภูมิ (รูปที่ 2.12) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะเหมือนกับกราฟการพองตัว โดยแป้งจาก waxy sorghum และ milo จะมีการละลายแบบสองขั้น (two-stage solubilization) เช่นเดียวกับการพองตัว แสดงให้เห็นถึงแรงพันธะแรงอ่อนและแข็งภายในเม็ดสตาร์ช (Leach, 1965)



รูปที่ 2.11 รูปแบบการพองตัวของแป้งต่างชนิด

ที่มา : Leach (1965)



รูปที่ 2.12 รูปแบบการละลายของแป้งต่างชนิด

ที่มา : Leach (1965)

#### 2.4.5 เม็ดสตาร์ชที่เสียหาย (Damaged starch)

เม็ดสตาร์ชบางส่วนอาจได้รับความเสียหายในระหว่างการผลิต ปริมาณของเม็ดสตาร์ชที่เสียหาย (damaged starch) จะมีมากขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือและความแข็งแรงของเมล็ด (Hoseney, 1994) เม็ดสตาร์ชที่เกิดการแตกหักจะดูดซึมน้ำได้อย่างรวดเร็ว และเอนไซม์สามารถย่อยได้ง่าย สำหรับแป้งทำขนมปัง การมี damaged starch จะช่วยทำให้แป้งดูดซึมน้ำได้ดี และประสิทธิภาพในการหมักระหว่างกระบวนการทำขนมปังเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณ damaged starch ที่มากเกินไปอาจส่งผลให้โดขนมปังมีน้ำมากเกินไป และเกิดปฏิกิริยาของ



เอนไซม์มากเกินไป ส่งผลให้ได้โตที่เหนียว เกิดปัญหาในการตัด (slicing) ขนมปัง (Ranhotra, Gelroth, and Eisenbraun, 1993)

ปัจจุบันการวิเคราะห์หาปริมาณ damaged starch มีอยู่ 2 วิธี คือวิธีทางเอนไซม์ (enzymatic) และวิธีการทำปฏิกิริยากับไอโอดีน (iodometric) (Lin and Czuchajowska, 1996) หลักการของวิธีทางเอนไซม์ คือการใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (alpha-amylase) เข้าไปตัดสายสตาร์ชภายในเม็ดสตาร์ช และวิเคราะห์หาปริมาณ reducing sugar ด้วยวิธี volumetric หรือ ใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (alpha-amylase) เข้าไปตัดสายสตาร์ชภายในเม็ดสตาร์ช เพื่อให้ได้ มอลโตแซ็กคาไรด์ (maltosaccharide) หรือ เด็กซ์ทริน (dextrin) จากนั้นเปลี่ยนเป็นกลูโคสด้วยเอนไซม์อะไมโลกลูโคซิเดส (amylglucosidase) แล้ววัดปริมาณกลูโคสด้วยวิธี spectrophotometric ส่วนวิธีที่ทำปฏิกิริยากับไอโอดีน คือ ให้ damaged starch ทำปฏิกิริยากับไอโอดีน เพื่อให้ได้สารละลายที่มีสี จากนั้นวัดค่าสีด้วยวิธี amperometric หรือ colorimetric (Morgan and Williams, 1995)

#### 2.4.6 สี (Color)

รงควัตถุ (pigments) ในข้าวฟ่างอาจประกอบด้วย แคโรทีนอยด์ (carotenoids) และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) ชนิดที่ให้สี ซึ่งในที่นี้หมายถึง แทนนิน (tannin) (Rooney and Clark, 1968) ในเมล็ดข้าวฟ่างที่มีสีเหลือง พบว่ามีแคโรทีนอยู่ประมาณ 7.7 ppm ซึ่งประกอบด้วยรงควัตถุซีแซนทิน (zeaxanthin) 36.3 % ลูทีน (lutein) 28.6 % แซนโทฟิลล์ (xanthophylls) 24.7 % เบต้า-แคโรทีน ( $\beta$ -carotenes) 10.4 % (Waniska and Rooney, 2000)

เมล็ดข้าวฟ่างมีสีแตกต่างกันตั้งแต่สีขาวจนถึงสีน้ำตาลดำขึ้นอยู่กับสารประกอบฟีนอลิกในเพอริคาร์พ (Wall and Blessin, 1970; Rooney and Miller, 1982) ส่งผลให้แป้งที่ได้มีสีที่แตกต่างกันไป อาจมีสีขาว สีครีม หรือสีชมพู ขึ้นอยู่กับสารฟีนอลิกในเพอริคาร์พ ซึ่งจะซึมเข้าไปในเอนโดสเปิร์มระหว่างที่อยู่ในแปลงปลูกหรือระหว่างการแช่ในกระบวนการไม่เปียก (Subramanian, Hosney, and Bramel-Cox, 1994; Beta, Obilana, and Corke, 2001) นอกจากนี้เมล็ดข้าวฟ่างที่มีสีขาวยังสามารถทำให้แป้งเกิดสีผิดปกติ (off-color) ได้ เนื่องจากรงควัตถุที่ไม่ใช่แคโรทีนอยด์ (noncarotenoid pigment) (Watson *et al.*, 1955; Freeman and Watson, 1971)

การเกิดสีผิดปกติของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างนั้น จะส่งผลต่อมูลค่าของแป้งและสตาร์ชด้วย สีของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างอาจลดได้ ด้วยวิธีสีเอาเพอริคาร์พออกก่อนการไม่เปียก ซึ่งอาจทำให้ปริมาณผลผลิตแป้งและสตาร์ชลดลง (Zipf, Anderson, and Slotter, 1950)

นอกจากนี้อาจทำได้โดยการฟอกสี (bleaching) ด้วยโซเดียมคลอไรต์ (sodium chlorite) หรือล้างด้วยต่างหรือเมทานอล (methanol) (Freeman and Watson, 1971)

#### 2.4.7 ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง (Freeze-thaw stability)

ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง – ละลายน้ำแข็งของอาหารหมายถึง การที่อาหารยังคงมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) เมื่อทำการแช่เยือกแข็ง โดยไม่มีลักษณะเป็นก้อน (lumpy) เป็นเม็ด (grainy) หรือมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ (spongy) และปราศจากของเหลวแยกตัวออกมา (syneresis) (Richardson, 1988) ซึ่งอาหารแช่เยือกแข็งส่วนใหญ่จะผ่านการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งสลับกันหลายครั้ง โดยอาจเกิดเป็นรอบสั้น ๆ ในระหว่างการเก็บรักษาหรือขนส่ง การละลายน้ำแข็งอาจไม่ได้เกิดอย่างสมบูรณ์ทั้งหมดแต่อาจเกิดเป็นจุด ๆ เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง (Light, 1990) ซึ่งในระหว่างการแช่เยือกแข็ง น้ำในระบบที่มีสสารกับน้ำผสมกันอยู่จะกลายเป็นน้ำแข็ง ทำให้สสารเข้มข้นจึงเกิดการเชื่อมต่อกัน (association) ของสายโมเลกุลสสารง่ายขึ้น การเชื่อมต่อกันอาจเกิดอย่างถาวรหรือผันกลับได้ ถ้าสายโมเลกุลส่วนมากที่เชื่อมต่อกันอยู่ผันกลับได้ แสดงว่าสสารมีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง โมเลกุลของสสารจะละลาย (dissolve) ได้อีกครั้งในระหว่างการละลายของน้ำแข็ง การเชื่อมต่อกันของสายโมเลกุลขึ้นกับความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำหรือค่า water activity ความแรงของไอออน (ionic strength) โครงรูป (conformation) หรือโครงสร้างของสายโมเลกุล รวมถึงการมีองค์ประกอบอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง (Richardson, 1988) การแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งหลาย ๆ ครั้งเป็นการทำลายเนื้อสัมผัสเนื่องจากการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็ง (Carroll, 1990) สสารที่ประกอบด้วยอะไมโลเพกทินเกือบทั้งหมดจะมีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งมากกว่าสสารที่มีอะไมโลสเป็นองค์ประกอบ เนื่องจากโมเลกุลอะไมโลเพกทินมีกิ่งก้านมาก อย่างไรก็ตามถ้าเกิดมีการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งขึ้นก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส (Light, 1990) Varavinit, Anuntavuttikul, และ Shobsngob (2000) พบว่าแป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง – ละลายน้ำแข็งต่ำซึ่งจะมีผลต่อลักษณะเจลแป้ง

จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาผลของพันธุ์และกระบวนการผลิตต่อสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งและสสารจากข้าวฟ่าง 2 พันธุ์ เพื่อสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้อย่างกว้างขวางขึ้น

## บทที่ 3

### ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้ คือ เมล็ดข้าวฟ่าง (grain sorghum) พันธุ์ KU 439 ซึ่งเมล็ดมีสีขาว และพันธุ์ KU 630 ซึ่งเมล็ดมีสีแดง จากศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ อ. ปากช่อง จ. นครราชสีมา ที่ผ่านการสีด้วยเครื่องสีข้าว (ที่ผลิตเองใน จ. พิษณุโลก ประเทศไทย) ซึ่งเมล็ดข้าวฟ่างวัตถุดิบและเมล็ดข้าวฟ่างที่ผ่านการสีแล้วแสดงดังรูปที่ ค.1

#### 3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

##### 3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวฟ่าง

นำเมล็ดข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

3.2.1.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (1995) section 32.1.03 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1)

3.2.1.2 ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC (1995) section 32.2.03 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2)

3.2.1.3 ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (1995) section 32.1.05 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.3)

3.2.1.4 ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC (1995) section 32.1.13 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4)

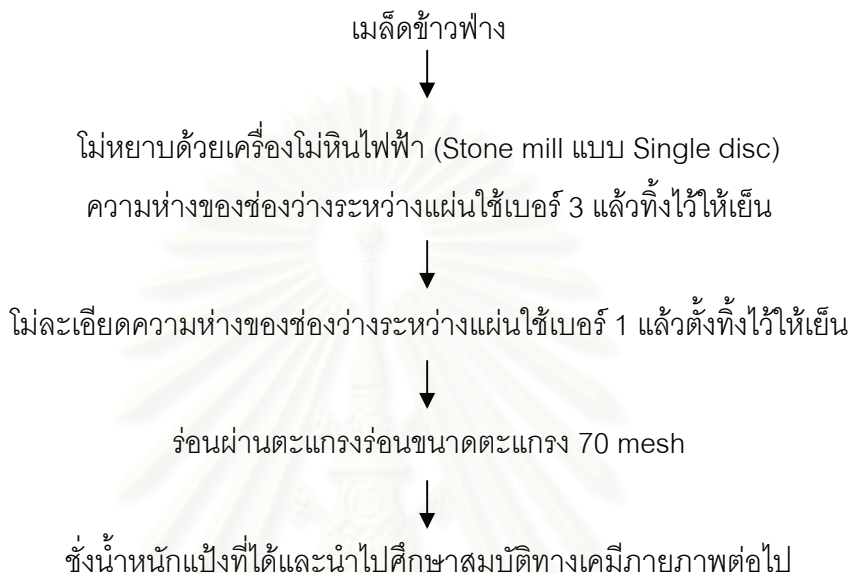
3.2.1.5 ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธี AOAC (1995) section 4.6.02 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5)

3.2.1.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต คำนวณจากผลต่าง โดยนำองค์ประกอบอื่น ๆ หักออกจาก 100 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.6)

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ t-test

### 3.2.2 การศึกษาผลของวิธีโม่แป้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวฟ่าง

นำเมล็ดข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 มาโม่ด้วยวิธีโม่แห้ง โดยดัดแปลงจากวิธีของ Chen และคณะ (1999) และโม่เปียก โดยดัดแปลงจากวิธีของ Wang และคณะ (2000) ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 วิธีโม่แห้ง

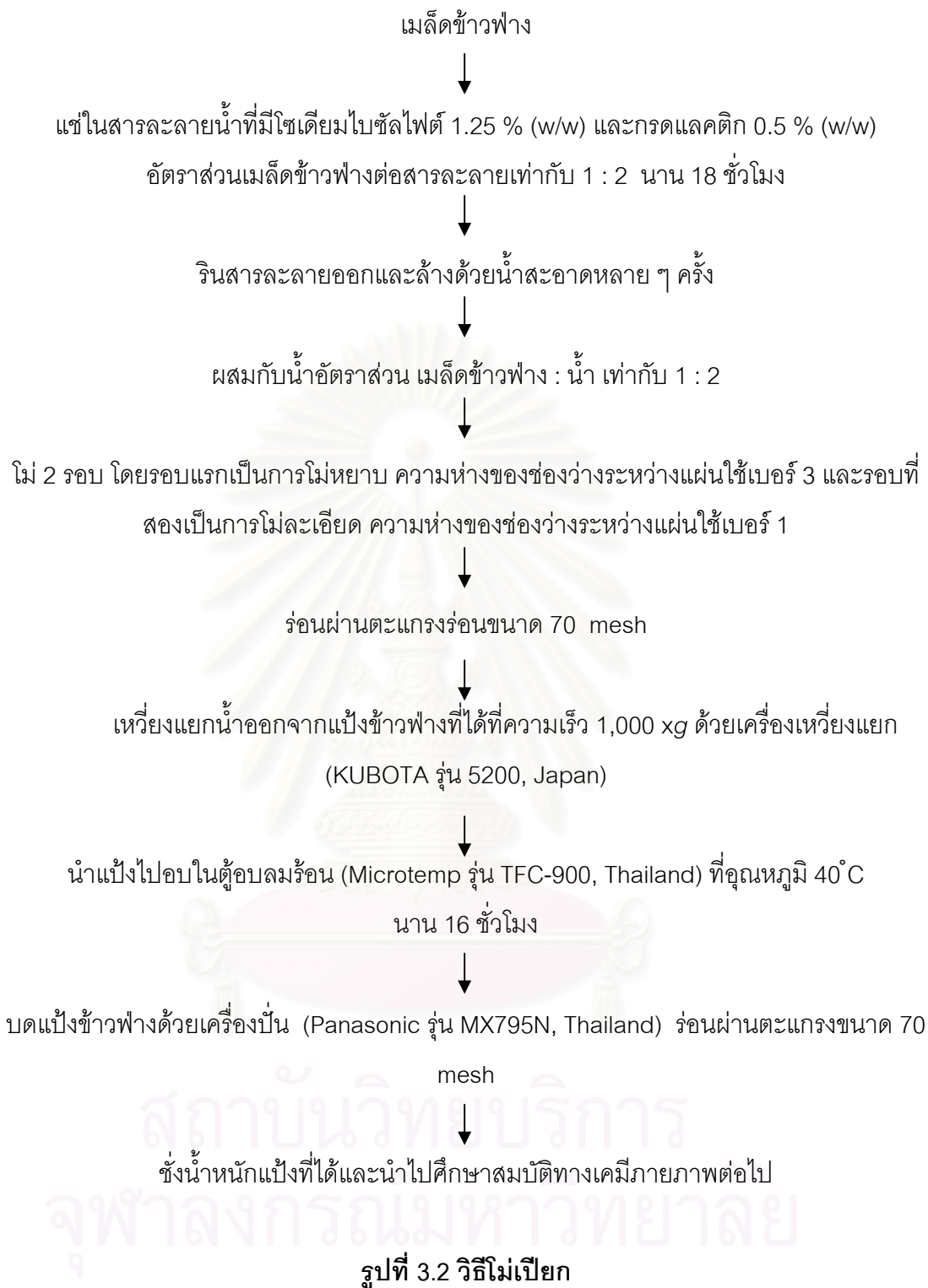
3.2.2.1 คำนวณปริมาณผลผลิต (% yield) ในรูปของร้อยละโดยน้ำหนักแห้งจากสมการ 3.1

$$\text{ปริมาณผลผลิต (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่ได้}}{\text{น้ำหนักเมล็ดข้าวฟ่างเริ่มต้น}} \times 100 \quad 3.1$$

3.2.2.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวฟ่าง เช่นเดียวกับข้อ 3.2.1 และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวฟ่าง ดังนี้

3.2.2.3 รูปร่าง การกระจายตัวและพื้นผิวเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่าง โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.7)

3.2.2.4 ลักษณะ birefringence โดยใช้กล้องจุลทรรศน์และแผ่นฟิล์มโพลาไรซ์บิตติรนาบแสง (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.8)



3.2.2.5 ปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.9) และน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส (วิธีของ Reddy, Ali, and Bhattaharya (1993) Ong และคณะ (1994) และ Yoo and Jane (2002)) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.10)

3.2.2.6 สี (L, a, b) โดยใช้เครื่อง Chromameter (ColorFlex รุ่น 45/0, U.S.A.)



- 3.2.2.7 ปริมาณ damaged starch (AACC, 2000) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.11)
- 3.2.2.8 ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity) (ดัดแปลงวิธีของ Medcalf and Gilles, 1965) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.12)
- 3.2.2.9 กำลังการพองตัวและการละลาย (Schoch, 1964) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.13)
- 3.2.2.10 สมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser ความเข้มข้นแป้งและสตาร์ช 10.71 % (w/w) (Beta, Obilana, and Corke, 2001) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.14)
- 3.2.2.11 สมบัติด้านความร้อนของแป้งด้วยเครื่อง DSC (Kim *et al.*, 1995) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.15) และคำนวณหาร้อยละการคืนตัวตามสมการ 2.1
- 3.2.2.12 Freeze-thaw stability (Liu, Ramsden, and Corke, 1999) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.16)
- วางแผนการทดลองแบบ  $2^2$  Factorial design วิเคราะห์ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

3.2.3 การศึกษาผลของวิธีการสกัดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชข้าวฟ่าง นำแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาผลิตเป็นสตาร์ช ตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Lim และคณะ (1999) โดยนำแป้งข้าวฟ่างมาเติมสารละลายที่ใช้ในการสกัดโปรตีน ในที่นี้คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 % และสารละลายโคเดซิลเบนซินซัลโฟเนต (DoBS) เข้มข้น 1.2 % ที่มีโซเดียมซัลไฟต์ 0.12 % ในอัตราส่วนแป้ง : สารละลายเท่ากับ 1 : 3 (w/v) กวนผสมด้วย magnetic stirrer (Framo-Geratetechnik รุ่น M21/1, Japan) ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นเหวี่ยงแยกสารละลายออกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ (Hettich Zentrifugen รุ่น Royanta 46R, Germany) ความเร็วรอบ 1,000 xg เป็นเวลา 10 นาที แล้วเติมน้ำกลั่น ในอัตราส่วนแป้งเริ่มต้น : น้ำกลั่น เท่ากับ 1 : 2 (w/v) ปรับสารละลายแป้งที่ได้ให้มีความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7.00 (pH meter ยี่ห้อ Horiba รุ่น F-21, Japan) โดยใช้กรดไฮโดรคลอริก 0.5 N จากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็วรอบ 1,000 xg เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำแป้งมาล้างด้วยน้ำกลั่นจนไม่มีกลิ่นสารละลาย (ล้างน้ำประมาณ 5 รอบ) ในอัตราส่วนแป้ง : น้ำกลั่น เท่ากับ 1 : 2 (w/v) แล้วเหวี่ยงแยกน้ำกลั่นออกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็วรอบ 1,000 xg เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นล้างแป้งด้วยเอทานอล 95 % ในอัตราส่วนแป้ง : เอทานอล เท่ากับ 1 : 2 (w/v) และเหวี่ยงแยกเอทานอลออกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็ว

รอบ 1,000 xg เป็นเวลา 10 นาที ชูดเอาแป้งด้านบนที่มีสีเทาออก จนเห็นสีขาวของสตาร์ช แล้วนำเอาตะกอนสตาร์ชที่ได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนแบบภาคอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องปั่นและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh นำสตาร์ชที่ได้ทั้งหมดมาชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณปริมาณผลผลิต (% yield) ในรูปของร้อยละโดยน้ำหนักแห้งตามสมการ 3.1 แล้วนำสตาร์ชไปวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพเช่นเดียวกับข้อ 3.2.2 ยกเว้นการหาน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส

วางแผนการทดลองแบบ  $2^3$  Factorial design วิเคราะห์ผลการทดลองแบบแฟคทอเรียล โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

### 3.2.4 การศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่าง

นำแป้งและสตาร์ชที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่า breakdown ต่ำสุดของตัวอย่างแต่ละพันธุ์จากข้อ 3.2.2 และข้อ 3.2.3 มาศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ชเปียก โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและสตาร์ชเปียกใน heating-cooling cycle ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser และควบคุมความเข้มข้นของสารละลายแป้งและสตาร์ชร้อยละ 9 ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด-ด่าง 3 5 7 และ 9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงรูปแบบความหนืดของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างโดยใช้ค่า peak viscosity, breakdown, setback และ pasting temperature

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าต่าง ๆ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

### 3.2.5 การศึกษาผลของน้ำตาลและเกลือต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่าง

นำแป้งและสตาร์ชที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่า breakdown ต่ำสุดของตัวอย่างแต่ละพันธุ์จากข้อ 3.2.2 และข้อ 3.2.3 มาศึกษาผลของน้ำตาลและเกลือต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ช โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและสตาร์ชเปียกใน heating-cooling cycle ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser และควบคุมความเข้มข้นของสารละลายแป้งและสตาร์ช ร้อยละ 10.71 ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 5 10 15 และ 20 % ในสารละลายน้ำเกลือโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 1 3 และ 5 % เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงรูปแบบความหนืดของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างโดยใช้ค่า peak viscosity, breakdown, setback และ pasting temperature

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์  
ความแตกต่างทางสถิติของค่าต่าง ๆ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้  
โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวฟ่าง

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 (ตารางที่ 4.1) พบว่า เมล็ดข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบมากที่สุด รองลงมาคือ โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบ ตามลำดับ องค์ประกอบของข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และเส้นใยหยาบ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ปริมาณไขมันและเถ้าไม่แตกต่างกัน ( $p > 0.05$ ) ซึ่งผลวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีข้าวฟ่างนี้แตกต่างจากผลของ ศิวาพร ศิวเวช และประยุทธ สุวรรณชีวก (2536) ที่พบว่า ข้าวฟ่างที่ไม่ได้สีเอา pericarp ออก พันธุ์ KU 439 มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบ 7.83%, 2.71%, 1.38% และ 1.64% (%db) ตามลำดับ และพันธุ์ KU 630 มี 9.18%, 2.61%, 1.64% และ 1.86% (%db) ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมล็ดข้าวฟ่างที่เป็นวัตถุดิบมีการสีเอา pericarp ออก ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่คือ เส้นใยหยาบและเถ้า เมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี จึงทำให้มีปริมาณเส้นใยหยาบและเถ้าต่ำกว่างานวิจัยของศิวาพร ศิวเวช และประยุทธ สุวรรณชีวก (2536) นอกจากนี้ขนาดของเมล็ดก็ยังมีผลด้วย โดย Lee, Pedersen, และ Shelton (2002) ได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวฟ่างพันธุ์เดียวกันที่มีขนาดของเมล็ดแตกต่างกัน คือ ขนาดใหญ่ (>3.35 mm.) กลาง (>2.80 mm.) และเล็ก (>2.36 mm.) และพบว่าขนาดของเมล็ดข้าวฟ่างมีผลต่อปริมาณโปรตีนและเถ้า แต่ไม่มีผลต่อปริมาณสตาร์ช โดยเมล็ดข้าวฟ่างขนาดใหญ่มีปริมาณโปรตีนสูงแต่ปริมาณเถ้าต่ำกว่าเมล็ดข้าวฟ่างขนาดเล็ก

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630

องค์ประกอบ (%db)	ข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 <sup>*</sup>	ข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 <sup>*</sup>
ความชื้น (%wb)	11.20 <sup>b</sup> ±0.14	10.73 <sup>a</sup> ±0.16
คาร์โบไฮเดรต	88.96 <sup>b</sup> ±0.29	87.65 <sup>a</sup> ±0.02
โปรตีน	8.15 <sup>a</sup> ±0.29	9.75 <sup>b</sup> ±0.12
ไขมัน <sup>ns</sup>	2.05±0.05	1.97±0.07
เถ้า <sup>ns</sup>	0.57±0.04	0.43±0.02
เส้นใยหยาบ	0.27 <sup>b</sup> ±0.02	0.20 <sup>a</sup> ±0.01

a, b ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

<sup>\*</sup> ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

#### 4.2 ผลของวิธีไม่แบ่งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวฟ่าง

จากการนำข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ไปผ่านการโม่แห้งและไม่เปียกเพื่อผลิตเป็นแป้ง แล้วนำมา ร่อนผ่านตะแกรงร่อน 70 mesh พบว่า วิธีการโม่เท่านั้นที่มีผลต่อปริมาณผลผลิต (ตารางที่ 4.2) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) พันธุ์ และผลรวมของพันธุ์และวิธีการโม่ไม่มีผลต่อปริมาณ ผลผลิต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 1) โดยปริมาณผลผลิตแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ จากการโม่เปียกมากกว่าปริมาณผลผลิตแป้งที่ได้จากการโม่แห้ง ซึ่งเมล็ดข้าวฟ่างที่แข็งเมื่อนำมาโม่จะได้ขนาดอนุภาคของแป้งใหญ่กว่าเมล็ดข้าวฟ่างที่อ่อน (Kirleis and Crosby, 1982) จากการทดลองนี้เมื่อแช่เมล็ดข้าวฟ่างในสารละลายที่มีโซเดียมไบซัลไฟต์และกรดแลคติก เมล็ดข้าวฟ่างจะนุ่มขึ้น เมื่อนำไปโม่จึงทำให้ได้ขนาดของอนุภาคแป้งมีขนาดเล็ก เมื่อร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 mesh จึงทำให้ได้ปริมาณผลผลิตมากกว่า ส่วนในการโม่แห้งเมล็ดข้าวฟ่างมีเปลือกแข็ง จึงทำให้ได้ขนาดของแป้งที่ใหญ่ เมื่อนำไปร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 mesh จึงมีส่วนที่ค้างบนตะแกรงมากกว่า ซึ่งถ้านำส่วนที่ค้างนี้ไปโม่อีกก็น่าจะลดอนุภาคแป้งลงได้แต่เนื่องจากการทดลองนี้กำหนดจำนวนรอบการโม่เท่ากับการโม่เปียกคือ 2 รอบ



ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลผลิตของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

พันธุ์	ปริมาณผลผลิต (%)	
	ไม่แห้ง	ไม่เปียก
KU 439	39.69 <sup>a</sup> ±2.78	70.03 <sup>b</sup> ±0.90
KU 630	40.02 <sup>a</sup> ±2.52	73.88 <sup>b</sup> ±1.60

a, b ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )  
ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

#### 4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวฟ่าง

เมื่อนำแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4.3) พบว่า พันธุ์ มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณไขมัน เถ้า และเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) วิธีไม่มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใย อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ผลรวมของทั้งสองปัจจัยไม่มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 2 – ข. 6) โดยแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีคาร์โบไฮเดรตสูงกว่าแต่มีโปรตีนน้อยกว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 และแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งจะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าแต่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยสูงกว่าแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่เปียก ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chen และคณะ (1999) ที่พบว่า แป้งข้าวเจ้าจากการไม่แห้งจะมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า สูงกว่าการไม่เปียก ทั้งนี้เนื่องจากในระหว่างการแช่เมล็ดข้าวฟ่างในกระบวนการไม่เปียก soluble protein, น้ำตาล และ nonstarch bound lipid บางส่วนจะถูกล้างออกไป (Medcalf and Lund, 1985; Juliano and Hicks, 1996) และในขั้นตอนการไม่เปียก มีการแช่เมล็ดข้าวฟ่างในสารละลายที่มีโซเดียมไบซัลไฟต์ เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งซัลไฟต์ (sulfite) อาจทำลายพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนในเมล็ดข้าวฟ่าง ทำให้โครงสร้างตาข่ายของโปรตีน เกิดการพองตัวและกระจายตัวในน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณโปรตีนในแป้งที่ได้จากการไม่เปียกมีปริมาณน้อยกว่าแป้งที่ได้จากการไม่แห้ง (Watson, 1984; Buffo, Weller, and Gennadios, 1997)

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

องค์ประกอบทางเคมี (% db)	KU 439		KU 630	
	ไม่แห้ง	ไม่เปียก	ไม่แห้ง	ไม่เปียก
คาร์โบไฮเดรต	90.87 <sup>bA</sup> ±0.06	92.82 <sup>bB</sup> ±0.26	88.96 <sup>aA</sup> ±0.07	90.01 <sup>aB</sup> ±0.31
โปรตีน	6.92 <sup>aB</sup> ±0.18	5.96 <sup>aA</sup> ±0.38	8.84 <sup>bB</sup> ±0.03	7.85 <sup>bA</sup> ±0.48
ไขมัน	1.50 <sup>B</sup> ±0.02	1.03 <sup>A</sup> ±0.03	1.47 <sup>B</sup> ±0.04	0.93 <sup>A</sup> ±0.01
เถ้า	0.57 <sup>B</sup> ±0.01	0.11 <sup>A</sup> ±0.01	0.58 <sup>B</sup> ±0.01	0.13 <sup>A</sup> ±0.03
เส้นใยหยาบ	0.15 <sup>B</sup> ±0.02	0.09 <sup>A</sup> ±0.02	0.14 <sup>B</sup> ±0.02	0.07 <sup>A</sup> ±0.01

a, b ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อ

เปรียบเทียบระหว่างวิธีไม่เดียวกัน แต่พันธุ์แตกต่างกัน

A, B ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อ

เปรียบเทียบระหว่างพันธุ์เดียวกัน แต่วิธีไม่แตกต่างกัน

ความชื้นของแป้ง KU 439 ไม่แห้ง = 10.33 %

KU 439 ไม่เปียก = 10.53 %

KU 630 ไม่แห้ง = 10.30 %

KU 630 ไม่เปียก = 9.41 %

#### 4.2.2 สมบัติทางกายภาพของแป้งข้าวฟ่าง

##### 4.2.2.1 รูปร่าง การกระจายตัว และลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างในแป้งข้าวฟ่าง

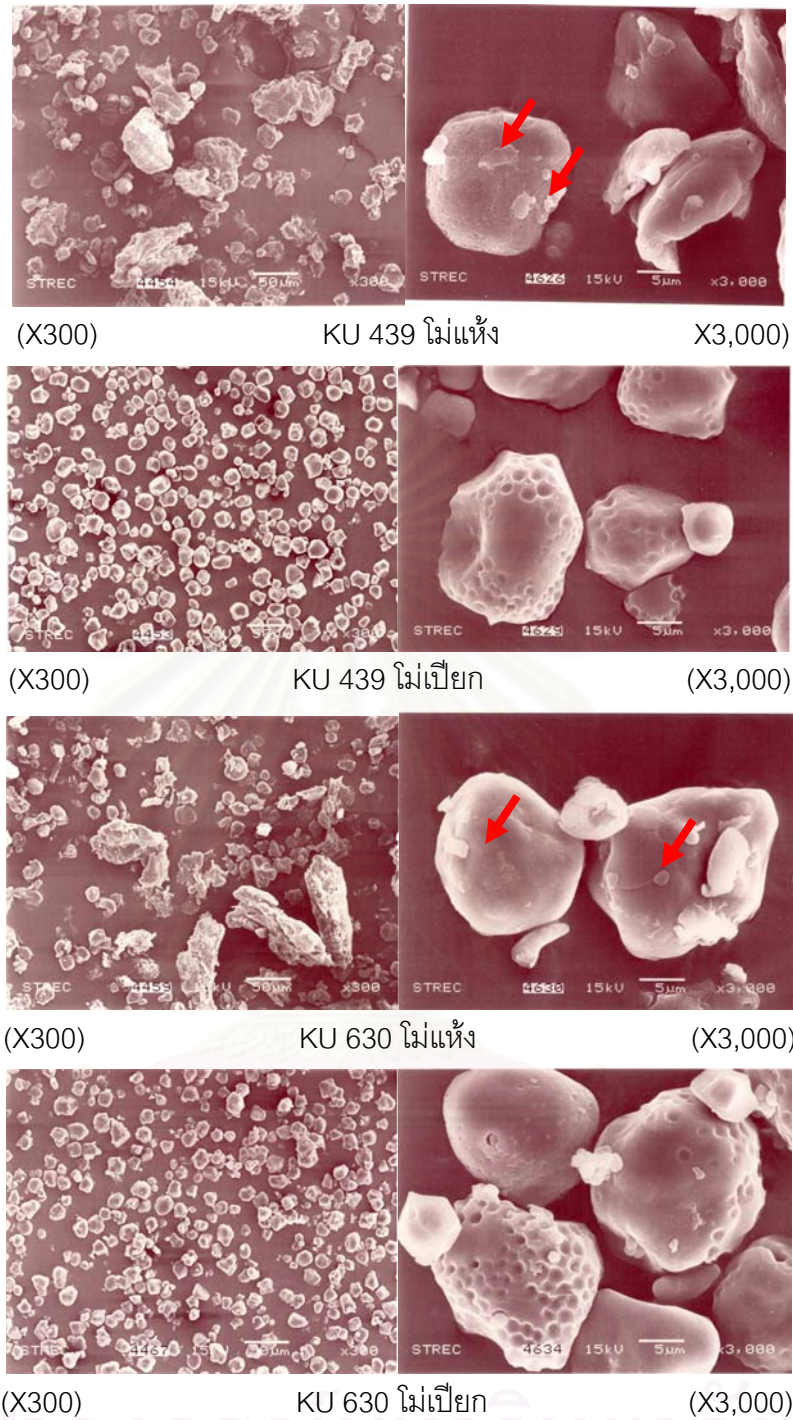
จากการศึกษารูปร่างและพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างโดยใช้กล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) (รูปที่ 4.1) พบว่า เม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์มีลักษณะคล้ายกัน โดยมีรูปร่างหลายเหลี่ยม (polygonal) และบางเม็ดสตาร์ชมีรูปร่างกลม ทั้งนี้เนื่องจากเอนโดสเปิร์มของเมล็ดข้าวฟ่างมี 2 ส่วน โดยเม็ดสตาร์ชที่อยู่ในเอนโดสเปิร์มที่แข็งจะมีรูปร่างหลายเหลี่ยม ส่วนเม็ดสตาร์ชที่อยู่ในเอนโดสเปิร์มที่อ่อนจะมีรูปร่างกลม (Hoseney and Faubion, 1992) เมื่อใช้กำลังขยาย 300 เท่า (รูปที่ 4.1 ด้านซ้าย) พบว่าเม็ดสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียกมีการกระจายตัวแบบไม่เกาะกลุ่มกัน แต่เม็ดสตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งจะเกาะกลุ่มกันและเมื่อใช้กำลังขยาย 3,000 เท่า (รูปที่ 4.1 ด้านขวา) เม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ มีพื้นผิวไม่เรียบ พื้นผิวเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียกจะมีลักษณะเป็นหลุม (pore) กระจายอยู่ โดยจะเห็นหลุมบนพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียกชัดเจนกว่าเม็ดสตาร์ชที่

ได้จากการไม่แห้งและเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งจะมีองค์ประกอบอื่นหรือเศษของเม็ดสตาร์ชที่แตกหักเกาะติดอยู่บริเวณผิวของเม็ดสตาร์ช (บริเวณลูกศรชี้) สาเหตุที่ทำให้เม็ดสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียกเห็นหลุมได้ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบที่ติดอยู่บนพื้นผิวอาจจะละลายออกไปกับสารละลายที่ใช้ในการสกัดและน้ำที่ใช้ล้าง

จากการตรวจสอบลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชซึ่งเป็นการตรวจสอบความเสียหายของเม็ดสตาร์ช (รูปที่ 4.2) พบว่า เม็ดสตาร์ชแบ่งข้าวฟ่างส่วนใหญ่มีตำแหน่งไฮลัมเกิดที่จุดศูนย์กลางของเม็ดสตาร์ช แต่เม็ดสตาร์ชบางเม็ดของแบ่งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งเริ่มมีการสูญเสีย birefringence ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างการไม่แห้งมีความร้อนเกิดขึ้น จึงทำให้เม็ดสตาร์ชบางส่วนเกิดการเสียหาย โครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย (Gallant *et al.*, 1997) และอาจเกิดการเจลาติไนซ์

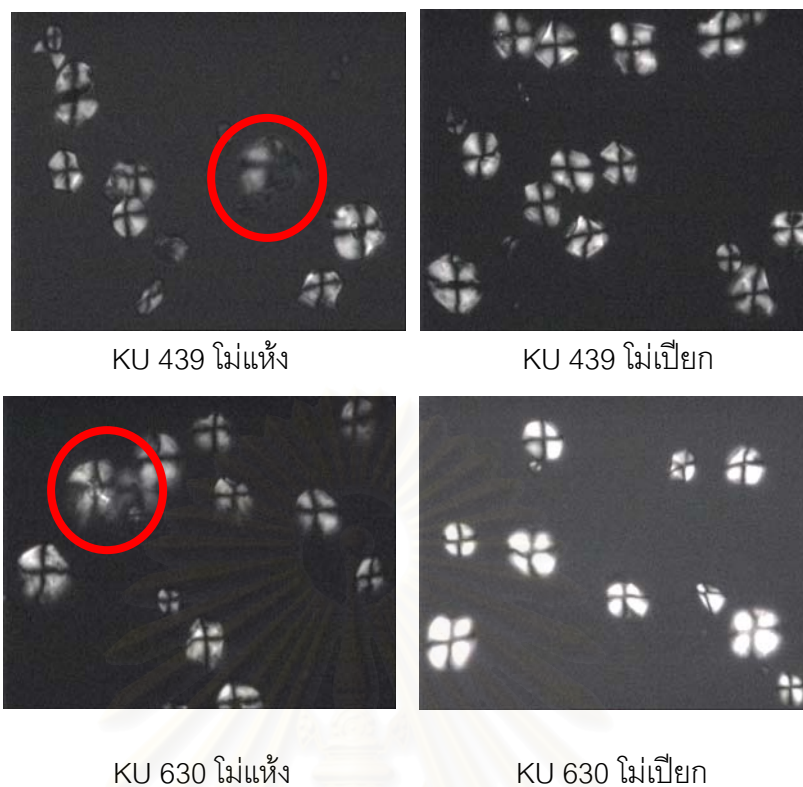


สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 Scanning Electron Micrograph ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก (หัวลูกศร แสดงบริเวณที่องค์ประกอบอื่นหรือเศษของเม็ดสตาร์ชที่แตกหักเกาะติดอยู่บนผิวของเม็ดสตาร์ช)





รูปที่ 4.2 ลักษณะ birefringence ของเมล็ดสตาร์ชแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก (วงกลม คือ บริเวณเมล็ดสตาร์ชที่สูญเสีย birefringence ไปบางส่วน)

#### 4.2.2.2 ปริมาณและขนาดโมเลกุลอะไมโลสของแป้งข้าวฟ่าง

จากการทดลองหาปริมาณอะไมโลสจากแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้รับการไม่แห้งและไม่เปียก (ตารางที่ 4.4) พบว่าพันธุ์ วิธีการไม่ผลต่อปริมาณอะไมโลส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ผลรวมของพันธุ์และวิธีการไม่ไม่มีผลต่อปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 7) นั่นคือ แป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีปริมาณอะไมโลสมากกว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 และแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งมีปริมาณอะไมโลสมากกว่าแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่เปียก ซึ่งโดยทั่วไปแป้งข้าวฟ่างพันธุ์เดียวกันมีปริมาณอะไมโลสไม่แตกต่างกัน เนื่องจากเป็นแป้งที่ผลิตได้จากพืชเดียวกัน (Juliano *et al.*, 1964; Morrison, Milligan, and Azudin, 1984) แต่จากการทดลองพบว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์เดียวกันที่ได้จากการไม่แตกต่างกันมีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน อาจเนื่องจากสีของแป้งข้าวฟ่างไปรบกวนสีที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอะไมโลสกับไอโอดีน โดยสีของแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งมีสีเข้มกว่า และเมื่อนำแป้งข้าวฟ่างไปหาขนาดโมเลกุลของอะไมโลส (ตารางที่ 4.4) พบว่า ขนาดโมเลกุล



อะไมโลสของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีขนาดใหญ่กว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 และแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่วิธีต่างกันมีขนาดโมเลกุลอะไมโลสใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการไม่ไม่สามารถไปทำลายพันธะภายในเม็ดสตาร์ชได้ และเมื่อเปรียบเทียบขนาดโมเลกุลอะไมโลสของพืชชนิดอื่น (ตารางที่ 4.5) พบว่าขนาดโมเลกุลอะไมโลสของพืชต่างชนิดกันจะมีขนาดไม่เท่ากันและขนาดโมเลกุลอะไมโลสข้าวฟ่างมีขนาดเล็กกว่า ซึ่งจะให้เกิดการคั้นตัวได้ง่ายกว่าพืชที่มีขนาดโมเลกุลอะไมโลสใหญ่กว่า

ตารางที่ 4.4 ปริมาณอะไมโลสและขนาดโมเลกุลอะไมโลสของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

พันธุ์	วิธีการไม่	ปริมาณอะไมโลส (%)	ขนาดโมเลกุลของอะไมโลส (g/mol)
KU 439	ไม่แห้ง	33.68 <sup>bB</sup> ± 0.51	4.32 × 10 <sup>5</sup>
	ไม่เปียก	32.02 <sup>bA</sup> ± 0.32	4.55 × 10 <sup>5</sup>
KU 630	ไม่แห้ง	30.37 <sup>aB</sup> ± 0.40	2.40 × 10 <sup>5</sup>
	ไม่เปียก	29.31 <sup>aA</sup> ± 0.34	2.95 × 10 <sup>5</sup>

a, b, ที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในวิธีไม่เดียวกันของพันธุ์ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

A, B ที่แตกต่างกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในพันธุ์เดียวกันของวิธีไม่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.5 ขนาดโมเลกุลอะไมโลสของแป้งชนิดต่าง ๆ

พืช	ขนาดโมเลกุลของอะไมโลส (g/mol)
สาลี (Wheat)	3.9 × 10 <sup>6</sup>
ข้าวเหนียว (Waxy rice)	2.3 × 10 <sup>6</sup>
มันฝรั่ง (Potato)	9.0 × 10 <sup>6</sup>
มันสำปะหลัง (Cassava)	2.7 × 10 <sup>6</sup>
มันเทศ (Sweet potato)	1.3 × 10 <sup>6</sup>

ที่มา : Ong และคณะ (1994)

#### 4.2.2.3 ค่าสี (L, a, b) ของแป้งข้าวฟ่าง

แป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียกมีสีแตกต่างกัน (รูปที่ ค. 2) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสี L (ความสว่าง) a (สีแดง-สีเขียว) b (สีเหลือง-สีน้ำเงิน) (ตารางที่ ข. 8-10) พบว่า พันธุ์และวิธีการไม่ีผลต่อค่าสี L, a, และ b อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ผลรวมของพันธุ์และวิธีการไม่ีผลต่อค่า L อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) แต่ไม่มีผลต่อค่าสี a และ b ( $p > 0.05$ ) โดยแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีสีแดง (a) มากกว่าแต่มีสีเหลือง (b) และความสว่าง (L) น้อยกว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 (ตารางที่ 4.6) แป้งที่ได้จากการไม่แห้งมีสีแดง (a) และสีเหลือง (b) มากกว่าแต่มีความสว่าง (L) น้อยกว่าแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่เปียก โดยเมล็ดข้าวฟ่างที่เป็นวัตถุดิบมีสีแตกต่างกัน คือ พันธุ์ KU 439 มีสีขาว พันธุ์ KU 630 มีสีแดง เมล็ดสีเอาเปลือก (pericarp) ออก เมล็ดข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ มีสีขาว (รูปที่ ค. 1) แต่เมื่อทำการไม่เมล็ดข้าวฟ่างแล้วแป้งข้าวฟ่างที่ได้มีสีแตกต่างกัน (รูปที่ ค.2) ซึ่งสาเหตุอาจเนื่องมาจากรงควัตถุที่ไม่ใช่แคโรทีนอยด์ (noncarotenoid pigment) (Watson *et al.*, 1955; Freeman and Watson, 1971)

ตารางที่ 4.6 ค่าสี (L, a, b) ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

พันธุ์	วิธีไม่	ค่าสี		
		L	a	b
KU 439	ไม่แห้ง	74.40 <sup>aA</sup> ±0.14	4.59 <sup>bB</sup> ±0.13	6.24 <sup>aB</sup> ±0.06
	ไม่เปียก	86.50 <sup>aB</sup> ±0.34	3.43 <sup>bA</sup> ±0.29	3.89 <sup>aA</sup> ±0.35
KU 630	ไม่แห้ง	80.30 <sup>bA</sup> ±0.07	2.57 <sup>aB</sup> ±0.15	7.08 <sup>bB</sup> ±0.06
	ไม่เปียก	89.44 <sup>bB</sup> ±0.20	1.24 <sup>aA</sup> ±0.34	4.26 <sup>bA</sup> ±0.22

a, b, ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในวิธีไม่เดียวกันของพันธุ์ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

A, B ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยในพันธุ์เดียวกันของวิธีไม่ที่ต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.2.2.4 Damaged starch และค่าความสามารถในการจับน้ำของแป้งข้าว

##### ฟาง

การประเมินความเสียหายของสตาร์ชสามารถแสดงค่าเป็นปริมาณ damaged starch ซึ่งวิเคราะห์ได้โดยการใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) ย่อยตัวอย่าง และวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปเม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างเป็น semi-crystalline (กล้านรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ซึ่งเอนไซม์ไม่สามารถย่อยได้ แต่ถ้าโครงสร้างภายในถูกทำลายหรือเกิดเจล เม็ดสตาร์ชจะไวต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ (Kennedy, 1987; Bettge, Giroux, and Morris, 2000)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ damaged starch ของแป้งข้าวฟาง (ตารางที่ ข.11) พบว่า วิธีการไม่เท่ากันที่มีผลต่อปริมาณ damaged starch อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งข้าวฟางทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งมีปริมาณ damaged starch มากกว่าแป้งข้าวฟางที่ได้จากการไม่เปียก (ตารางที่ 4.7) เนื่องจากในระหว่างการไม่แห้งมีความร้อนเกิดขึ้น จึงทำให้เม็ดสตาร์ชบางส่วนเกิดการเสียหายและเกิดการเจลาติไนซ์ ส่วนการไม่เปียกเป็นการไม่พร้อมน้ำ ซึ่งน้ำจะช่วยลดอุณหภูมิและแรงเสียดทานในการไม่ จึงทำให้สตาร์ชเกิดการเสียหายน้อยกว่า ดังนั้นปริมาณ damaged starch จึงน้อยกว่า (Jomduang and Mohamed, 1994; Lumdubwong and Seib, 2000; Chaing and Yeh, 2002) และวิธีป้องกันไม่ให้เกิดการเสียหายของเม็ดสตาร์ช ควรทำให้เมล็ดข้าวฟางมีความอ่อนนุ่มก่อนการไม่เพื่อป้องกันการเกิด damaged starch (Grant, 1998) ซึ่งการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลทดลองของสุพัตรา งามอรุณเลิศ (2545) ซึ่งพบว่าแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการไม่แห้งมีปริมาณ damaged starch มากกว่าแป้งที่ได้จากการไม่ผสม และไม่เปียก ตามลำดับ

#### ตารางที่ 4.7 ปริมาณ damaged starch ของแป้งข้าวฟางพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

พันธุ์ <sup>ns</sup>	% Damaged starch	
	ไม่แห้ง	ไม่เปียก
KU 439	5.66 <sup>b</sup> ±0.06	2.43 <sup>a</sup> ±0.33
KU 630	6.41 <sup>b</sup> ±0.64	2.27 <sup>a</sup> ±0.09

a, b ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ค่าเฉลี่ยเนื่องจากพันธุ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

โดยทั่วไปแป้งจะไม่สามารถละลายในน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติโนเซชัน แต่เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำซึ่งเป็นกระบวนการแบบผันกลับได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความสามารถในการจับน้ำ (ตารางที่ ข.12) พบว่าวิธีการไม่เท่านั้นที่มีผลต่อค่าความสามารถในการจับน้ำ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งมีค่าความสามารถในการจับน้ำมากกว่าแป้งที่ได้จากการไม่เปียก (ตารางที่ 4.8) เช่นเดียวกับ Jomduang และ Mohamed (1994) ที่รายงานว่า แป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการไม่แห้งจะมีค่าความสามารถในการจับน้ำมากกว่าแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการไม่เปียก และยังพบว่าค่าความสามารถในการจับน้ำนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณ damaged starch คือ ถ้าแป้งมีปริมาณ damaged starch มาก จะมีค่าความสามารถในการจับน้ำมากด้วย

ตารางที่ 4.8 ค่าความสามารถในการจับน้ำของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

พันธุ์ <sup>ns</sup>	ค่าความสามารถในการจับน้ำ (g น้ำ/ g แป้ง)	
	ไม่แห้ง	ไม่เปียก
KU 439	1.76 <sup>b</sup> ±0.09	0.94 <sup>a</sup> ±0.03
KU 630	1.84 <sup>b</sup> ±0.03	0.93 <sup>a</sup> ±0.02

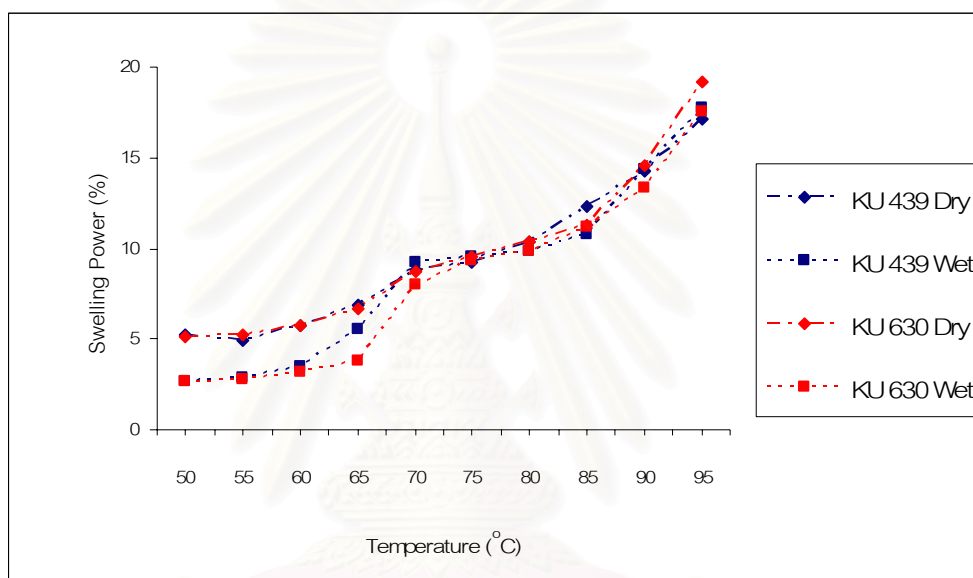
a, b ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ค่าเฉลี่ยเนื่องจากพันธุ์ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

#### 4.2.2.5 กำลังการพองตัวและการละลายของแป้งข้าวฟ่าง

กำลังการพองตัวสามารถบ่งบอกความหนืดของแป้งสุกได้ โดยแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูงแสดงว่าแป้งมีความหนืดสูง เช่น แป้งมันฝรั่ง ส่วนแป้งที่มีการพองตัวต่ำจะมีความหนืดต่ำเมื่อแป้งสุก เช่น high-amylose corn ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเม็ดสตาร์ชมีการพองตัวมากขึ้นเรื่อย ๆ จะส่งผลให้เจลมีการเคลื่อนที่ได้ลดลง ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิดความหนืด ส่วนการละลายมีความสัมพันธ์กับกำลังการพองตัว คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเม็ดสตาร์ชพองตัวเพิ่มขึ้น จะทำให้อะไมโลสบางส่วนหลุดออกมาจากเม็ดสตาร์ช ทำให้มีการละลายสูงขึ้นด้วย (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) จากการวิเคราะห์กำลังการพองตัวของแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก (รูปที่ 4.3) พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นการพองตัวของแป้งข้าวฟ่าง

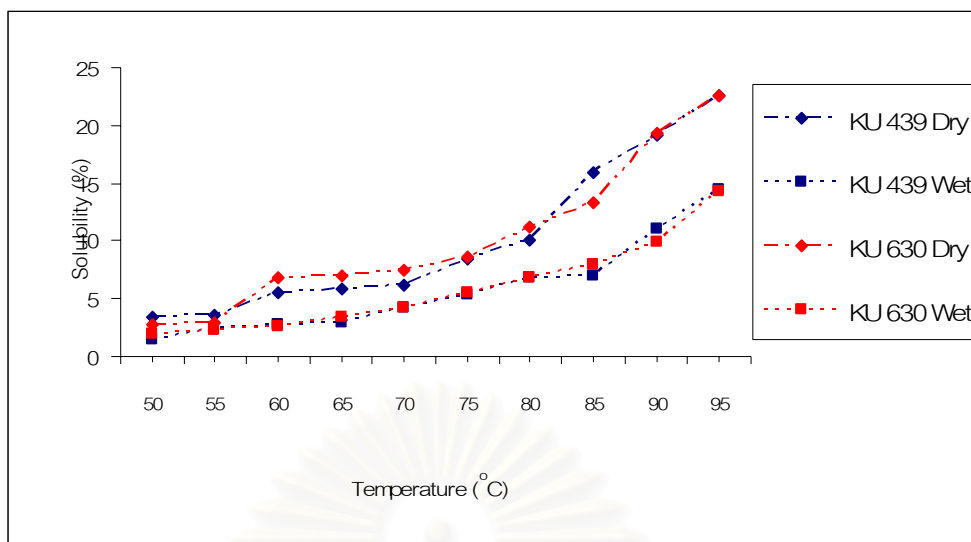
เพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิ 50-65 °C แป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งจะมีกำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งที่ได้จากการไม่เปียก และที่อุณหภูมิ 70-95 °C แป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก มีกำลังการพองตัวใกล้เคียงกัน โดยลักษณะการพองตัวของแป้งข้าวฟ่างมีลักษณะการพองตัวเป็น 2 ขั้น (2 stages) ซึ่งลักษณะเช่นนี้อาจเกิดเนื่องจากความแข็งแรงของพันธะไฮโดรเจนในเม็ดสตาร์ชมี 2 กลุ่ม คือ พันธะแรงอ่อน (weak bonding forces) ในช่วงอุณหภูมิ 50-65 °C และพันธะแรงแข็ง (strong bonding forces) ในช่วงอุณหภูมิ 70-95 °C ดังนั้นจึงเกิดการพองตัวเป็น 2 ขั้น (Leach, 1965)



รูปที่ 4.3 กำลังการพองตัวของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

จากการวิเคราะห์การละลายของแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก (รูปที่ 4.4) พบว่าแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียกมีการละลายเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิเดียวกันแป้งที่ได้จากการไม่เปียกมีการละลายต่ำกว่าแป้งที่ได้จากการไม่แห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งที่ได้จากการไม่แห้งมีปริมาณ damaged starch มากกว่าแป้งที่ได้จากการไม่เปียก ดังนั้นเมื่อเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวโมเลกุลของอะไมโลสในเม็ดสตาร์ช จึงสามารถละลายออกมาจากเม็ดสตาร์ชได้ง่ายกว่าแป้งที่มีปริมาณ damaged starch น้อย สอดคล้องกับการทดลองของ Chen และคณะ (1999) ซึ่งพบว่าวิธีการไม่ที่แตกต่างกันมีผลทำให้แป้งข้าวมีการละลายแตกต่าง





รูปที่ 4.4 การละลายของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

#### 4.2.2.6 การเกิดเจลลิตินเซชันของแป้งข้าวฟ่าง

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง เช่น ชนิดของแป้ง การตัดแปร การใช้แรงกล การใช้ความร้อนสูง เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) จากการวัดสมบัติด้านความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA พบว่าวิธีการไม่เท่านั้นที่มีผลต่อค่า peak viscosity และ breakdown อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) โดยพันธุ์ ผลรวมของพันธุ์และวิธีการไม่ มีผลต่อค่าดังกล่าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 13, 15) นั่นคือค่า peak viscosity และค่า breakdown ของแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่วิธีเดียวกันไม่แตกต่างกัน แต่ค่า peak viscosity และ ค่า breakdown ของแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งจะมีค่าต่ำกว่าแป้งที่ได้จากการไม่เปียก (ตารางที่ 4.9) ทั้งนี้เนื่องจากการไม่แห้งทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเสียหายมากแป้งข้าวฟ่างที่ได้มีค่า peak viscosity ต่ำ และมี breakdown ต่ำ นอกจากนี้แป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งยังมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งที่ได้จากการไม่เปียก ซึ่งโปรตีนจะไปขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ชทำให้แป้งมีค่า peak viscosity ต่ำ (Hamaker, Griffin, and Moldenhauer, 1991; Hamaker and Griffin, 1993; Lim *et al.*, 1999) นอกจากนี้ Suhendro และคณะ (2000) ยังพบว่าเครื่องโม่ที่ต่างกัน (Roller mill และ Hammer mill) จะให้แป้งข้าวฟ่างที่มีความหนืดต่างกัน

ตารางที่ 4.9 ความหนืดของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้ง และไม่เปียกในช่วง heating-cooling cycle<sup>a</sup>

	KU 439		KU 630	
	ไม่แห้ง	ไม่เปียก	ไม่แห้ง	ไม่เปียก
Peak viscosity (RVU)	227.92 <sup>a</sup> ±2.82	327.64 <sup>b</sup> ±7.98	204.20 <sup>a</sup> ±3.76	337.75 <sup>b</sup> ±8.84
Trough (RVA)	158.56 <sup>a</sup> ±1.40	215.05 <sup>b</sup> ±3.05	146.75 <sup>a</sup> ±1.04	221.80 <sup>b</sup> ±2.42
Breakdown (RVU)	69.36 <sup>a</sup> ±2.46	112.60 <sup>b</sup> ±8.26	57.44 <sup>a</sup> ±2.73	115.94 <sup>b</sup> ±7.80
Setback (RVU)	125.08 <sup>a</sup> ±2.55	128.56 <sup>a</sup> ±5.68	123.08 <sup>a</sup> ±2.78	150.50 <sup>b</sup> ±5.93
Setback/Trough	0.79 <sup>b</sup> ±0.01	0.59 <sup>a</sup> ±0.02	0.84 <sup>b</sup> ±0.03	0.68 <sup>a</sup> ±0.05
Pasting temperature (°C)	75.87 <sup>a</sup> ±0.08	76.85 <sup>b</sup> ±0.60	76.55 <sup>ab</sup> ±0.05	78.67 <sup>c</sup> ±0.42

a, b ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

<sup>a</sup> ความเข้มข้นของแป้งที่ใช้ = 10.71 % (w/w)

เมื่อพิจารณาค่า setback ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงแนวโน้มของการคืนตัวของเจลแป้งเมื่อมีการลดอุณหภูมิลง พบว่า แป้งมีค่า setback ใกล้เคียงกัน เมื่อเปรียบเทียบกับ การคืนตัวที่วัดด้วยเครื่อง DSC ค่าที่ได้ไม่สอดคล้องกัน แต่เมื่อพิจารณาค่า setback/trough พบว่า พันธุ์ และวิธีการไม่ผลต่อค่า setback/trough อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข.17) โดยแป้งแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่แห้งมีค่า setback/trough มากกว่าแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่เปียก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่า setback/trough กับการคืนตัวที่วัดด้วยเครื่อง DSC พบว่าให้ผลสอดคล้องกัน ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งมีการคืนตัวสูงกว่าแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่เปียก (ตารางที่ 4.9)

ส่วนค่า pasting temperature เป็นอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อน แล้วเกิดการเจลาติไนซ์ ความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจน ทำให้ร่างแหโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชอ่อนแอ เม็ดสตาร์ชจึงดูดน้ำและพองตัวขึ้น ทำให้น้ำบริเวณโดยรอบเม็ดสตาร์ชเหลือน้อย เม็ดสตาร์ชที่พองตัวขึ้นจะเคลื่อนไหวได้ยากทำให้มีความหนืดเกิดขึ้น (กล้านรงค์ ศรีวรรตและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) จากการทดลองพบว่า พันธุ์ วิธีการไม่ และผลรวมของพันธุ์และวิธีการไม่ มีผลต่อค่า pasting temperature อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 18) โดย ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่แห้งไม่แตกต่างกัน แต่มีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่เปียก และข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 ที่ได้จากการไม่เปียกมีค่าต่ำกว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 ที่ได้จากการไม่

เป็ยก ทั้งนี้เนื่องจากการแป้งข้าวฟ่างที่ผ่านการโม่แห้งมีปริมาณ damaged starch สูง จึงพองตัวได้ง่ายกว่าแป้งที่มีปริมาณ damaged starch ต่ำ (Ellis *et al.*, 1998) และแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 ที่ได้จากการโม่เป็ยกจะมีค่า pasting temperature สูงกว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 ที่ได้จากการโม่เป็ยก ทั้งนี้เนื่องจากการแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 ซึ่งโปรตีนในแป้งจะไปจำกัดการพองตัวของเม็ดสตาร์ช (Chandrashekar and Kirleis, 1988)

#### 4.2.2.7 สมบัติด้านความร้อนและการคืนตัวของแป้งข้าวฟ่าง

จากการศึกษาสมบัติด้านความร้อนของแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เป็ยกด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimetry (DSC) พบว่า ผลรวมของพันธุ์และวิธีการโม่ ไม่มีผลต่อค่า onset temperature ( $T_o$ ), peak temperature ( $T_p$ ) และเอนทาลปีของการเกิดเจลาตินไนซ์ ( $\Delta H_{gel}$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) พันธุ์ มีผลต่อค่า  $T_o$ ,  $T_p$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และวิธีการโม่มีผลต่อค่า  $T_o$ ,  $T_p$  และ  $\Delta H_{gel}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 19-21) นั่นคือแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีค่า  $T_o$ ,  $T_p$  น้อยกว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 และแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการโม่แห้งมีค่า  $T_o$ ,  $T_p$  สูงกว่า แต่มีค่า  $\Delta H_{gel}$  ต่ำกว่าแป้งที่ได้จากการโม่เป็ยก (ตารางที่ 4.10) ความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของปริมาณ damaged starch (Grant, 1998) ซึ่งแป้งที่ได้จากการโม่แห้งมีปริมาณ damaged starch มากกว่าแป้งที่ได้จากการโม่เป็ยก ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Stevens และ Elton (1971) ที่พบว่าเมื่อแป้งมีปริมาณ damaged starch เพิ่มขึ้น ค่า  $\Delta H_{gel}$  จะมีค่าลดลง เมื่อพิจารณาค่า  $T_o$  และค่า pasting temperature ที่ได้จากการวัดความหนืดด้วยเครื่อง RVA พบว่าค่า  $T_o$  ของแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการโม่แห้งมีค่าสูงกว่าแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการโม่เป็ยก แต่ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการโม่แห้งมีค่าต่ำกว่า เนื่องจากค่า pasting temperature เป็นอุณหภูมิที่แป้งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งความหนืดจะเกิดเมื่อเม็ดแป้งเริ่มดูดน้ำและพองตัวได้ระดับหนึ่ง ในขณะที่  $T_o$  วัดจากการเปลี่ยนแปลงด้านความร้อน (heat flux) นั่นคือ เมื่อแป้งเริ่มเกิดเจลต้องมีการดูดความร้อนเข้าไปในระบบโดยความหนืดอาจยังไม่มีเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ค่า  $T_o$  ต่ำกว่า pasting temperature (Jane *et al.*, 1999)

การคืนตัวของเจลแป้งเกิดจากการที่โมเลกุลของสตาร์ชจัดเรียงตัวกันใหม่เป็นโครงสร้างที่เป็นระเบียบเพิ่มขึ้นเพื่อเข้าสู่โครงสร้างที่เป็นผลึก (Atwell *et al.*, 1988) ดังนั้นเมื่อนำแป้งที่เกิดเจลาตินไนซ์แล้วไปให้ความร้อนอีกภายหลังจากเก็บ ถ้าเกิด peak ของ regelatinization จะบ่งบอกถึงการคืนตัวของของเจลแป้ง โดยค่าพลังงานในการ regelatinization

ของ peak แสดงปริมาณการคืนตัว เมื่อพิจารณาการคืนตัวโดยนำแบ่งข้าวฟ่างที่ผ่านการเจลาติไนซ์ด้วยเครื่อง DSC และเก็บเจลแบ่งไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน แล้วนำมาหาสมบัติทางด้านความร้อนอีกรอบหนึ่งและคำนวณหาการคืนตัว พบว่า วิธีการไม่ และผลรวมของพันธุ์และวิธีการไม่ที่มีผลต่อการคืนตัว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 22) โดย แบ่งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่แห้งมีการคืนตัวสูงกว่าแบ่งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่เปียก (ตารางที่ 4.10) และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า setback/trough ซึ่งได้จากการศึกษาสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA และการคืนตัวของแบ่งข้าวฟ่างที่ผ่านการเจลาติไนซ์ด้วยเครื่อง DSC ให้ผลสอดคล้องกันคือแบ่งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่แห้งมีการคืนตัวสูงกว่าแบ่งที่ได้จากการไม่เปียก

ตารางที่ 4.10 สมบัติด้านความร้อนและการคืนตัวของแบ่งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

สมบัติด้าน ความร้อน	KU 439		KU 630	
	ไม่แห้ง	ไม่เปียก	ไม่แห้ง	ไม่เปียก
$T_o$ (°C)	71.62 <sup>ab</sup> ±0.25	69.63 <sup>aA</sup> ±0.25	74.00 <sup>bB</sup> ±0.29	71.61 <sup>bA</sup> ±0.27
$T_p$ (°C)	78.56 <sup>ab</sup> ±0.44	74.51 <sup>aA</sup> ±0.17	79.84 <sup>bB</sup> ±0.35	76.26 <sup>bA</sup> ±0.26
$\Delta H_{gel}$ (J/g)	4.40 <sup>A</sup> ±0.83	8.26 <sup>B</sup> ±0.62	4.64 <sup>A</sup> ±0.24	7.68 <sup>B</sup> ±0.50
การคืนตัว (%)	92.52 <sup>d</sup> ±3.81	48.71 <sup>a</sup> ±2.87	75.01 <sup>c</sup> ±1.95	57.15 <sup>b</sup> ±4.70

a, b ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธีไม่เดียวกัน แต่พันธุ์แตกต่างกัน

A, B ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างพันธุ์เดียวกัน แต่วิธีไม่แตกต่างกัน

#### 4.2.2.8 Freeze-thaw stability ของแบ่งข้าวฟ่าง

ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งมักมีโอกาสที่อุณหภูมิของอาหารจะไม่คงที่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง การเก็บตามร้านค้าหรือเกิดเนื่องจากผู้บริโภค แม้จะไม่ทำให้อาหารละลายอย่างสมบูรณ์ แต่ก็ทำให้มีการละลายเป็นบางส่วนได้ ซึ่งจะเกิดรอบของการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็งในระยะเวลาสั้น ๆ ส่งผลรวมกับการละลายอาหารก่อนการบริโภค ทำให้มีน้ำซึมออกมาจากโครงสร้างในอาหาร (drip loss) และเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งมีสตาร์ชเป็นส่วนผสม ปัญหานี้เป็นผลมาจากการ

คืนตัวของสตาร์ช (Light, 1990) ดังนั้นสตาร์ชที่ใช้ควรมีความคงทนต่อกระบวนการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง (Freeze-thaw stability) ซึ่งความคงทนต่อกระบวนการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง อาจแสดงในรูปของปริมาณน้ำที่ออกมาจากเจล (syneresis) (Liu *et al.*, 1999)

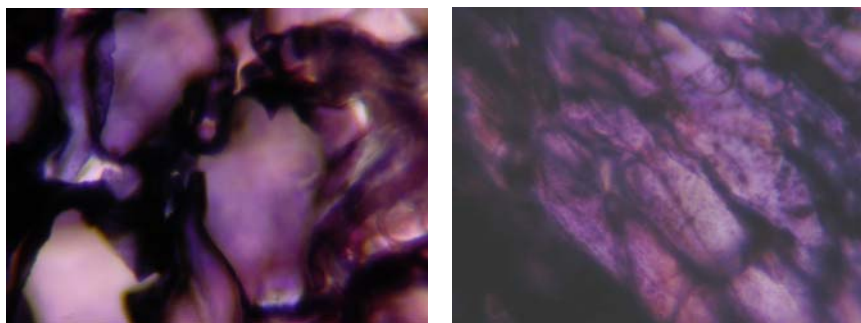
จากการศึกษา freeze-thaw stability (ตารางที่ 4.11) ด้วยการใช้ปริมาณน้ำที่แยกออกมาหลังการปั่นเหวี่ยงเอาน้ำออกจากเจลแบ่งด้วยเครื่อง centrifuge (การเกิด syneresis) พบว่าแป้งข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็งรอบที่ 1 โครงสร้างของเจลแบ่งยังคงลักษณะของเจลอยู่ และเมื่อทำการเหวี่ยงแยกเอาน้ำออก พบว่ามีน้ำแยกออกจากเจลแบ่ง และเมื่อนำเจลแบ่งไปแช่เยือกแข็งและนำมาละลายในการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็งรอบที่ 2 พบว่าโครงสร้างของเจลแบ่งเปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ (รูปที่ 4.5) ซึ่งโครงสร้างนี้สามารถดูดน้ำกลับได้ ทำให้ไม่สามารถวัดการเกิด % syneresis ได้ แสดงว่าแป้งข้าวฟ่างไม่สามารถทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็งได้

**ตารางที่ 4.11 ลักษณะโครงสร้างของเจลแบ่งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียกเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งหลาย ๆ รอบ**

พันธุ์	วิธีการไม่	ลักษณะโครงสร้างของเจลแบ่ง เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งรอบที่		
		1	2-7	
KU 439	ไม่แห้ง	Syneresis	Spongy	Spongy
	ไม่เปียก	Syneresis	Spongy	Spongy
KU 630	ไม่แห้ง	Syneresis	Spongy	Spongy
	ไม่เปียก	Syneresis	Spongy	Spongy

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





KU 439 โม่แห้ง

KU 439 โม่เปียก

รูปที่ 4.5 โครงสร้างของเจลแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก  
เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง รอบที่ 7

#### 4.3 ผลของวิธีการสกัดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชข้าวฟ่าง

จากการสกัดสตาร์ชจากแป้งข้าวฟ่างด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.5 % และสารละลายโดเดซิลเบนซีนซัลโฟเนต (DoBS) เข้มข้น 1.2 % ที่มีโซเดียมซัลไฟต์ 0.12 % พบว่า วิธีการโม่เท่านั้นที่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของสตาร์ช อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 23) โดยสตาร์ชที่ได้จากการโม่เปียกจะมีปริมาณผลผลิตมากกว่าสตาร์ชที่ได้จากการโม่แห้ง (ตารางที่ 4.12) ทั้งนี้เนื่องจากขณะทำการโม่แห้งแป้งข้าวฟ่างจะเกิดความร้อน ส่งผลให้แป้งบางส่วนเกิดการเจลาติไนซ์ เมื่อผสมแป้งกับสารสกัดทำให้แป้งที่ได้ดูดซับน้ำได้มากและเมื่อเหวี่ยงแยกเอาน้ำออก แป้งที่เจลาติไนซ์จะอยู่ด้านบนและมีสีเข้ม และมีปริมาณมากกว่าสตาร์ชที่ได้จากการโม่เปียก และในกระบวนการสกัดสตาร์ชจะชูดเอาสตาร์ชบริเวณที่มีสีเข้มซึ่งอยู่ด้านบนทิ้ง เนื่องจากบริเวณนี้เป็นส่วนที่มีโปรตีนอยู่ ทำให้ปริมาณผลผลิตสตาร์ชที่สกัดจากแป้งที่ได้จากการโม่แห้งมีปริมาณผลผลิตต่ำกว่าแป้งที่ได้จากการโม่เปียก

ตารางที่ 4.12 ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

พันธุ์ <sup>ns</sup>	ชนิดสารสกัด <sup>ns</sup>	ปริมาณผลผลิต (%) จาก	
		ไม่แห้ง	ไม่เปียก
KU 439	NaOH	55.07 <sup>a</sup> ±0.73	77.86 <sup>b</sup> ±2.46
	DoBS	53.16 <sup>a</sup> ±1.42	78.42 <sup>b</sup> ±1.72
KU 630	NaOH	55.47 <sup>a</sup> ±1.39	77.85 <sup>b</sup> ±1.66
	DoBS	55.25 <sup>a</sup> ±3.06	77.57 <sup>b</sup> ±2.46

a, b ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

#### 4.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชข้าวฟ่าง

จากการนำข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ มาไม่แห้งและไม่เปียกแล้วสกัดเอาโปรตีนออกด้วยสารละลาย NaOH และสารละลาย DoBS และวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมี (ตารางที่ 4.13) พบว่า พันธุ์ วิธีการไม่ และชนิดสารสกัดมีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ทั้งนี้ วิธีการไม่ ยังมีผลต่อปริมาณเถ้า และเส้นใยหยาบ ผลรวมของพันธุ์และวิธีการไม่ วิธีการไม่และชนิดสารสกัดมีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ผลรวมของพันธุ์และชนิดสารสกัดมีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และผลรวมทั้ง 3 ปัจจัยคือ พันธุ์ วิธีการไม่ และชนิดสารสกัด มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่านั้น ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 24-28) โดยสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ไขมันสูงกว่าแต่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าสตาร์ชพันธุ์ KU 630 สตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบสูงกว่าแต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก และสตาร์ชที่สกัดด้วย NaOH มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและไขมันสูงกว่าแต่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าสตาร์ชที่สกัดด้วย DoBS เมื่อพิจารณาวัตถุดิบเริ่มต้นแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 และแป้งที่ได้จากการไม่แห้งที่เป็นวัตถุดิบ มีปริมาณโปรตีนมากกว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และแป้งที่ได้จากการไม่เปียก เมื่อนำมาสกัดโปรตีนออกจากแป้ง สตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งจึงมีปริมาณโปรตีนมากกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก และเมื่อทำการสกัดโปรตีนออกจากแป้งข้าวฟ่าง โดยแช่แป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียกกับสารละลายที่ใช้สกัด พบว่า น้ำแป้งที่ได้จากการไม่แห้งจะมีความหนืดสูงมาก เมื่อทำการเหวี่ยงแยกเอาสารละลายออกจึงทำให้โปรตีนแยกออกจากร์น้ำแป้งได้ยาก และโปรตีนในแป้งอาจทำ

พันธะกับสตาร์ชได้ขณะทำการแช่ (Mistry and Eckhoff, 1992) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของเกษมศรี พงษ์เสรี (2545) ที่พบว่าเมื่อสกัดเอาโปรตีนออกจากแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการโม่แห้ง จะได้ปริมาณน้อยกว่าแป้งที่ได้จากการโม่เปียก เมื่อพิจารณาปริมาณไขมัน พบว่าสตาร์ชที่สกัดด้วย DoBS มีปริมาณไขมันน้อยกว่าสตาร์ชที่สกัดด้วย NaOH ทั้งนี้เนื่องจาก DoBS มีคุณสมบัติเป็นสารลดแรงตึงผิว (surfactant) ทำให้สามารถสกัดเอาไขมันออกได้มากกว่า จากผลการทดลองสาเหตุที่สารละลาย NaOH มีประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนได้ดีกว่า (มีปริมาณโปรตีนเหลือในสตาร์ชต่ำ) เนื่องจาก สารละลาย NaOH มีฤทธิ์เป็นด่าง สามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนที่จับกันระหว่างโปรตีน จึงสกัดโปรตีนออกมาได้ (Knight, 1969; Watson, 1984) ส่วนสารละลาย DoBS ซึ่งเป็นสารที่มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนและสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนได้เช่นเดียวกัน แต่มีการเติมโซเดียมซัลไฟต์ ในสารละลาย DoBS ซึ่งโซเดียมซัลไฟต์นี้จะทำหน้าที่เป็น reducing agent ไปทำลายพันธะไดซัลไฟด์ที่จับกันภายในและระหว่างโมเลกุลของโปรตีน (Watson, 1984; Lim *et al.*, 1999) นอกจากนี้การที่ DoBS สกัดโปรตีนได้น้อยกว่าสารละลาย NaOH อาจเนื่องจากสารละลาย DoBS เป็นด่างอ่อน ถึงแม้จะมีการเติมโซเดียมซัลไฟต์ก็ตาม (Kent, 1983)

ตารางที่ 4.13 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

องค์ประกอบทางเคมี (%db)	KU 439				KU 630			
	ไม่แห้ง		ไม่เปียก		ไม่แห้ง		ไม่เปียก	
	NaOH	DoBS	NaOH	DoBS	NaOH	DoBS	NaOH	DoBS
คาร์โบไฮเดรต	95.69 <sup>c</sup> ±0.37	94.54 <sup>b</sup> ±0.06	98.59 <sup>e</sup> ±0.18	98.58 <sup>e</sup> ±0.30	94.77 <sup>b</sup> ±0.06	92.46 <sup>a</sup> ±0.15	98.38 <sup>de</sup> ±0.10	98.17 <sup>d</sup> ±0.11
โปรตีน	3.72 <sup>c</sup> ±0.37	4.92 <sup>d</sup> ±0.07	1.22 <sup>a</sup> ±0.20	1.22 <sup>a</sup> ±0.25	4.67 <sup>d</sup> ±0.07	7.09 <sup>e</sup> ±0.01	1.45 <sup>ab</sup> ±0.07	1.68 <sup>b</sup> ±0.11
ไขมัน	0.16 <sup>c</sup> ±0.01	0.15 <sup>b</sup> ±0.02	0.04 <sup>a</sup> ±0.01	0.03 <sup>a</sup> ±0.01	0.15 <sup>bc</sup> ±0.02	0.13 <sup>b</sup> ±0.02	0.03 <sup>a</sup> ±0.01	0.03 <sup>a</sup> ±0.01
เถ้า	0.31 <sup>b</sup> ±0.01	0.29 <sup>b</sup> ±0.03	0.12 <sup>a</sup> ±0.01	0.14 <sup>a</sup> ±0.01	0.30 <sup>b</sup> ±0.01	0.30 <sup>b</sup> ±0.01	0.11 <sup>a</sup> ±0.02	0.11 <sup>a</sup> ±0.01
เส้นใยหยาบ	0.12 <sup>b</sup> ±0.02	0.10 <sup>b</sup> ±0.01	0.01 <sup>a</sup> ±0.00	0.02 <sup>a</sup> ±0.01	0.12 <sup>c</sup> ±0.01	0.12 <sup>c</sup> ±0.02	0.02 <sup>a</sup> ±0.01	0.01 <sup>a</sup> ±0.01
ความชื้น (%wb)	10.56 <sup>d</sup> ±0.34	9.76 <sup>c</sup> ±0.07	10.83 <sup>d</sup> ±0.31	8.79 <sup>a</sup> ±0.05	9.84 <sup>c</sup> ±0.04	9.41 <sup>b</sup> ±0.22	11.39 <sup>e</sup> ±0.09	10.65 <sup>d</sup> ±0.02

a, b, c ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

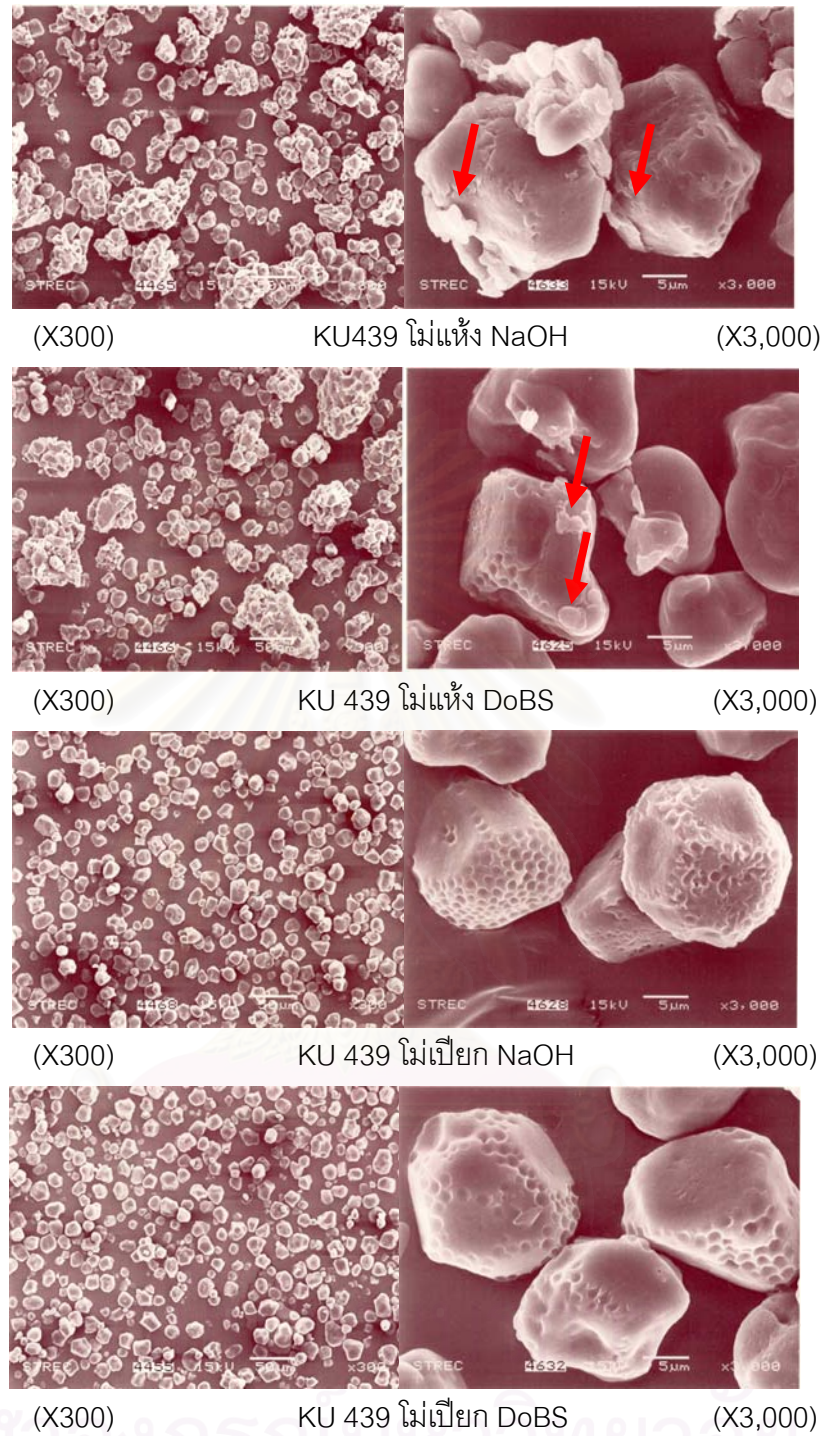
## 4.3.2 สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าวฟ่าง

### 4.3.2.1 รูปร่าง การกระจายตัว และลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชข้าวฟ่าง

เมื่อศึกษารูปร่างและพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างที่ผ่านการสกัดเอาโปรตีนในแป้งข้าวฟ่างออกแล้ว โดยใช้กล้อง Scanning Electron Microscope (SEM) (รูปที่ 4.6) พบว่า เม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ผ่านกระบวนการผลิตสตาร์ชด้วยกระบวนการต่างกัน ยังคงมีรูปร่างหลายเหลี่ยมและรูปร่างกลม เมื่อใช้กำลังขยาย 300 เท่า (รูปที่ 4.6 ด้านซ้าย) พบว่า สตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียกจะมีการกระจายตัวแบบไม่เกาะกลุ่มกัน แต่สตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้ง มีการกระจายตัวแบบเกาะติดกันเช่นเดียวกับแป้งข้าวฟ่างเริ่มต้น และเมื่อใช้กำลังขยาย 3,000 เท่า (รูปที่ 4.6 ด้านขวา) พบว่าเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างมีพื้นผิวไม่เรียบและบริเวณผิวจะมีหลุม กระจายตัวบนเม็ดสตาร์ช และเม็ดสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียกและสกัดด้วยสารสกัดทั้ง 2 ชนิดมองเห็น หลุมชัดเจนกว่าเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้ง และหลุมของเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งมีองค์ประกอบอื่นหรือเศษของเม็ดสตาร์ชที่แตกหักเกาะติดอยู่ (บริเวณลูกศรชี้)

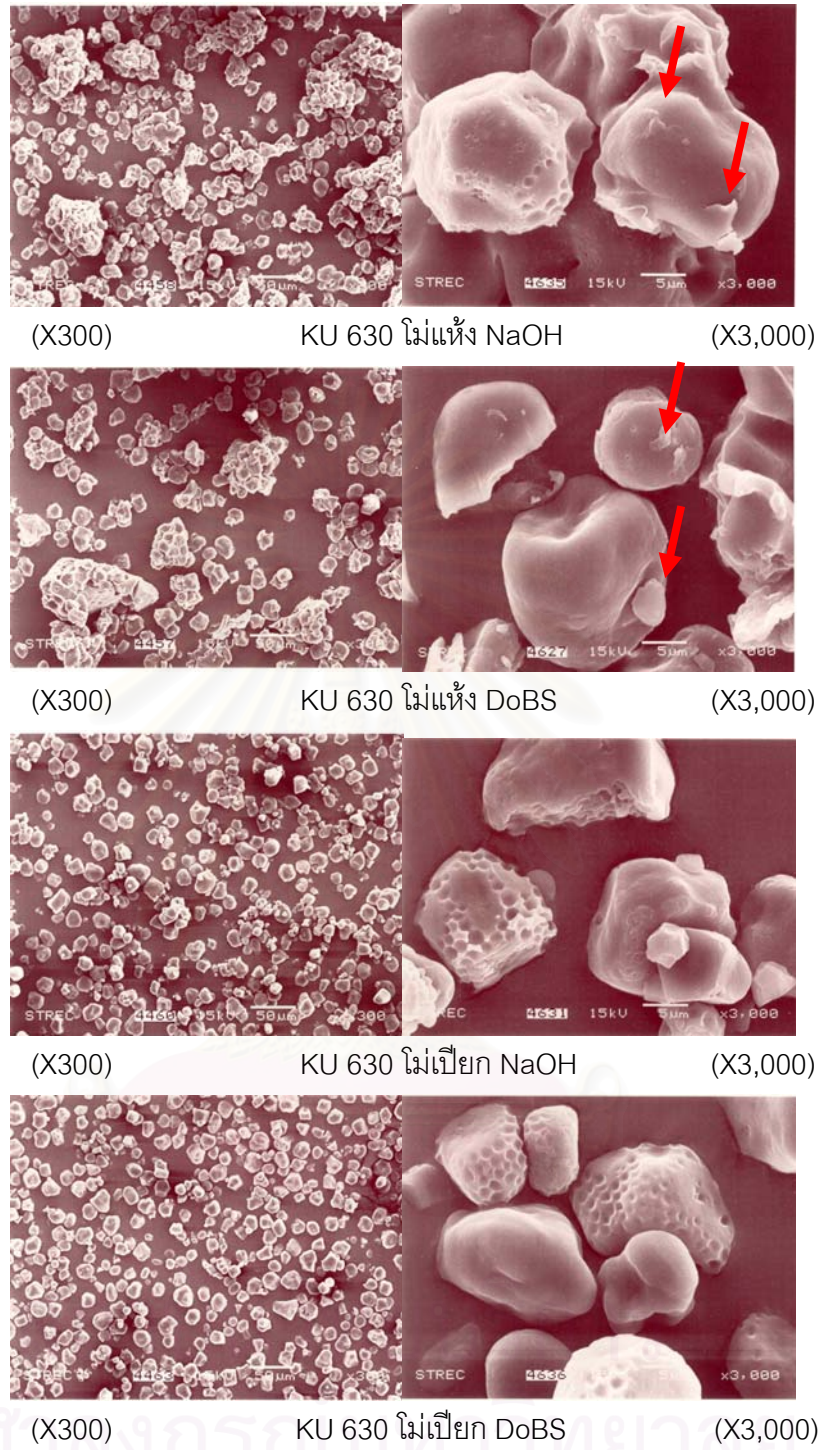
การตรวจสอบ birefringence ของเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ผ่านกระบวนการผลิตสตาร์ชต่างกัน (รูปที่ 4.7) พบว่าเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งและสกัดสตาร์ชด้วยสารละลายทั้ง 2 ชนิด สูญเสีย birefringence ไปบางส่วน ซึ่ง birefringence สูญเสียไปบางส่วนตั้งแต่ ขั้นตอนการเตรียมเป็นแป้งแล้ว และในขั้นตอนการสกัด อาจมีผลต่อการสูญเสีย birefringence เล็กน้อยหรือไม่มีเลย ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชในแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างจึงไม่เห็นความแตกต่างมากนัก





(ก) พันธุ์ KU 439

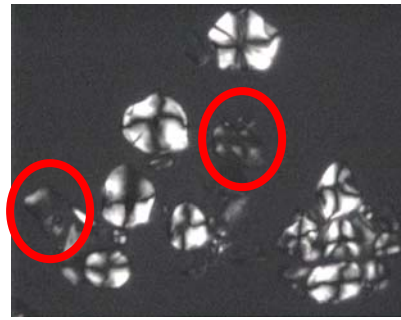
รูปที่ 4.6 Scanning Electron Micrograph แสดงรูปร่างและพื้นผิวเม็ดสตาร์ชของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ (ก) KU 439 และ (ข) KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างชนิดกัน (หัวลูกศร แสดงบริเวณที่องค์ประกอบอื่นหรือเศษของเม็ดสตาร์ชที่แตกหักเกาะติดอยู่บนผิวของเม็ดสตาร์ช)



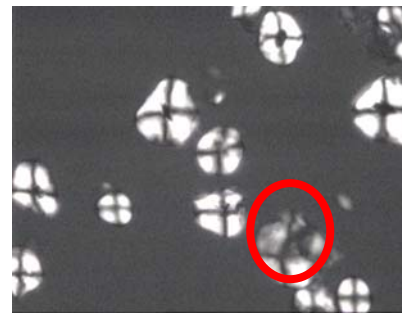
(ข) พันธุ์ KU 630

รูปที่ 4.6 (ต่อ) Scanning Electron Micrograph แสดงรูปร่างและพื้นผิวเม็ดสตาร์ชของ สตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ (ก) KU 439 และ (ข) KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัด โปรตีนด้วยสารละลายต่างชนิดกัน (หัวลูกศร แสดงบริเวณที่องค์ประกอบอื่น หรือเศษของเม็ดสตาร์ชที่แตกหักเกาะติดอยู่บนผิวของเม็ดสตาร์ช)

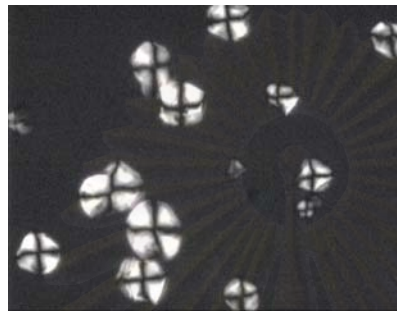




KU 439 ไม่แห้ง สกัดด้วย NaOH



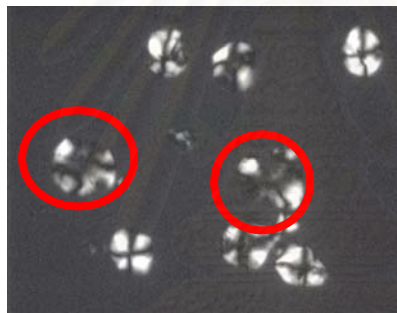
KU 439 ไม่แห้ง สกัดด้วย DoBS



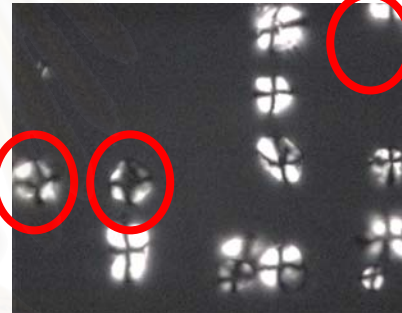
KU 439 ไม่เปียก สกัดด้วย NaOH



KU 439 ไม่เปียก สกัดด้วย DoBS



KU 630 ไม่แห้ง สกัดด้วย NaOH



KU 630 ไม่แห้ง สกัดด้วย DoBS



KU 630 ไม่เปียก สกัดด้วย NaOH



KU 630 ไม่เปียก สกัดด้วย DoBS

รูปที่ 4.7 ลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน(วงกลม คือบริเวณเม็ดสตาร์ชที่สูญเสีย birefringence ไปบางส่วน)

#### 4.3.2.2 ปริมาณอะไมโลส

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชที่ได้จากการนำแป้งทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก มาสกัดเอาโปรตีนออกจากแป้งด้วยสารละลาย NaOH และสารละลาย DoBS (ตารางที่ 4.14) พบว่า พันธุ์วิธีการไม่ ผลรวมของพันธุ์และชนิดสารสกัด ผลรวม 3 ปัจจัย (พันธุ์ วิธีการไม่ ชนิดสารสกัด) มีผลต่อปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ ข. 29) โดย สตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีปริมาณอะไมโลสมากกว่าสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 และสตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งมีปริมาณอะไมโลสน้อยกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณอะไมโลสในแป้งข้าวฟ่างที่ได้กล่าวมาข้างต้น แต่ชนิดของสารสกัดไม่มีผลต่อปริมาณอะไมโลส ซึ่งสุพัตรา งามอรุเลิศ (2545) ได้วิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชข้าวเหนียว พบว่าวิธีไม่และสภาวะในการสกัดโปรตีนไม่มีผลต่อปริมาณอะไมโลส

ตารางที่ 4.14 ปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างชนิด

พันธุ์	วิธีการไม่	สารสกัด	ปริมาณอะไมโลส (%)
KU 439	ไม่แห้ง	NaOH	31.08 <sup>c</sup> ±0.07
		DoBS	32.01 <sup>d</sup> ±0.22
	ไม่เปียก	NaOH	32.36 <sup>de</sup> ±0.31
		DoBS	32.59 <sup>e</sup> ±0.23
KU 630	ไม่แห้ง	NaOH	30.28 <sup>b</sup> ±0.34
		DoBS	29.69 <sup>a</sup> ±0.32
	ไม่เปียก	NaOH	30.45 <sup>b</sup> ±0.37
		DoBS	30.66 <sup>bc</sup> ±0.18

a, b, c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.3.2.3 ค่าสี (L, a, b) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของสตาร์ชที่ได้จากการนำแป้งทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก มาสกัดเอาโปรตีนออกจากแป้งด้วยสารละลาย NaOH และสารละลาย DoBS (ตารางที่ 4.15) (รูปที่ ค. 3) พบว่า พันธุ์วิธีการไม่ ชนิดสารสกัด ผลรวม

ของพันธุ์และวิธีการไม่ และผลรวมของพันธุ์ วิธีการไม่ และชนิดสารสกัด มีผลต่อค่าสี  $L$ ,  $a$ ,  $b$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) ผลรวมของพันธุ์และวิธีการไม่ มีผลต่อค่าสี  $L$ ,  $a$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และผลรวมของทั้ง 3 ปัจจัย (พันธุ์ วิธีการไม่ ชนิดสารสกัด) ผลรวมของพันธุ์และสารสกัด ไม่มีผลต่อค่าสี  $L$ ,  $a$ ,  $b$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 30-32) โดยสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 มีความสว่าง ( $L$ ) และสีเหลือง ( $b$ ) มากกว่าแต่มีสีแดง ( $a$ ) ต่ำกว่าสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 สตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งมีสีแดง ( $a$ ) และสีเหลือง ( $b$ ) มากกว่าแต่มีความสว่าง ( $L$ ) น้อยกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก และสตาร์ชที่สกัดด้วย NaOH มีความสว่าง ( $L$ ) และมีสีเหลือง ( $b$ ) มากกว่าแต่มีสีแดง ( $a$ ) ต่ำกว่าสตาร์ชที่สกัดด้วย DoBS การที่สีของสตาร์ชที่ได้มีค่าแตกต่างกัน เนื่องมาจากแป้งที่นำมาสกัดมีค่าสีเริ่มต้นแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.15) คือแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีสีแดง ( $a$ ) มากกว่าแต่มีสีเหลือง ( $b$ ) และความสว่าง ( $L$ ) น้อยกว่าแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 แป้งที่ได้จากการไม่แห้งมีสีแดงและสีเหลืองมากกว่าแต่มีความ

ตารางที่ 4.15 ค่าสี ( $L$ ,  $a$ ,  $b$ ) ของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

พันธุ์	วิธีการไม่	สารสกัด	ค่าสี		
			$L$	$A$	$b$
KU 439	ไม่แห้ง	-	74.40±0.14	4.59±0.13	6.24±0.06
	ไม่เปียก	-	86.50±0.34	3.43±0.29	3.89±0.35
KU 630	ไม่แห้ง	-	80.30±0.07	2.57±0.15	7.08±0.06
	ไม่เปียก	-	89.44±0.20	1.24±0.34	4.26±0.22
KU 439	ไม่แห้ง	NaOH	79.12 <sup>c</sup> ±0.81	0.22 <sup>bc</sup> ±0.09	6.95 <sup>e</sup> ±0.55
		DoBS	73.04 <sup>a</sup> ±0.66	0.93 <sup>d</sup> ±0.49	1.82 <sup>b</sup> ±0.49
	ไม่เปียก	NaOH	90.08 <sup>fg</sup> ±1.14	-0.19 <sup>ab</sup> ±0.10	2.72 <sup>c</sup> ±0.62
		DoBS	86.46 <sup>e</sup> ±0.82	0.38 <sup>c</sup> ±0.20	-0.01 <sup>a</sup> ±0.10
KU 630	ไม่แห้ง	NaOH	81.94 <sup>d</sup> ±1.07	-0.19 <sup>ab</sup> ±0.42	8.21 <sup>f</sup> ±0.24
		DoBS	77.14 <sup>b</sup> ±0.60	1.14 <sup>d</sup> ±0.24	4.01 <sup>d</sup> ±0.17
	ไม่เปียก	NaOH	91.38 <sup>g</sup> ±1.03	-0.65 <sup>a</sup> ±0.15	3.98 <sup>d</sup> ±1.03
		DoBS	88.65 <sup>f</sup> ±0.33	-0.36 <sup>a</sup> ±0.06	1.65 <sup>b</sup> ±0.27

a, b, c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



สว่างน้อยกว่าแป้งข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่เปียกซึ่งพบว่าเมื่อสกัดเอาโปรตีนออกจากแป้งข้าวฟ่างด้วยสารละลาย NaOH และ DoBS สตาร์ชที่ได้จะมีค่า L เพิ่มขึ้นแต่มีค่า a, b ลดลง หรือสตาร์ชมีสีขาวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้โซเดียมไฮดรอกไซด์มีสมบัติเป็นสารฟอกสี (bleaching) (Freeman and Watson, 1971) และ DoBS มีสมบัติเป็นต่างอ่อน จึงทำให้สตาร์ชมีสีขาวเพิ่มขึ้น

#### 4.3.2.4 Damaged starch และค่าความสามารถในการจับน้ำของสตาร์ชข้าวฟ่าง

ในขั้นตอนการผลิตสตาร์ชมีทั้งการไม่เปียกและการสกัดโปรตีน ทำให้เม็ดสตาร์ชได้รับความเสียหายหรือเกิดเจลาติโนเซชัน ซึ่งส่งผลให้สมบัติของสตาร์ชที่ผลิตได้เปลี่ยนแปลงไป จากการวิเคราะห์ปริมาณ damaged starch ของสตาร์ชข้าวฟ่างจากแป้งที่ได้จากการไม่เปียกและสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างกัน (ตารางที่ 4.16) พบว่า ปริมาณ damaged starch ในสตาร์ชที่ผลิตได้มีปริมาณน้อยกว่าปริมาณ damaged starch ในแป้ง ซึ่งเป็นวัตถุดิบ (ตารางที่ 4.7) ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชที่เสียหายอาจละลายออกไปกับสารละลายที่ใช้ในการสกัดและน้ำที่ใช้ในการล้าง (Lim *et al.*, 1999) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณ damaged starch ในสตาร์ชข้าวฟ่าง พบว่า พันธุ์ วิธีการไม่ ชนิตสารสกัด ผลรวมของทั้ง 3 ปัจจัย (พันธุ์ วิธีการไม่ สารสกัด) และผลรวมของ 2 ปัจจัย (พันธุ์และวิธีการไม่ วิธีการไม่และสารสกัด) มีผลต่อปริมาณ damaged starch อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) และผลรวมของพันธุ์และสารสกัดไม่มีผลต่อปริมาณ damaged starch อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 33) ส่วนค่าความสามารถในการจับน้ำ (ตารางที่ 4.17) พบว่า พันธุ์ วิธีการไม่ และชนิตสารสกัดมีผลต่อค่าความสามารถในการจับน้ำ อย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 34) โดยสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 มีปริมาณ damaged starch สูงกว่าสตาร์ชพันธุ์ KU 439 สตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียกมีปริมาณ damaged starch และค่าความสามารถในการจับน้ำ สูงกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียกและสตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลาย NaOH มี damaged starch มากกว่าสตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลาย DoBS ทั้งนี้เนื่องจากสารละลาย NaOH มีสมบัติทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเจลาติโนเซชันได้ (Leach, 1965) Singh และ Singh (2001) พบว่าสตาร์ชที่มีค่าความสามารถในการจับน้ำต่ำจะมีค่า peak viscosity สูง ความแตกต่างของค่าความสามารถในการจับน้ำ อาจเกิดจากความแตกต่างของโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช การสูญเสียพันธะที่เชื่อมต่อระหว่าง อะไมโลสและอะไมโลเพกทินในเม็ดสตาร์ช (Soni *et al.*, 1987) การทำพันธะของ hydroxyl group กับไฮโดรเจนและพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ระหว่างสายของสตาร์ช (Hoover and Sosulski, 1986) ความแตกต่างของปริมาณสตาร์ชที่สามารถจับกับน้ำได้ (Wotton and Bamunuarachchi, 1978)

ตารางที่ 4.16 ปริมาณ damaged starch ในสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีน ด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

พันธุ์	วิธีการไม่	% Damaged starch	
		NaOH	DoBS
KU 439	ไม่แห้ง	5.51 <sup>c</sup> ±0.59	3.16 <sup>b</sup> ±0.18
	ไม่เปียก	1.13 <sup>a</sup> ±0.37	0.76 <sup>a</sup> ±0.04
KU 630	ไม่แห้ง	6.78 <sup>d</sup> ±0.21	4.86 <sup>c</sup> ±0.16
	ไม่เปียก	2.38 <sup>b</sup> ±0.08	0.84 <sup>a</sup> ±0.06

a, b, c ที่แตกต่างกันในตาราง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

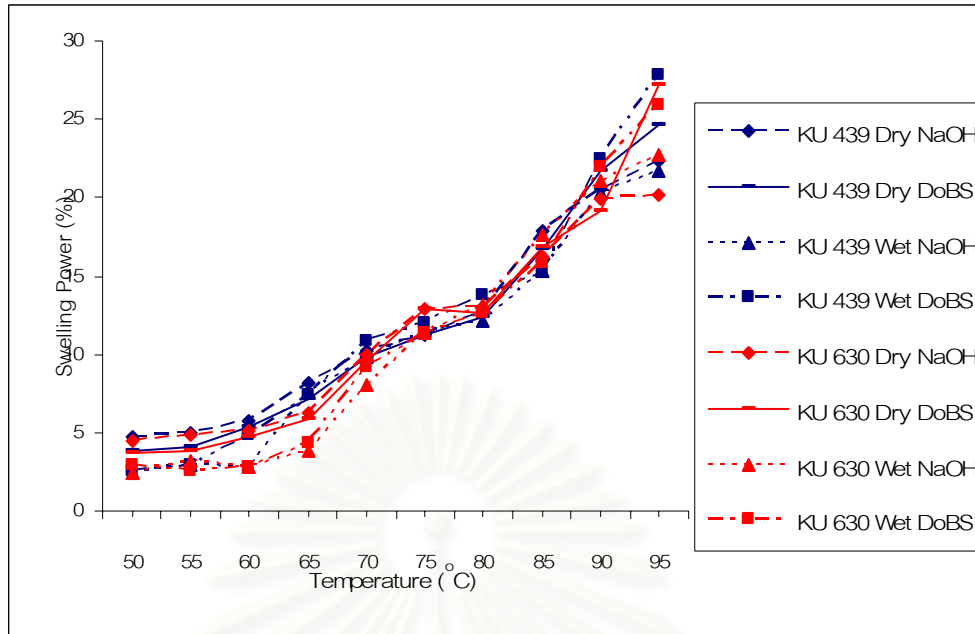
ตารางที่ 4.17 ค่าความสามารถในการจับน้ำในสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีน ด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

พันธุ์	วิธีการไม่	ความสามารถในการจับน้ำ(g น้ำ/ g แป้ง)	
		NaOH	DoBS
KU 439	ไม่แห้ง	1.70 <sup>c</sup> ±0.22	1.44 <sup>b</sup> ±0.03
	ไม่เปียก	0.80 <sup>a</sup> ±0.08	0.73 <sup>a</sup> ±0.04
KU 630	ไม่แห้ง	1.39 <sup>b</sup> ±0.04	1.36 <sup>b</sup> ±0.05
	ไม่เปียก	0.72 <sup>a</sup> ±0.03	0.72 <sup>a</sup> ±0.02

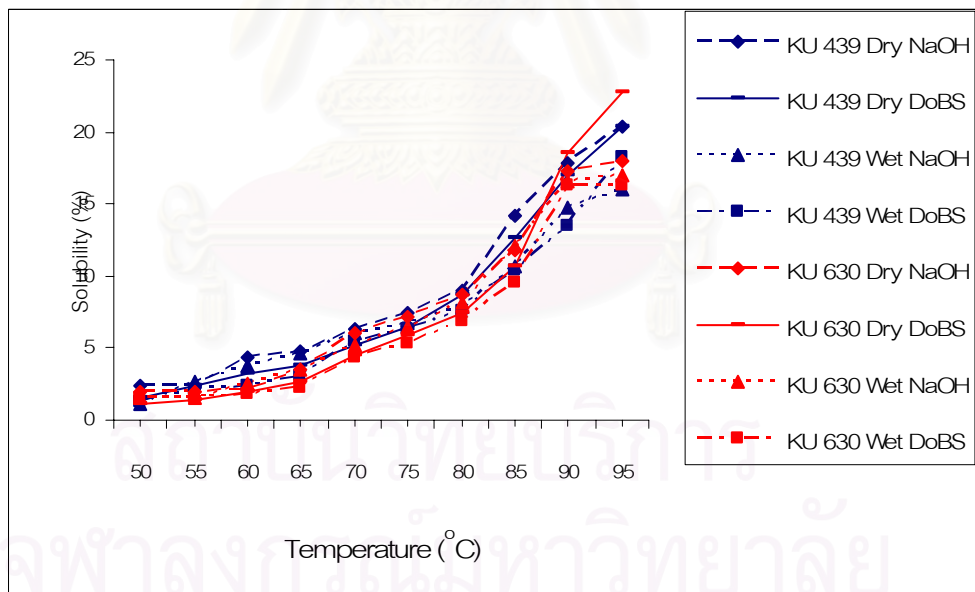
a, b, c ที่แตกต่างกันในตาราง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.3.2.5 กำลังการพองตัวและการละลาย (Swelling power and solubility) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง

เมื่อนำสตาร์ชที่ได้ไปศึกษา กำลังการพองตัวและการละลาย (รูปที่ 4.8-4.9) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กำลังการพองตัวและการละลายเพิ่มขึ้น เนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดสตาร์ชถูกทำลายทำให้น้ำสามารถเข้าไปทำพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกทิน ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวเพิ่มขึ้น และเมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวมากขึ้น โมเลกุลของอะไมโลสภายในเม็ดสตาร์ชสามารถละลายออกมาภายนอกเม็ดสตาร์ชได้มากขึ้น (Leach, 1965)



รูปที่ 4.8 กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างชนิดกัน



รูปที่ 4.9 การละลายของสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างชนิดกัน

#### 4.3.2.6 การเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าวฟ่าง

จากการศึกษาสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก ที่สกัดเอาโปรตีนออกด้วยสารละลาย NaOH และ DoBS ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) (ตารางที่ 4.18) พบว่าพันธุ์เท่านั้นที่ไม่มีผลต่อค่า peak viscosity อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) (ตารางที่ ข.35) โดยสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งมีค่า peak viscosity ต่ำกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก สตาร์ชข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่เปียกและสกัดด้วยสารละลาย DoBS มีค่า peak viscosity มากกว่าสตาร์ชที่สกัดด้วย NaOH แต่เมื่อพิจารณาสตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้ง พบว่าสตาร์ชพันธุ์ KU 439 และสกัดด้วยสารละลาย NaOH มีค่า peak viscosity มากกว่าสตาร์ชที่สกัดด้วย DoBS แต่พันธุ์ KU 630 จะมี peak viscosity ไม่แตกต่างกัน

สำหรับค่า breakdown พบว่า พันธุ์ วิธีการไม่ ชนิดสารสกัด ผลรวม 2 และ 3 ปัจจัย มีผลต่อค่าดังกล่าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 36) โดยสตาร์ชข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่แห้งจะมีค่า breakdown ต่ำกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก และวิธีการไม่เดียวกันสตาร์ชที่สกัดด้วย NaOH จะมีค่า breakdown ต่ำกว่าสตาร์ชที่สกัดด้วย DoBS

เมื่อพิจารณาค่า setback ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มของการคืนตัวของสตาร์ช พบว่า สตาร์ชแต่ละชนิดมีค่า setback แตกต่างกัน โดยสตาร์ชแต่ละพันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก ที่สกัดเอาโปรตีนออกด้วยสารละลาย NaOH มีแนวโน้มของค่า setback สูงกว่าสกัดด้วยสารละลาย DoBS เมื่อพิจารณาค่า setback/trough พบว่า พันธุ์ วิธีการไม่ ชนิดสารสกัด ผลรวม 2 และ 3 ปัจจัย มีผลต่อค่าดังกล่าว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 39) โดยสตาร์ชข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่แห้งและสกัดด้วยสารสกัดทั้ง 2 ชนิดมีการคืนตัวมากกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก ซึ่งสอดคล้องกับการคืนตัวเมื่อวัดด้วยเครื่อง DSC

สำหรับค่า pasting temperature พบว่า พันธุ์ ชนิดสารสกัด และผลรวมของวิธีการไม่กับชนิดสารสกัด มีผลต่อค่า pasting temperature อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 38) โดย สตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 มีค่า pasting temperature สูงกว่าสตาร์ชพันธุ์ KU 439 ซึ่งให้ผลสอดคล้องกับค่า pasting temperature ของแป้งข้าวฟ่างดังกล่าวมาข้างต้น เมื่อพิจารณาผลรวมของวิธีการไม่และสารสกัด พบว่าสตาร์ชทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่แห้งและสกัดด้วยสารละลาย NaOH จะมีค่า pasting temperature ต่ำกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก แต่เมื่อสกัดด้วย DoBS สตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งจะมีค่า pasting temperature มากกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก

ตารางที่ 4.18 ความหนืดของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ผ่านการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกันในช่วง heating-cooling cycle ของสตาร์ชข้าวฟ่าง

	KU 439				KU 630			
	ไม่แห้ง		ไม่เปียก		ไม่แห้ง		ไม่เปียก	
	NaOH	DoBS	NaOH	DoBS	NaOH	DoBS	NaOH	DoBS
Peak viscosity (RVU)	360.39 <sup>c</sup> ±6.39	338.03 <sup>b</sup> ±4.51	413.33 <sup>d</sup> ±3.84	492.25 <sup>f</sup> ±7.70	329.33 <sup>ab</sup> ±3.05	326.78 <sup>a</sup> ±9.46	458.02 <sup>e</sup> ±0.80	490.63 <sup>f</sup> ±5.01
Trough (RVA)	162.28 <sup>d</sup> ±2.99	132.58 <sup>b</sup> ±5.25	221.61 <sup>g</sup> ±4.07	173.17 <sup>e</sup> ±6.61	148.06 <sup>c</sup> ±6.34	122.33 <sup>a</sup> ±7.88	200.11 <sup>f</sup> ±2.19	182.14 <sup>e</sup> ±4.13
Breakdown (RVU)	189.47 <sup>b</sup> ±1.22	195.07 <sup>b</sup> ±8.20	225.47 <sup>c</sup> ±1.97	353.02 <sup>e</sup> ±6.45	155.97 <sup>a</sup> ±5.71	197.77 <sup>b</sup> ±5.35	257.63 <sup>d</sup> ±1.90	266.50 <sup>d</sup> ±7.45
Setback (RVU)	170.31 <sup>c</sup> ±6.38	140.66 <sup>b</sup> ±4.47	176.97 <sup>c</sup> ±5.83	146.83 <sup>b</sup> ±4.51	198.86 <sup>d</sup> ±1.43	179.28 <sup>c</sup> ±8.88	198.11 <sup>d</sup> ±2.27	118.30 <sup>a</sup> ±4.63
Setback/Trough	1.05 <sup>cd</sup> ±0.06	1.06 <sup>d</sup> ±0.02	0.80 <sup>b</sup> ±0.03	0.85 <sup>b</sup> ±0.04	1.34 <sup>e</sup> ±0.06	1.47 <sup>f</sup> ±0.03	0.99 <sup>c</sup> ±0.02	0.65 <sup>a</sup> ±0.04
Pasting temperature (°C)	73.70 <sup>a</sup> ±1.28	75.10 <sup>bc</sup> ±0.10	74.83 <sup>abc</sup> ±0.46	74.60 <sup>ab</sup> ±0.48	75.82 <sup>cd</sup> ±0.90	77.13 <sup>e</sup> ±0.51	76.60 <sup>de</sup> ±0.10	76.62 <sup>de</sup> ±0.13

a, b, c ที่แตกต่างกันในแถวเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

\* ความเข้มข้นของสตาร์ชที่ใช้ = 10.71 % (w/w)



ทั้งนี้สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ และกระบวนการผลิตดังกล่าวมาข้างต้นแล้ว Jane และคณะ (1999) ได้ศึกษาสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชต่างชนิดกัน พบว่าสตาร์ชของพืชแต่ละชนิดมีสมบัติด้านความหนืดแตกต่างกัน ทั้งนี้สตาร์ชแต่ละชนิดจะมีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน โดยสตาร์ชที่มีอะไมโลสสูงจะมีค่า peak viscosity ต่ำแต่มีค่า setback สูง ซึ่งสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 มีปริมาณอะไมโลสสูง (ประมาณ 30 %) มีค่า peak viscosity และ setback สูง (ที่ความเข้มข้น 10.71 %) ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงด้านความหนืดคล้ายกับสตาร์ชจาก Cattail millet ข้าวสาลี และข้าว ที่ความเข้มข้น 8 % (ตารางที่ 2.3)

#### 4.3.2.7 สมบัติด้านความร้อนและการคืนตัวของสตาร์ชข้าวฟ่าง

จากการศึกษาสมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก ที่สกัดเอาโปรตีนออกด้วยสารละลาย NaOH และ DoBS ด้วยเครื่อง DSC (ตารางที่ 4.19) พบว่า พันธุ์ วิธีการไม่ ชนิดสารสกัด ผลรวมของวิธีการไม่และชนิดสารสกัด และผลรวม 3 ปัจจัย (พันธุ์ วิธีการไม่ ชนิดสารสกัด) มีผลต่อค่า onset temperature ( $T_o$ ), peak temperature ( $T_p$ ) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 39-40) โดย สตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 มีค่า  $T_o$ ,  $T_p$  ต่ำกว่าสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 สตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งมีค่า  $T_o$  ต่ำกว่าแต่มีค่า  $T_p$  สูงกว่าสตาร์ชไม่เปียก สตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายทั้ง 2 ชนิดมีค่า  $T_o$ ,  $T_p$  ไม่แตกต่างกัน แต่สตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียกและสกัดด้วยสารละลาย NaOH มีค่า  $T_o$ ,  $T_p$  มากกว่าสตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลาย DoBS นอกจากนี้ยังพบว่า  $T_o$  มีค่าน้อยกว่าค่า pasting temperature ที่วิเคราะห์ได้จาก RVA (ตารางที่ 4.18) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุพัตรา งามอุรุเลิศ (2545) และของ Jane และคณะ (1999) เนื่องจากค่า pasting temperature เป็นอุณหภูมิที่สตาร์ชเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งความหนืดจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเมื่อสตาร์ชดูดน้ำและพองตัวได้ระดับหนึ่ง ในขณะที่  $T_o$  วัดจากการเปลี่ยนแปลงด้านความร้อน (heat flux) นั่นคือ เมื่อแป้งเริ่มเกิดเจลต้องมีการดูดความร้อนเข้าไปในระบบโดยความหนืดอาจยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ค่า  $T_o$  ต่ำกว่า pasting temperature (Jane *et al.*, 1999)

เมื่อพิจารณาค่าเอนทาลปี ( $\Delta H_{gel}$ ) พบว่า วิธีการไม่ ชนิดสารสกัด ผลรวมของพันธุ์และชนิดสารสกัด ผลรวมของวิธีการไม่และชนิดสารสกัด และผลรวมของพันธุ์ วิธีการไม่ และชนิดสารสกัด มีผลต่อค่า  $\Delta H_{gel}$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข.41) โดย สตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งมีค่า  $\Delta H_{gel}$  น้อยกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก และสตาร์ชที่สกัดด้วย NaOH มีค่า  $\Delta H_{gel}$  มากกว่าสตาร์ชที่สกัดด้วย DoBS

เมื่อพิจารณาการคืนตัวของสตาร์ชข้าวฟ่าง พบว่า พันธุ์ วิธีการไม่ ผลรวมของพันธุ์และชนิดสารสกัด วิธีการไม่และชนิดสารสกัด และผลรวมของพันธุ์ วิธีการไม่ และชนิดสารสกัด มีผลต่อการคืนตัว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) (ตารางที่ ข. 40) โดย สตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 630 มีการคืนตัวมากกว่าสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งมีการคืนตัวมากกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก

ทั้งนี้สมบัติด้านความร้อนและการคืนตัวของสตาร์ชอาจแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ และกระบวนการผลิตดังได้กล่าวมาข้างต้น Jane และคณะ (1999) ได้ศึกษาสมบัติด้านความร้อนและการคืนตัวของสตาร์ชจากพืชชนิดต่างกัน พบว่า สตาร์ชแต่ละชนิดมีสมบัติด้านความร้อนและการคืนตัวแตกต่างกัน และสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 KU 630 มีค่า  $T_o$  อยู่ในช่วง  $67.63-72.62$  °C  $T_p$  อยู่ในช่วง  $73.12-77.46$  °C  $\Delta H_{gel}$  อยู่ในช่วง  $5.93-11.57$  J/g และมีการคืนตัวอยู่ในช่วง  $47.82-79.49$  % ซึ่งมีการคืนตัวสูง และคาดว่ามีความสัมพันธ์ด้านความร้อนและการคืนตัวใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าว (ตารางที่ 2.4) อย่างไรก็ตามการคืนตัวนี้มีความสำคัญสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความเหนียวและมีลักษณะชุ่ม เช่น ก๋วยเตี๋ยวและเส้นหมี่ (ณรงค์ นิยมวิทย์ และอัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ, 2528)

ตารางที่ 4.19 สมบัติด้านความร้อนและการคืนตัวของสตาร์ชข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ผ่านการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างชนิดกัน

พันธุ์	วิธีการไม่	สารสกัด	$T_o$ (°C)	$T_p$ (°C)	$\Delta H_{gel}$ (J/g)	การคืนตัว (%)
KU 439	ไม่แห้ง	NaOH	$67.63^a \pm 0.48$	$75.26^{bc} \pm 0.33$	$6.70^b \pm 0.12$	$79.49^d \pm 4.80$
		DoBS	$67.95^a \pm 0.45$	$75.14^b \pm 0.10$	$7.61^c \pm 0.34$	$59.15^c \pm 4.32$
	ไม่เปียก	NaOH	$70.22^c \pm 0.23$	$74.83^b \pm 0.10$	$11.57^f \pm 0.12$	$48.33^a \pm 1.06$
		DoBS	$68.76^b \pm 0.20$	$73.12^a \pm 0.49$	$10.49^e \pm 0.30$	$50.68^{ab} \pm 3.46$
KU 630	ไม่แห้ง	NaOH	$70.15^c \pm 0.19$	$77.46^e \pm 0.34$	$8.81^d \pm 0.09$	$74.70^d \pm 2.30$
		DoBS	$69.76^c \pm 0.23$	$76.94^d \pm 0.35$	$5.93^a \pm 0.76$	$78.48^d \pm 5.72$
	ไม่เปียก	NaOH	$72.62^e \pm 0.10$	$76.73^d \pm 0.29$	$10.51^e \pm 0.21$	$47.82^a \pm 4.16$
		DoBS	$71.68^d \pm 0.28$	$75.73^c \pm 0.14$	$11.03^{ef} \pm 0.10$	$56.97^{bc} \pm 5.47$

a, b, c ที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

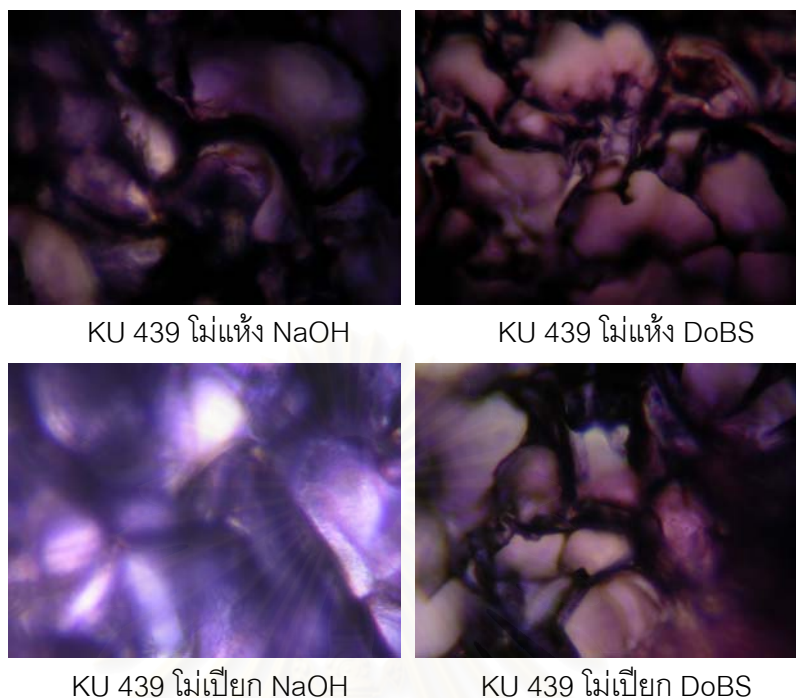
เมื่อเปรียบเทียบค่า  $T_0$ ,  $T_p$  และ  $\Delta H_{gel}$  ของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่าง พบว่า สตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งและสกัดด้วยสารสกัดทั้ง 2 ชนิด มีค่า  $T_0$  และ  $T_p$  ต่ำกว่าแป้งที่ได้จากการไม่แห้ง แต่สตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียกและสกัดด้วยสารสกัดทั้ง 2 ชนิดมีค่าดังกล่าวใกล้เคียงกับแป้งที่ได้จากการไม่เปียก และสตาร์ชทั้ง 2 พันธุ์ที่ได้จากการไม่แห้ง ไม่เปียกและสกัดด้วยสารทั้ง 2 ชนิด มีค่า  $\Delta H_{gel}$  มากกว่าแป้งข้าวฟ่าง สาเหตุที่ค่าดังกล่าวแตกต่างกันอาจเนื่องมาจากแป้งและสตาร์ชมีปริมาณ damaged starch แตกต่างกัน

#### 4.3.2.8 Freeze-thaw stability ของสตาร์ชข้าวฟ่าง

จากการศึกษา freeze-thaw stability (ตารางที่ 4.20) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง พบว่าสตาร์ชข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์ เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็งรอบที่ 1 โครงสร้างยังคงลักษณะของเจลอยู่ และเมื่อทำการเหวี่ยงแยกเอาน้ำออก พบว่าจะมีน้ำแยกออกมาในปริมาณเท่า ๆ กัน แต่เมื่อนำเจลสตาร์ชไปแช่แข็งและนำมาละลายรอบที่ 2 พบว่าโครงสร้างของเจลสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ (รูปที่ 4.10) ซึ่งโครงสร้างนี้สามารถดูดน้ำกลับได้ ทำให้ไม่สามารถวัดการเกิด % syneresis ได้ เช่นเดียวกับแป้งข้าวฟ่างที่ได้กล่าวมาข้างต้น แสดงว่าสตาร์ชข้าวฟ่างไม่เหมาะที่จะนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารประเภท frozen product

ตารางที่ 4.20 ลักษณะโครงสร้างเจลสตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งและสกัดโปรตีนด้วยสารละลายต่างชนิดกันหลังผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งหลาย ๆ รอบ

พันธุ์	วิธีการไม่	สารสกัด	ลักษณะโครงสร้างของเจลแป้ง		
			1	2-7	
KU 439	ไม่แห้ง	NaOH	Syneresis	Spongy	Spongy
		DoBS	Syneresis	Spongy	Spongy
	ไม่เปียก	NaOH	Syneresis	Spongy	Spongy
		DoBS	Syneresis	Spongy	Spongy
KU 630	ไม่แห้ง	NaOH	Syneresis	Spongy	Spongy
		DoBS	Syneresis	Spongy	Spongy
	ไม่เปียก	NaOH	Syneresis	Spongy	Spongy
		DoBS	Syneresis	Spongy	Spongy



รูปที่ 4.10 โครงสร้างของเจลสตาร์ซข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 ที่ผ่านการไม่และสกัดโปรตีน ด้วยสารละลายชนิดต่างกันเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง รอบที่ 7

#### 4.4 ผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ซ

วัตถุประสงค์ของการใช้แป้งในอุตสาหกรรมอาหารมีหลายประการ ขึ้นกับลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Furia, 1972) เช่น การใช้แป้งเพื่อเป็นสารเพิ่มความหนืด (thickening agent) ในซอสมะเขือเทศและซूप สารให้เสถียรภาพ (stabilizer) ในน้ำสลัดชั้น เป็นต้น แม้ว่าการใช้แป้งจะมีความแตกต่างในวัตถุประสงค์การใช้งาน แต่ในเชิงปฏิบัติหรือกระบวนการผลิตส่วนใหญ่ จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกัน เช่น ใช้แป้งในรูปของแป้งเปียก โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อน การกวน และอาจมีการปรับ pH ของอาหารเป็นต้น ดังนั้น ในการทดสอบเสถียรภาพของแป้ง จึงควรพิจารณาถึงผลของความเป็นกรด-ด่างต่อเสถียรภาพของแป้ง โดยทดสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกใน heating-cooling cycle เพื่อให้มีสภาพใกล้เคียงกับการใช้งานจริง

จากการนำแป้งและสตาร์ซที่มีค่า peak viscosity สูงสุดและมีค่า breakdown ต่ำสุด คือ แป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก สตาร์ซข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและสกัดด้วยสารละลาย NaOH และสตาร์ซพันธุ์ KU 439

KU 630 ที่ได้จาก การไม่เปียกและสกัดด้วยสารละลาย DoBS มาศึกษาผลของ pH ที่ความเข้มข้นของสารละลายแป้งและสตาร์ชเป็นร้อยละ 9 ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3 5 7 และ 9 (ตารางที่ 4.21-4.28) พบว่า ที่ pH ต่ำกว่า 7 แป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างมีค่า peak viscosity, breakdown, setback/trough ต่ำกว่าแต่จะมีค่า pasting temperature สูงกว่าแป้งและสตาร์ชที่ pH มากกว่า 7 แต่เมื่อพิจารณาแป้งและสตาร์ชที่ pH 7 และ 9 พบว่า เมื่อ pH เพิ่มขึ้น ค่า peak viscosity, breakdown และ setback/trough เพิ่มมากขึ้น แต่ค่า pasting temperature จะลดลง เมื่อเปรียบเทียบแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่าง พบว่าสตาร์ชข้าวฟ่างมีแนวโน้มของค่า peak viscosity, breakdown สูงกว่าแป้งข้าวฟ่าง ส่วนค่า setback/trough พบว่า ที่ pH น้อยกว่า 7 แป้งที่ได้จากการไม่แห้งมีค่า setback/trough มากกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่แห้งและสกัดด้วยสารละลาย NaOH แต่แป้งที่ได้จากการไม่เปียกมีค่า setback/trough ต่ำกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียกและสกัดด้วยสารละลาย DoBS และที่ pH มากกว่า 7 พบว่าแป้งมีค่า setback/trough ต่ำกว่าสตาร์ชข้าวฟ่างเนื่องจากที่ภาวะเป็นด่างเม็ดสตาร์ชสามารถเกิดการเจลาติไนซ์ได้ และที่ pH ต่ำ มีค่า breakdown ต่ำ เนื่องจากที่ pH ต่ำ สตาร์ชถูกไฮโดรไลซ์ โดยเกิดการตัดพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic) ของโมเลกุลสตาร์ช ทำให้โมเลกุลแป้งฉีกขาดได้ง่าย ความหนืดจึงลดลงมาก (Freeman and Verr, 1972; Schoch, 1985) ซึ่ง ทศนัย อรรถพรพิทักษ์ (2546) ได้ศึกษาผลของ pH ต่อความหนืดของสตาร์ชเท้ายายม่อม พบว่า pH มีผลต่อความหนืดของสตาร์ชเท้ายายม่อม โดยที่ pH 5 7 และ 9 ความหนืดของสตาร์ชเท้ายายม่อมไม่แตกต่างกัน แต่ที่ pH 3 มีความหนืดแตกต่างจาก pH อื่น ทั้งนี้ pH ไม่มีผลต่อค่า pasting temperature ของสตาร์ชเท้ายายม่อม ดังนั้น ในการนำแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร หรือตัดแปรรูปแป้งจะต้องระมัดระวังค่า pH ของอาหาร

#### ตารางที่ 4.21 ค่า peak viscosity ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน

pH	Peak viscosity (RVU) ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง	KU 439 ไม่เปียก	KU 630 ไม่แห้ง	KU 630 ไม่เปียก
3	100.67 <sup>b</sup> ±0.00	154.30 <sup>a</sup> ±1.59	85.42 <sup>a</sup> ±1.18	149.17 <sup>a</sup> ±1.29
5	96.42 <sup>a</sup> ±0.47	163.21 <sup>b</sup> ±0.65	87.04 <sup>a</sup> ±0.76	159.54 <sup>b</sup> ±4.12
7	118.96 <sup>c</sup> ±1.47	181.13 <sup>c</sup> ±0.06	106.42 <sup>b</sup> ±1.06	179.09 <sup>c</sup> ±2.95
9	219.21 <sup>d</sup> ±0.76	397.71 <sup>d</sup> ±2.06	195.38 <sup>c</sup> ±1.59	377.80 <sup>d</sup> ±3.01

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



ตารางที่ 4.22 ค่า breakdown ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน

pH	Breakdown (RVU) ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง	KU 439 ไม่เปียก	KU 630 ไม่แห้ง	KU 630 ไม่เปียก
3	34.5 <sup>c</sup> ±0.71	64.13 <sup>b</sup> ±0.64	24.34 <sup>c</sup> ±0.83	55.75 <sup>b</sup> ±2.23
5	9.42 <sup>a</sup> ±0.47	40.59 <sup>a</sup> ±1.29	8.00 <sup>a</sup> ±0.35	39.50 <sup>a</sup> ±1.88
7	19.08 <sup>b</sup> ±0.71	38.54 <sup>a</sup> ±1.12	17.46 <sup>b</sup> ±0.18	41.96 <sup>a</sup> ±0.76
9	131.04 <sup>d</sup> ±0.65	250.79 <sup>c</sup> ±5.25	97.84 <sup>d</sup> ±0.94	188.00 <sup>c</sup> ±0.95

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.23 ค่า setback/trough ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน

pH	Setback/Trough ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง	KU 439 ไม่เปียก	KU 630 ไม่แห้ง	KU 630 ไม่เปียก
3	0.51 <sup>c</sup> ±0.01	0.45 <sup>b</sup> ±0.01	0.59 <sup>c</sup> ±0.03	0.61 <sup>b</sup> ±0.03
5	0.24 <sup>b</sup> ±0.01	0.13 <sup>a</sup> ±0.00	0.27 <sup>b</sup> ±0.01	0.13 <sup>a</sup> ±0.01
7	0.15 <sup>a</sup> ±0.00	0.08 <sup>a</sup> ±0.00	0.14 <sup>a</sup> ±0.01	0.08 <sup>a</sup> ±0.00
9	3.82 <sup>d</sup> ±0.02	2.79 <sup>c</sup> ±0.09	3.98 <sup>d</sup> ±0.08	2.29 <sup>c</sup> ±0.10

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.24 ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน

pH	Pasting temperature (°C) ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง	KU 439 ไม่เปียก	KU 630 ไม่แห้ง	KU 630 ไม่เปียก
3	81.18 <sup>b</sup> ±0.74	87.18 <sup>b</sup> ±0.04	82.75 <sup>b</sup> ±0.50	87.60 <sup>b</sup> ±0.57
5	82.75 <sup>b</sup> ±0.50	89.40 <sup>c</sup> ±0.71	83.73 <sup>b</sup> ±0.39	88.78 <sup>c</sup> ±0.32
7	90.03 <sup>c</sup> ±0.67	88.38 <sup>ab</sup> ±0.53	88.03 <sup>c</sup> ±1.10	86.85 <sup>b</sup> ±0.50
9	79.53 <sup>a</sup> ±0.39	79.13 <sup>a</sup> ±0.18	80.57 <sup>a</sup> ±0.26	80.75 <sup>a</sup> ±0.07

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.25 ค่า peak viscosity ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน

pH	Peak viscosity (RVU) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง NaOH	KU 630 ไม่แห้ง NaOH	KU 439 ไม่เปียก DoBS	KU 630 ไม่เปียก DoBS
3	136.67 <sup>a</sup> ±2.60	127.58 <sup>a</sup> ±2.83	157.00 <sup>a</sup> ±5.66	160.42 <sup>a</sup> ±2.83
5	143.30 <sup>a</sup> ±0.18	132.83 <sup>a</sup> ±5.30	162.21 <sup>a</sup> ±5.60	178.75 <sup>b</sup> ±0.59
7	157.08 <sup>b</sup> ±1.77	139.88 <sup>a</sup> ±5.48	197.58 <sup>b</sup> ±0.71	200.79 <sup>c</sup> ±0.30
9	394.21 <sup>c</sup> ±5.71	345.75 <sup>b</sup> ±3.30	462.33 <sup>c</sup> ±3.18	440.55 <sup>d</sup> ±1.94

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึงค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.26 ค่า breakdown ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน

pH	Breakdown (RVU) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง NaOH	KU 630 ไม่แห้ง NaOH	KU 439 ไม่เปียก DoBS	KU 630 ไม่เปียก DoBS
3	45.17 <sup>c</sup> ±3.06	28.75 <sup>b</sup> ±3.54	78.88 <sup>c</sup> ±0.42	74.96 <sup>c</sup> ±4.77
5	19.09 <sup>a</sup> ±0.47	14.13 <sup>a</sup> ±1.83	40.58 <sup>a</sup> ±1.41	44.79 <sup>a</sup> ±1.00
7	33.75 <sup>b</sup> ±3.18	22.63 <sup>ab</sup> ±2.19	71.33 <sup>b</sup> ±0.70	63.46 <sup>b</sup> ±1.12
9	284.34 <sup>d</sup> ±3.30	210.54 <sup>c</sup> ±4.30	303.38 <sup>d</sup> ±3.47	290.38 <sup>d</sup> ±0.64

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.27 ค่า setback/trough ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน

pH	Setback/Trough ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง NaOH	KU 630 ไม่แห้ง NaOH	KU 439 ไม่เปียก DoBS	KU 630 ไม่เปียก DoBS
3	0.21 <sup>a</sup> ±0.02	0.18 <sup>a</sup> ±0.01	0.58 <sup>b</sup> ±0.05	0.82 <sup>c</sup> ±0.08
5	0.10 <sup>a</sup> ±0.01	0.08 <sup>a</sup> ±0.00	0.30 <sup>a</sup> ±0.01	0.42 <sup>b</sup> ±0.01
7	0.19 <sup>a</sup> ±0.01	0.14 <sup>a</sup> ±0.01	0.22 <sup>a</sup> ±0.01	0.14 <sup>a</sup> ±0.01
9	3.93 <sup>b</sup> ±0.40	3.13 <sup>b</sup> ±0.16	2.89 <sup>c</sup> ±0.05	2.47 <sup>d</sup> ±0.05

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.28 ค่า pasting temperature ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำที่ pH ต่างกัน

pH	Pasting temperature (°C) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 โม้แห้ง NaOH	KU 630 โม้แห้ง NaOH	KU 439 โม้เปียก DoBS	KU 630 โม้เปียก DoBS
3	79.90 <sup>b</sup> ±1.13	81.45 <sup>b</sup> ±1.27	81.60 <sup>b</sup> ±0.00	83.23 <sup>b</sup> ±0.04
5	80.30 <sup>b</sup> ±1.77	83.13 <sup>b</sup> ±0.04	84.35 <sup>d</sup> ±0.64	85.58 <sup>c</sup> ±0.04
7	79.88 <sup>b</sup> ±1.24	82.70 <sup>b</sup> ±0.50	83.18 <sup>c</sup> ±0.11	85.33 <sup>c</sup> ±0.60
9	75.65 <sup>a</sup> ±0.21	78.88 <sup>a</sup> ±0.67	77.48 <sup>a</sup> ±0.11	79.58 <sup>a</sup> ±0.53

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.5 ผลของน้ำตาลต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ช

น้ำตาลเป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมอาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ (starch-based foods) ซึ่งน้ำตาลมีผลต่อสมบัติต่าง ๆ ของอาหาร เช่น ความหวาน (sweetness) เนื้อสัมผัส (texture) สี (colour) การคืนตัว (staling) และการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ช จากการทดลองเมื่อนำแป้งและสตาร์ชที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่า breakdown ต่ำสุด จากข้อ 4.4 มาศึกษาผลของน้ำตาล โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและสตาร์ชเปียกใน heating-cooling cycle ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser โดยควบคุมความเข้มข้นของสารละลายแป้งและสตาร์ชเป็นร้อยละ 10.71 ในสารละลายน้ำตาลซูโครสความเข้มข้น 5 10 15 และ 20 % พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น ค่า peak viscosity ของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างมีค่าเพิ่มขึ้น (ตารางที่ 4.29, 4.33) อาจมาจากน้ำตาลไปลดปริมาณน้ำอิสระในสารละลายน้ำแป้งและสตาร์ชการเคลื่อนที่ของเม็ดสตาร์ชจึงลดลงทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น และอาจมีผลมาจากความหนืดของน้ำตาลเอง

เมื่อพิจารณาค่า breakdown ของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างที่ความเข้มข้นของน้ำตาลซูโครสต่างกัน (ตารางที่ 4.30, 4.34) พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น ค่า breakdown ของแป้งและสตาร์ชมีค่าเพิ่มขึ้น ยกเว้นแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 ที่ผ่านการโม้แห้งและโม้เปียกที่ความเข้มข้นของน้ำตาลไม่มีผลต่อค่า breakdown อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) ซึ่ง Torley และคณะ (2004) พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำผึ้ง สตาร์ชข้าวโพดจะมีค่า breakdown เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาค่า setback/trough ของแป้งและสตาร์ช (ตารางที่ 4.31, 4.35) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้นค่า setback/trough ของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่างมีค่าลดลง นั่นคือเมื่อปริมาณน้ำตาลเพิ่มขึ้นการคืนตัวของเจลแป้งและสตาร์ชลดลง ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของน้ำตาลไปทำพันธะกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ช ทำให้โมเลกุลสตาร์ชไม่สามารถจับกันได้ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Prokovich และ Biliaderis (1995) ที่ศึกษาผลของน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ต่อสมบัติด้านความร้อนด้วยเครื่อง DSC โดยเติมน้ำตาลชนิดต่าง ๆ ในอัตราส่วนของสตาร์ชต่อน้ำตาลต่อน้ำเท่ากับ 1 : 0.5 : 1.5 (w/w) และพบว่าน้ำตาลสามารถขัดขวางการทำพันธะกันอีกครั้ง (reorganization) ของสตาร์ชเจล โดยสตาร์ชเจลที่มีน้ำตาลซูโครสมี  $\Delta H$  ต่ำกว่า น้ำตาลมอลโตไตรโอส น้ำหรือน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุคโตส ตามลำดับ แต่มีค่ามากกว่าน้ำตาลไรโบส นั่นคือน้ำตาลซูโครสจะยับยั้งการทำพันธะได้ดีกว่าน้ำตาลมอลโตไตรโอส (maltotriose) น้ำหรือน้ำตาลกลูโคส น้ำตาลฟรุคโตส ตามลำดับ แต่จะน้อยกว่าน้ำตาลไรโบส

เมื่อพิจารณาค่า pasting temperature ของแป้งและสตาร์ชที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 4.32, 4.36) พบว่าเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้นค่า pasting temperature ของแป้งและสตาร์ชเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากน้ำตาลจะทำหน้าที่เป็น antiplasticizing ซึ่งจะปลดการละลายของอะไมโลสในสารละลายที่มีน้ำตาลอยู่ (Kohyama and Nishirari, 1991; Ahmad and Williams, 1999) ทำให้ระบบแป้งและสตาร์ช-น้ำ ที่มีปริมาณน้ำตาลสูง ต้องการพลังงานในการเกิดเจลละติเนชันเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การเติมน้ำตาลลงไปยังเป็นการลดปริมาณน้ำในระบบทำให้มีผลต่อการเจลละติเนชันของสตาร์ช (Derby *et al.*, 1975) และน้ำตาลยังอาจไปขัดขวางการดูดน้ำ (hydration) ของเม็ดสตาร์ช ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบใน แป้งและสตาร์ชชนิดอื่น เช่น แป้งข้าวเจ้า (Jomduang and Mohamed, 1994) สตาร์ชมันสำปะหลัง (Pongsawatmanit, Thanasukam, and Ikeda, 2002) สตาร์ชข้าวโพด (Torley *et al.*, 2004) ที่พบว่า เมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลเพิ่มขึ้น ค่า peak viscosity เพิ่มขึ้นแต่ค่า pasting temperature ลดลง

ตารางที่ 4.29 ค่า peak viscosity ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของ น้ำตาล (%)	Peak viscosity (RVU) ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง	KU 439 ไม่เปียก	KU 630 ไม่แห้ง	KU 630 ไม่เปียก
5	285.92 <sup>a</sup> ±2.71	396.21 <sup>a</sup> ±7.37	255.42 <sup>a</sup> ±3.77	408.58 <sup>a</sup> ±2.12
10	325.75 <sup>b</sup> ±3.54	456.83 <sup>b</sup> ±4.95	297.58 <sup>b</sup> ±2.83	451.08 <sup>b</sup> ±11.31
15	383.00 <sup>c</sup> ±8.37	529.75 <sup>c</sup> ±1.52	342.46 <sup>c</sup> ±12.07	503.07 <sup>c</sup> ±14.90
20	432.21 <sup>d</sup> ±0.53	599.42 <sup>d</sup> ±4.71	386.34 <sup>d</sup> ±6.95	566.95 <sup>d</sup> ±9.56

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.30 ค่า breakdown ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของ น้ำตาล (%)	Breakdown (RVU) ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง <sup>ns</sup>	KU 439 ไม่เปียก <sup>ns</sup>	KU 630 ไม่แห้ง	KU 630 ไม่เปียก
5	91.04±3.13	141.00±11.91	64.05 <sup>a</sup> ±7.60	148.13 <sup>b</sup> ±3.36
10	86.63±2.89	151.58±2.47	84.71 <sup>b</sup> ±5.95	147.25 <sup>b</sup> ±3.30
15	92.05±3.36	157.46±4.54	79.08 <sup>ab</sup> ±9.55	133.50 <sup>a</sup> ±0.82
20	90.79±0.65	158.75±1.88	79.79 <sup>ab</sup> ±1.12	132.50 <sup>a</sup> ±4.95

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.31 ค่า setback/trough ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของ น้ำตาล (%)	Setback/Trough ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง	KU 439 ไม่เปียก	KU 630 ไม่แห้ง	KU 630 ไม่เปียก
5	0.72 <sup>d</sup> ±0.02	0.58 <sup>d</sup> ±0.01	0.68 <sup>c</sup> ±0.02	0.62 <sup>d</sup> ±0.04
10	0.59 <sup>c</sup> ±0.02	0.40 <sup>b</sup> ±0.01	0.68 <sup>c</sup> ±0.04	0.35 <sup>b</sup> ±0.01
15	0.45 <sup>b</sup> ±0.02	0.51 <sup>c</sup> ±0.03	0.50 <sup>b</sup> ±0.00	0.50 <sup>c</sup> ±0.03
20	0.36 <sup>a</sup> ±0.03	0.32 <sup>a</sup> ±0.03	0.36 <sup>a</sup> ±0.03	0.26 <sup>a</sup> ±0.01

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



ตารางที่ 4.32 ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้นของ น้ำตาล (%)	Pasting temperature (°C) ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 โม้แห้ง	KU 439 โม้เปียก	KU 630 โม้แห้ง	KU 630 โม้เปียก
5	78.83 <sup>a</sup> ±0.04	77.10 <sup>a</sup> ±0.64	78.28 <sup>a</sup> ±0.04	79.10 <sup>a</sup> ±0.07
10	77.33 <sup>ab</sup> ±0.04	78.25 <sup>b</sup> ±0.07	79.13 <sup>a</sup> ±0.04	80.33 <sup>b</sup> ±0.74
15	78.78 <sup>bc</sup> ±0.60	79.10 <sup>b</sup> ±0.07	80.70 <sup>b</sup> ±0.14	81.60 <sup>c</sup> ±0.00
20	79.83 <sup>c</sup> ±1.67	80.68 <sup>c</sup> ±0.04	82.00 <sup>c</sup> ±0.64	82.65 <sup>c</sup> ±0.28

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.33 ค่า peak viscosity ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของน้ำตาล (%)	Peak viscosity (RVU) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 โม้แห้ง NaOH	KU 630 โม้แห้ง NaOH	KU 439 โม้เปียก DoBS	KU 630 โม้เปียก DoBS
5	414.38 <sup>a</sup> ±5.59	376.96 <sup>a</sup> ±5.66	498.05 <sup>a</sup> ±3.01	528.88 <sup>a</sup> ±4.18
10	466.71 <sup>a</sup> ±4.77	433.71 <sup>b</sup> ±3.01	570.67 <sup>b</sup> ±0.23	616.88 <sup>b</sup> ±5.83
15	527.96 <sup>c</sup> ±7.48	506.88 <sup>c</sup> ±3.95	644.29 <sup>c</sup> ±2.53	705.75 <sup>c</sup> ±0.71
20	564.71 <sup>d</sup> ±4.89	548.21 <sup>d</sup> ±1.12	715.96 <sup>d</sup> ±3.36	744.80 <sup>d</sup> ±0.88

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.34 ค่า breakdown ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของน้ำตาล (%)	Breakdown (RVU) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 โม้แห้ง NaOH	KU 630 โม้แห้ง NaOH	KU 439 โม้เปียก DoBS	KU 630 โม้เปียก DoBS
5	224.29 <sup>a</sup> ±3.24	187.67 <sup>a</sup> ±3.30	307.46 <sup>a</sup> ±0.65	328.42 <sup>a</sup> ±7.07
10	246.09 <sup>b</sup> ±2.24	215.75 <sup>b</sup> ±3.78	348.88 <sup>b</sup> ±0.88	338.88 <sup>a</sup> ±2.76
15	277.17 <sup>c</sup> ±3.18	217.71 <sup>b</sup> ±2.89	385.96 <sup>c</sup> ±4.42	362.29 <sup>b</sup> ±6.31
20	296.09 <sup>d</sup> ±1.18	223.58 <sup>b</sup> ±1.06	412.17 <sup>d</sup> ±2.47	388.75 <sup>c</sup> ±8.37

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.35 ค่า setback/trough ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของน้ำตาล (%)	Setback/Trough ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 โม้แห้ง NaOH	KU 630 โม้แห้ง NaOH	KU 439 โม้เปียก DoBS	KU 630 โม้เปียก DoBS
5	0.94 <sup>c</sup> ±0.08	1.01 <sup>d</sup> ±0.04	0.78 <sup>c</sup> ±0.01	0.85 <sup>d</sup> ±0.03
10	0.86 <sup>ab</sup> ±0.06	0.92 <sup>c</sup> ±0.01	0.72 <sup>bc</sup> ±0.00	0.79 <sup>c</sup> ±0.04
15	0.80 <sup>ab</sup> ±0.04	0.81 <sup>b</sup> ±0.01	0.67 <sup>b</sup> ±0.04	0.65 <sup>b</sup> ±0.01
20	0.74 <sup>a</sup> ±0.01	0.72 <sup>a</sup> ±0.02	0.59 <sup>a</sup> ±0.03	0.56 <sup>a</sup> ±0.01

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.36 ค่า pasting temperature ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของน้ำตาล (%)	Pasting temperature (°C) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 โม้แห้ง NaOH	KU 630 โม้แห้ง NaOH	KU 439 โม้เปียก DoBS	KU 630 โม้เปียก DoBS
5	73.78 <sup>a</sup> ±0.53	76.28 <sup>a</sup> ±0.67	75.43 <sup>a</sup> ±0.67	78.28 <sup>a</sup> ±0.11
10	75.45 <sup>a</sup> ±0.64	77.03 <sup>a</sup> ±0.39	77.08 <sup>b</sup> ±0.60	79.43 <sup>b</sup> ±0.53
15	75.83 <sup>a</sup> ±1.10	78.68 <sup>b</sup> ±0.67	78.30 <sup>b</sup> ±0.07	80.78 <sup>c</sup> ±0.04
20	77.83 <sup>b</sup> ±0.60	80.03 <sup>b</sup> ±0.11	79.90 <sup>c</sup> ±0.07	82.35 <sup>d</sup> ±0.07

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### 4.6 ผลของเกลือต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ช

จากการทดลองนำแป้งและสตาร์ชที่มีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) และค่า breakdown ต่ำสุด จากข้อ 4.4 มาศึกษาผลของเกลือ โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและสตาร์ชเปียกใน heating-cooling cycle ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser และควบคุมความเข้มข้นของสารละลายแป้งและสตาร์ชเป็นร้อยละ 10.71 ในสารละลายเกลือความเข้มข้น 1, 3 และ 5 % (ตารางที่ 4.37-4.44) พบว่า เมื่อความเข้มข้นของเกลือเพิ่มขึ้น ค่า peak viscosity และค่า pasting temperature มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่า breakdown และ setback/trough มีค่าลดลง การที่แป้งและสตาร์ชมีความหนืดเพิ่มขึ้น อาจเนื่องจากเกลือไปลดปริมาณน้ำอิสระในสารละลาย น้ำแป้งและสตาร์ชทำให้การเคลื่อนที่ของเม็ดสตาร์ชลดลงความหนืดจึงเพิ่มขึ้น และต้องใช้

คุณหมุมิสูงในการทำให้เม็ดสตาร์ชของตัว ทำให้มีค่า pasting temperature เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Jomduang and Mohamed (1994) ซึ่งพบว่า เมื่อความเข้มข้นของเกล็ดเพิ่มขึ้น ค่าความหนืดของแป้งข้าวเหนียวมีค่าเพิ่มขึ้น และการที่ค่า setback/trough มีค่าลดลงเนื่องจากเกล็ดไปขัดขวางการคืนตัวของโมเลกุลสตาร์ช

#### ตารางที่ 4.37 ค่า peak viscosity ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำเกล็ดความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของเกล็ด (%)	Peak viscosity (RVU) ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง	KU 439 ไม่เปียก	KU 630 ไม่แห้ง	KU 630 ไม่เปียก
1	238.67 <sup>a</sup> ±1.53	348.46 <sup>a</sup> ±2.53	224.13 <sup>a</sup> ±1.48	366.09 <sup>a</sup> ±0.47
3	255.38 <sup>b</sup> ±3.83	365.25 <sup>b</sup> ±6.60	231.67 <sup>b</sup> ±2.47	384.42 <sup>ab</sup> ±6.24
5	270.29 <sup>c</sup> ±1.47	395.09 <sup>c</sup> ±2.35	240.88 <sup>c</sup> ±0.64	399.63 <sup>b</sup> ±7.84

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

#### ตารางที่ 4.38 ค่า breakdown ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำเกล็ดความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของเกล็ด (%)	Breakdown (RVU) ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง	KU 439 ไม่เปียก	KU 630 ไม่แห้ง	KU 630 ไม่เปียก <sup>ns</sup>
1	45.63 <sup>c</sup> ±1.35	102.38 <sup>c</sup> ±1.35	43.14 <sup>c</sup> ±1.77	109.50±2.94
3	34.29 <sup>b</sup> ±1.00	87.88 <sup>b</sup> ±5.95	31.09 <sup>b</sup> ±0.94	111.21±4.07
5	29.34 <sup>a</sup> ±1.53	74.96 <sup>a</sup> ±1.71	25.92 <sup>a</sup> ±0.23	102.54±1.82

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.39 ค่า setback/trough ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของเกลือ (%)	Setback/Trough ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง	KU 439 ไม่เปียก	KU 630 ไม่แห้ง	KU 630 ไม่เปียก
1	0.39 <sup>c</sup> ±0.00	0.41 <sup>c</sup> ±0.00	0.42 <sup>c</sup> ±0.02	0.34 <sup>b</sup> ±0.00
3	0.22 <sup>b</sup> ±0.01	0.26 <sup>b</sup> ±0.01	0.21 <sup>b</sup> ±0.00	0.20 <sup>a</sup> ±0.01
5	0.17 <sup>a</sup> ±0.01	0.17 <sup>a</sup> ±0.01	0.15 <sup>a</sup> ±0.00	0.16 <sup>a</sup> ±0.03

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.40 ค่า pasting temperature ของแป้งข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของเกลือ (%)	Pasting temperature (°C) ของแป้งข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง	KU 439 ไม่เปียก	KU 630 ไม่แห้ง	KU 630 ไม่เปียก
1	79.05 <sup>a</sup> ±0.07	80.80 <sup>a</sup> ±0.07	81.18 <sup>a</sup> ±0.60	82.75 <sup>a</sup> ±0.50
3	81.55 <sup>b</sup> ±0.00	82.48 <sup>b</sup> ±0.03	84.10 <sup>b</sup> ±0.21	84.78 <sup>b</sup> ±0.03
5	83.03 <sup>c</sup> ±0.25	84.08 <sup>c</sup> ±0.03	85.00 <sup>b</sup> ±0.50	85.85 <sup>c</sup> ±0.28

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.41 ค่า peak viscosity ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของเกลือ (%)	Peak viscosity (RVU) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 ไม่แห้ง NaOH	KU 630 ไม่แห้ง NaOH <sup>ns</sup>	KU 439 ไม่เปียก DoBS	KU 630 ไม่เปียก DoBS
1	322.88 <sup>a</sup> ±2.41	295.67±2.83	367.71 <sup>a</sup> ±2.41	405.34 <sup>a</sup> ±3.06
3	338.05 <sup>b</sup> ±3.01	307.25±1.77	428.67 <sup>b</sup> ±1.41	431.79 <sup>b</sup> ±7.48
5	358.71 <sup>c</sup> ±4.07	325.33±2.82	466.55 <sup>c</sup> ±0.18	466.00 <sup>c</sup> ±6.12

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ )

ตารางที่ 4.42 ค่า breakdown ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของเกลือ (%)	Breakdown (RVU) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 โม่แห้ง NaOH	KU 630 โม่แห้ง NaOH	KU 439 โม่เปียก DoBS	KU 630 โม่เปียก DoBS
1	93.54 <sup>c</sup> ±2.53	76.34 <sup>c</sup> ±1.65	173.80 <sup>b</sup> ±4.77	173.80 <sup>b</sup> ±3.71
3	68.63 <sup>b</sup> ±0.42	42.83 <sup>b</sup> ±1.42	153.13 <sup>a</sup> ±3.25	164.83 <sup>ab</sup> ±1.77
5	64.96 <sup>a</sup> ±1.12	33.67 <sup>a</sup> ±3.18	151.58 <sup>a</sup> ±4.24	155.13 <sup>a</sup> ±3.60

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.43 ค่า setback/trough ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของเกลือ (%)	Setback/Trough ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 โม่แห้ง NaOH	KU 630 โม่แห้ง NaOH	KU 439 โม่เปียก DoBS	KU 630 โม่เปียก DoBS
1	0.49 <sup>c</sup> ±0.00	0.44 <sup>b</sup> ±0.05	0.57 <sup>b</sup> ±0.02	0.64 <sup>c</sup> ±0.01
3	0.25 <sup>b</sup> ±0.00	0.20 <sup>a</sup> ±0.01	0.42 <sup>a</sup> ±0.01	0.46 <sup>b</sup> ±0.01
5	0.23 <sup>a</sup> ±0.01	0.18 <sup>a</sup> ±0.01	0.37 <sup>a</sup> ±0.02	0.35 <sup>a</sup> ±0.00

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ 4.44 ค่า pasting temperature ของสตาร์ชข้าวฟ่างในน้ำเกลือความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น ของเกลือ (%)	Pasting temperature (°C) ของสตาร์ชข้าวฟ่าง			
	KU 439 โม่แห้ง NaOH	KU 630 โม่แห้ง NaOH	KU 439 โม่เปียก DoBS	KU 630 โม่เปียก DoBS
1	78.38 <sup>a</sup> ±1.24	79.93 <sup>a</sup> ±0.11	79.95 <sup>a</sup> ±0.14	81.63 <sup>a</sup> ±0.04
3	80.28 <sup>ab</sup> ±0.46	82.38 <sup>b</sup> ±0.04	81.98 <sup>b</sup> ±0.60	84.05 <sup>b</sup> ±0.00
5	80.95 <sup>b</sup> ±0.42	83.63 <sup>c</sup> ±0.60	83.13 <sup>c</sup> ±0.04	85.35 <sup>c</sup> ±0.64

a, b, c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ )



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

เมล็ดข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์มีสัดส่วนขององค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน แต่มีลักษณะคล้ายกันคือมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด รองลงมาคือ โปรตีน ไขมัน เถ้า และเส้นใยหยาบตามลำดับ เมื่อนำเมล็ดข้าวฟ่างทั้ง 2 พันธุ์มาไม่แห้งและไม่เปียก พบว่าแป้งที่ได้จากการไม่เปียกมีปริมาณผลผลิตสูงกว่าแป้งที่ได้จากการไม่แห้ง เมื่อนำแป้งมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพพบว่า พันธุ์และวิธีการไม่แห้งมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี ค่าสี สมบัติด้านความหนืด สมบัติด้านความร้อน นอกจากนี้วิธีการไม่แห้งยังมีผลต่อ ปริมาณ damaged starch ค่าความสามารถในการจับน้ำ กำลังการพองตัว การละลาย และการคืนตัวของแป้งข้าวฟ่าง เม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างส่วนใหญ่มีรูปร่างหลายเหลี่ยม มีหลุมกระจายอยู่บนพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช เม็ดสตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งจะสูญเสีย birefringence ไปบางส่วน นอกจากนี้แป้งข้าวฟ่างมีสมบัติไม่คงทนต่อการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็ง

เมื่อนำแป้งข้าวฟ่างจากการไม่ทั้ง 2 วิธี มาสกัดเอาโปรตีนออกด้วยสารสกัด 2 ชนิด คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 0.5 % และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต (DoBS) ความเข้มข้น 1.2 % ที่มีโซเดียมซัลไฟต์ 0.12 % พบว่า สตาร์ชข้าวฟ่างที่ได้จากการไม่แห้งมีปริมาณผลผลิตต่ำกว่าสตาร์ชที่ได้จากการไม่เปียก เมื่อนำสตาร์ชมาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ พบว่า พันธุ์ วิธีการไม่ และชนิดสารสกัด มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี ค่าสี ปริมาณ damaged starch ค่าความสามารถในการจับน้ำ สมบัติด้านความหนืด สมบัติด้านความร้อนและการคืนตัวของสตาร์ชข้าวฟ่าง

จากการศึกษาผลของค่าความเป็นกรด-ด่าง น้ำตาลและเกลือต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ช พบว่าแป้งและสตาร์ชมีความหนืดสูงที่สุด เมื่อมีความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 (pH=9) และเมื่อความเข้มข้นของน้ำตาลและเกลือในสารละลายแป้งและสตาร์ชเพิ่มขึ้นความหนืดของสารละลายแป้งและสตาร์ชจะสูงขึ้น

จากการศึกษาสมบัติด้านความหนืดและการคืนตัว พบว่าแป้งและสตาร์ชมีการคืนตัวสูง จึงคาดว่าสามารถนำไปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทที่ต้องการการคืนตัวสูงเช่นผลิตภัณฑ์ประเภทก๋วยเตี๋ยว

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยเกี่ยวกับแป้งและสตาร์ชที่ควรทำต่อคือการดัดแปรทางเคมีหรือกายภาพ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ โดยเฉพาะความคงทนต่อกระบวนการแช่เยือกแข็งและการละลาย นอกจากนี้ยังควรนำข้อมูลจากการวิจัยนี้ไปเป็นฐานสำหรับการวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงการค้าต่อไป



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2540. *เอกสารวิชาการปลูกพืชไร่*. ลาดพร้าว กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์  
คุรุสภา.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด. 2542. *เทคโนโลยีของแป้ง*. กรุงเทพฯ : บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น.  
จำกัด.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. *เทคโนโลยีของแป้ง*. พิมพ์ครั้งที่ 2.  
กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- เกษมศรี พงษ์เสรี. 2545. *การสกัดและสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนจากข้าวฟ่าง*. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทาง  
อาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จุฬี ทิพย์รักษ์. 2536. ข้าวฟ่างและการใช้ประโยชน์. *นสพ. กสิกร*. 66(1): 59-62.
- ณรงค์ นิยมวิทย์ และ อัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ. 2528. *วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร*. ภาควิชา  
คหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.
- ทัศน์ย อรรถพรพิทักษ์. 2546. *สมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชทำายาม่อม *Tacca  
leontopetaloides* Ktze.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี  
ทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ประสิทธิ์ ใจคิด. 2529. *ข้าวฟ่าง*. คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ศิวาพร ศิวเวช. 2539. ผลกระทบจากข้าวฟ่าง. *อุตสาหกรรมเกษตร*. 7(1): 29-33.
- ศิวาพร ศิวเวช และ ประยุทธ์ สุวรรณชีวก. 2536. เส้นหมี่ข้าวฟ่าง. *อาหาร*. 23(2): 98-106.
- สุพัตรา งามอรุเลิศ. 2545. *ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของสตาร์ชข้าวเหนียว*.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชา  
เทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วราทัศน์ วงศ์สุโร. 2539. *แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวไทย*. ใน รายงานการประชุมวิชาการ  
นิทรรศการเนื่องในงานมหกรรมข้าวไทยเกิดพระเกียรติ. หน้า 48-60. 5-8 กันยายน ณ  
ห้องรีเจนท์ โรงแรมเซ็นทรัลพลาซ่า กรุงเทพมหานคร.
- ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ. 2538. *คำแนะนำเรื่องพันธุ์ข้าวฟ่าง*. นครราชสีมา : เฉลิมชัย  
การพิมพ์ปากช่อง.

อรพิน ภูมิภมร. 2533. เทคโนโลยีของแป้ง : เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

### ภาษาอังกฤษ

- AACC. 2000. *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*. 9<sup>th</sup> ed. Minnesota : American Association of Cereal Chemists.
- Ahmad, F. B. and Williams, P. A. 1999. Effect of sugars on the thermal and rheology properties of sago starch. *Biopolym.* 50:401-412.
- AOAC. 1995. *Official Methods of Analysis*. 16<sup>th</sup> ed. Virginia : Association of Official Analytical Chemists.
- Atwell, W. A., Hood, L. F., Lineback, D. R., Varriano-Marston, E., and Zobel, H. F. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. *Cereal Food World*. 33:306-311.
- Azudin, M. N. and Morrison, W. R. 1986. Non-starch lipids and starch lipid in milled rice. *J. Cereal Sci.* 4:23-31.
- Beta, T., Rooney, L. W., Marovatsanga, L. T., and Taylor, J. R. N. 2000. Effect of chemical treatments on polyphenols and malt quality in sorghum. *J. Cereal Sci.* 31(3):295-302.
- Beta, T., Obilana, B., and Corke, H. 2001. Genetic diversity in properties of starch from Zimbabwean sorghum landraces. *Cereal Chem.* 78(5):583-589.
- Bettge, A. D., Giroux, M. J., and Morris, C. F. 2000. Susceptibility of waxy starch granules to mechanical damage. *Cereal Chem.* 77(6):750-753.
- Buffo, R. A., Weller, C. L., and Gennadios, A. 1997. Films from laboratory-extracted sorghum kafirin. *Cereal Chem.* 74(4):473-475.
- Cagampang, G. B., Cruz, L. J., Espiritu, S. G., Santiago, R. G., and Juliano, B. O. 1966. Studies on the extraction and composition of rice proteins *Cereal Chem.* 43:145-155.
- Carroll, L. E. 1990. Stabilizer systems reduce texture problems in multicomponent foods and bakery products. *Food Technol.* 43(4):94-98.

- Chaing, P. Y. and Yeh, A. I. 2002. Effect of soaking on wet-milling of rice. *J. Cereal Sci.* 35(1):85-94.
- Chandrashekar, A. and Kirleis, A. W. 1988. Influence of protein on starch gelatinization in sorghum. *Cereal Chem.* 65(6):457-462.
- Chen, J. J., Lu, S., and Lii, C. Y. 1999. Effects of milling on the physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan. *Cereal Chem.* 76(5):796-799.
- Derby, R. I., Miller, B. S., Miller, B. F., and Trimbo, H. B. 1975. Visual observation of water-starch gelatinization in limited water systems. *Cereal Chem.* 52:702-713.
- Earp, C. F., McDonough, C. M., and Rooney, L. W. 2004. Microscopy of pericarp development in the caryopsis of *Sorghum bicolor* (L.) Moench. *J. Cereal Sci.* 39: 21-27.
- Ellis, R. P., Cochrane, M. P., Dale, M. F. B., Duffus, C. M., Lynn, A., Morrison, I. M., Prentice, R. D. M., Swanston, J. S., and Tiller, S. A. 1998. Starch production and industrial use. *J. Sci. Food Agric.* 77:289-311.
- FAO. 1982. *Technical Guideline for Sorghum and Millet Seed Production*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Freeman, J. E. and Verr, W. J. 1972. A rapid procedure for measuring starch paste development and its application to corn and sorghum starches. *Cereal Sci. today.* 17(2):46-53.
- Freeman, J. E. and Watson, S. A. 1971. Influence of sorghum endosperm pigments on starch quality. *Cereal Sci. Today.* 16(11):378-381.
- Furia, T. E. 1972. *CRC Handbook of Food Additive*. Vol. I. Ohio : CRC Press. pp. 384-392, 542-545.
- Gallant, D.J., Bouchet, B., and Baldwin, P.M., 1997, Microscopy of starch: Evidence of a new level of granule organization. *Carbohydr. Polym.* 32:177-191
- Galliard, T. and Bowler, P. 1987. Morphology and composition of starch. In. T. Galliard (ed.). *Starch: Properties and Potential*. New York : John Wiley and Sons.
- Grant, L. A. 1998. Effects of starch isolation, drying, and grinding techniques on its gelatinization and retrogradation properties. *Cereal Chem.* 75(5):590-594.



- Hamaker, B. R., Griffin, V. K., and Moldenhauer, K. A. K. 1991. Potential influence of a starch granule-associated protein on cooked rice stickiness. *J. Food Sci.* 56(5):1327-1329, 1346.
- Hamaker, B. R. and Griffin, V. K. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. *Cereal Chem.* 70(4):377-380.
- Higiro, J., Flores, R. A., and Seib, P. A. 2003. Starch production from sorghum grits. *J. Cereal Sci.* 37(1):101-109.
- Hoover, R. and Sosulski, F. 1986. Effect of cross linking on functional properties of legume starch. *Starch/Starke.* 38:149-155.
- Hoseney, R. C., Davis, A. B., and Harbers, L. H. 1974. Pericarp and endosperm structure of sorghum grain shown by scanning electron microscopy. *Cereal Chem.* 51: 552-558.
- Hoseney, R. C. and Faubion, J. M. 1992. Physical properties of cereal grains. In D.B. Sauer (ed.). *Storage of Cereal Grains and Their Products*. Minnesota : American Association of Cereal Chemists, Inc.
- Hoseney, R. C. 1994. *Principles of Cereal Science and Technology*. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.
- Hulse, J. H., Laing, E. M., and Pearson, O. E. 1980. Summary and Commentary. In H. H. Joseph, E. M. Laing, and O. E. Pearson (eds.). *Sorghum and the Millets : Their Composition and Nutritive Value*. London : Academic Press.
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPhetson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., and Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. *Cereal Chem.* 76(5):629-637.
- Jomduang, S. and Mohamed, S. 1994. Effect of amylose/amylopectin content, milling methods, particle size, sugar, salt and oil on the puffed product characteristics of a traditional Thai Rice-Based Snack Food (Khao Kriap Waue). *J. Sci. Food Agric.* 65:85-93.
- Juliano., B. O., Cagampang, B. G., Cruz, L J., and Santiago, R. G. 1964. Some physicochemical properties of rice in Southeast Asia. *Cereal Chem.* 41(4):275-286.

- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. *Cereal Sci. Today*. 16(10):334-360.
- Juliano, B. O. 1984. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice, In *Rice: Chemistry and Technology*. St. Paul, MN.: American Association of Cereal Chemists. pp. 117-160.
- Juliano, B. O. and Hicks, P. A. 1996. Rice functional properties and rice food products. *Food Reviews Int.* 12:71-103.
- Kalichevsky, M. T., Orford, P. D., and Ring, S. G. 1990. The retrogradation and gelation of amylopectin from various botanical sources. *Carbohydr. Res.* 198:49-55.
- Kavitha, R. and Chandrashekar, A. 1992. Content and composition of nonstarchy polysaccharides in endosperms of sorghums varying in hardness. *Cereal Chem.* 69(4):440-443.
- Kennedy, J. F. 1987. *Biotechnology*. Vol.7a. Germany : VCH.
- Kent, N. L. 1983. *Technology of Cereals : An Introduction for Students of Food Science and Agriculture*. 3<sup>rd</sup> ed. Oxford: Pergamon Press.
- Kerr, R. W. 1950. *Chemistry and Industry of Starch*. 2<sup>nd</sup> ed. New York : Academic Press.
- Kim, Y. S., Wiesenborn, D. P., Orr, P. H., and Grant, L. A. 1995. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. *J. Food Sci.* 60(5):1060-1065.
- Kirleis, A. W. and Crosby, K. D. 1982. Sorghum hardness : Comparison of methods for its evaluation. In L. W. Rooney and D. S. Murty (eds.). *Proceedings on International Symposium on Sorghum Grain Quality*. Patancheru India : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. pp. 231-241.
- Knight, J. W. 1969. *The Starch Industry*. Oxford : Pergamon Press.
- Kohyama, K. and Nishinari, K. 1991. Effect of soluble sugars gelatinization and retrogradation of sweet potato starch. *J. Agric. Food Chem.* 39:1400-1410.
- Leach, H. W. 1965. Gelatinization of starch. In R. V. Whistler, and E. F. Paschall. (eds.). *Starch : Chemistry and Technology*. New York : Academic Press.
- Lee, W. J., Pederson, J. F., and Shelton, D. R. 2002. Relationship of sorghum kernel to physicochemical, milling, pasting, and cooking properties. *Food Res. Interna.* 35:643-649.

- Light, J. M. 1990. Modified food starch : Why, what, where, and how. *Cereal Food World*. 35(11):1081-1092.
- Lim, S. T., Lee, J. H., Shin, D. H., and Lim, H. S. 1999. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. *Starch/Starke*. 51(4):120-125.
- Lin, P. Y. and Czuchajowska, Z. 1996. Starch damage in soft wheats of the Pacific Northwest. *Cereal Chem*. 73(5):551-555.
- Liu, H., Ramsden, L., and Corke, H. 1999. Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch. *Starch/Starke*. 51(7):249-252.
- Liukkonen, K., Kaukovirta-Norja, A., and Laakso, S. 1992. Improvement of lipid stability in oat products by alkaline wet-processing conditions. *J. Agric. Food Chem*. 40: 1972-1976.
- Lumdubwong, N. and Seib, P. A. 2000. Rice starch isolation by alkaline protease digestion of wet-milled rice flour. *J. Cereal Sci*. 31(1): 63-74.
- Matsunaga, N. and Seib, P. A. 1997. Extraction of wheat starch with aqueous sodium hydroxide. *Cereal Chem*. 74(6): 851-857.
- Medcalf, D. G. and Gilles, K. A. 1965. Wheat starches. I. comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem*. 42: 558-568.
- Medcalf, S. L. and Lund, D. B. 1985. Factors affecting water uptake on milled rice. *J. Food Sci*. 50(6):1676-1679,1684.
- Miles, M. J., Morris, V. J., and Ring, S. G. 1985. Gelation of amylose. *Carbohydr. Res*. 135:271-278.
- Mistry, A. H. and Eckhoff, S. R. 1992. Characteristics of alkali-extracted starch obtained from corn flour. *Cereal Chem*. 69(3):296-303.
- Morgan, J. E. and Williams, P. C. 1995. Starch damaged in soft wheat flours : a comparison of enzymatic, iodometric, and near-infrared reflectance techniques. *Cereal Chem*. 72(2):209-212.
- Morrison, W. R., Milligan, T. P., and Azudin, M. N. 1984. A relationship between the amylose and lipid content of starch from diploid cereal. *J. Cereal Sci*. 15(3):257-262.

- Newport Scientific Pty, Ltd. 1995. *Operation Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyser*. Australia.
- Oates, C. G. 1997. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. *Trends Food Sci. Technol.* 8:370-382.
- Ong, M. H., Jumel, K., Tokarczuk, P. F., Blanshard, J. M. V., and Harding, S. E. 1994. Simultaneous determinations of the molecular weight distributions of amyloses and the fine structures of amylopectins of native starches. *Carbohydr. Res.* 260:99-117.
- Pongsawatmanit, R., Thanasukarn, P., and Ikeda, S. 2002. Effect of sucrose on RVA viscosity parameters, water activity and freezable water fraction of cassava starch suspensions. *Science Asia.* 28:129-134.
- Prokopowich, D. J. and Biliaderis, C. G. 1995. A comparative study of the effect of sugars on the thermal and mechanical properties of concentrated waxy maize, wheat, potato, and pea starch gels. *Food Chem.* 52:255-262.
- Radosavljevic, M., Jane, J., and Johnson, L. A. 1998. Isolation of Amaranth starch by diluted alkaline-protease treatment. *Cereal Chem.* 75(2): 212-216.
- Rampho, E. T. 2005. Sorghum bicolor (L.) Moench.[Online]. Available from: <http://www.plantzafrica.com/plantqrs/plimagesqrs/sorghum>.
- Ranhotra, G. S., Gelroth, J. A., and Eisenbraun, G. R. 1993. Correlation between Chopin and AACC Methods of determining damaged starch. *Cereal Chem.* 70(2):235-236.
- Reddy, K. R., Ali, S. Z., and Bhattaharya, K. R. 1993. The fine structure of rice-starch amylopectin and its relation to the texture of cooked rice. *Carbohydr. Polym.* 22:267-275.
- Richardson, S. J. 1988. Molecular mobilities of instant starch gels determined by oxygen-17 and carbon-13 nuclear magnetic resonance. *J. Food Sci.* 53:1175-1180.
- Ring, S. G., Colonna, P., I' Anson, K. J., Kalichevsky, M. T., Miles, M. J., Morris, V. J., and Orford, P. D. 1987. The gelation and crystallization of amylopectin. *Carbohydr. Res.* 162:277-293.

- Rooney, L. W. and Clark, L. E. 1968. The chemistry and processing of sorghum grain. *Cereal Sci. Today*. 13(7): 259-265, 285-286.
- Rooney, L. W. and Miller, F. R. 1982. Variation in the structure and kernel characteristics of sorghum. In L. W. Rooney and D. S. Murty (eds.). *Proceedings on International Symposium on Sorghum Grain Quality*. Patancheru, India : International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics, October 28-31, 1981. pp. 11-200.
- Sanders, J. P. M. 1996. Starch manufacturing in the world. In *Advanced Post-Academic Course on Tapioca Starch Technology(1)*. January 22-26 & February 19-23, 1996. Bangkok: Asian Institute of Technology.
- 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.
- Schoch, T. J. 1968. Effect of freezing and cold storage on pasted starches. In D. K. Tressler, W. B. Van Arsdell, and M. J. Copley (eds.). *The Freezing Preservation of Foods*, Vol. IV. Westport, CT : The AVI Publishing, pp. 44-56.
- Schoch, T. J. 1969. Starches in food. In J. F. Kennedy (ed.). *Carbohydrates Chemistry*. Oxford : Clarendon Press.
- Schoch, T. J. 1985. Food application. In Y. omeranz (ed.). *Functional Properties of Food Components*. London : Academic Press, pp. 51-59.
- Singh, J. and Singh, N. 2001. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. *Food Chem.* 75:67-77.
- Soni, P. L., Sharma, H. W., Bisen, S. S., Srivastava, H. C., and Gharia, M. M. 1987. Unique physicochemical properties of sal (*Shorea robusta*) starch. *Starch/Starke*. 23:8-11.
- Steinke, J. D. and Johnson, L. A. 1991a. Steeping maize in the presence of multiple enzymes. I. Static batch wise steeping. *Cereal Chem.* 68:7-12.
- Steinke, J. D. and Johnson, L. A. 1991b. Steeping maize in the presence of multiple enzymes.II. Continuous countercurrent steeping. *Cereal Chem.* 68:12-17.



- Stevens, D. J. and Elton, G. A. H. 1971. Thermal properties of the starch water system. I. Measurement of heat gelatinization by differential scanning calorimetry. *Starch/Starke*. 23:8-11.
- Subramanian, V., Hosene, R. C., and Bramel-Cox, P. 1994. Factors affecting the color and appearance of sorghum starch. *Cereal Chem.* 71(3):275-278.
- Suhendro, E. L., Kunitz, C. F., McDonough, C. M., Rooney, L. W., and Waniska, R. D. 2000. Cooking characteristics and quality of noodles from food sorghum. *Cereal Chem.* 77(2):96-100.
- Swinkels, J. J. M. 1985. Starch, sources, chemistry, and physics. In G. M. A. V. Beynum and J. A. Roels (eds.). *Starch Conversion Technology*. New York : Marcel Dekker.
- Torley, P. J., Rutgers, R. P. G., D'Arcy, B., and Bhandari, B. R. 2004. Effect of honey types and concentration on starch gelatinization. *Lebensm-Wiss, u.-Technol.* 37:161-170.
- Varavinit, S., Anuntavuttikul, S., and Shobsngob, S. 2000. Influence of freezing and thawing techniques on stability of sago and tapioca starch pastes. *Starch/Starke*. 52:214-217.
- Virupaksha, T. K. and Sastry, L. V. S. 1968. Studies on the protein content and amino acid composition of some varieties of grain sorghum. *J. Agr. Food Chem.* 16(2):199-203.
- Wall, J. S. and Blessin, C. W. 1970. Composition of sorghum plant and grain. In S. W. Joseph and M. R. William (eds.). *Sorghum Production and Utilization*. Westport : AVI.
- Wang, F. C., Chung, D. S., Seib, P. A., and Kim, Y. S. 2000. Optimum steeping process for wet milling of sorghum. *Cereal Chem.* 77(4): 478-483.
- Waniska, R. D. and Rooney, L. W. 2000. Structure and chemistry of the sorghum caryopsis. In C. W. Smith and R. A. Frederikson (eds.). *Sorghum : Original, History, Technology and Production*. New York : Willey & Sons, Inc.
- Ward, K. E. J., Hosene, R. C., and Seib P. A. 1994. Retrogradation of amylopectin from maize and wheat starches. *Cereal Chem.* 71(2):150-155.

- Watson, S. A. 1984. Corn and sorghum starches : Production. In R. L. Whistler, J. N. BeMiller and E. F. Paschall (eds.). *Starch : Chemistry and Technology*. 2<sup>nd</sup> ed. Orlando : Academic Press.
- Watson, S. A. and Hirata, Y. 1955. The wet milling properties of grain sorghum. *J. Agron.* 47:11-15.
- Watson, S. A., Sanders, E. H., Wakely, R. D., and Williams, C. B. 1955. Peripheral cells of the endosperms of grain sorghum and corn and their influence on starch purification. *Cereal Chem.* 32(3):165-182.
- Whistler, R. L. and Daniel, J. R. 1984. Molecular structure of starch. In. R. L. Whistler, J. N. BeMiller, and E. F. Paschall (eds.). *Starch : Chemistry and Technology* 2<sup>nd</sup> ed. Orlando : Academic Press Inc., pp. 153-182.
- Wotton, M. and Bamunuarachchi, A. 1978. Water binding capacity of commercial produced native and modified starches. *Starch/Starke.* 33:159-161.
- Yoo, S. H. and Jane, J. L. 2002. Molecular weights and gyration radii of amylopectins determined by high-performance size-exclusion chromatography equipped with multi-angle laser-light scattering and refractive index detectors. *Carbohydr. Polym.* 49:307-314.
- Zipf, R. L., Anderson, R. A., and Slotter, R. L. 1950. Wet milling grain sorghum. *Cereal Chem.* 27:463-476.
- Zobel, H. F. 1984. Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pastes. In. *Starch : Chemistry and Technology*, 2<sup>nd</sup> ed. R. L. Whistler, J. N. BeMiller, and E. F. Paschall (eds.). Orlando : Academic Press, pp. 285.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

### วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

#### ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (1995) section 32.1.03

##### อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert รุ่น W350, Germany)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
4. โถดูดความชื้น

##### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 – 5 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมซึ่งอบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ  $100 \pm 2$  องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาไว้ เป็นเวลา 16 – 18 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ยังอยู่ในตู้อบ แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาค่าความชื้นจากสมการ

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

#### ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC (1995) section 32.2.03

##### อุปกรณ์

1. ชุดวิเคราะห์โปรตีน (BUCHI ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K-424, Switzerland, distillation unit รุ่น B-324, Switzerland, scrubber รุ่น B-414, Switzerland)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

##### สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (A.R. grade)
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 0.1 N
3. สารละลายกรดบอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 4 % (w/v)
4. Selenium reagent mixture (A.R. grade)

5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 35 % (w/v)
6. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยผสมสารละลาย methylene blue 0.2 % ในแอลกอฮอล์ แล้วกรอง 25 มิลลิลิตร กับสารละลาย methyl red 0.2 % ในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร

### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ใน Kjeldahl tube
2. เติม Selenium mixture เพื่อเร่งปฏิกิริยาประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20-25 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่อง Buchi Digestion Unit โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอน้ำ (scrubber) ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2 - 3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรม ดังนี้

NaOH	40	มิลลิลิตร
Boric acid	50	มิลลิลิตร
H <sub>2</sub> O	50	มิลลิลิตร
Time	6	นาที

6. ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนียขึ้น แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริก จะได้สารละลายสีเขียวเมื่อกลั่นครบตามกำหนดเวลา
7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในฟลาสก์ที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้
8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในฟลาสก์ทั้งหมดมาไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ (end point) เป็นสีม่วงแดง
9. ทำ blank แต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่าง และวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง
10. คำนวณหาปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณโปรตีน (\%)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 1.4 \times CF}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$



เมื่อ Va คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

Vb คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต มีหน่วยเป็น Normal

CF คือ Conversion Factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน (ในการทดลองใช้

5.95)

### ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC(1995) section 32.1.05

#### อุปกรณ์

- เตาเผา (Muffle furnace, Carbolite รุ่น CWF 1200, England)
- ครุชีเบิล (Crucible)
- Hot plate
- เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
- โถดูดความชื้น

#### วิธีวิเคราะห์

- ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 3-5 กรัม ใส่ในครุชีเบิลที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
- นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้ Hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
- นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
- ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้และคำนวณหาปริมาณเถ้า

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

### ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC (1995) section 32.1.13

#### อุปกรณ์

- Soxtherm Gerhardt (รุ่น S-226, Germany)

#### วิธีทดลอง

- ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 2 กรัม ห่อด้วยกระดาษ Whatman No. 1 ใส่ใน thimble
- ใส่ thimble ซึ่งมีตัวอย่างบรรจุอยู่ในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักแน่นอน
- เติม petroleum ether ซึ่งใช้เป็นตัวสกัด 80 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด
- สกัดไขมันเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส

5. ระบายส่วนของ petroleum ether ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบขวดสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
6. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด

$$\text{ไขมัน (\%)} = \frac{\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

#### ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธี AOAC (1995) section 4.6.02

##### อุปกรณ์

1. ครูชีเบล
2. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert รุ่น W350, Germany)
3. เตาเผา (Muffle furnace, Carbolite รุ่น CWF 1200, England)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
5. โถดูดความชื้น

##### สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25 % (v/v)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25 % (w/v)
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

##### วิธีวิเคราะห์

1. นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วทั้งหมดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 1.25 % ปริมาตร 200 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ ต้มเดือดนาน 30 นาที สังเกตไม่ให้อัตราของสารละลายลดลงหากลดลงปรับปริมาตรโดยใช้น้ำร้อน
3. กรองตัวอย่างที่ถูกละลายด้วย Buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิลิตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด
4. นำกากมาชั่งด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.25 % ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยควบคุมปริมาตรของสารละลายเช่นเดียวกับ ข้อ 2
5. กรองตัวอย่างที่ถูกละลายด้วย Bucher funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิเมตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ต่าง
6. กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.42 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
7. ล้างกากที่ได้ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 25 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

8. นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือน้ำหนักคงที่
9. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ซึ่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา
10. นำตัวอย่างใส่ในครุชีเบิ้ลที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
11. เผาตัวอย่างบน hot plate จนหมดควัน ก่อนนำเข้าเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส จนได้เป็นเถ้าสีขาว
12. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา นำมาคำนวณหาปริมาณเส้นใย

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

#### ก.6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

##### วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (\%db)} = 100 - \% (\text{โปรตีน} + \text{เถ้า} + \text{เส้นใย} + \text{ไขมัน})$$

#### ก.7 ลักษณะรูปร่าง การกระจายตัวและพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) (ตามวิธีการวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

##### อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (JEOL รุ่น JSM-5800 LV, Japan)
2. เครื่องฉาบทอง (ion sputter) (Balzers Union รุ่น SCD 040, Liechtenstein)

##### วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างแบ่งติดบน stub โดยใช้เทปกาวสองหน้าหรือกาว
2. ฉาบด้วยทองหนา 20-30 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V Sputter Coater
3. บันทึกภาพโครงสร้างของตัวอย่างด้วย SEM ควบคุมที่ 20 kV ใช้กำลังขยาย 300 และ 3,000 เท่า
4. วิเคราะห์ลักษณะรูปร่าง การกระจายตัวและพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากภาพที่บันทึกได้

## ก.8 ลักษณะ birefringence โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (microscope)

### อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์ (Olympus รุ่น CH30RF200, Japan)
2. แผ่นฟิล์มโพลาไรซ์
3. อุปกรณ์ถ่ายภาพแบบดิจิทัล

### วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายกลีเซอรินและน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 แล้วหยดลงบนสไลด์ 1 - 2 หยด
2. นำตัวอย่างสตาโรซมาละลายกับสารละลายข้อ 1 บนสไลด์ให้ได้ความหนาแน่นของเม็ดสตาโรซพอดีกับการถ่ายภาพ
3. ปรับระยะภาพโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่ำสุดแล้วเห็นภาพชัดเจนที่สุด จากนั้นเปลี่ยนกำลังขยายให้สูงขึ้นเป็น 400 เท่า
4. ปรับเลนส์ไลต์ให้ได้องค์ประกอบของภาพที่ต้องการและปรับความคมชัดของภาพ โดยดูที่กล้องถ่ายภาพ
5. ตั้งระบบการทำงานของอุปกรณ์ถ่ายภาพเป็นแบบอัตโนมัติและปรับเป็นแบบไม่ใช้ flash
6. นำฟิล์มโพลาไรซ์วางปิดบนแหล่งกำเนิดแสงของกล้องจุลทรรศน์และนำแผ่นฟิล์มอีก 1 แผ่น วางปิดบนสไลด์หรือกั้นระหว่างสไลด์กับอุปกรณ์ถ่ายภาพ
7. หมุนแผ่นฟิล์มโพลาไรซ์ที่วางปิดบนแหล่งกำเนิดแสงให้ได้สีของพื้นภาพเป็นสีดำ เพื่อให้เห็นลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาโรซ
8. ปรับความคมชัดของภาพแล้วถ่ายภาพเม็ดสตาโรซภายใต้แสงโพลาไรซ์ที่เกิดจากแผ่นฟิล์มโพลาไรซ์

## ก.9 การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971)

### อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Spectronic รุ่น Genesys 20, U.S.A.)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

### สารเคมี

1. อะไมโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (บริษัท Fluka BioChemika, U.S.A.)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 %
4. สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N

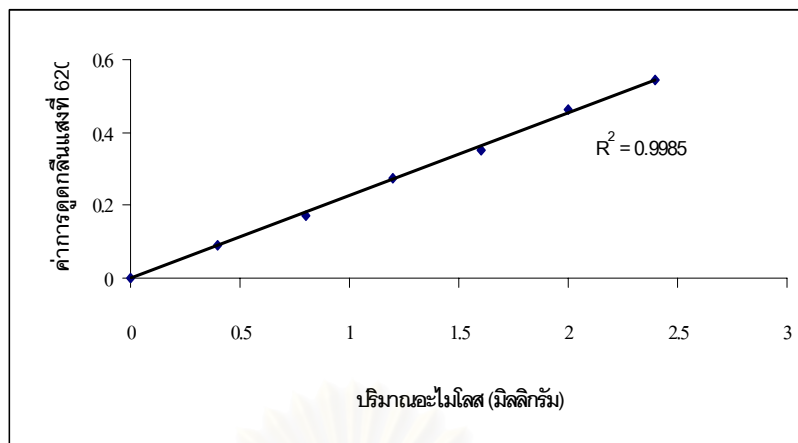
5. สารละลายไอโอดีน เตรียมสารละลายไอโอดีน 0.20 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ 2.00 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

### วิธีทดลอง

#### การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งอะไมโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง น้ำหนักแน่นอน 0.0400 กรัม ใส่ในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. เตรียม blank โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ให้ความร้อนกับสารละลายในข้อ 1 และ 2 ในอ่างน้ำเดือด 5-10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะสารละลายอะไมโลสใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะสารละลายอะไมโลสออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร 5 ขวด
6. ปิเปตสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรทั้ง 5 ใบ ตามลำดับ
7. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
8. ชะ blank ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นปิเปตสารละลายมา 5 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
10. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณอะไมโลส ดังภาพ ก. 1





รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส

#### การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง (ผ่านตะแกรง ขนาด 100 mesh) ประมาณ 100 มิลลิกรัม (0.1 กรัม) ใส่ในพลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5-10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะน้ำแบ่งใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะน้ำแบ่งออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N มา 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
7. จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ นำไปอ่านค่าจากกราฟมาตรฐาน แล้วคำนวณหาปริมาณอะไมโลส

$$\text{ปริมาณอะไมโลส (\%)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (กรัม)} \times 100 \times 20}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (db) (กรัม)}}$$

ก.10 วิเคราะห์ค่า degree of polymerization ของอะไมโลส ดัดแปลงมาจากวิธีของ Reddy, Ali และ Bhattaharya (1993) Ong และคณะ (1994) และ Yoo และ Jane (2002)

#### อุปกรณ์

1. เครื่อง Multi Angle Laser Light Scattering (รุ่น Dawn, Wyatt Technology Inc., U.S.A.)
2. เครื่อง Interferometric Refractometer (รุ่น Optilap DSP, Wyatt Technology Inc., U.S.A.)
3. คอลัมน์ชนิด C16/100 (Pharmacia Biotech, Sweden)
4. ปั๊ม Peristaltic Pump รุ่น P-1 (Pharmacia Biotech, Sweden)
5. เครื่อง fraction collector รุ่น Redifrac (Pharmacia Biotech, Sweden)

#### วิธีวิเคราะห์

1. การเตรียมตัวอย่างแป้ง
  - 1.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิกรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมเอทานอล 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร
  - 1.2 แทนที่อากาศภายในขวดวัดปริมาตรด้วยก๊าซไนโตรเจน และตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน
  - 1.3 ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 15 นาที และทำให้เย็น
  - 1.4 หยดฟีนอล์ฟทาไลน์จำนวน 1 หยด และปรับสารละลายให้เป็นกลางโดยการหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี
  - 1.5 ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.05
  - 1.6 กรองผ่าน sinter glass filter เบอร์ 3
2. การเตรียมคอลัมน์
  - 2.1 บรรจุคอลัมน์ด้วย Sephacryl 500 HS (Pharmacia Biotech, Sweden) โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.05 เป็นสารตัวพา
  - 2.2 ต่อคอลัมน์ส่วนบนเข้ากับปั๊ม และด้านล่างต่อกับ fraction collector
3. การแยกส่วนของอะไมโลสของตัวอย่างสตาร์ช
  - 3.1 บีบอัดสารละลายสตาร์ชในปริมาณที่คำนวณแล้วทำให้สตาร์ชแห้ง 10 มิลลิกรัม
  - 3.2 เติมสารละลายสตาร์ชลงในคอลัมน์โดยการใช้น้ำปั๊ม
  - 3.3 สภาวะที่ใช้คือ อุณหภูมิประมาณ 25-30 องศาเซลเซียส อัตราเร็ว 24 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

3.4 เก็บส่วนของตัวอย่างที่แยกได้โดย fraction collector หลอดละ 10 นาที และเก็บตัวอย่าง 6 fraction หลังจากตัวอย่างออกจากคอลัมน์

4. การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส

4.1 นำตัวอย่างที่แยกได้จากแต่ละหลอดกรองผ่านกระดาษกรอง 0.45 ไมโครเมตร

4.2 ฉีดตัวอย่างเพื่อหาความเข้มข้นด้วยเครื่อง Interferometric refractometer และวัดค่า voltage ด้วยเครื่อง Multi-angle laser light scattering ซึ่งจากการทดลองค่า  $dn/dc = 0.513$  refractive index = 1.3333

4.3 คำนวณน้ำหนักโมเลกุลตัวอย่างแต่ละหลอดโดยใช้โปรแกรม Astra V.

### ก.11 การวิเคราะห์ปริมาณ damaged starch ตามวิธี AACC (2000) Method 70-30A

#### อุปกรณ์

1. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert รุ่น E 350, Germany)
2. Hot plate
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

#### สารเคมี

1. สารละลายอะซีเตตบัฟเฟอร์ (acetate buffer) pH 4.6-4.8 เตรียมโดยชั่งโซเดียมอะซีเตต (anhydrous sodium acetate, A.R. grade) 4.1 กรัม ละลายในกรดอะซีติกเข้มข้น 3.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้สารละลาย 1 ลิตร โดยใช้น้ำกลั่น
2. สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น  $3.68 \pm 0.05$  N
3. สารละลายโซเดียมทังสเตต ( $\text{Na}_2\text{WO}_4 \bullet 2\text{H}_2\text{O}$ , A.R. grade) ความเข้มข้น 12 % (w/v)
4. เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส ( $\alpha$ -amylase) EC 3.2.1.1 จากบริษัท Sigma Lot 022K1520 ผลิตจากเชื้อ *Aspergillus oryzae* มีแอกติวิตี 157 units/mg protein (biuret)
5. สารละลาย Alkaline ferricyanide ความเข้มข้น 0.1 N เตรียมโดยชั่ง  $\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$  33 กรัม และโซเดียมคาร์บอเนต 44 กรัม ละลายน้ำกลั่นและปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
6. สารละลาย Acetic acid-salt เตรียมโดยชั่งโปแตสเซียมคลอไรด์ (KCl, A.R. grade) 70 กรัม ละลายในสารละลาย ที่มี  $\text{ZnSO}_4 \bullet 7\text{H}_2\text{O}$  (A.R. grade) 40 กรัม ละลายอยู่เดิมกรดอะซีติกเข้มข้น 200 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น
7. สารละลาย Soluble starch – KI เตรียมโดย ชั่ง Soluble starch (A.R. grade) 2 กรัม ละลายในน้ำเย็นและให้ความร้อนจนเกิดเจล ทิ้งไว้ให้เย็นและเติมโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI, A.R. grade) 50 กรัม ปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

8. สารละลายไฮโอซัลเฟต (Thiosulfate) ความเข้มข้น 0.1 N โดยซึ่ง  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  24.82 กรัม และโซเดียมเตตระโบเรต ( $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ , A.R. grade) 3.8 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 1.00 กรัม (ความชื้น 14%) และเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 0.0500 กรัม ลงใน ฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร
2. เติม Acetate buffer ที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาตร 45 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน และ incubate ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (เริ่มตั้งแต่เติม Acetate buffer)
3. ปิเปตสารละลายกรดซัลฟูริก 3.0 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมทังสเตต 2.0 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันและตั้งทิ้งไว้ 2 นาที
4. กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 4 ทิ้งส่วนใส 8-10 หยดแรก
5. ปิเปตสารละลายที่กรองได้มา 5.0 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง ขนาด 25 x 200 มิลลิลิตรที่มีฝาปิด เติมสารละลาย Alkaline ferricyanide 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. นำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที (ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มกรองจนถึงก่อนต้ม ไม่ควรเกิน 15-20 นาที) และทำให้เย็นโดยให้น้ำไหลผ่าน
7. นำสารละลายที่ต้มแล้ว เทใส่ฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร และชะหลอดด้วยสารละลาย Acetic acid-salt 25 มิลลิลิตร เทรวมในฟลาสก์ เขย่าให้เข้ากัน
8. เติมสารละลาย starch-KI 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายในข้อ 7 เขย่าให้เข้ากัน
9. ไตเตรตกับสารละลายไฮโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ ได้สารละลายสีขาวขุ่น และทำ blank เช่นเดียวกับตัวอย่าง
10. คำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในรูปของมอลโตส (A) โดยนำปริมาตรของสารละลายไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรต blank ลบด้วย ปริมาตรของสารละลายไฮโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง แล้วหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในรูปของมอลโตส จากตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 Ferricyanide-Maltose Conversion

0.1 N Ferricyanide Reduced (ml)	Maltose (mg)	0.1 N Ferricyanide Reduced (ml)	Maltose (mg)	0.1 N Ferricyanide Reduced (ml)	Maltose (mg)
0.10	5	3.10	156	6.10	341
0.20	10	3.20	161	6.20	347
0.30	15	3.30	166	6.30	353
0.40	20	3.40	171	6.40	360
0.50	25	3.50	176	6.50	367
0.60	31	3.60	182	6.60	373
0.70	36	3.70	188	6.70	379
0.80	41	3.80	195	6.80	385
0.90	46	3.90	201	6.90	392
1.00	51	4.00	207	7.00	398
1.10	56	4.10	213	7.10	406
1.20	60	4.20	218	7.20	412
1.30	65	4.30	225	7.30	418
1.40	71	4.40	231	7.40	425
1.50	76	4.50	237	7.50	431
1.60	80	4.60	244	7.60	438
1.70	85	4.70	251	7.70	445
1.80	90	4.80	257	7.80	451
1.90	96	4.90	264	7.90	458
2.00	101	5.00	270	8.00	465
2.10	106	5.10	276	8.10	472
2.20	111	5.20	282	8.20	478
2.30	116	5.30	288	8.30	485
2.40	121	5.40	295	8.40	492
2.50	126	5.50	302	8.50	499
2.60	130	5.60	308		
2.70	135	5.70	315		
2.80	140	5.80	322		
2.90	145	5.90	328		
3.00	151	6.00	334		



## 11. คำนวณหาปริมาณ damaged starch โดย

$$\text{damaged starch (\%)} = \frac{1.64 \times 5 \times A}{100}$$

## ก.12 ความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity) ดัดแปลงวิธีของ Medcalf และ Gilles (1965)

## อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, U.S.A.)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Water bath, Memmert รุ่น E 350, Germany)

## วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างแป้งที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 5 กรัม ใส่หลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนัก
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร
3. ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และทำจนตลอดเวลา
4. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 5,000 rpm
5. เทน้ำทิ้งและคว่ำทิ้งไว้ 10 นาที
6. ชั่งน้ำหนักแป้งที่ได้
7. คำนวณหาความสามารถในการจับน้ำ

$$\text{ความสามารถในการจับน้ำ (g น้ำ/g ตัวอย่าง)} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งหลังการทดลอง} - \text{น้ำหนักแป้งเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักแป้งเริ่มต้น}}$$

## ก.13 กำลังการพองตัวและการละลาย (swelling power and solubility) ดัดแปลงมาจากวิธีของ Schoch (1964)

## อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, U.S.A.)
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath, Memmert รุ่น E 350, Germany)
3. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert รุ่น W350, Germany)

## วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างแป้งที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 0.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่หลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักแล้ว
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร

3. แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95 องศาเซลเซียส กวณตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาที
4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 5,000 รอบต่อนาที นาน 15 นาที
5. ดูคของเหลวส่วนบนในสภาวะที่ทราบน้ำหนักให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และนำไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง
6. ชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนแบ่งเปียกในหลอดนำมาชั่งเป็นน้ำหนักแห้งที่พองตัว แล้วนำมาคำนวณตามสูตรต่อไปนี้

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งที่พองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

#### ก.14 การวิเคราะห์การเกิดเจลลาคีโนซิสและสมบัติทางด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ตามวิธีของ Beta, Obilana และ Corke (2001)

##### อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer, Newport Scientific รุ่น 4D, Australia) พร้อมถ้วยบรรจุตัวอย่าง (can) และใบพัด (paddle)
2. เครื่องซึ่งละเอียดทัศนียม 4 ตำแหน่ง (Water bath, Memmert รุ่น E 350, Germany)

##### วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA ให้นาน 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง และปรับสภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA ดังนี้

Profile : STD 1

อุณหภูมิเริ่มต้น	50	องศาเซลเซียส		
อุณหภูมิ	50	องศาเซลเซียส	ระยะเวลา	1 นาที
อุณหภูมิ	50-95	องศาเซลเซียส	ระยะเวลา	3.75 นาที
อุณหภูมิ	95	องศาเซลเซียส	ระยะเวลา	2.5 นาที
อุณหภูมิ	95-50	องศาเซลเซียส	ระยะเวลา	3.75 นาที
อุณหภูมิ	50	องศาเซลเซียส	ระยะเวลา	2 นาที
รวมระยะเวลาที่ใช้ทั้งหมด				13 นาที

ความเร็วรอบของการกวน 160 ต่อนาที

อัตราการให้ความร้อน 12 องศาเซลเซียสต่อนาที

2. ในกรณีที่ตัวอย่างมีความชื้น 14 % ให้เติมน้ำกลั่นปริมาตร  $25.00 \pm 0.1$  มิลลิลิตร ใส่ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างของเครื่อง RVA ปริมาณของตัวอย่างและน้ำที่ใช้ควรคำนึงถึงค่าความชื้นของตัวอย่างด้วย โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร สำหรับความชื้นที่ 14 % ดังนี้

$$M_2 = \frac{(100-14) \times M_1}{(100-M_1)}$$

$$W_2 = 25.00 + M_1 - M_2$$

เมื่อ  $M_1$  = น้ำหนักของตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับแป้งแต่ละชนิด

$M_2$  = น้ำหนักตัวอย่างที่ต้องชั่ง (กรัม)

$W_2$  = ปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้กรัม

3. ชั่งตัวอย่าง 3.00 กรัม (ความชื้น 10.71 %) ใส่ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างที่มีน้ำอยู่แล้ว ปริมาณตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดตัวอย่าง โดยทั่วไปแนะนำตามตารางที่ ก. 2

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.2 ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA

ตัวอย่าง	จำนวน (กรัม)
เมล็ดพืชทั้งหมด (บดรวมเปลือก)	4.00
แป้ง (flour)	3.50
สตาร์ชปกติ (native starch)	
จากธัญพืชชนิดธรรมดา (non-waxy cereal)	3.00
จากธัญชาติชนิดมีwaxy (waxy cereal)	3.00
มันฝรั่ง	2.00 <sup>1</sup>
มันสำปะหลัง	2.50
สตาร์ชดัดแปร (modified starch)	
Acid modified	2.00-4.00 <sup>2</sup>
Oxidized	2.00-4.00 <sup>2</sup>
Substituted	2.50
Cross-linked	2.50

<sup>1</sup> ใช้ 1.2 กรัม ถ้าเป็นสตาร์ชที่ไม่ได้ผลิตมาเพื่อวัตถุประสงค์ในเชิงพาณิชย์

<sup>2</sup> จำนวนที่เพิ่มขึ้นอยู่กับ degree of modification

1. ใส่ใบพัด (paddle) ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างหมุนใบพัดกวนไปมาแรง ๆ และตั้งขึ้นเพื่อ  
กวนตัวอย่างแรง ๆ ประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกับเป็นก้อนที่ผิวหน้าหรือติดที่ใบพัดกวนให้  
ทำซ้ำอีกครั้ง

2. นำถ้วยบรรจุตัวอย่างที่ใส่ใบพัดไว้แล้วสอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้  
RVA ทำงาน เสร็จแล้วนำถ้วยบรรจุตัวอย่างออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่า  
ต่าง ๆ

1. เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที
2. อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรือมีความหนืดเพิ่มขึ้นเป็น 2 RVU

ในเวลา 20 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

3. อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
4. ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มี

หน่วยเป็น RVU

5. ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU

6. ความหนีดต่ำสุด (trough) มีหน่วย RVU
7. ผลต่างของความหนีดสุดท้ายกับความหนีดที่จุด trough (setback from trough) มีหน่วยเป็น RVU

#### ก.15 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) (Kim *et al.*, 1995)

##### อุปกรณ์

1. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Perkin-Elmer รุ่น Diamond-DSC, USA.)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Ohaus รุ่น Explorer , Switzerland)

##### วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบความชื้น ประมาณ 3 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงใน volatile pan หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงใน pan
2. ปิดฝา pan ให้สนิทด้วยเครื่องมือปิดผนึก เก็บ sealed pan ไว้ที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน เพื่อให้ความชื้นตัวอย่างภายใน sealed pan เข้าสู่จุดสมดุลความชื้น
3. นำ pan ใส่ในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง DSC และวาง reference pan โดยใช้ profile อุณหภูมิ 30 - 95 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และใช้ Indium ในการ calibration
4. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์ โดยใช้ระบบ Autocalculation และบันทึกค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับเกิดการเกิดเจลาตินในเซชัน ได้แก่
  - อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาตินในเซชัน (onset temperature,  $T_o$  หน่วย °C)
  - อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาตินในเซชัน (peak temperature,  $T_p$  หน่วย °C)
  - เอนทัลปีของการเกิดเจลาตินในเซชัน ( $\Delta H$  หน่วย J/g)

#### ก.16 Freeze-thaw stability ดัดแปลงจากวิธีของ Liu, Ramsden และ Corke (1999)

##### อุปกรณ์

1. หลอดเซนตริฟิวจ์ ขนาด 85 มิลลิลิตร
2. เครื่องเซนตริฟิวจ์ (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, U.S.A.)
3. ตู้แช่แข็ง (Freezer, Sanyo biomedical freezer รุ่น MDF-U537, Thailand)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Water bath, Memmert รุ่น E 350, Germany)

##### วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายแป้งให้มีความเข้มข้น 6 % (w/v)



2. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
  3. ชั่งเจลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 20 กรัม ใส่ลงในหลอดเซนตริฟิวส์
  4. นำหลอดแช่ในน้ำ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
  5. นำหลอดไปเก็บที่ freezer อุณหภูมิ  $-30 \pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง
- หลังจากนั้นละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง
6. นำหลอดเซนตริฟิวส์ไปเหวี่ยงแยกน้ำ ด้วยความเร็วรอบ 1,350 xg เวลา 20 นาที และชั่งน้ำหนักของน้ำที่แยกออก
  7. ทำการทดลองซ้ำในข้อ 5 และ 6 อีก 7 ครั้ง (7 cycle)
  8. คำนวณปริมาณการเกิด syneresis

$$\text{syneresis (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่แยกออกมา} \times 100}{\text{น้ำหนักเจลเริ่มต้น}}$$

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ข.

## ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ข.1 ความแปรปรวนของปริมาณผลผลิตของแป้งที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	8.168E-02	.021
MILLING (B)	1	2730.385	697.333*
AB	1	8.168E-02	.021
Error	8	3.915	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.2 ความแปรปรวนปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	10.305	244.860*
MILLING (B)	1	12.000	285.149*
AB	1	7.500E-03	.178
Error	8	4.208E-02	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.3 ความแปรปรวนปริมาณโปรตีนของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	10.906	192.176*
MILLING (B)	1	2.841	50.064*
AB	1	4.526E-04	.008
Error	8	5.675E-02	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.4 ความแปรปรวนปริมาณไขมันของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	1.080E-02	4.596
MILLING (B)	1	.760	323.418*
AB	1	4.033E-03	1.716
Error	8	2.350E-03	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.5 ความแปรปรวนปริมาณเถ้าของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	8.225E-04	.952
MILLING (B)	1	.632	731.309*
AB	1	8.938E-05	.103
Error	8	8.637E-04	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.6 ความแปรปรวนปริมาณเส้นใยหยาบของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	5.333E-04	1.306
MILLING (B)	1	1.080E-02	26.449*
AB	1	.000	.000
Error	8	4.083E-04	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.7 ความแปรปรวนปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	27.180	170.552*
MILLING (B)	1	5.576	34.989*
AB	1	.270	1.694
Error	8	.159	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.8 ความแปรปรวนค่าสี L ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	58.609	1309.215*
MILLING (B)	1	338.141	7553.407*
AB	1	6.571	146.788*
Error	8	4.477E-02	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.9 ความแปรปรวนค่าสี *a* ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	13.230	220.684*
MILLING (B)	1	4.663	77.774*
AB	1	2.083E-02	.348
Error	8	5.995E-02	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.10 ความแปรปรวนค่าสี *b* ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	1.786	8.717*
MILLING (B)	1	22.715	110.841*
AB	1	1.401E-02	.068
Error	8	.205	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.11 ความแปรปรวนปริมาณ damaged starch ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	.255	1.138
MILLING (B)	1	40.664	181.306*
AB	1	.630	2.810
Error	8	.224	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



ตารางที่ ข.12 ความแปรปรวนค่าความสามารถในการจับน้ำของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	3.764E-03	1.504
MILLING (B)	1	2.239	894.380*
AB	1	4.420E-03	1.765
Error	8	2.504E-03	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.13 ความแปรปรวนค่า peak viscosity ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	138.992	.803
MILLING (B)	1	40812.336	235.692*
AB	1	858.521	4.958
Error	8	173.160	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.14 ความแปรปรวนค่า trough ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	19.203	4.189
MILLING (B)	1	12979.710	2831.504*
AB	1	258.355	56.360*
Error	8	4.584	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.15 ความแปรปรวนค่า breakdown ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	174.193	3.816
MILLING (B)	1	6779.204	148.510*
AB	1	55.384	1.213
Error	8	45.648	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.16 ความแปรปรวนค่า setback ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	298.203	4.816
MILLING (B)	1	715.799	11.561*
AB	1	430.082	6.946*
Error	8	61.915	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.17 ความแปรปรวนค่า setback/trough ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	.013	15.385*
MILLING (B)	1	.097	112.154*
AB	1	.001	.962
Error	8	.001	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.18 ความแปรปรวนค่า pasting temperature ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	4.688	34.456*
MILLING (B)	1	7.207	52.980*
AB	1	.963	7.081*
Error	8	.136	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.19 ความแปรปรวนค่า onset temperature ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	14.257	244.899*
MILLING (B)	1	14.388	247.151*
AB	1	.116	1.993
Error	8	.058	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.20 ความแปรปรวนค่า peak temperature ของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	6.886	66.743*
MILLING (B)	1	43.586	422.485*
AB	1	.161	1.561
Error	8	.103	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.21 ความแปรปรวนค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลลาติโนสของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่แห้งและไม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	.087	.251
MILLING (B)	1	35.639	102.974*
AB	1	.504	1.457
Error	8	.346	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.22 ความแปรปรวนการคืนตัวของแป้งข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630  
ที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	61.699	5.072
MILLING (B)	1	2852.392	234.462*
AB	1	505.052	41.514*
Error	8	12.166	
Total	12		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.23 ความแปรปรวนปริมาณผลผลิตของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439  
และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	1.009	.255
MILLING (B)	1	3226.193	815.783*
SOLUTION (C)	1	1.270	.321
AB	1	4.217	1.066
AC	1	.273	.069
BC	1	2.172	.549
ABC	1	2.419	.612
Error	16	3.955	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



ตารางที่ ข.24 ความแปรปรวนปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	4.941	138.477*
MILLING (B)	1	99.267	2781.896*
SOLUTION (C)	1	5.069	142.061*
AB	1	2.130	59.695*
AC	1	.697	19.533*
BC	1	3.912	109.640*
ABC	1	.343	9.618*
Error	16	3.568E-02	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.25 ความแปรปรวนปริมาณโปรตีนของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	8.653	32.515*
MILLING (B)	1	71.654	269.250*
SOLUTION (C)	1	8.847	33.244*
AB	1	4.397	16.523*
AC	1	7.884E-02	.296
BC	1	7.235	27.187*
ABC	1	5.355E-05	.000
Error	16	.266	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.26 ความแปรปรวนปริมาณไขมันของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	1.204E-03	8.028 <sup>*</sup>
MILLING (B)	1	7.370E-02	491.361 <sup>*</sup>
SOLUTION (C)	1	9.375E-04	6.250 <sup>*</sup>
AB	1	3.750E-05	.250
AC	1	4.167E-06	.028
BC	1	1.042E-04	.694
ABC	1	1.042E-04	.694
Error	16	1.500E-04	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.27 ความแปรปรวนปริมาณเถ้าของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	5.515E-04	1.260
MILLING (B)	1	.191	435.568 <sup>*</sup>
SOLUTION (C)	1	2.741E-05	.063
AB	1	6.309E-04	1.442
AC	1	1.343E-05	.031
BC	1	6.360E-04	1.453
ABC	1	1.290E-03	2.947
Error	16	4.377E-04	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.28 ความแปรปรวนปริมาณเส้นใยหยาบของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	3.750E-05	.095
MILLING (B)	1	6.720E-02	169.779*
SOLUTION (C)	1	7.042E-04	1.779
AB	1	4.167E-06	.011
AC	1	2.042E-04	.516
BC	1	7.042E-04	1.779
ABC	1	1.504E-03	3.800
Error	16	3.958E-04	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.29 ความแปรปรวนปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	18.253	248.407*
MILLING (B)	1	3.383	46.034*
SOLUTION (C)	1	.230	3.132
AB	1	.193	2.621
AC	1	.886	12.051*
BC	1	.004	.048
ABC	1	.825	11.229*
Error	16	.073	

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.30 ความแปรปรวนค่าสี L ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	40.664	56.810*
MILLING (B)	1	770.440	1076.340*
SOLUTION (C)	1	111.457	155.710*
AB	1	4.369	6.104*
AC	1	1.760	2.459
BC	1	7.707	10.767*
ABC	1	5.802E-02	.081
Error	16	.716	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.31 ความแปรปรวนค่าสี a ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	.721	10.270*
MILLING (B)	1	3.183	45.331*
SOLUTION (C)	1	3.154	44.917*
AB	1	.375	5.341*
AC	1	4.507E-02	.642
BC	1	.534	7.606*
ABC	1	.308	4.390
Error	16	7.021E-02	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.32 ความแปรปรวนค่าสี *b* ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	15.185	56.280*
MILLING (B)	1	59.945	222.180*
SOLUTION (C)	1	77.580	287.542*
AB	1	.108	.400
AC	1	.670	2.483
BC	1	6.859	25.421*
ABC	1	.108	.400
Error	16	.270	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.33 ความแปรปรวนปริมาณ damaged starch ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	6.945	93.839*
MILLING (B)	1	86.602	1170.231*
SOLUTION (C)	1	14.307	193.323*
AB	1	1.013	13.684*
AC	1	.207	2.800
BC	1	2.083	28.143*
ABC	1	.956	12.918*
Error	16	7.400E-02	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



ตารางที่ ข.34 ความแปรปรวนค่าความสามารถในการจับน้ำของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	8.881E-02	11.254*
MILLING (B)	1	3.202	405.675*
SOLUTION (C)	1	4.850E-02	6.145*
AB	1	3.489E-02	4.421
AC	1	3.138E-02	3.976
BC	1	1.986E-02	2.516
ABC	1	1.075E-02	1.363
Error	16	7.892E-03	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.35 ความแปรปรวนค่า peak viscosity ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	.219	.006
MILLING (B)	1	93641.282	2716.381*
SOLUTION (C)	1	2813.418	81.613*
AB	1	2733.441	79.293*
AC	1	263.410	7.641*
BC	1	6981.294	202.516*
ABC	1	1638.619	47.534*
Error	16	34.473	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.36 ความแปรปรวนค่า trough ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	513.375	18.608*
MILLING (B)	1	16819.038	609.639*
SOLUTION (C)	1	5566.260	201.760*
AB	1	53.461	1.938
AC	1	444.965	16.129*
BC	1	45.375	1.645
ABC	1	263.476	9.550*
Error	16	27.589	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.37 ความแปรปรวนค่า breakdown ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	2719.159	92.696*
MILLING (B)	1	34554.235	1177.952*
SOLUTION (C)	1	22439.604	764.965*
AB	1	520.243	17.735*
AC	1	7699.151	262.464*
BC	1	2971.710	101.305*
ABC	1	8996.205	306.680*
Error	16	29.334	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.38 ความแปรปรวนค่า setback ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	1339.819	48.171*
MILLING (B)	1	896.459	32.231*
SOLUTION (C)	1	9500.260	341.567*
AB	1	2085.070	74.965*
AC	1	588.060	21.143*
BC	1	1382.594	49.709*
ABC	1	1337.728	48.096*
Error	16	27.814	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.39 ความแปรปรวนค่า setback/trough ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	.180	132.712*
MILLING (B)	1	1.009	742.528*
SOLUTION (C)	1	.009	6.491*
AB	1	.184	135.276*
AC	1	.029	21.644*
BC	1	.068	50.258*
ABC	1	.094	69.018*
Error	16	.001	
Total	24		

ตารางที่ ข.40 ความแปรปรวนค่า pasting temperature ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	23.602	59.360*
MILLING (B)	1	.304	.764
SOLUTION (C)	1	2.344	5.895*
AB	1	5.042E-02	.127
AC	1	1.042E-02	.026
BC	1	3.227	8.115*
ABC	1	4.167E-02	.105
Error	16	.398	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.41 ความแปรปรวนค่า onset temperature ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	34.993	401.492*
MILLING (B)	1	22.776	261.318*
SOLUTION (C)	1	2.269	26.037*
AB	1	.375	4.303
AC	1	.015	.172
BC	1	2.042	23.425*
ABC	1	.570	6.545*
Error	16	.087	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.42 ความแปรปรวนค่า peak temperature ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	27.073	306.568*
MILLING (B)	1	7.293	82.586*
SOLUTION (C)	1	4.259	48.227*
AB	1	.095	1.076
AC	1	.035	.391
BC	1	1.607	18.196*
ABC	1	.462	5.232*
Error	16	.088	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

ตารางที่ ข.43 ความแปรปรวนค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลลิตไนซ์ของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการโม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	.003	.025
MILLING (B)	1	79.352	717.037*
SOLUTION (C)	1	2.381	21.519*
AB	1	.336	3.037
AC	1	1.815	16.401*
BC	1	.756	6.833*
ABC	1	10.962	99.054*
Error	16	.111	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )



ตารางที่ ข.44 ความแปรปรวนการคืนตัวของสตาร์ชที่ได้จากข้าวฟ่างพันธุ์ KU 439 และ KU 630 ที่ได้จากการไม่และสกัดโปรตีนด้วยสารละลายชนิดต่างกัน

Source	df	Mean Square	F
VARIETY (A)	1	142.155	9.803 <sup>*</sup>
MILLING (B)	1	2961.260	204.201 <sup>*</sup>
SOLUTION (C)	1	13.098	.903
AB	1	34.632	2.388
AC	1	338.626	23.351 <sup>*</sup>
BC	1	277.644	19.146 <sup>*</sup>
ABC	1	123.897	8.544 <sup>*</sup>
Error	16	14.502	
Total	24		

\* มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญ ( $p \leq 0.05$ )

## ภาคผนวก ค.



a KU 439 b



a KU 630 b

รูปที่ ค. 1 เมล็ดข้าวฟ่าง (a) ก่อนสีและ (b) หลังสี

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



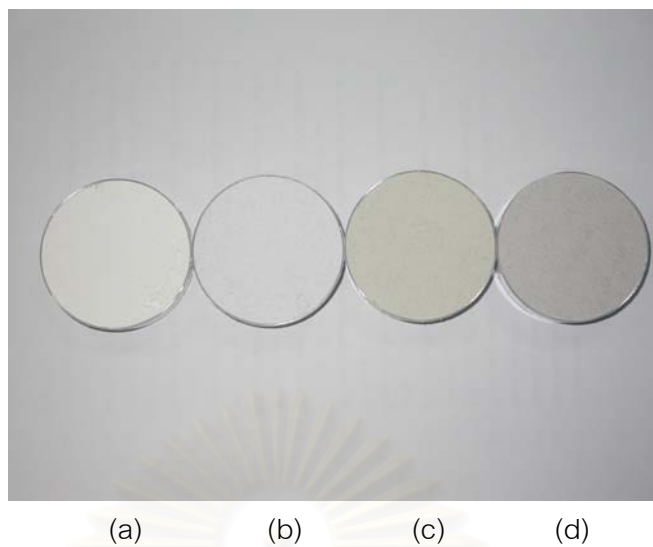
a KU 439 b



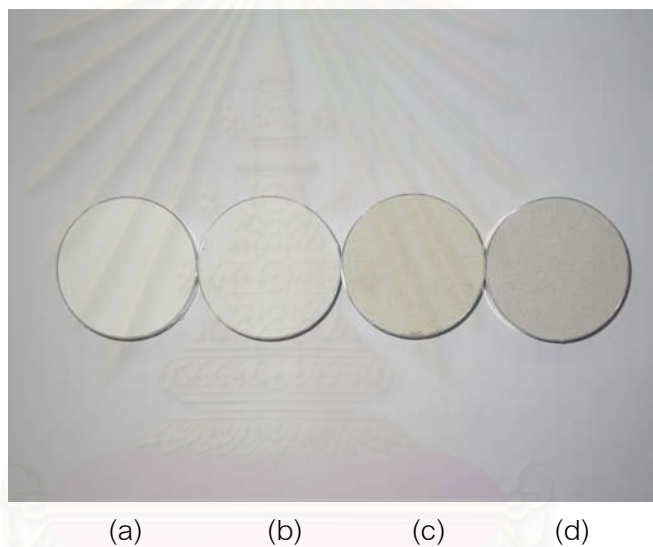
a KU 630 b

รูปที่ ค. 2 แป้งข้าวฟ่าง (a) ไม่แห้งและ (b) ไม่เปียก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



KU 439



KU 630

### รูปที่ ค. 3 สตาร์ข้าวฟ่าง

- (a) โม้เปียก สกัดด้วย NaOH (b) โม้เปียก สกัดด้วย DoBS  
(c) โม้แห้ง สกัดด้วย NaOH (d) โม้แห้ง สกัดด้วย DoBS

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวภัณฑิรา เหมภัทรสุวรรณ เกิดวันที่ 22 มกราคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดน่าน สำเร็จปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์ ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อ ในหลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย