ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของสตาร์ชข้าวเหนียว

นางสาวสุพัตรา งามอุรุเลิศ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-3151-2
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF PROCESSING ON THE QUALITY OF GLUTINOUS RICE STARCH

Miss Supatra Ngamurulert

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 2002

ISBN 974-17-3151-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของสตาร์ชข้าวเหนียว
โดย	นางสาวสุพัตรา งามอุรุเลิศ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุพัตรา งามอุรุเลิศ : ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของสตาร์ชข้าวเหนียว (EFFECT OF PROCESSING ON THE QUALITY OF GLUTINOUS RICE STARCH) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร. กัลยา เลาหสงคราม 134 หน้า. ISBN 974-17-3151-2.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของวิธีการโม่ และชนิดและความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสกัดโปรตีนต่อคุณภาพของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 ขั้นแรกเตรียมแป้งโดยนำเมล็ดข้าวเหนียวมาโม่ด้วยวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และโม่ผสม แล้วศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งที่โม่ได้ จากนั้นนำแป้งที่ได้มาสกัดโปรตีน โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2-0.5%(w/w) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1.0-4.0%(w/w) และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 0.9-1.5%(w/w) โดยใช้อัตราส่วน แป้ง:สารละลาย = 1:3 (w/v) ศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ผลิตได้ จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีพบว่าข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต สตาร์ชทั้งหมด โปรตีน เถ้า ไขมัน เส้นใย และอะไมโลส เท่ากับ 89.70, 89.04, 9.30, 0.52, 0.23, 0.29 และ 5.56 % โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ จากการเตรียมแป้ง พบว่าแป้งโม่เปียกมีปริมาณโปรตีน ปริมาณผลผลิต ปริมาณ Damaged starch น้อยที่สุด แต่มีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดมากที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อศึกษาสมบัติทางความหนืดโดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA) พบว่าแป้งโม่เปียกมีค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) และค่าผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown) สูงที่สุด แต่มีค่าการคืนตัว (Setback) และอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจล (Pasting temperature) ต่ำที่สุด จากการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ผลิตได้ พบว่าสตาร์ชที่ได้จากแป้งโม่เปียกมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า และปริมาณ Damaged starch น้อยที่สุด ส่วนสตาร์ชที่ได้จากแป้งโม่แห้งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด และปริมาณผลผลิตน้อยที่สุด เมื่อความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย และปริมาณผลผลิตของสตาร์ชที่ผลิตได้มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณเถ้า ปริมาณ Damaged starch คาร์โบไฮเดรต และสตาร์ชทั้งหมดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าสตาร์ชที่ผลิตได้มีปริมาณอะไมโลสไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางความหนืด พบว่าสตาร์ชจากการโม่เปียกมีค่า Peak viscosity และ Breakdown สูงที่สุด แต่มีค่า Setback ต่ำสุด และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสกัดโปรตีนเพิ่มขึ้น สตาร์ชที่ได้จะมีค่า Peak viscosity ลดลง เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter พบว่าสตาร์ชที่ได้มีค่า Onset temperature ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สตาร์ชจากการโม่เปียกมีค่า Peak temperature ต่ำสุด แต่มีค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลาติไนซ์สูงสุด และสตาร์ชมีค่า Peak temperature สูงขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสกัดโปรตีน นอกจากนี้สตาร์ชจากการโม่เปียกยังมีค่า Freeze-thaw stability สูงที่สุด

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2545..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4272442923 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD: GLUTINOUS RICE STARCH / MILLING / PROTEIN EXTRACTION / PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES / THERMAL PROPERTIES

SUPATRA NGAMURULERT : EFFECT OF PROCESSING ON THE QUALITY OF GLUTINOUS RICE STARCH. THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF. SAIWARUN CHAIWANICHSIRI, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF. KALAYA LAOHASONGKRAM, Ph.D., 134 pp. ISBN 974-17-3151-2.

The effects of milling methods, type and concentration of protein extraction solutions on the quality of glutinous rice (RD6) starch were investigated. Three milling methods (dry, wet, and mix milling) and three protein extraction conditions (aqueous solutions of sodium hydroxide at 0.2-0.5%, sodium carbonate at 1-4%, and dodecylbenzene sulfonate (DoBS) at 0.9-1.5%) were used. The physicochemical properties and thermal properties of the flours and starches were analyzed. The results from the chemical analysis showed that the RD6 contained 89.70% carbohydrate, 89.40% total starch, 9.30% protein, 0.52% ash, 0.23% fat, 0.29% fiber, and 5.56% amylose content. The wet-milled flour had the lowest % protein, % yield, and % damaged starch, and had the highest % total starch ($p \leq 0.05$). From the rheological measurement using the Rapid Visco Analyser (RVA), it was found that the wet-milled flour had the highest peak viscosity and breakdown and had the lowest setback and pasting temperature. The results from the physicochemical measurement of starches showed that all wet-milled starches had the lowest % protein, % fat, % fiber, % ash, and % damaged starch while the dry-milled starches had the lowest % carbohydrate, % total starch, and % yield. Increasing the concentration of extract solution would decreased % yield, % protein, % fat, and % fiber in the starch, but increase % ash, % carbohydrate, % damaged starch, and % total starch. Starches obtained from all conditions had the similar amount of % amylose content ($p > 0.05$). From the RVA, it was found that the wet-milled starches had the highest peak viscosity and breakdown and the lowest setback. The peak viscosity decreased as the concentration of the extract solution increased. Results from the thermal analysis using DSC showed that the wet-milled starches had the lowest peak temperature with the highest enthalpy of gelatinization and there was no significant difference on the onset temperature of each starch ($p > 0.05$). Increasing concentration of extract solution would increase the peak temperature. Finally the wet-milled starches had the highest freeze-thaw stability.

Department……..Food Technology…… Student's signature……
Field of study…….Food Technology…….. Advisor's signature……
Academic year……...2002…… Co-advisor's signature……...

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลาหสงคราม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาคำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ตลอดระยะเวลาของการทำวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณา ตุลยธัญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.พัชรี ปานกุล ที่ได้ร่วมเป็นกรรมการตรวจแก้ไขโครงร่างวิทยานิพนธ์ และช่วยตรวจแก้ไข รวมทั้งเสนอแนะแนวทางแก้ไขโครงร่างวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ นอกจากนี้ยังต้องขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสวดี ประทีปะเสน ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์อานันท์ ผลวัฒนะ และอาจารย์เอกสงวน ชูวิสิฐกุล สถาบันวิจัยข้าว บางเขน และเจ้าหน้าที่สถานีทดลองข้าวขอนแก่น สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ที่ให้ข้อมูลและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์กับงานวิจัย อีกทั้งยังความช่วยเหลือในการจัดหาข้าวที่ใช้เป็นวัตถุดิบในวิจัยนี้

ขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กล้าณรงค์ ศรีรอต ที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์แก่งานวิจัย และเจ้าหน้าที่หน่วยปฏิบัติการเทคโนโลยีแปรรูปมันสำปะหลังและแป้ง สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตผลทางการเกษตรและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนและความหนืดของสตาร์ช

ขอกราบขอบพระคุณทบวงมหาวิทยาลัย คณะกรรมการบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และโครงการสำรวจและประเมินและวางแผนการวิจัยเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร-อุตสาหกรรมอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้จัดสรรเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยบางส่วน และขอขอบพระคุณ บริษัทสตรองแพ็ค จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์ถุงลามิเนตที่ใช้บรรจุข้าวและสตาร์ชในงานวิจัยนี้

นอกจากนี้ยังต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่ได้กรุณาให้กำลังใจ และความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณในความช่วยเหลือ และความปรารถนาดีของรุ่นพี่ เพื่อน และ รุ่นน้องทุกท่าน

และสุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และน้องๆ สำหรับกำลังใจและความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ ด้วยดีมาตลอด จนทำให้งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ฌ

สารบัญภาพ.....ณ

บทที่

1. บทนำ.....1
2. วารสารปริทัศน์.....2
   - 2.1 ข้าว.....2
     - 2.2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....2
     - 2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว.....5
     - 2.1.3 การแบ่งประเภทของข้าว.....8
   - 2.2 สตาร์ชข้าวเหนียว.....9
     - 2.2.1 นิยาม.....9
     - 2.2.2 สมบัติของสตาร์ชข้าวเหนียว.....9
     - 2.2.3 การผลิตแป้งและสตาร์ชข้าวเหนียว.....10
     - 2.2.4 ปัจจัยของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของแป้งและสตาร์ชจากข้าว.....14
3. การทดลอง.....17
   - 3.1 การเตรียมวัตถุดิบ.....17
   - 3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....17
     - 3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6.....17
     - 3.2.2 การศึกษาผลของวิธีโม่แป้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว.....18
     - 3.2.3 การศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชข้าวเหนียว.....19

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4. ผลการทดลองและการวิจารณ์..... 21
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6..... 21
4.2 ผลของวิธีโม่แป้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว..... 22
4.3 ผลของกระบวนการผลิตต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ช ข้าวเหนียว.....26
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 63
รายการอ้างอิง..... 65
ภาคผนวก..... 70
ภาคผนวก ก..... 71
ภาคผนวก ข..... 73
ภาคผนวก ค..... 89
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 133

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว..... 5

4.1 องค์ประกอบทางเคมี ของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6..... 21

4.2 ปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพกติน และสัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน ของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6..... 22

4.3 สมบัติของแป้งที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ.....24

4.4 สมบัติทางความหนืดของแป้งที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ เมื่อวัดด้วย RVA.....25

4.5 ปริมาณโปรตีนในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....27

4.6 ปริมาณโปรตีนในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....28

4.7 ปริมาณโปรตีนในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....28

4.8 ปริมาณไขมันในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....29

4.9 ปริมาณไขมันในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น ต่าง ๆ.....30

4.10 ปริมาณไขมันในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....30

4.11 ปริมาณเถ้าในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....31

4.12 ปริมาณเถ้าในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....31

4.13 ปริมาณเถ้าในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....32

4.14 ปริมาณเส้นใยในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....32

4.15 ปริมาณเส้นใยในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....33

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

4.16 ปริมาณเส้นใยในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....33

4.17 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....34

4.18 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....35

4.19 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....35

4.20 ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....36

4.21 ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....37

4.22 ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....37

4.23 ปริมาณ Damaged starch ในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ.....39

4.24 ปริมาณ Damaged starch ในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 39

4.25 ปริมาณ Damaged starch ในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซิน ซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ..... 40

4.26 ปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....41

4.27 ปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....41

4.28 ปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....41

4.29 ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....43

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

4.30 ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....43

4.31 ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....43

4.32 ค่า Peak viscosity ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....45

4.33 ค่า Peak viscosity ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....45

4.34 ค่า Peak viscosity ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซิน ซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....46

4.35 ค่า Breakdown ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....47

4.36 ค่า Breakdown ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....48

4.37 ค่า Breakdown ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....48

4.38 ค่า Setback ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ.....49

4.39 ค่า Setback ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....49

4.40 ค่า Setback ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ.....50

4.41 ค่า Pasting temperature ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ.....51

4.42 ค่า Pasting temperature ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียม คาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....51

4.43 ค่า Pasting temperature ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซิน ซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....52

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

4.44 ค่า Onset temperature (T_o) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ.....53

4.45 ค่า Onset temperature (T_o) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....53

4.46 ค่า Onset temperature (T_o) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....53

4.47 ค่า Peak temperature (T_p) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ.....54

4.48 ค่า Peak temperature (T_p) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ..... 55

4.49 ค่า Peak temperature (T_p) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....55

4.50 ค่า Enthalpy of gelatinization ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ.....56

4.51 ค่า Enthalpy of gelatinization ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....56

4.52 ค่า Enthalpy of gelatinization ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....57

4.53 ปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจล (%Syneresis) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 59

4.54 ปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจล (%Syneresis) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....60

4.55 ปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจล (%Syneresis) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....61

ข.1 Ferricyanide - Maltose Conversion..... 85

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณโปรตีน สตาร์ชทั้งหมด Damaged starch และปริมาณผลผลิตของแป้งที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆ..... 89

ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางความหนืดของแป้งที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆ..... 90

ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 91

ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ..... 93

ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ.....95

ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2%..... 97

ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.3%..... 99

ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.4%..... 101

ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5%..... 103

ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....105

ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ..... 108

ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ.....110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ค.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 1%..... 111

ค.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 2%..... 113

ค.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 3%..... 115

ค.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 4%..... 117

ค.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ..... 119

ค.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ..... 121

ค.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ..... 123

ค.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้น 0.9%..... 125

ค.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้น 1.1%..... 127

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ค.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ช ที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.3%..... 129

ค.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ช ที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.5%..... 131

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว.....4

2.2 ลักษณะเม็ดสตาร์ชของข้าว (ก.) ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 350 เท่า) (ข.) ส่องด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) (กำลังขยาย 5000 เท่า).....4

2.3 แบบจำลองโครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในสตาร์ชจากธัญชาติ..... 5

2.4 โครงสร้างของอะไมโลส (ก.) และอะไมโลเพกติน (ข.).....7

2.5 วิธีโม่ข้าวแบบแห้ง เปียก และผสม.....11

2.6 วิธีโม่แบบกึ่งแห้ง.....12

2.7 กระบวนการผลิตสตาร์ชข้าว.....13

4.1 สมบัติทางความหนืดของแป้งที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ.....25

ก.1 ข้าวเปลือกและข้าวสารพันธุ์กข 6..... 71

ก.2 เครื่องโม่หิน (Stone mill) ประเภท single disc mill.....71

ก.3 แป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ.....72

ก.4 สตาร์ชข้าวเหนียว..... 72

ข.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช (แต่ละจุดในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ).....79

ข.2 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส (แต่ละจุดในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ).....82

ข.3 Endothermic peak ของสตาร์ชข้าวเหนียวที่ผลิตได้.....88

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ข้าวเหนียวเป็นอาหารหลักของคนไทยอีกอย่างหนึ่งนอกเหนือจากข้าวเจ้า นิยมปลูกและบริโภคในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ข้าวเหนียวที่มีเมล็ดค่อนข้างสมบูรณ์จะนำมาบริโภค ส่วนเมล็ดที่หักหรือปลายข้าวที่มีคุณภาพต่ำซึ่งได้มาจากการสีข้าวสามารถนำไปผสมกับข้าวที่สีแล้วเพื่อการบริโภค หรือใช้ทำเป็นผลิตภัณฑ์แปรรูป ในปี 2545 ผลิตภัณฑ์แปรรูปจากข้าว เช่น แป้งข้าวเหนียวมีมูลค่าการส่งออกเป็นอันดับสองรองจากสตาร์ชมันสำปะหลัง คือประมาณ 1,541 ล้านบาท (สถาบันอาหาร, 2546) นอกจากจะนำแป้งข้าวเหนียวมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆแล้วยังสามารถนำมาผลิตเป็นสตาร์ชเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมต่าง ๆ ต่อไป

สตาร์ชข้าวเหนียวมีเม็ดสตาร์ชขนาดเล็ก มีความสามารถในการพองตัวสูง สารละลายสตาร์ชที่ได้จะมีลักษณะใสโปร่งแสงและมีความหนืดสูง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) สตาร์ชข้าวเหนียวสามารถทำหน้าที่เป็นสารเชื่อม (binder) หรือใช้รักษาเนื้อสัมผัสของอาหารเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและการละลาย (freeze-thaw) ในผลิตภัณฑ์แช่แข็ง หรือใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในซอส เกรวี่ คัสตาด ไส้พาย พุดดิ้ง อาหารเด็กอ่อน (Luh and Liu, 1991; Matz, 1969) นอกจากนี้ยังมีการนำสตาร์ชข้าวเหนียวไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมอื่น ๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมกาว และอุตสาหกรรมแป้งดัดแปร เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

ดังนั้นการศึกษาผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของสตาร์ชข้าวเหนียว จึงมีความสำคัญต่อการผลิตสตาร์ชข้าวเหนียวให้มีคุณภาพดีและเหมาะแก่การนำไปใช้ประโยชน์

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าว

ข้าวเป็นพืชตระกูลหญ้า (semi-aquatic grass plant) มีใบเลี้ยงเดี่ยว อยู่ในวงศ์ (family) Graminae สกุล (genus) *Oryza* เจริญเติบโตได้ดีทั้งในเขตร้อนและเขตอบอุ่น ข้าวที่บริโภคอยู่ทุกวันนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด (species) คือ *Oryza sativa* L. ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบทวีปเอเชีย และ *Oryza glaberrima* Steud. ซึ่งมีถิ่นกำเนิดแถบทวีปแอฟริกา แต่ข้าว *O. sativa* L. เป็นที่รู้จักและยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เป็นพันธุ์ที่มีการปลูกและจำหน่ายกันอย่างแพร่หลายในทุกวันนี้ในท้องตลาด มีหลายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์อินดิคา (*O. sativa* indica) ปลูกมากในแถบมรสุม ซึ่งมีฝนตกชุกและแสงแดดพียงพอ และพันธุ์จาปอนิคา (*O. sativa* japonica) ปลูกในพื้นที่เขตอบอุ่น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543; วราภรณ์ คำบุญเรือง, 2535; Juliano, Perez and Kaosa-Ard, 1990)

2.1.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (Juliano, 1972)

โครงสร้างของเมล็ดข้าว แสดงดังรูปที่ 2.1 แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1) เปลือกแข็งหุ้มเมล็ด (covered caryopses) หรือ แกลบ (hull) เป็นส่วนของกลีบดอก คือ palea และ lemma ซึ่งห่อหุ้มเมล็ดเอาไว้ภายใน ส่วนนี้มีน้ำหนักประมาณ 20% ของน้ำหนักเมล็ดข้าว ประกอบด้วย ลิกนิน เซลลูโลส เถ้า และเพนโทแซน

2) เปลือกหุ้มผล (pericarp หรือ fruit coat) เป็นเซลล์ที่มีรูปแท่ง ห่อหุ้มเมล็ดอยู่ตามความยาวของเมล็ด องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหุ้มผลส่วนใหญ่จะเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ให้โครงร่าง เช่น เซลลูโลส ฮีมิเซลลูโลส เพนโทแซน นอกจากนี้ยังมีโปรตีน ไขมัน และแร่ธาตุต่าง ๆ (เถ้า) เป็นต้น

3) เมล็ด ภายในเมล็ดประกอบด้วย

3.1) *เปลือกหุ้มเมล็ด (tegmen หรือ seat coat)* เป็นเซลล์ที่มีผนังเซลล์บาง รูปร่างยาวรี อาจมีแถวเดียว หรือสองแถวหรือมากกว่า เซลล์ชั้นในมีสารให้สีอยู่ด้วย ทำให้เปลือกหุ้มเมล็ดมีสีต่าง ๆ เช่น ขาว แดง ม่วงแดง ส้ม และดำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นชั้นที่อุดมไปด้วยไขมันมีสมบัติในการป้องกันน้ำมิให้เข้าสู่ภายในเมล็ด

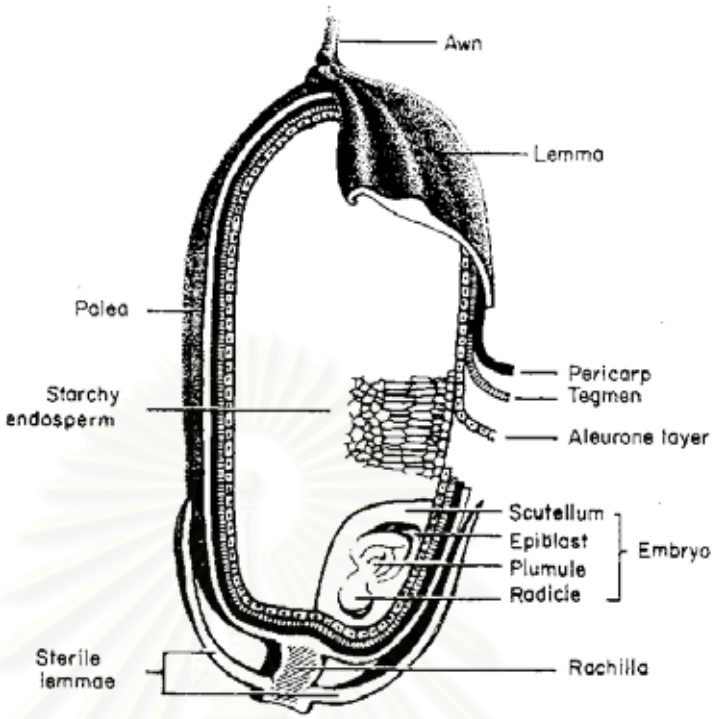
3.2) *ชั้นเยื่อโปร่งใส (hyaline layer หรือ nucellus)* อยู่ติดกับชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด มีลักษณะโปร่งใส และยังประกอบด้วยสารให้สี เช่นเดียวกับในชั้นเปลือกหุ้มเมล็ด

3.3) *ชั้นแอลิวโรน หรือ เยื่อหุ้มเนื้อเมล็ด (aleurone layer)* มีลักษณะเป็นเซลล์รูปสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ประกอบด้วยโปรตีน ฮีมิเซลลูโลส และเซลลูโลส ชั้นแอลิวโรนเป็นชั้นที่สำคัญเพราะประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมีหลายชนิด โดยภายในเซลล์แอลิวโรนจะมีเม็ดแอลิวโรน (aleurone grain) ขนาดเล็กอยู่มากมาย ซึ่งภายในเม็ดประกอบด้วยกรดไฟติก เกลือโพแตสเซียมและแมกนีเซียม รวมทั้งโปรตีนและไขมันอยู่ด้วย

3.4) *คัพภะ (germ หรือ embryo)* เป็นส่วนที่จะเจริญเป็นต้นอ่อนของเมล็ด หรือจุดกำเนิดของต้น จึงอุดมไปด้วยสารอาหาร แร่ธาตุ และวิตามินเพื่อการเจริญเติบโต สารอาหารที่มีมากคือ โปรตีน (อยู่ในรูป protein bodies) และไขมัน (อยู่ในรูป lipid bodies) ส่วนวิตามินที่มีมาก คือ วิตามินบี และวิตามินอี

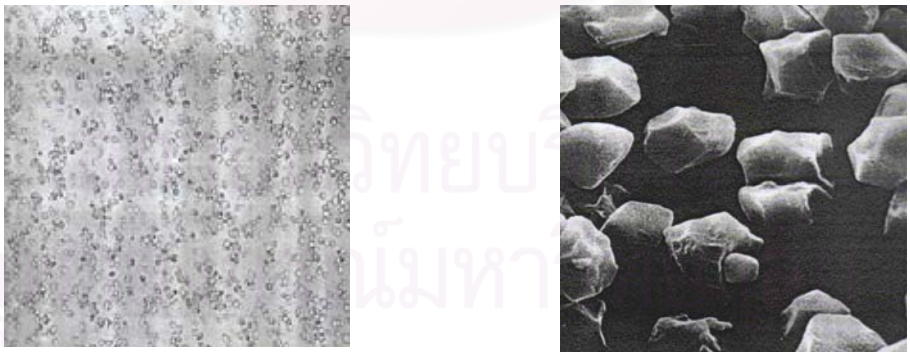
3.5) *เนื้อเมล็ด (endosperm)* แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่ติดกับชั้นแอลิวโรน (subaleurone layer) เป็นเซลล์ที่มีผนังบาง มีขนาดเล็กรูปลูกบาศก์ ส่วนที่อยู่ถัดไปเป็นเซลล์เนื้อเมล็ด (inner endosperm) จะมีรูปร่างเซลล์ยาวเป็นแนวรัศมีเข้าสู่จุดกลางเมล็ด มีผนังเซลล์บาง ส่วนของผนังเซลล์ซึ่งถือเป็นกำแพงห่อหุ้มเซลล์เนื้อเมล็ดนี้ จะประกอบด้วยฮีมิเซลลูโลส เซลลูโลส สารเพคติค (pectic substance) และไกลโคโปรตีน ส่วนภายในเซลล์เนื้อเมล็ดจะประกอบด้วยสตาร์ชเป็นส่วนใหญ่ สตาร์ชที่เกิดในผนังเซลล์ของเนื้อเมล็ดจะอยู่รวมกันภายในเม็ดสตาร์ช (starch granule) ซึ่งเม็ดสตาร์ชของข้าวจะมีขนาดเล็กมาก (3-5 ไมโครเมตร) เป็นรูปหลายเหลี่ยม ลักษณะเม็ดส่วนใหญ่จะรวมกันอยู่เป็นกลุ่ม (compound granule) มากถึง 150 เม็ดต่อกลุ่ม แต่ก็พบร่วมอยู่กับเม็ดเดี่ยวเช่นกัน แสดงดังรูปที่ 2.2 โปรตีนที่พบในเนื้อเมล็ดนั้นจะอยู่รวมกับเม็ดสตาร์ชโดยเกาะรวมกันเป็นรูปร่างกลม (protein bodies) ซึ่งพบอยู่ในชั้นติดกับชั้น แอลิวโรนเป็นส่วนใหญ่

เนื้อเมล็ดจะเป็นส่วนที่ได้จากการสีข้าว (milling fraction) โดยในการสี ข้าวจะนำเมล็ดข้าวมากะเทาะเปลือกเอาเปลือกแข็งหุ้มเมล็ดออก จากนั้นจะได้เป็นข้าวกล้อง และนำมาขัดสีเอาส่วนต่าง ๆ ที่ไม่ใช่เนื้อเมล็ดออกเพื่อให้ได้เป็นข้าวสาร (milled rice) ผลพลอยได้จากกระบวนการนี้คือ แกลบ (hull) และรำข้าว (bran)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ที่มา : Juliano (1972)



ก. ข.

รูปที่ 2.2 ลักษณะเม็ดสตาร์ชของข้าว

ก. ส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ (กำลังขยาย 350 เท่า)

ข. ส่องด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) (กำลังขยาย 5000 เท่า)

ที่มา : Fitt และ Snyder (1984)

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว

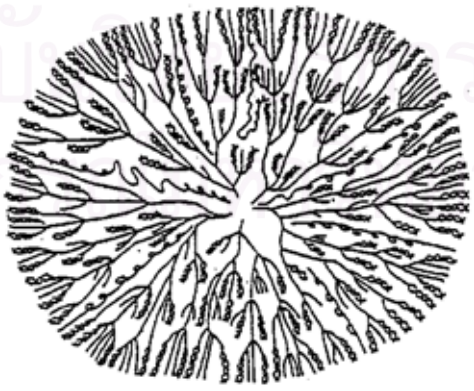
เมล็ดข้าวที่เจริญเติบโตสมบูรณ์เต็มที่จะประกอบด้วยองค์ประกอบทางเคมี คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้า แสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าว

วัตถุดิบ	องค์ประกอบทางเคมี (กรัม/100 กรัมน้ำหนักแห้ง)				
	คาร์โบไฮเดรต	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใย	เถ้า
ข้าวเปลือก	71.2	9.1	2.2	10.2	7.2
ข้าวกล้อง	83.2	11.0	2.7	1.2	1.8
ข้าวสาร	88.9	9.8	0.5	0.3	0.6

ที่มา : Kent (1983)

1) **คาร์โบไฮเดรต** (carbohydrate) เป็นองค์ประกอบที่มีมากที่สุดในเมล็ดข้าว ซึ่งชนิดของคาร์โบไฮเดรตที่มีมากที่สุด คือ สตาร์ช มีประมาณ 64% โดยน้ำหนักแห้งของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด นอกจากนั้นเป็นน้ำตาลซูโครส ลิกนิน เพนโทแซน ฮีมิเซลลูโลส และเพคตินที่มีลักษณะเป็นวุ้น สตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะไมโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะไมโลเพกติน) วางตัวในแนวรัศมี แสดงดังรูปที่ 2.3 สตาร์ชจากพืชต่างชนิดกันจะมีอัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของสตาร์ชแต่ละชนิดแตกต่างกัน



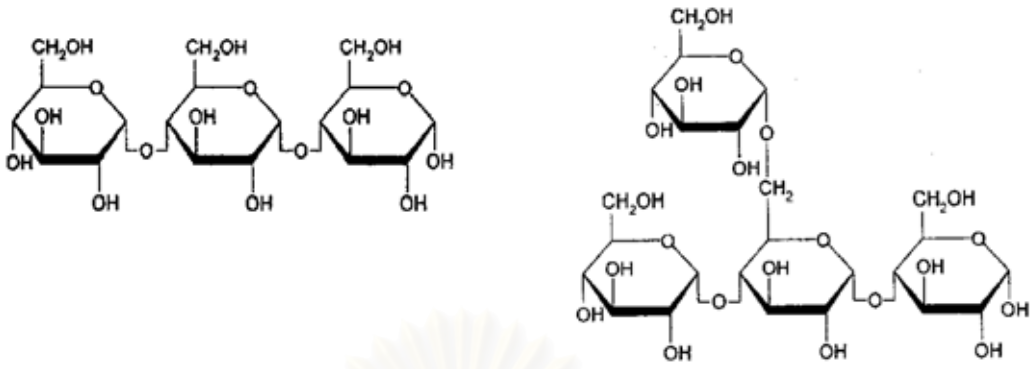
รูปที่ 2.3 แบบจำลองโครงสร้างของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินในสตาร์ชจากธัญชาติ

ที่มา : Lineback (1984)

อะไมโลส เป็นพอลิเมอร์สายยาวที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 20-6,000 หน่วยของกลูโคส (glucose unit) เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-(1$\rightarrow$4)-glucosidic linkage โครงสร้างของ อะไมโลสแสดงดังรูปที่ 2.4 (ก.) สตาร์ชจากธัญพืช เช่น สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวสาลี มีปริมาณอะไมโลสประมาณ 28% สตาร์ชจากพืชรากและพืชหัว เช่น สตาร์ชจากมันสำปะหลัง มันฝรั่ง มีปริมาณอะไมโลส ประมาณ 20% waxy starch เช่น สตาร์ชจากข้าวโพด ข้าวเหนียว ข้าวเหนียวนั้นแทบจะไม่มีอะไมโลสเลย และสตาร์ชจากข้าวโพดที่มีอะไมโลสสูง (amylomaize) อาจมีอะไมโลสสูงถึง 80% น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของอะไมโลส อยู่ในช่วง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน ซึ่งอะไมโลสในสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ในธรรมชาติอะไมโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก อะไมโลสสามารถทำปฏิกิริยากับไอโอดีนและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น บิวทานอล กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว ฟีนอลและไฮโดรคาร์บอน ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งไม่ละลายน้ำ โดยอะไมโลสจะพันเป็นเกลียวล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์ นอกจากนี้อะไมโลสที่รวมตัวกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงสตาร์ชที่มีองค์ประกอบของอะไมโลส (Swinkels, 1985)

อะไมโลเพกติน เป็นพอลิเมอร์ที่แตกเป็นสาขามากมาย กลูโคสเชื่อมต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α-(1$\rightarrow$4)-glucosidic linkage และทุก ๆ 20-30 หน่วยของกลูโคสจะมีส่วนที่เป็นกิ่งสาขาเป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีกลูโคสอยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วยของกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-(1$\rightarrow$6)-glucosidic linkage โครงสร้างของอะไมโลเพกติน แสดงดังรูปที่ 2.4 (ข.) หน่วยของกลูโคสที่มีพันธะ α-(1$\rightarrow$6)-glucosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกตินทั้งหมด อะไมโลเพกตินเป็นโมเลกุลของพอลิเมอร์ที่มีขนาดใหญ่มีกลูโคสประมาณ 2 ล้านหน่วยของกลูโคส มีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยประมาณ 1,000 เท่าของอะไมโลส คือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Swinkels, 1985)

อัตราส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน มีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง ความหนืด ความใสและการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งเปียก เนื่องจากสมบัติของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินมีความแตกต่างกัน คือ อะไมโลสเป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ดี เมื่อต้มในน้ำเดือดจะมีความหนืดน้อยกว่า แต่ขุ่นมากกว่าอะไมโลเพกติน เมื่อทิ้งไว้ให้เย็น อะไมโลสจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันสูงกว่าอะไมโลเพกติน เนื่องจากอะไมโลเพกตินมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นกิ่ง แป้งที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีอุณหภูมิในการพองตัวสูงกว่าปกติเมื่อทำให้เกิดการพองตัวอย่างสมบูรณ์ แป้งที่มีน้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลสต่างกัน อัตราในการเกิดรีโทรเกรเดชันจะแตกต่างกัน (Whistler and Paschall, 1965)



ก. ข.

รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะไมโลส (ก.) และอะไมโลเพกติน (ข.)
ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ (2543)

2) **โปรตีน** (protein) เป็นส่วนประกอบที่สำคัญมีปริมาณมากรองลงมาจากสตาร์ช ปริมาณโปรตีนในข้าวนิยมหาโดยวิธี Kjeldahl คำนวณจาก % nitrogen คูณกับ factor 5.95 ซึ่ง factor นี้อ้างถึงปริมาณไนโตรเจน 16.8% ของโปรตีนหลักในข้าว คือ กลูเตลิน (glutelin) โปรตีนในข้าวอยู่กันเป็นกลุ่มเรียกว่า protein bodies แทรกอยู่ระหว่างองค์ประกอบของแป้ง มีขนาด 1-4 ไมโครเมตร โปรตีนอาจแบ่งได้ตามสมบัติการละลายได้ 4 ชนิด คือ อัลบูมิน (albumin) ละลายได้ในน้ำ โกลบูลิน (globulin) ละลายได้ในสารละลายเกลือ โพรลามีน (prolamine) ละลายได้ในแอลกอฮอล์ และกลูเตลิน (glutelin) ละลายได้ในสารละลายกรด ด่างเจือจาง ข้าวมีกลูเตลินอยู่ประมาณ 80%ของโปรตีนทั้งหมด มีโกลบูลินอยู่ประมาณ 10% มีอัลบูมินอยู่ประมาณ 5% และมีโพรลามีนอยู่ไม่เกิน 5% (Juliano, 1972)

3) **ไขมัน** (fat) ไขมันในเมล็ดข้าวส่วนใหญ่อยู่ในบริเวณชั้นแอลิวโรน และคัพภะ ซึ่งจะถูกขัดออกเมื่อผ่านกระบวนการสีข้าว โดยไขมันส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปเม็ดไขมัน (lipid droplet) ไขมันในเนื้อเมล็ดจะอยู่รวมกับกลุ่มโปรตีนและในเม็ดสตาร์ชก็มีไขมันยึดเกาะอยู่ด้วย เมล็ดข้าวมีไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่น้อยมาก ในข้าวกล้องมีประมาณ 1.5-2.5% ข้าวสารมี 0.3-0.7% กรดไขมันส่วนใหญ่เป็นกรดโอลิอิก (oleic acid) กรดลิโนเลอิก (linoleic acid) กรดปาล์มิติก (palmitic acid) อัตราส่วนของกรดโอลิอิกและกรดลิโนเลอิกเป็น 1:1 และไขมันจากทุกส่วนของเมล็ดจะมีองค์ประกอบคล้ายคลึงกันไม่ว่าจะสกัดมาจากข้าวเจ้าหรือข้าวเหนียว นอกจากนี้ไขมันของข้าวยังมีสารกันหืน (antioxidant) คือ โอไรซานอล (oryzanol) และโทโคฟีรอล (tocopherols)

ซึ่งสารเหล่านี้จะช่วยยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ทำให้ไขมันคงอยู่ได้โดยไม่มีกลิ่นหืน แต่อย่างไรก็ตามแป้งข้าวที่ดีควรมีปริมาณไขมันอยู่เล็กน้อย ถ้ามีในปริมาณมากอาจทำให้เกิดการหืน (rancidity) ได้ (Juliano, 1972)

4) เถ้า (แร่ธาตุ) โดยทั่วไปข้าวสารมีปริมาณเถ้าอยู่ระหว่าง 0.26-1.95% โดยน้ำหนักแห้ง ชนิดของแร่ธาตุหลัก (major minerals or macrominerals) ในเถ้าที่พบ ได้แก่ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม ซิลิคอน แมกนีเซียม แคลเซียม โซเดียม และเหล็ก ปริมาณแร่ธาตุในเมล็ดข้าวขึ้นอยู่กับแร่ธาตุในดินที่ปลูกข้าวนั้น แต่อย่างไรก็ตามพบว่ามีการกระจายตัวของปริมาณเถ้าในรำ 51% ข้าวสาร 28% เปลือก 11% และคัพภะ 10% (Juliano, 1972)

2.1.3 การแบ่งประเภทของข้าว

สามารถแบ่งประเภทของข้าวตามลักษณะของเมล็ดข้าวได้เป็น 2 ประเภท (จำรัส โปร่งศิริวัฒนา, 2534) คือ

1) **ข้าวเหนียว** เป็นข้าวที่มีเมล็ดข้าวสารสีขาวขุ่น เมื่อนำไปหุงให้สุกจะได้ข้าวสุกที่เหนียวจับตัวติดแน่นและมีลักษณะใส
2) **ข้าวเจ้า** เป็นข้าวที่มีเมล็ดข้าวสารสีขาวใสกว่า เมื่อหุงสุก ข้าวจะมีสีขาวขุ่นและร่วน

นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งประเภทของข้าวในประเทศไทยตามปริมาณอะไมโลส (อุตสาหกรรม, 2529) ได้ดังนี้

1) **ข้าวเหนียว** เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสไม่เกิน 9 %
2) **ข้าวเจ้า** เป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสไม่ต่ำกว่า 15 %

หากแบ่งประเภทข้าวตามปริมาณของอะไมโลส (Juliano, 1979) สามารถแบ่งเป็นกลุ่มตามหลักของ International Rice Research Institute (IRRI) ปี 1972 ได้ดังนี้

1) **ข้าวเหนียว (waxy)** มีปริมาณอะไมโลส 0 – 2%
2) **ข้าวเจ้า (non waxy)** มีปริมาณอะไมโลส มากกว่า 2% แบ่งได้เป็นกลุ่มย่อย ดังนี้
   2.1) ปริมาณน้อยมาก (very low) อยู่ในช่วง 2 - 10%
   2.2) ปริมาณน้อย (low) อยู่ในช่วง 10 – 20%
   2.3) ปริมาณปานกลาง (intermediate) อยู่ในช่วง 20 – 25%
   2.4) ปริมาณสูงปานกลาง (moderately high) อยู่ในช่วง 25 – 27%
   2.5) ปริมาณสูง (high) มีมากกว่า 27%

นอกจากนี้อาจแบ่งประเภทข้าวจากขนาดและรูปร่างของเมล็ดข้าว ตามหลักของ IRRI (Juliano, 1993) โดยถ้าวัดตามความยาวของเมล็ดข้าวจะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท คือ ข้าวเมล็ด

สั้น (short) มีความยาวน้อยกว่า 5.50 มิลลิเมตร ข้าวเมล็ดปานกลาง (medium) มีความยาว 5.51-6.60 มิลลิเมตร ข้าวเมล็ดยาว (long) มีความยาว 6.61-7.50 มิลลิเมตร และข้าวเมล็ดยาวมาก (extra long) มีความยาวมากกว่า 7.50 มิลลิเมตร และสำหรับรูปร่างของเมล็ดข้าว จะแบ่งได้เป็น 4 ประเภท โดยประเมินจากอัตราส่วนความยาวต่อความกว้างของเมล็ด คือ ข้าวเมล็ดเรียว (slender) มีอัตราส่วนมากกว่า 3.0 ข้าวเมล็ดค่อนข้างเรียว (medium) มีอัตราส่วน 2.1-3.0 ข้าวเมล็ดป้อม (bold) มีอัตราส่วน 1.1-2.0 และข้าวเมล็ดกลม (round) มีอัตราส่วนน้อยกว่า 1.0

2.2 สตาร์ชข้าวเหนียว

2.2.1 นิยาม

แป้ง (flour) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำวัตถุดิบทางการเกษตรมาบดหรือโม่หรือตีจนละเอียดมาก ดังนั้นแป้งจึงประกอบด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และแร่ธาตุ ในปริมาณที่ใกล้เคียงกับวัตถุดิบเริ่มต้น (Deobald, 1972)

สตาร์ช (starch) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากวัตถุดิบทางการเกษตรและใช้กระบวนการผลิตเช่นเดียวกับแป้ง แต่จะมีการแยกเอาองค์ประกอบอื่น ๆ ออกจากวัตถุดิบให้มากที่สุด เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรต ทำให้สตาร์ชประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ โดยมีองค์ประกอบอื่น ๆ ปะปนมาน้อยมาก (รุ่งทิวา วันสุขศรี, 2542) ดังนั้นจึงทำให้สตาร์ชมีองค์ประกอบ สมบัติและการนำไปใช้แตกต่างจากแป้ง

2.2.2 สมบัติของสตาร์ชข้าวเหนียว

สตาร์ชข้าวเหนียวมีปริมาณอะไมโลเพกตินเป็นส่วนใหญ่และมีอะไมโลสเพียง 0-2 % เม็ด สตาร์ชมีลักษณะเป็นรูปหลายเหลี่ยม (polyhedric) และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3-8 ไมครอน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Hoseney, 1994) สตาร์ชข้าวเหนียวมีน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 8.9×10^{7} ดาลตัน (Yokoyama, Renner–Nantz and Shoemaker, 1998) อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ 64.5 °C (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) สตาร์ชข้าวเหนียวมีสมบัติที่ดีกว่าสตาร์ชจากพืชชนิดอื่นๆ คือ สตาร์ชข้าวเหนียวสามารถทนต่อกระบวนการแช่แข็งและการละลาย (freeze – thaw) โดยไม่เกิดการแยกน้ำ (syneresis) ออกจากอาหาร ไม่มีรีโทรเกรเดชันหลังจากการทำให้สุก ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด หรือรักษาเนื้อสัมผัสของอาหารในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง (Luh and Liu, 1991; Matz, 1969)

สมบัติเชิงหน้าที่ (functional properties) เป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มสตาร์ชข้าวเหนียว สามารถจัดได้เป็นกลุ่มย่อย ๆ (Knight, 1969; Luallen, 1985) ได้แก่ การใช้เป็นสารให้ความข้นหนืด (thickener) ในผลิตภัณฑ์ซุปกระป๋อง เกรวี่ อาหารเด็กอ่อน พุดดิ้ง ซึ่งสตาร์ชควรจะมีสมบัติเป็นของเหลวข้นหนืด (paste property) ใส ไม่เกิดรีโทรเกรเดชันระหว่างกระบวนการผลิตและการเก็บรักษา ไม่เกิดการแยกชั้น หรือการใช้เป็นสารรักษาเนื้อสัมผัส (texturizer) ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง ซึ่งสตาร์ชควรจะมีความคงทนต่อกระบวนการแช่แข็งและละลาย (freeze-thaw stability) โดยไม่เกิดการแยกน้ำ (syneresis) ออกจากอาหาร

2.2.3 การผลิตแป้งและสตาร์ชข้าวเหนียว

1) การผลิตแป้งข้าวเหนียว

แป้งข้าวเหนียว ผลิตได้จากข้าวที่หักหรือข้าวคุณภาพต่ำที่ไม่ใช้ในการบริโภคโดยตรง ซึ่งการบดหรือการโม่แป้งข้าว แบ่งออกได้เป็น 4 วิธี คือ โม่แห้ง โม่เปียก โม่ผสม และโม่กึ่งแห้ง มีขั้นตอนการผลิตแสดงดังรูปที่ 2.5 และ 2.6

โม่แห้งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการผลิตแป้งเพราะเพียงแต่ป้อนวัตถุดิบเข้าเครื่องบดหรือเครื่องโม่เท่านั้นก็จะได้แป้งออกมา แต่แป้งที่ได้จากวิธีนี้จะมีคุณภาพต่ำเพราะมีความสะอาดไม่เพียงพอและค่อนข้างหยาบ ไม่สามารถเก็บไว้ได้นาน มีกลิ่นเหม็นหืนเพราะยังมีไขมันสูงและเกิดมอดได้ง่าย อีกทั้งยังทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเสียหาย แป้งชนิดนี้จะมีราคาค่อนข้างถูก (วราทัศน์ วงศ์สุรไกร, 2539; Chen, Lu and Lii, 1999)

โม่เปียกหรือโม่น้ำเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุด วิธีนี้ทำได้โดยนำวัตถุดิบมาทำความสะอาดด้วยเครื่องจักรก่อนจึงนำไปล้างน้ำและแช่น้ำให้นิ่ม เพื่อให้โม่เป็นน้ำแป้งได้ง่ายขึ้น แล้วแยกน้ำออก และอบให้แห้งด้วยลมร้อนต่อไป แป้งที่ได้จะมีคุณภาพดีและสามารถเก็บไว้ได้นาน เหมาะแก่การนำไปใช้ เนื่องจากแป้งชนิดนี้มีความละเอียดและมีคุณภาพสูง ไม่มีกลิ่นเหม็นหืนเพราะได้แยกสิ่งสกปรกต่าง ๆ รวมทั้งรำและไขมันออกไป แต่วิธีนี้มีต้นทุนในการผลิตสูง เกิดการสูญเสียวิตามินและสารอาหารอื่น ๆ ที่สามารถละลายได้ในน้ำ และทำให้มีน้ำทิ้งเกิดขึ้น (วราทัศน์ วงศ์สุรไกร, 2539; Chen et al., 1999)

โม่ผสมเป็นวิธีที่ไม่ต้องการแป้งที่มีความละเอียดมากเกินไป เหมาะสำหรับนำไปใช้ประโยชน์เฉพาะอย่าง เช่น การนำไปทำขนมญี่ปุ่นบางชนิดที่เมื่อทำเป็นขนมแล้วจะมีรูปร่างสวยไม่แบนราบ วิธีการผลิตแป้งชนิดนี้คล้ายกับวิธีโม่เปียก คือ ทำความสะอาดวัตถุดิบด้วยเครื่องจักรก่อนจึงนำไปล้างน้ำให้สะอาดและแช่น้ำ จากนั้นจึงอบให้แห้งและโม่ให้เป็นแป้งต่อไป (วราทัศน์ วงศ์สุรไกร, 2539)

ในการโม่แป้งข้าว นอกจากจะใช้วิธีโม่แห้ง โม่เปียก และโม่ผสมแล้วอาจใช้วิธีโม่แบบกึ่งแห้ง (semi – dry milling) โดยจะนำเมล็ดข้าวหักไปแช่น้ำให้เมล็ดข้าวนิ่มก่อนการโม่เพื่อลดการเสียหายของเม็ดสตาร์ชที่จะเกิดขึ้นในช่วงของการโม่ แสดงในรูปที่ 2.6

รูปที่ 2.5 วิธีโม่ข้าวแบบแห้ง เปียก และผสม
ที่มา : วราทัศน์ วงศ์สุรไกร (2539)

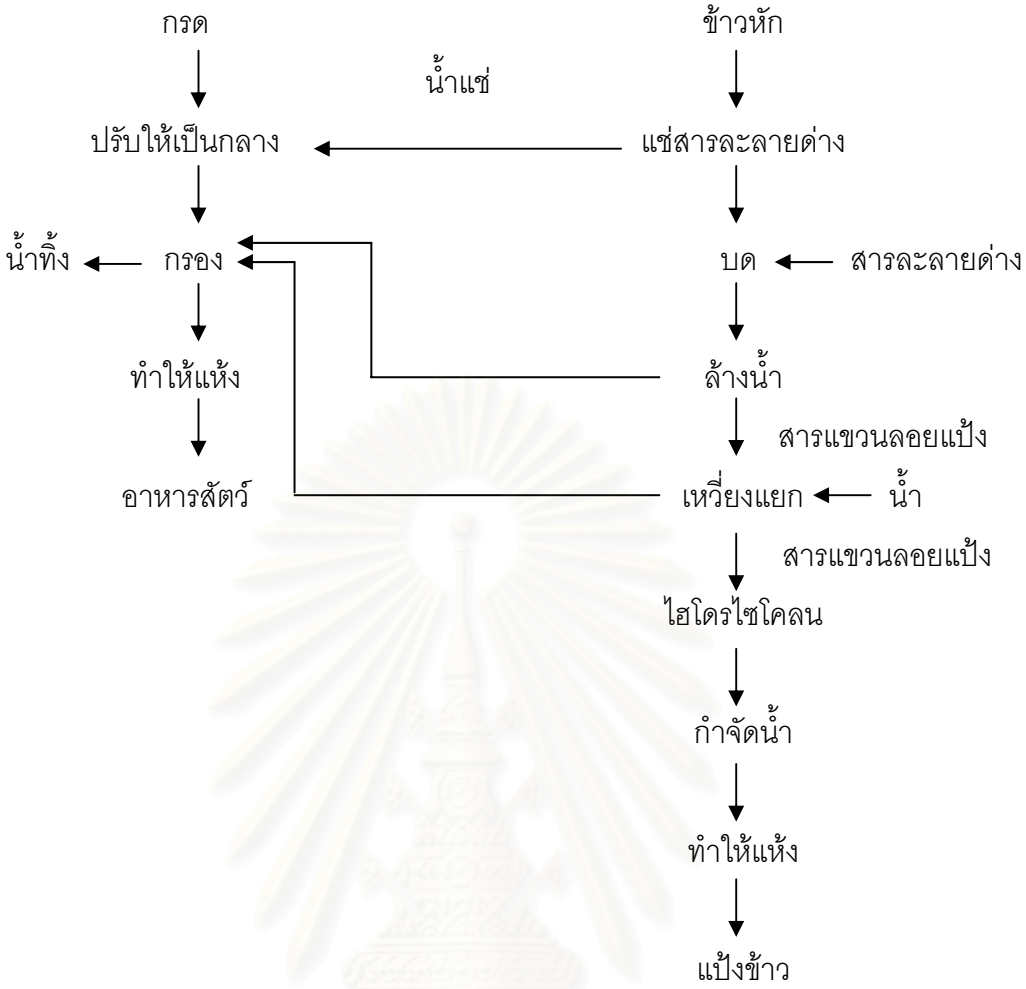
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.6 วิธีโม่แบบกึ่งแห้ง

ที่มา : Chen และคณะ (1999)

2) **การผลิตสตาร์ชข้าวเหนียว**

เริ่มจากการนำข้าวหักมาล้างทำความสะอาดและแยกสิ่งแปลกปลอม แช่ในสารละลายด่างเพื่อสกัดโปรตีนพร้อมกับมีการกวนช้าที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อแยกโปรตีนที่ติดอยู่กับแป้งออก ซึ่งสารละลายด่างจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนที่จับกันระหว่างโปรตีน ทำให้สามารถสกัดโปรตีนออกได้ หลังจากนั้นปล่อยให้ข้าวตกตะกอน แยกส่วนใสที่มีโปรตีน (steep liquor) ออก ทำซ้ำในขั้นตอนนี้จนกระทั่งเมล็ดข้าวนิ่ม แล้วนำเมล็ดข้าวมาโม่เปียกโดยใช้สารละลายด่างแทนน้ำ จากนั้นล้างน้ำและเหวี่ยงแยกโปรตีนส่วนที่ติดอยู่ในสารแขวนลอยแป้งออก นำมาผ่านไฮโดรไซโคลน กำจัดน้ำ แล้วทำให้แห้ง (Schoch, 1967) แสดงดังรูปที่ 2.7 สำหรับส่วนใสที่มีโปรตีนที่แยกได้ นำมาปรับสภาพให้เป็นกลางด้วยกรด ทำให้โปรตีนตกตะกอน แล้วกรองออก นำไปอบแห้งสามารถใช้เป็นอาหารสัตว์ได้



รูปที่ 2.7 กระบวนการผลิตสตาร์ชข้าว

ที่มา : Knight (1969)

ในการผลิตสตาร์ชข้าวนอกจากจะผลิตได้จากเมล็ดข้าวหักแล้ว ยังสามารถผลิตจากแป้งข้าวโดยแช่แป้งข้าวในสารละลายด่าง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และล้างน้ำ หลังจากนั้นจะมีกระบวนการผลิตเช่นเดียวกับการผลิตสตาร์ชจากเมล็ดข้าวหัก

การใช้สารละลายด่างในกระบวนการผลิตสตาร์ชนั้น จะได้สตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์สูง มีต้นทุนในการผลิตต่ำ แต่จะทำให้โครงสร้างของเม็ดสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งจะส่งผลไปถึงสมบัติทางกายภาพของสตาร์ช และทำให้มีน้ำทิ้งที่มีสารละลายด่างและเกลือปนอยู่ (Lim et al., 1999; Lumdubwong and Seib, 2000) นอกจากการใช้สารละลายด่างแล้วยังสามารถใช้ anionic detergent และ เอนไซม์โปรตีเอส (protease) ในการสกัดโปรตีนได้อีก

การใช้ anionic detergent เป็นวิธีการสกัดโปรตีนด้วยที่มีประสิทธิภาพในการแยกโปรตีนออกดีพอสมควร ซึ่งสามารถโปรตีนได้โดยสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนได้เช่นเดียวกับสารละลายด่าง และจะมีการเติมโซเดียมซัลไฟต์ทำหน้าที่เป็น reducing agent จะไปทำลายพันธะไดซัลไฟด์ที่จับกันภายในและระหว่างโมเลกุลของโปรตีน อีกทั้งยังสามารถแยกเส้นใย (fiber) ออกจากเอนโดสเปิร์มได้อีกด้วย แต่สารเคมีประเภทนี้จะทำให้มีปัญหาเกี่ยวกับน้ำทิ้งและมีผลทำให้ความหนืดของแป้งเปียก (paste consistency) มีค่าลดลง (Lumdubwong and Seib, 2000) ตัวอย่างสารประเภท anionic detergent ที่ใช้ในการสกัด เช่น โซเดียมลอริลซัลเฟต (sodium lauryl sulfate, SLS) โซเดียมโด เดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate, SDS) โดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต (dodecylbenzene sulfonate, DoBS) (Juliano, 1984; Lim et al. , 1999; Lumdubwong and Seib, 2000)

การใช้เอนไซม์โปรตีเอสเป็นวิธีการสกัดโปรตีนที่ไม่ทำลายเม็ดแป้ง เนื่องจากเอนไซม์มีความจำเพาะ (enzyme specificity) แต่ใช้เวลาในการสกัดนานซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านจุลินทรีย์และสตาร์ชที่ได้มีความบริสุทธิ์ต่ำเนื่องจากแยกเอนไซม์ออกจากสตาร์ชได้ยาก อีกทั้งเอนไซม์ยังมีราคาแพงจึงทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง (Lim et al., 1999; Lumdubwong and Seib, 2000)

ถึงแม้การใช้สารละลายด่างในการสกัดโปรตีนจะมีข้อเสียอยู่บ้าง แต่ในการผลิตสตาร์ชในทางอุตสาหกรรมก็ยังนิยมใช้สารละลายด่างมากกว่าการใช้ detergent หรือเอนไซม์โปรตีเอส (Hoseney, 1994) เนื่องจากโปรตีนในข้าวส่วนใหญ่เป็นโปรตีนชนิดกลูเตลิน ซึ่งสามารถละลายได้ในสารละลายด่าง สารละลายด่างที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (Lim et al., 1999)

2.2.4 ปัจจัยของกระบวนการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของแป้งและสตาร์ชจากข้าว

ปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของแป้งและสตาร์ชจากข้าว ได้แก่

1) วิธีโม่

ในการโม่แป้งข้าวเหนียว แป้งข้าวเหนียวจากการโม่แห้งจะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าแป้งข้าวเหนียวจากการโม่กึ่งแห้งและการโม่เปียก (Chen et al., 1999; Jomduang and Mohamed, 1994) การโม่แห้งสามารถรักษาองค์ประกอบทางเคมีของแป้งได้มากกว่าการโม่เปียกและการโม่กึ่งแห้ง เนื่องจากเมื่อแช่เมล็ดข้าวเหนียวในน้ำ โปรตีนที่สามารถละลายได้ในน้ำ น้ำตาล และไขมันที่จับกับส่วนที่ไม่ใช่สตาร์ช (nonstarch bound lipid) จะละลายน้ำออกมา (Chen et al., 1999) แป้งข้าวเหนียวจากการโม่แห้งจะมีความหนืดต่ำกว่าแป้งจากการโม่เปียก เนื่องจากการโม่แห้งทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นขณะโม่ สตาร์ชบางส่วนจึงเกิดการเสียหายและเกิดเจล ส่วนการโม่

เปียกเป็นการโม่พร้อมกับน้ำ ดังนั้นน้ำจึงช่วยลดอุณหภูมิและลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในการโม่ (Jomduang and Mohamed, 1994) นอกจากนี้แป้งที่ได้จากการโม่แห้งมีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) และมีการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) สูงกว่าการโม่ด้วยวิธีอื่นๆ การโม่แบบกึ่งแห้ง ทำให้อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด ค่า setback viscosity และค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลาติไนซ์มีค่าต่ำสุดเมื่อเทียบกับการโม่แห้งและการโม่เปียก (Chen et al., 1999) นอกจากนี้การเตรียมแป้งแบบโม่เปียก ทำให้สามารถสกัดโปรตีนได้มากขึ้นเมื่อใช้สารละลาย KOH และ Na_2CO_3 ในการสกัดโปรตีน แต่วิธีโม่ไม่มีผลต่อการสกัดโปรตีนเมื่อใช้สารละลาย NaOH (รุ่งทิวา วันสุขศรี, 2542)

ขนาดอนุภาคของแป้งข้าวเหนียวที่เตรียมได้จากการโม่แห้งและการโม่เปียกมีผลต่อความหนืด ดังนี้ สำหรับแป้งที่เตรียมได้จากการโม่แห้ง เมื่ออนุภาคของแป้งมีขนาดเล็กลง ความหนืดของแป้งเปียก (paste) จะมีค่าต่ำลง ทั้งนี้อาจจะเนื่องมาจากในการโม่แป้งให้มีขนาดอนุภาคเล็กจะทำให้มีความร้อนเกิดขึ้นขณะโม่ ทำให้สตาร์ชบางส่วนเกิดการเสียหายและเกิดเจล ในทางตรงกันข้าม แป้งที่ได้จากการโม่เปียก เมื่ออนุภาคของแป้งมีขนาดใหญ่ขึ้น ความหนืดของแป้งเปียกจะมีค่าต่ำลง เนื่องจากแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ไม่สามารถพองตัวได้อย่างเต็มที่เพราะสตาร์ชที่อยู่บริเวณผิวของอนุภาคจะเกิดการพองตัวก่อนและเป็นตัวขัดขวางการพองตัว (Jomduang and Mohamed, 1994)

2) ชนิดของเครื่องโม่

การใช้ชนิดของเครื่องโม่ที่แตกต่างกัน ทำให้แป้งข้าวเจ้ามีขนาดอนุภาค สมบัติทางความหนืด และค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลาติไนซ์แตกต่างกัน แป้งข้าวเจ้าที่โม่ด้วย burr mill มีขนาดอนุภาคใหญ่ที่สุด (290 μm) ส่วนแป้งที่โม่ด้วย pin mill จะมีขนาดอนุภาคเล็กที่สุด (111 μm) แป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กจะมีค่าเอนทาลปีต่ำกว่าแป้งที่มีขนาดอนุภาคใหญ่ แป้งที่โม่ด้วย burr mill จะมีอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดสูงกว่าและมีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ต่ำกว่าแป้งที่โม่ด้วยเครื่องโม่ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากแป้งที่โม่ด้วย burr mill มีขนาดอนุภาคใหญ่ มีแรงเสียดทานที่เกิดในการลดขนาดน้อย ดังนั้นสตาร์ชจึงเกิดการเสียหายน้อย (Nishita and Bean, 1982)

3) ความเร็วรอบของเครื่องโม่

เมื่อเพิ่มความเร็วรอบในการโม่แป้งข้าวเจ้า จะทำให้แป้งมีขนาดอนุภาคเล็กลง แต่อาจจะส่งผลให้เม็ดสตาร์ชเกิดความเสียหายเพิ่มมากขึ้น (Caprio and Aco, 1990)

4) วิธีสกัดโปรตีน

สตาร์ชข้าวเจ้าที่สกัดโปรตีนด้วยวิธี alkaline protease digestion จะมีค่า starch recovery (อัตราส่วนของปริมาณสตาร์ชในผลิตภัณฑ์ต่อปริมาณสตาร์ชในวัตถุดิบ) มากกว่าวิธีที่

ใช้สารละลายด่าง เนื่องจากวิธีที่ใช้สารละลายด่างทำให้น้ำแป้งมี pH 12 และมีความหนืดมากกว่าน้ำแป้งที่ได้จากวิธี alkaline protease digestion ดังนั้นในการกรองและการเซนตริฟิวจ์เพื่อแยกสตาร์ชจะทำได้ยากขึ้น ทำให้มีสตาร์ชปนไปกับของเหลว ค่า starch recovery ที่ได้จึงมีค่าต่ำกว่า สาเหตุที่น้ำแป้ง (pH 12) มีความหนืดสูงขึ้นเนื่องจากมีโปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส (non-cellulosic polysaccharide) ละลายอยู่

สตาร์ชข้าวเจ้าที่แยกด้วยวิธีการใช้สารละลายด่างมีปริมาณโปรตีนที่ปนเปื้อน (protein contamination) น้อยกว่าสตาร์ชที่แยกด้วยวิธี alkaline protease digestion สำหรับปริมาณสตาร์ช (starch content) เถ้า และ damaged starch ของสตาร์ชที่แยกได้จากทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน

ส่วนสมบัติทางกายภาพ สตาร์ชข้าวเจ้าที่แยกได้ด้วยวิธีการใช้สารละลายด่างจะมีอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืดและค่าเอนทาลปีต่ำกว่าสตาร์ชที่แยกด้วยวิธี alkaline protease digestion ความหนืดสูงสุด (pasting peak) และค่า setback viscosity ของสตาร์ชข้าวเจ้าที่แยกได้ด้วยวิธีการใช้สารละลายด่างมีค่าสูงกว่าสตาร์ชที่แยกด้วยวิธี alkaline protease digestion (Lumdubwong and Seib, 2000)

5) ชนิดของสารละลายและสภาวะที่ใช้ในการสกัดโปรตีน

การสกัดโปรตีนจากแป้งข้าวเจ้าด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้น 1.2% ที่มีโซเดียมซัลไฟต์ 0.12% จะมีประสิทธิภาพในการสกัดมากกว่าการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2% และโซเดียมลอริลซัลเฟตความเข้มข้น 1.2% ที่มีโซเดียมซัลไฟต์ 0.12% การสกัดโปรตีนจะมีประสิทธิภาพดีในช่วง 2 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนค่อนข้างคงที่ เมื่อมีการสกัดโปรตีนซ้ำในระยะเวลาสั้นๆ (1-2 ชั่วโมง) ด้วยสารละลายใหม่ โปรตีนจะถูกสกัดออกมาได้มากขึ้น แต่การสกัดโปรตีนซ้ำหลาย ๆ ครั้งจะทำให้ Pasting temperature มีค่าลดลง ค่าความหนืดสูงสุดและ Breakdown มีค่าลดลงเมื่อมีการสกัดครั้งแรก แต่หลังจากนั้นค่าจะเพิ่มขึ้นจนถึงครั้งที่ 4 ส่วนค่าความหนืดสุดท้าย (Final viscosity) ที่ 50 °C อยู่ในช่วง133-152 RVU โดยความหนืดสุดท้ายไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนครั้งในการสกัด แสดงว่าเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวหรือเกิดเจลที่อุณหภูมิต่ำ และเม็ดสตาร์ชที่เกิดการพองตัวแล้วก็พร้อมที่จะถูกทำลายโดยแรงเฉือน การเพิ่มอุณหภูมิและเวลาในการสกัด ทำให้สามารถสกัดโปรตีนได้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยแต่จะทำให้มีการสูญเสียสตาร์ชเกิดขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างการใช้ NaOH และ Surfactant ในการสกัด พบว่า การใช้ NaOH มีการสูญเสียสตาร์ชน้อยกว่า (Lim et al., 1999) นอกจากนี้การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย NaOH, KOH และ Na_2CO_3 ทำให้ประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มเวลา ทำให้สามารถสกัดโปรตีนเพิ่มได้เล็กน้อย (รุ่งทิวา วันสุขศรี, 2542)

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

นำข้าวเปลือกจากข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 (รูปที่ ก.1) จากสถานีทดลองข้าวขอนแก่น สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ มากะเทาะและขัดขาวเมล็ดข้าวด้วยเครื่องสีข้าว ที่จังหวัดขอนแก่น จากนั้นเก็บและบรรจุแบบสุญญากาศในถุงพลาสติกลามิเนต Polyester/ Aluminium/Nylon/Linear-low density polyethylene แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเพื่อใช้ในงานวิจัยต่อไป

3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6

นำข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ดังนี้

3.2.1.1 ปริมาณความชื้น โดยดัดแปลงจากวิธี AOAC (1995) section 32.1.03 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.1)

3.2.1.2 ปริมาณโปรตีน โดยดัดแปลงจากวิธี AOAC (1995) section 32.2.03 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.2)

3.2.1.3 ปริมาณเถ้า โดยดัดแปลงจากวิธี AOAC (1995) section 32.1.05 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.3)

3.2.1.4 ปริมาณไขมัน โดยดัดแปลงจากวิธี AOAC (1995) section 32.1.13 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.4)

3.2.1.5 ปริมาณเส้นใย โดยดัดแปลงจากวิธี AOAC (1995) section 4.6.02 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.5)

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

3.2.1.7 ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (Total starch content) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Clegg (1956) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.7)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1.8 ปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพกติน และสัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน (Juliano, 1971) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.8)

3.2.2 การศึกษาผลของวิธีโม่แป้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว

3.2.2.1 การเตรียมแป้งข้าวเหนียว

นำข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 มาโม่ด้วยวิธีโม่แห้ง โม่เปียก และโม่ผสม ดังนี้

1) วิธีโม่แห้ง

ดัดแปลงจากวิธีของ Chen และคณะ (1999) โดยนำข้าวเหนียวมาโม่ด้วยเครื่องโม่หิน (Stone mill แบบ Single disc) (รูปที่ ก.2) 2 รอบ โดยโม่หยาบและโม่ละเอียด จากนั้นนำแป้งที่โม่แล้วมาร่อนผ่านตะแกรงร่อน ยี่ห้อ Retsch รุ่น VIBRO ขนาดตะแกรง 70 mesh แล้วนำแป้งส่วนที่ผ่านตะแกรงไปใช้ในการทดลองต่อไป

2) วิธีโม่เปียก

ดัดแปลงจากวิธีของ Chen และคณะ (1999) โดยนำข้าวเหนียวมาแช่น้ำในอัตราส่วน ข้าว:น้ำ = 1:4 (w/w) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ความชื้น ประมาณ 30%) จากนั้นนำข้าวมาโม่ด้วยเครื่องโม่หิน 2 รอบ โดยโม่พร้อมน้ำ แล้วแยกน้ำออกด้วยเครื่อง hydraulic press และนำแป้งที่ได้ไปอบแห้งในตู้อบแห้งแบบถาด (tray dryer) ยี่ห้อ Microtemp รุ่น TFC-900 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง (ความชื้น ประมาณ 12%) จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 70 mesh แล้วนำแป้งส่วนที่ผ่านตะแกรงไปใช้ในการทดลองต่อไป

3) วิธีโม่ผสม

ดัดแปลงจากวิธีของ วราทัศน์ วงศ์สุรไกร (2539) โดยนำข้าวเหนียวมาแช่น้ำในอัตราส่วน ข้าว:น้ำ = 1:4 (w/w) เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ความชื้น ประมาณ 30%) จากนั้นแยกน้ำออกและอบแห้งในตู้อบแห้งแบบถาด อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง (ความชื้นประมาณ 12%) แล้วนำข้าวที่อบแล้วมาโม่ด้วยเครื่องโม่หิน 2 รอบ จากนั้นนำแป้งที่โม่แล้วมาร่อนผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 70 mesh แล้วนำแป้งส่วนที่ผ่านตะแกรงไปใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งที่ผลิตได้

นำแป้งที่ได้จากการโม่ทั้ง 3 วิธี มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ ดังนี้

1) ปริมาณโปรตีน

2) ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด

3) ปริมาณ Damaged starch ตามวิธีของ AACC (1995) Method 76-30A (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.9)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) ปริมาณผลผลิต (อัตราส่วนของแป้งต่อปริมาณข้าวเหนียว) ซึ่งแสดงค่าเป็น % โดยน้ำหนักแห้ง

5) สมบัติทางความหนืด ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (RVA Series 4, Australia) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.10)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957)

3.2.3 การศึกษาผลของกระบวนการผลิตต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชข้าวเหนียว

นำแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากข้อ 3.2.2 มาผลิตเป็นสตาร์ช ด้วยวิธีที่ดัดแปลงจาก Lim และคณะ (1999) โดยนำแป้งข้าวเหนียวมาเติมสารละลายที่ใช้ในการสกัดโปรตีน ในอัตราส่วนแป้ง:สารละลาย = 1:3 (w/v) กวนผสมด้วย magnetic stirrer ยี่ห้อ Framo-Geratetechnik รุ่น M21/1 ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นเหวี่ยงแยกสารละลายออกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ยี่ห้อ Heraeus-Christ รุ่น Varifuge K ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วเติมน้ำกลั่น ในอัตราส่วนแป้งเริ่มต้น:น้ำกลั่น = 1:2 (w/v) ปรับสารละลายแป้งที่ได้ให้มี pH เท่ากับ 7.0 (pH meter ยี่ห้อ Horiba รุ่น F-21) โดยใช้กรดไฮโดรคลอริค 0.5 N จากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำแป้งมาล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง ในอัตราส่วนแป้ง:น้ำกลั่น = 1:2 (w/v) และเหวี่ยงแยกน้ำกลั่นออกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นล้างแป้งด้วยเอธานอล 95% ในอัตราส่วนแป้ง:เอธานอล = 1:2 (w/v) และเหวี่ยงแยกเอธานอลออกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำตะกอนสตาร์ชที่ได้ไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งแบบถาด อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 ชั่วโมง (ความชื้นประมาณ 12%) จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงร่อน ขนาด 100 mesh แล้วนำสตาร์ชส่วนที่ผ่านตะแกรงไปใช้ในการทดลองต่อไป

โดยแปรชนิดของสารละลายที่ใช้สกัด 3 ชนิด และความเข้มข้นของสารละลายแต่ละชนิดเป็น 4 ระดับ ได้แก่

1) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5%(w/w)
2) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4%(w/w)
3) สารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ที่มีโซเดียมซัลไฟต์ 0.12%(w/w) ความเข้มข้น 0.9, 1.1, 1.3 และ1.5%(w/w)

นำสตาร์ชที่ผลิตได้มาวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและกายภาพ ดังนี้

1) องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต

2) ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด

3) ปริมาณ Damaged starch

4) ปริมาณอะไมโลส

5) ปริมาณผลผลิตของสตาร์ช (อัตราส่วนของสตาร์ชที่สกัดได้ต่อปริมาณข้าวเหนียว) ซึ่งแสดงค่าเป็น % โดยน้ำหนักแห้ง (Radosavljevic, Jane and Johnson, 1998)

6) สมบัติทางความหนืด ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser

7) สมบัติทางความร้อน ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ยี่ห้อ Perkin-Elmer รุ่น DSC-7 (Kim et al., 1995) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.11)

8) Freeze-thaw stability โดยดัดแปลงจากวิธีของ Liu, Ramsden และ Corke (1999) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.12)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran and Cox, 1957)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 (ตารางที่ 4.1) พบว่า มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบมากที่สุด รองลงมาคือ โปรตีน เถ้า เส้นใยและไขมัน ตามลำดับ ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 มีสูงถึง 89.04 % โดยน้ำหนักแห้งซึ่งมีปริมาณใกล้เคียงกับปริมาณคาร์โบไฮเดรต แสดงว่าคาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยสตาร์ชเป็นส่วนใหญ่ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 (ตารางที่ 4.2) พบว่าเมื่อจัดประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลสตามหลักของ International Rice Research Institute (IRRI) ปี ค.ศ. 1972 ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 จัดเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสน้อยมาก ซึ่งองค์ประกอบทางเคมีของวัตถุดิบจะส่งผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งและสตาร์ชข้าวเหนียว ซึ่งจะศึกษาในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมี ของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6

องค์ประกอบ	ปริมาณ[a] (%)
ความชื้น	11.98±0.00
คาร์โบไฮเดรต	89.70±0.10
สตาร์ชทั้งหมด	89.04±0.88
โปรตีน	9.30±0.10
เถ้า	0.52±0.01
เส้นใย	0.29±0.01
ไขมัน	0.23±0.01

a มีหน่วยเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง ยกเว้นความชื้นเป็นร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

ตารางที่ 4.2 ปริมาณอะไมโลส อะไมโลเพกติน และสัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน ของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
อะไมโลส	5.56±0.11
อะไมโลเพกติน	94.44±0.11
สัดส่วนของอะไมโลสต่ออะไมโลเพกติน	0.06±0.00

4.2 ผลของวิธีโม่แป้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียว

การโม่แป้งสามารถทำได้หลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะมีรายละเอียดแตกต่างกันไป ทำให้แป้งที่ได้อาจมีสมบัติแตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีโม่แป้ง 3 วิธี ได้แก่ โม่แห้ง โม่เปียก และโม่ผสม และติดตามสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ปริมาณ Damaged starch ปริมาณผลผลิต และสมบัติทางความหนืด

จากการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (ตารางที่ 4.3) พบว่า วิธีการโม่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในแป้งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งโม่แห้งมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด รองลงมาเป็นแป้งโม่ผสม และแป้งโม่เปียก ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากในการโม่ผสมและโม่เปียกมีการแช่ข้าวในน้ำ โปรตีนอัลบูมินซึ่งอยู่ที่ชั้นแอลิวโรน (Lim et al., 1999) ที่สามารถละลายน้ำได้อาจละลายออกไป (Chiang and Yeh, 2002; Chen et al., 1999; Metcalf and Lund, 1985) นอกจากนี้การโม่เปียกซึ่งเป็นวิธีการโม่ข้าวพร้อมกับน้ำ อนุภาคของข้าวซึ่งมีขนาดเล็กลง มีพื้นที่ผิวสัมผัสและระยะเวลาในการสัมผัสกับน้ำมากขึ้น จึงทำให้แป้งโม่เปียกมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่น้อยกว่าแป้งโม่ผสม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chen และคณะ (1999) และ Piacquadio, Stefano และ Sciacalepore (2000) ซึ่งพบว่าการโม่แห้งข้าวเหนียวและข้าวโพด ทำให้แป้งที่ได้มีปริมาณโปรตีนมากกว่าการโม่เปียก

เมื่อพิจารณาปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (ตารางที่ 4.3) พบว่า ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในแป้งที่ได้จากการโม่ทั้ง 3 วิธีแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งโม่เปียกมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดสูงสุด รองลงมาคือแป้งโม่ผสมและแป้งโม่แห้ง ตามลำดับ สอดคล้องกับปริมาณโปรตีนในแป้งซึ่งแป้งโม่เปียกมีปริมาณโปรตีนน้อยที่สุด เมื่อปริมาณโปรตีนในแป้งลดลงจึงส่งผลให้สตาร์ชทั้งหมดมีปริมาณสูงขึ้น

จากการวิเคราะห์ปริมาณ Damaged starch (ตารางที่ 4.3) พบว่า วิธีโม่มีผลต่อปริมาณ Damaged starch ของแป้งที่ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งโม่แห้งมีปริมาณ Damaged starch สูงสุด เนื่องมาจากในการโม่แห้งมีความร้อนเกิดขึ้น จึงทำให้เม็ดสตาร์ชบางส่วนเสียหายและเกิดเจล ส่วนการโม่เปียกเป็นการโม่ข้าวพร้อมกับน้ำ ซึ่งน้ำจะช่วยลดอุณหภูมิและแรงเสียดทานในการโม่จึงทำให้สตาร์ชเกิดการเสียหายน้อยกว่า ดังนั้นจึงมีปริมาณ Damaged starch น้อยกว่า (Chiang and Yeh, 2002; Jomduang and Mohamed, 1994; Lumdubwong and Seib, 2000) ส่วนการโม่ผสมซึ่งมีการแช่ข้าวก่อนนำไปอบแห้งจนมีความชื้นประมาณ 12% ทำให้เมล็ดข้าวบางส่วนร้าวและแตกหัก แรงที่ใช้ในการลดขนาดจึงน้อยกว่าการโม่แห้ง ทำให้เกิดความร้อนน้อยกว่า ดังนั้นสตาร์ชจึงเสียหายน้อยกว่าการโม่แห้ง

สำหรับปริมาณผลผลิต (ตารางที่ 4.3) พบว่า ปริมาณผลผลิตแป้งจากการโม่เปียกมีค่าน้อยที่สุด ส่วนแป้งจากการโม่แห้งและโม่ผสมมีปริมาณผลผลิตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากในการโม่เปียกมีการใช้น้ำในการแช่ข้าวและการโม่ข้าวพร้อมกับน้ำ ขนาดอนุภาคของข้าวที่เล็กลงทำให้มีแป้งและองค์ประกอบอื่น ๆ เช่นโปรตีนอัลบูมิน น้ำตาล วิตามินที่ละลายน้ำได้ และไขมันที่จับกับส่วนที่ไม่ใช่สตาร์ช (nonstarch bound lipid) ปะปนออกไปกับน้ำ (Chiang and Yeh, 2002; Chen et al., 1999; Metcalf and Lund, 1985) ดังนั้นปริมาณผลผลิตของแป้งที่ได้จากการโม่เปียกจึงมีค่าน้อยกว่าแป้งที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีอื่น ซึ่งปริมาณผลผลิตสอดคล้องกับปริมาณโปรตีน กล่าวคือ วิธีการโม่ที่ทำให้แป้งมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่น้อยจะมีปริมาณผลผลิตน้อยลงไปด้วย

ตารางที่ 4.3 สมบัติของแป้งที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ

สมบัติ	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง) ในแป้งที่โม่ด้วยวิธี		
	โม่แห้ง	โม่เปียก	โม่ผสม
โปรตีน	9.23^{c} ±0.04	8.86^{a} ±0.01	9.05^{b} ±0.03
สตาร์ชทั้งหมด	86.36^{a} ±0.21	90.33^{c} ±0.30	87.78^{b} ±0.60
Damaged starch	22.63^{c} ±0.85	7.16^{a} ±1.72	15.12^{b} ±0.80
ปริมาณผลผลิต	82.36^{b} ±7.68	74.85^{a} ±4.75	82.28^{b} ±7.70

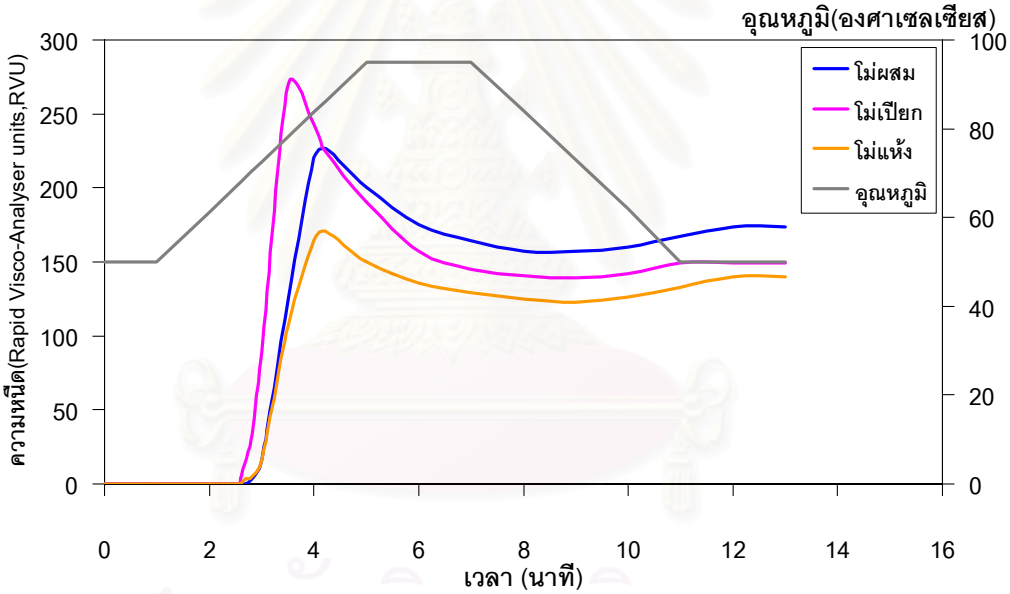
a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากสมบัติทางความหนืดของแป้งซึ่งวัดด้วย Rapid Visco Analyser (RVA) (ตารางที่ 4.4, รูปที่ 4.1) พบว่าวิธีโม่มีผลต่อสมบัติทางความหนืดของแป้งอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีความสอดคล้องกับปริมาณ Damaged starch โดยแป้งโม่แห้งมีค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) และผลต่างระหว่างความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (Breakdown) ต่ำที่สุด เนื่องจากการโม่แห้งเป็นวิธีที่ทำให้เม็ดสตาร์ชเสียหายมากที่สุด ทำให้แป้งมีความหนืดต่ำที่สุด อีกทั้งแป้งโม่แห้งยังมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งที่โม่ด้วยวิธีอื่น ๆ (ตารางที่ 4.3) ซึ่งโปรตีนจะไปขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้แป้งมีความหนืดต่ำลง (Hamaker, Griffin and Moldenhauer, 1991; Hamaker and Griffin, 1993 ; Lim et al., 1999) เมื่อพิจารณาค่า Setback ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลเมื่อมีการลดอุณหภูมิลง พบว่าแป้งโม่ผสมมีค่า Setback สูงที่สุด แสดงว่าแป้งโม่ผสมมีการเกิดรีโทรเกรเดชันมากที่สุด ส่วนค่าอุณหภูมิการเกิดเจล (Pasting temperature) เป็นอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งความหนืดจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อน แล้วเกิดการเจลาติไนซ์ ความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจน ทำให้ร่างแหไมเซลล์ภายในเม็ดสตาร์ชอ่อนแอ เม็ดสตาร์ชจึงดูดน้ำและพองตัวขึ้น เป็นผลทำให้น้ำบริเวณโดยรอบเม็ดสตาร์ชเหลือน้อย เม็ดสตาร์ชที่พองตัวขึ้นจะเคลื่อนไหวได้ยาก ทำให้มีความหนืดเกิดขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Sanders, 1996) จากการทดลองพบว่า แป้งโม่เปียกมีอุณหภูมิการเกิดเจลต่ำที่สุด เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด ทำให้เม็ดสตาร์ชมีแรงยึดเหนี่ยวน้อยสุด ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ในการทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวจึงต่ำ (Hamaker and Griffin, 1993) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งโม่แห้งและโม่ผสม แป้งโม่ผสมมีอุณหภูมิการเกิดเจลสูงกว่าแป้งโม่แห้ง เนื่องจากแป้งโม่แห้งมีปริมาณ Damaged starch สูง สตาร์ชจึงพองตัวได้ง่ายกว่า ค่าอุณหภูมิการเกิดเจลจึงต่ำ (Ellis et al., 1998)

ตารางที่ 4.4 สมบัติทางความหนืดของแป้งที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ เมื่อวัดด้วย RVA

วิธีโม่	Peak viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Setback (RVU)	Pasting temperature (°C)
โม่แห้ง	170.90^{a} ±1.43	47.71^{a} ±0.81	21.36^{ab} ±0.40	69.25^{ab} ±1.85
โม่เปียก	269.44^{c} ±1.18	128.42^{c} ±0.91	20.71^{a} ±0.45	68.31^{a} ±1.28
โม่ผสม	227.13^{b} ±4.22	68.19^{b} ±3.69	23.56^{b} ±1.85	71.33^{b} ±0.91

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.1 สมบัติทางความหนืดของแป้งที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆ ที่ความเข้มข้น 9.21% โดยน้ำหนักแห้ง

4.3 ผลของกระบวนการผลิตต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชข้าวเหนียว

เมื่อนำแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ มาสกัดโปรตีน โดยแปรชนิดของสารละลาย 3 ชนิด และความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสกัดโปรตีน 4 ระดับ ดังนี้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5%(w/w) สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4%(w/w) สารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 0.9, 1.1, 1.3 และ 1.5%(w/w) แล้วศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้ ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด ปริมาณ Damaged starch ปริมาณอะไมโลส ปริมาณผลผลิต สมบัติทางความหนืด สมบัติทางความร้อน และ Freeze-thaw stability พบว่า

สตาร์ชที่ผลิตได้มีปริมาณโปรตีน (ตารางที่ 4.5 - 4.7) น้อยกว่าแป้ง (ตารางที่ 4.3) เนื่องจากการใช้สารละลายที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ทำให้โปรตีนกลูเตลินซึ่งละลายได้ในด่างและเป็นโปรตีนที่มีปริมาณมากที่สุดในข้าวละลายออกมา (Lim et al., 1999) ทำให้โปรตีนในสตาร์ชมีปริมาณลดลง และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณโปรตีนในสตาร์ชที่ผลิตได้พบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2-0.5% และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1% ในการสกัดโปรตีน สตาร์ชโม่แห้งมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่มากที่สุด รองลงมาคือ สตาร์ชโม่ผสม และสตาร์ชโม่เปียก ตามลำดับ เนื่องมาจากแป้งโม่แห้งมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ดังนั้นเมื่อผ่านการสกัดที่สภาวะเดียวกันจึงทำให้สตาร์ชโม่แห้งมีโปรตีนสูงที่สุด แต่เมื่อใช้สารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.3% สตาร์ชโม่ผสมมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่มากที่สุด ส่วนการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 2-4% และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 0.9, 1.1 และ 1.5% พบว่า วิธีโม่ไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน ($p>0.05$) เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นสูงขึ้น ปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในสตาร์ชจะมีค่าลดลงเช่นเดียวกับสตาร์ชโม่เปียกเมื่อใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต และสตาร์ชโม่แห้งและโม่ผสมเมื่อใช้สารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้นสารละลายจะมีฤทธิ์เป็นด่างมากขึ้น โปรตีนกลูเตลินจึงสามารถละลายออกมาได้มากขึ้นทำให้ปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในสตาร์ชลดลง แต่สตาร์ชโม่แห้งและโม่ผสมเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต และสตาร์ชโม่เปียกเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต พบว่าความเข้มข้นของสารละลายไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน ($p>0.05$) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนของสารละลายทั้งสามชนิดพบว่า สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนสูงที่สุด (มีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่ในสตาร์ชน้อยที่สุด) รองลงมาคือ สารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ตามลำดับ โดยที่สารละลาย

โซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนตมีฤทธิ์เป็นด่าง สามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนที่จับกันระหว่างโปรตีน จึงสกัดโปรตีนออกมาได้ (Knight, 1969; Watson, 1984) แต่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งเป็นด่างแก่ ส่วนสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารละลายเกลือ มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อน ดังนั้นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนได้มากกว่า ทำให้สกัดโปรตีนออกมาได้มากกว่า ส่วนสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตซึ่งเป็น anionic detergent มีฤทธิ์เป็นด่างอ่อนและสามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนได้เช่นเดียวกัน นอกจากนี้การเติมโซเดียมซัลไฟต์ (Na_2SO_3) ในสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตยังทำหน้าที่เป็น reducing agent ซึ่งจะไปทำลายพันธะไดซัลไฟด์ที่จับกันภายในและระหว่างโมเลกุลของโปรตีน ดังนั้นสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตจึงสามารถสกัดโปรตีนออกได้มากกว่าสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Lim et al., 1999; Watson, 1984) แต่สกัดโปรตีนได้น้อยกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เนื่องจากสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตเป็นด่างอ่อน ถึงแม้จะมีการเติมโซเดียมซัลไฟต์เพื่อไปทำลายพันธะไดซัลไฟด์ แต่กรดอะมิโนที่มี Sulfhydryl group ได้แก่ Cystine Cysteine และ Methionine ในข้าวมีปริมาณอยู่น้อยมาก (Kent, 1983) ดังนั้นสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตจึงสามารถสกัดโปรตีนออกได้น้อยกว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 4.5 ปริมาณโปรตีนในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
โม่แห้ง	$6.84^{cD} \pm 0.07$	$6.57^{cC} \pm 0.10$	$6.08^{cB} \pm 0.07$	$4.91^{cA} \pm 0.04$
โม่เปียก	$4.29^{aD} \pm 0.03$	$3.22^{aC} \pm 0.06$	$2.49^{aB} \pm 0.16$	$2.16^{aA} \pm 0.02$
โม่ผสม	$6.09^{bD} \pm 0.06$	$5.10^{bC} \pm 0.06$	$4.65^{bB} \pm 0.02$	$4.29^{bA} \pm 0.10$

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C, D ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณโปรตีนในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	1.0	2.0^{ns}	3.0^{ns}	4.0^{ns}
โม่แห้ง^{ns}	8.10^{b} ±0.11	7.94 ±0.21	7.81±0.11	7.83 ±0.04
โม่เปียก	7.39^{aAB} ±0.01	7.40^{AB} ±0.18	7.62^{B} ±0.02	7.06^{A} ±0.17
โม่ผสม^{ns}	7.98^{b} ±0.04	7.97 ±0.08	7.68±0.05	7.63 ±0.28

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ปริมาณโปรตีนในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณโปรตีน (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.9^{ns}	1.1^{ns}	1.3	1.5^{ns}
โม่แห้ง	7.14^{C} ±0.30	6.69^{BC} ±0.26	6.54^{bAB} ±0.08	6.04^{A} ±0.03
โม่เปียก^{ns}	6.38 ±0.44	6.23 ±0.38	5.75^{a} ±0.08	5.47 ±0.80
โม่ผสม	7.47^{B} ±0.28	6.95^{A} ±0.02	6.81^{cA} ±0.04	6.65^{A} ±0.10

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สำหรับปริมาณไขมัน เถ้า และเส้นใย (ตารางที่ 4.8-4.16) พบว่า สตาร์ชที่ผลิตได้มีปริมาณไขมัน เถ้า และเส้นใยน้อยกว่าข้าวซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบ (ตารางที่ 4.1) โดยที่ สตาร์ชโม่เปียกส่วนใหญ่จะมีปริมาณองค์ประกอบเหล่านี้เหลืออยู่น้อยที่สุด รองลงมาคือวิธีโม่ผสม และโม่แห้งตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากไขมันในข้าวมีฟอสโฟไลปิดและไกลโคไลปิด ซึ่งเป็นไขมันที่มีขั้วอยู่ในปริมาณสูงถึง 58 และ 16% ของไขมันทั้งหมด ตามลำดับ (Juliano, 1985) จึงอาจจะถูกชะออกไปกับน้ำระหว่างการแช่และโม่เช่นเดียวกับเถ้า (Chen et al., 1999; Chiang and Yeh, 2002; Metcalf and Lund, 1985) แม้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสกัดโปรตีนจะทำให้สตาร์ชที่ผลิตได้มีไขมันลดลง ในขณะที่ปริมาณเถ้ามีแนวโน้มมากขึ้น แต่สตาร์ชที่ผลิตได้มีองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้อยู่ในปริมาณที่น้อยมาก โดยมีปริมาณไขมันอยู่ในช่วง 0.01-0.19 % โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 0.06-0.23 % โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณเส้นใยอยู่ในช่วง 0.14-0.21 % โดยน้ำหนักแห้ง

ตารางที่ 4.8 ปริมาณไขมันในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณไขมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
โม่แห้ง	$0.17^{bB} \pm 0.02$	$0.16^{cAB} \pm 0.00$	$0.15^{cAB} \pm 0.01$	$0.14^{cA} \pm 0.00$
โม่เปียก	$0.10^{aC} \pm 0.01$	$0.08^{aC} \pm 0.00$	$0.04^{aB} \pm 0.01$	$0.02^{aA} \pm 0.01$
โม่ผสม	$0.13^{aC} \pm 0.00$	$0.11^{bBC} \pm 0.01$	$0.09^{bAB} \pm 0.01$	$0.06^{bA} \pm 0.01$

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.9 ปริมาณไขมันในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น ต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณไขมัน (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
โม่แห้ง	$0.17^{cC} \pm 0.00$	$0.14^{cB} \pm 0.01$	$0.13^{cB} \pm 0.01$	$0.01^{aA} \pm 0.00$
โม่เปียก	$0.11^{aD} \pm 0.01$	$0.08^{aC} \pm 0.01$	$0.05^{aB} \pm 0.00$	$0.02^{bA} \pm 0.00$
โม่ผสม	$0.15^{bD} \pm 0.01$	$0.11^{bC} \pm 0.01$	$0.07^{bB} \pm 0.01$	$0.04^{cA} \pm 0.00$

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C, D ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.10 ปริมาณไขมันในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณไขมัน(% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.9	1.1	1.3	1.5
โม่แห้ง	$0.19^{cC} \pm 0.01$	$0.15^{cB} \pm 0.01$	$0.13^{cA} \pm 0.01$	$0.11^{cA} \pm 0.00$
โม่เปียก	$0.04^{aA} \pm 0.00$	$0.04^{aA} \pm 0.00$	$0.02^{aB} \pm 0.00$	$0.01^{aA} \pm 0.00$
โม่ผสม	$0.11^{bB} \pm 0.01$	$0.08^{bA} \pm 0.01$	$0.07^{bA} \pm 0.01$	$0.06^{bA} \pm 0.01$

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.11 ปริมาณเถ้าในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณเถ้า (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.2	0.3[ns]	0.4	0.5
โม่แห้ง	0.10[bA] ±0.00	0.12[A] ±0.01	0.21[bB] ±0.01	0.23[bB] ±0.04
โม่เปียก	0.06[aA] ±0.00	0.09[B] ±0.00	0.11[aC] ±0.00	0.12[aC] ±0.01
โม่ผสม[ns]	0.10[b] ±0.01	0.12±0.02	0.12[a] ±0.01	0.14[a] ±0.00

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.12 ปริมาณเถ้าในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณเถ้า (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	1.0[ns]	2.0	3.0[ns]	4.0[ns]
โม่แห้ง[ns]	0.23±0.00	0.22[c] ±0.02	0.22±0.02	0.22±0.01
โม่เปียก[ns]	0.16±0.06	0.19[b] ±0.01	0.21±0.02	0.22±0.01
โม่ผสม[ns]	0.12±0.02	0.14[a] ±0.00	0.18±0.02	0.20±0.04

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ปริมาณเถ้าในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่างๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณเถ้า (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.9	1.1 ^{ns}	1.3	1.5^{ns}
โม่แห้ง	0.10^{bA} ±0.01	0.10^{A} ±0.01	0.15^{bB} ±0.01	0.17^{B} ±0.02
โม่เปียก	0.07^{aA} ±0.00	0.08^{AB} ±0.01	0.10^{aB} ±0.01	0.10^{B} ±0.01
โม่ผสม ^{ns}	0.10^{b} ±0.00	0.12±0.01	0.12^{ab} ±0.01	0.14±0.04

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.14 ปริมาณเส้นใยในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณเส้นใย (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.2	0.3^{ns}	0.4^{ns}	0.5^{ns}
โม่แห้ง	0.18^{bB} ±0.01	0.19^{BC} ±0.00	0.16^{AB} ±0.00	0.14^{A} ±0.01
โม่เปียก^{ns}	0.15^{a} ±0.00	0.19±0.01	0.18±0.01	0.17±0.01
โม่ผสม	0.21^{bB} ±0.01	0.17^{A} ±0.00	0.15^{A} ±0.01	0.16^{A} ±0.01

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.15 ปริมาณเส้นใยในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณเส้นใย[ns] (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
โม่แห้ง	0.18±0.01	0.18±0.00	0.18±0.01	0.19±0.01
โม่เปียก	0.17±0.01	0.16±0.01	0.17±0.00	0.17±0.01
โม่ผสม	0.16±0.01	0.17±0.01	0.18±0.01	0.18±0.01

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.16 ปริมาณเส้นใยในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณเส้นใย (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.9	1.1[ns]	1.3[ns]	1.5[ns]
โม่แห้ง[ns]	0.19[b] ±0.00	0.18±0.01	0.17±0.01	0.17±0.01
โม่เปียก[ns]	0.18[ab] ±0.01	0.17±0.01	0.17±0.01	0.20±0.02
โม่ผสม	0.16[aA] ±0.01	0.20[B] ±0.00	0.18[B] ±0.00	0.19[B] ±0.01

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สำหรับปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ตารางที่ 4.17-4.19) พบว่า เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตในการสกัดโปรตีน สตาร์ชจากแป้งโม่เปียกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด รองลงมาคือแป้งโม่ผสม และโม่แห้ง ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งโม่เปียกมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่น้อยที่สุด (ตารางที่ 4.3) ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในแป้งจึงมากที่สุด เมื่อผ่านการสกัดโปรตีน แป้งโม่เปียกจึงเหลือโปรตีนอยู่น้อยที่สุด ส่งผลให้สตาร์ชมี

คาร์โบไฮเดรตมากที่สุด เมื่อใช้สารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.3% สตาร์ชโม่เปียกมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด สตาร์ชโม่แห้งและโม่ผสมมีปริมาณไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เมื่อใช้สารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตที่ความเข้มข้น 0.9, 11 และ 1.5% พบว่าวิธีโม่ไม่มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต ($p>0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สตาร์ชที่ได้จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับสตาร์ชโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต และสตาร์ชโม่แห้งและโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสตาร์ชที่สูงขึ้น สอดคล้องกับปริมาณโปรตีนและไขมันที่ลดลงอีกด้วย ส่วนสตาร์ชโม่ผสมและโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต และสตาร์ชโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต พบว่าความเข้มข้นของสารละลายไม่มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต ($p>0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณโปรตีนที่ไม่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.17 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
โม่แห้ง	$92.73^{aA} \pm 0.10$	$92.98^{aB} \pm 0.10$	$93.42^{aC} \pm 0.06$	$94.59^{aD} \pm 0.05$
โม่เปียก	$95.42^{cA} \pm 0.04$	$96.43^{cB} \pm 0.07$	$97.20^{cC} \pm 0.16$	$97.55^{cD} \pm 0.03$
โม่ผสม	$93.49^{bA} \pm 0.08$	$94.56^{bB} \pm 0.01$	$95.00^{bC} \pm 0.06$	$95.37^{bD} \pm 0.11$

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C, D ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.18 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
โม่แห้ง^{ns}	91.34^{a} ±0.11	91.53^{a} ±0.22	91.68^{a} ±0.10	91.68^{a} ±0.05
โม่เปียก	92.19^{cA} ±0.05	92.20^{bB} ±0.16	91.97^{bA} ±0.02	92.55^{bB} ±0.17
โม่ผสม^{ns}	91.62^{b} ±0.02	91.64^{a} ±0.08	91.90^{b} ±0.03	91.98^{a} ±0.24

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.19 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.9^{ns}	1.1^{ns}	1.3	1.5^{ns}
โม่แห้ง	92.39^{A} ±0.28	92.89^{AB} ±0.23	93.03^{aB} ±0.06	93.53^{B} ±0.05
โม่เปียก^{ns}	93.34±0.45	93.50±0.40	93.97^{b} ±0.10	94.24±0.80
โม่ผสม	92.18^{A} ±0.29	92.67^{B} ±0.04	92.84^{aB} ±0.03	92.98^{B} ±0.06

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ถึงแม้ว่าในการผลิตสตาร์ชจะมีขั้นตอนในการแยกองค์ประกอบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่สตาร์ชออกไปแล้ว แต่สตาร์ชที่ผลิตได้ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ เหล่านี้เหลืออยู่บ้าง (Lim et al., 1999; Lumdubwong and Seib, 2000) ดังนั้นปริมาณสตาร์ชทั้งหมดจึงเป็นค่าที่แสดงถึงความบริสุทธิ์ของสตาร์ชที่ผลิตได้ สตาร์ข้าวที่มีความบริสุทธิ์สูงจะมีปริมาณโปรตีนและไขมันปนเปื้อนอยู่น้อย ทำให้เกิดการหืนของไขมันในระหว่างการเก็บรักษาได้น้อยลง และเหมาะที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการดัดแปรทางเคมี (Chemical modification) การหมักและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม (Lumdubwong and Seib, 2000)

เมื่อพิจารณาปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในสตาร์ชข้าวเหนียวที่ผลิตได้ (ตารางที่ 4.20-4.22) พบว่า เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดโปรตีนออกจากแป้ง สตาร์ชโม่เปียกมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดสูงสุด ส่วนสตาร์ชโม่แห้งและโม่ผสมมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในสตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่มีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากในการสกัดโปรตีนโดยใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตเป็นสภาวะที่ไม่รุนแรงเท่ากับการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ จึงทำให้ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดไม่แตกต่างกัน เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมีเพียงสตาร์ชโม่แห้งและโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่านั้นที่การเพิ่มความเข้มข้น ทำให้ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.20 ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
โม่แห้ง	$89.71^{aA} \pm 0.69$	$90.05^{aAB} \pm 0.30$	$91.05^{aB} \pm 0.71$	$92.93^{aC} \pm 0.26$
โม่เปียก^{ns}	$94.45^{b} \pm 0.60$	$95.00^{b} \pm 0.92$	$95.99^{b} \pm 0.66$	$96.97^{b} \pm 0.54$
โม่ผสม	$90.21^{aA} \pm 0.47$	$91.13^{aA} \pm 0.58$	$92.04^{aAB} \pm 0.87$	$93.49^{aB} \pm 0.72$

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.21 ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด[ns] (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
โม่แห้ง	90.39±0.86	90.48±0.80	90.60±1.00	90.70±0.85
โม่เปียก	91.19±0.64	91.39±0.69	91.90±1.07	92.02±0.93
โม่ผสม	90.71±0.36	90.70±0.91	90.78±0.11	90.81±0.66

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.22 ปริมาณสตาร์ชทั้งหมดในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณสตาร์ชทั้งหมด[ns] (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.9	1.1	1.3	1.5
โม่แห้ง	91.30±0.87	91.83±0.41	92.39±0.78	92.60±0.69
โม่เปียก	92.81±0.28	92.95±0.71	93.40±0.65	93.62±0.88
โม่ผสม	91.70±0.14	92.19±0.65	92.36±0.43	92.50±0.33

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ในขั้นตอนการผลิตสตาร์ชมีทั้งการโม่และการสกัดโปรตีน ทำให้เม็ดสตาร์ชได้รับความเสียหายหรือเกิดเจล ซึ่งส่งผลให้สมบัติของสตาร์ชที่ผลิตได้เปลี่ยนแปลงไป การประเมินความเสียหายของสตาร์ช สามารถแสดงค่าเป็นปริมาณ Damaged starch ซึ่งวิเคราะห์ได้โดยการใช้เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-amylase) ย่อยตัวอย่างและวัดปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่เกิดขึ้น โดยทั่วไป เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างเป็น semi-crystalline (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ซึ่งเอนไซม์ไม่สามารถย่อยได้ แต่ถ้าโครงสร้างภายในถูกทำลายหรือเกิดเจล เม็ดสตาร์ชจะไวต่อการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ (Bettge, Giroux and Morris, 2000; Kennedy, 1987) จากการวิเคราะห์ปริมาณ Damaged starch ของสตาร์ชข้าวเหนียวที่ผลิตได้ (ตารางที่ 4.23 - 4.25) พบว่าปริมาณ Damaged starch ในสตาร์ชที่ผลิตได้มีปริมาณน้อยกว่าปริมาณ Damaged starch ในแป้ง ซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบ (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนการใช้สารละลายเพื่อสกัดโปรตีน

อาจทำให้สตาร์ชเกิดความเสียหายมากขึ้น สตาร์ชที่เสียหายนี้จะละลายออกไปกับน้ำที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Lim et al., 1999) ทำให้สตาร์ชที่ได้มี Damaged starch น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lumdubwong และ Seib (2000) ซึ่งพบว่าปริมาณ Damaged starch ในสตาร์ชข้าวเจ้ามีค่าเท่ากับ 2.6% ซึ่งน้อยกว่าปริมาณ Damaged starch ในแป้งโม่เปียกที่ใช้เป็นวัตถุดิบ (3.0%) เมื่อพิจารณาผลของวิธีโม่ที่มีต่อปริมาณ Damaged starch พบว่า ปริมาณ Damaged starch ในสตาร์ชที่สกัดโปรตีนออกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.5% ให้ผลเช่นเดียวกัน โดยสตาร์ชโม่แห้งมีปริมาณ Damaged starch สูงสุด รองลงมาเป็นสตาร์ชโม่ผสมและสตาร์ชโม่เปียกตามลำดับ เนื่องจากแป้งโม่แห้งมีปริมาณ Damaged starch สูงสุด (ตารางที่ 4.3) จึงทำให้ปริมาณ Damaged starch ในสตาร์ชจากการโม่แห้งสูงสุดด้วย ส่วนสตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 0.9-1.3% วิธีโม่ไม่มีผลต่อปริมาณ Damaged starch ($p>0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายในการสกัดโปรตีน สตาร์ชโม่แห้งที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สตาร์ชโม่แห้งและโม่เปียกเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตและสตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตเท่านั้นที่มีปริมาณ Damaged starch เพิ่มขึ้น เนื่องจากการที่สารละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้น จะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดสตาร์ชมากขึ้น เมื่อใช้เอนไซม์ในการวิเคราะห์ปริมาณ Damaged starch เอนไซม์จึงสามารถเข้าไปย่อยเม็ดสตาร์ชให้เป็นน้ำตาลรีดิวซ์ได้มากขึ้น ทำให้ค่า Damaged starch สูงขึ้น ส่วนสตาร์ชที่ผลิตได้ที่สภาวะอื่น ๆ การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายไม่มีผลต่อปริมาณ Damaged starch ($p>0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.23 ปริมาณ Damaged starch ในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณ Damaged starch (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
โม่แห้ง	$9.72^{bA} \pm 0.87$	$11.25^{cAB} \pm 0.21$	$12.55^{bB} \pm 0.93$	$19.22^{cC} \pm 0.93$
โม่เปียก^{ns}	$4.93^{a} \pm 0.24$	$5.49^{a} \pm 0.43$	$5.93^{a} \pm 0.32$	$6.12^{a} \pm 0.16$
โม่ผสม^{ns}	$6.58^{a} \pm 0.31$	$7.18^{b} \pm 0.29$	$7.42^{a} \pm 0.64$	$8.00^{b} \pm 0.23$

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.24 ปริมาณ Damaged starch ในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณ Damaged starch (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
โม่แห้ง	$7.63^{cA} \pm 0.35$	$8.66^{cB} \pm 0.44$	$10.66^{cC} \pm 0.00$	$11.28^{bC} \pm 0.29$
โม่เปียก	$3.38^{aA} \pm 0.23$	$4.76^{aB} \pm 0.35$	$5.02^{aBC} \pm 0.18$	$5.53^{aC} \pm 0.25$
โม่ผสม^{ns}	$5.78^{b} \pm 0.47$	$6.40^{b} \pm 0.40$	$6.56^{b} \pm 0.00$	$6.60^{a} \pm 0.52$

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.25 ปริมาณ Damaged starch ในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณ Damaged starch (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.9^{ns}	1.1^{ns}	1.3^{ns}	1.5
โม่แห้ง	5.97^{A} ±0.18	6.61^{A} ±0.38	6.66^{A} ±0.33	8.69^{cB} ±0.61
โม่เปียก	5.13^{A} ±0.16	5.59^{A} ±0.23	5.59^{A} ±0.23	6.15^{aB} ±0.08
โม่ผสม	5.39^{A} ±0.25	6.60^{B} ±0.52	6.60^{B} ±0.52	7.38^{bB} ±0.00

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณอะไมโลสมีความสำคัญต่อสมบัติของสตาร์ช เมื่อปริมาณอะไมโลสที่มีอยู่ในสตาร์ชแตกต่างกัน ทำให้สมบัติของสตาร์ชมีความแตกต่างกันด้วย (Bettge et al., 2000; Oates, 1997) จากการพิจารณาปริมาณอะไมโลสที่มีอยู่ในสตาร์ชที่ผลิตได้ (ตารางที่ 4.26-4.28) พบว่าปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชที่ผลิตได้จากทุกสภาวะไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากเป็นสตาร์ชที่ผลิตได้จากพืชชนิดเดียวกัน (Juliano et al., 1964; Morrison, Milligan and Azudin, 1984) สตาร์ชที่ได้จึงมีปริมาณอะไมโลสใกล้เคียงกัน แสดงว่าวิธีโม่แป้งและสภาวะในการสกัดโปรตีนไม่มีผลต่อปริมาณอะไมโลส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.26 ปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณอะไมโลส ns (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
โม่แห้ง	6.70±0.43	6.23±0.30	7.21±0.23	6.88±0.34
โม่เปียก	6.54±0.11	6.77±0.55	6.34±0.63	7.00±0.26
โม่ผสม	6.52±0.01	6.64±0.65	6.20±0.08	6.57±0.39

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.27 ปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณอะไมโลส ns (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
โม่แห้ง	6.31±0.17	6.65±0.13	6.90±0.28	6.76±0.41
โม่เปียก	6.92 ±0.06	7.02±0.15	6.49±0.08	6.66±0.46
โม่ผสม	6.52±0.19	6.56±0.59	6.31±0.38	6.76±0.69

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.28 ปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณอะไมโลส ns (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.9	1.1	1.3	1.5
โม่แห้ง	7.01±1.09	6.95±0.85	6.51±0.02	6.50±0.90
โม่เปียก	6.74±1.09	6.81±0.75	6.78±0.24	6.97±0.46
โม่ผสม	6.77±0.81	6.58±0.33	6.85±0.13	6.92±0.00

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชที่ผลิตได้โดยใช้สารละลายทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 4.29 - 4.31) พบว่า เมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.3 และ 0.5% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 4% และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 0.9 1.1 และ 1.5% ในการสกัดโปรตีน สตาร์ชโม่ผสมและโม่เปียกจะมีปริมาณผลผลิตสูงกว่าสตาร์ชโม่แห้ง ส่วนการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1-3% และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.3% ในการสกัดโปรตีน พบว่าวิธีโม่ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิต ($p>0.05$) เนื่องจากแป้งโม่แห้งมีปริมาณ Damaged starch สูงที่สุด จึงส่งผลให้หมู่ไฮดรอกซิลซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำออกมา (exposed) ที่บริเวณผิวของสตาร์ชมากกว่า สตาร์ชจึงละลายไปกับน้ำ (Lim et al., 1999) อีกทั้งประจุบวกและลบของสารละลายที่ใช้ในการสกัดโปรตีนส่งผลต่อความคงตัวของเม็ดสตาร์ช โดยประจุบวกจะจับกับหมู่ไฮดรอกซิลของเม็ดสตาร์ชทำให้เม็ดสตาร์ชมีความคงตัวมากขึ้น (Lai et al., 2002) ส่วนประจุลบจะไปผลักหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งอยู่ตรงบริเวณผิวของสตาร์ช ส่งผลให้การเกาะตัวกันของเม็ดสตาร์ชไม่ดี (Galvez and Resurreccion, 1993; Oosten, 1990) โมเลกุลของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินคลี่ออก น้ำจึงสามารถซึมเข้าไปในเม็ดสตาร์ชได้ง่าย ทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัว (Lai et al., 2002) ถึงแม้ว่าประจุบวกจะมีผลต่อความคงตัวมากกว่าประจุลบ (Oosten, 1990) แต่ผลของประจุลบนี้จะทำให้มีสตาร์ชสูญเสียไปในระหว่างกระบวนการสกัดโปรตีน (Galvez and Resurreccion, 1993; Oosten, 1990) ปริมาณผลผลิตจึงมีค่าลดลง ดังนั้นการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้สกัดโปรตีนซึ่งทำให้มีประจุลบมากขึ้นจะทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวมากขึ้นและสารละลายมีความหนืดสูงขึ้น นอกจากนี้การใช้สารละลายด่างยังทำให้โปรตีนและโพลีแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่เซลลูโลส (non-cellulosic polysaccharide) ละลายออกมา ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นได้เช่นเดียวกัน จึงมีสตาร์ชบางส่วนปะปนไปกับสารละลายที่แยกออก ส่งผลให้ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชมีค่าลดลง (Lumdubwong and Seib, 2002) ซึ่งปริมาณผลผลิตของสตาร์ชที่ลดลงนี้มีความสอดคล้องกับปริมาณโปรตีน (ตารางที่ 4.5–4.7) และไขมัน (ตารางที่ 4.8–4.10) ที่ลดลง แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติมีเพียงสตาร์ชโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่านั้นที่ความเข้มข้นมีผลต่อปริมาณผลผลิตของสตาร์ช ($p\leq0.05$)

ตารางที่ 4.29 ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณผลผลิต (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.2^{ns}	0.3	0.4^{ns}	0.5
โม่แห้ง^{ns}	62.93±4.71	62.30^{a}±1.32	59.02±5.03	57.84^{a} ±0.32
โม่เปียก^{ns}	66.19±3.99	67.31^{b}±1.64	66.76±1.01	67.87^{c} ±0.93
โม่ผสม	68.05^{B}±1.06	68.47^{bB}±0.24	66.59^{B}±2.82	60.81^{bA}±0.09

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.30 ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณผลผลิต (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	1^{ns}	2^{ns}	3^{ns}	4
โม่แห้ง^{ns}	68.59±0.72	67.82±0.43	67.22±3.15	63.37^{a} ±3.35
โม่เปียก^{ns}	70.74±2.61	70.55±2.78	71.50±0.28	71.83^{b} ±0.87
โม่ผสม^{ns}	71.73±1.66	71.73±0.94	71.42±0.90	70.52^{b} ±1.06

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.31 ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	ปริมาณผลผลิต (% โดยน้ำหนักแห้ง)			
	0.9	1.1	1.3[ns]	1.5
โม่แห้ง[ns]	66.17[a] ±0.26	61.65 [a] ±0.55	66.50±3.54	64.61[a] ±0.38
โม่เปียก[ns]	70.60[b] ±1.15	71.80[b] ±1.00	71.03±1.14	69.60[b] ±1.51
โม่ผสม[ns]	71.19[b] ±0.41	70.03[b] ±1.64	69.87±1.51	69.42[b] ±0.45

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของสตาร์ช เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของสตาร์ช เช่น ชนิดของสตาร์ช การดัดแปร การใช้แรงกล การใช้ความร้อนสูง เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) จากการศึกษาสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชที่ผลิตได้ ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser (ตารางที่ 4.32 - 4.43) พบว่า เมื่อใช้สารละลายทั้งสามชนิดในการสกัดโปรตีน สตาร์ชโม่เปียกส่วนใหญ่มีค่า Peak viscosity สูงที่สุด ส่วนสตาร์ชโม่แห้งส่วนใหญ่มีค่า Peak viscosity ต่ำที่สุด (ตารางที่ 4.32-4.34) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสตาร์ชโม่แห้งมีปริมาณ Damaged starch สูง ดังนั้นสตาร์ชจึงเกิดการพองตัวได้น้อยลง ค่า Peak viscosity จึงต่ำ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543; Nishita and Bean, 1982) หรืออาจเนื่องจากสตาร์ชมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่ในปริมาณมาก โปรตีนจึงไปขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ช (Hamaker et al., 1991; Hamaker and Griffin, 1993 ; Lim et al., 1999) นอกจากนี้ค่า Peak viscosity มีแนวโน้มลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย เนื่องจากสภาวะที่ใช้มีความรุนแรงมากขึ้น (pH สูง) เม็ดสตาร์ชเกิดการเสียหายและเกิดเจลไปบางส่วนจึงทำให้พองตัวได้น้อยลง ยกเว้นสตาร์ชโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเท่านั้นที่ความเข้มข้นไม่มีผลต่อค่า Peak viscosity ($p>0.05$)

ตารางที่ 4.32 ค่า Peak viscosity ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Peak viscosity (RVU)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
โม่แห้ง	$252^{aD} \pm 1$	$219^{aC} \pm 6$	$206^{aB} \pm 7$	$186^{aA} \pm 1$
โม่เปียก	$330^{cB} \pm 2$	$349^{cC} \pm 2$	$320^{cA} \pm 1$	$326^{cAB} \pm 4$
โม่ผสม	$318^{bD} \pm 0$	$277^{bB} \pm 1$	$241^{bA} \pm 3$	$287^{bC} \pm 2$

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C, D ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.33 ค่า Peak viscosity ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Peak viscosity (RVU)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
โม่แห้ง^{ns}	$218^{a} \pm 8$	$220^{a} \pm 2$	$218^{a} \pm 3$	$222^{a} \pm 4$
โม่เปียก	$342^{bD} \pm 0$	$330^{cC} \pm 5$	$276^{cA} \pm 1$	$298^{cB} \pm 4$
โม่ผสม	$232^{aA} \pm 1$	$243^{bB} \pm 4$	$231^{bA} \pm 1$	$266^{bC} \pm 7$

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C, D ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.34 ค่า Peak viscosity ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Peak viscosity (RVU)			
	0.9	1.1	1.3	1.5
โม่แห้ง	$269^{aA} \pm 0$	$281^{bB} \pm 2$	$265^{aA} \pm 4$	$264^{aA} \pm 3$
โม่เปียก	$287^{bB} \pm 5$	$255^{aA} \pm 3$	$292^{bB} \pm 1$	$292^{bB} \pm 3$
โม่ผสม	$310^{cC} \pm 3$	$282^{bA} \pm 1$	$275^{aA} \pm 4$	$292^{bB} \pm 4$

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า Breakdown ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความคงทนต่อแรงเฉือน ถ้าค่า Breakdown ต่ำแสดงว่าสตาร์ชมีความคงทนต่อแรงเฉือนดี ซึ่งอาจเป็นผลมาจากเม็ดสตาร์ชมีความสมบูรณ์ (มีปริมาณ Damaged starch น้อย) หรืออาจจะเนื่องมาจากมีพันธะไดซัลไฟด์ของโปรตีนที่มีอยู่ในโครงสร้าง จึงทำให้เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรง (Hamaker et al., 1991; Hamaker and Griffin, 1993) จากตารางที่ 4.35 – 4.37 พบว่า สตาร์ชโม่แห้งมีค่า Breakdown ต่ำกว่าสตาร์ชโม่เปียก ทั้งนี้อาจเนื่องจากสตาร์ชโม่แห้งมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่มากกว่าสตาร์ชโม่เปียก (ตารางที่ 4.5) โปรตีนที่มีอยู่จึงทำให้เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างแข็งแรง เกิดการพองตัวได้น้อยกว่าและทนต่อแรงเฉือนได้ดีกว่า (Hamaker et al., 1991; Hamaker and Griffin, 1993) ทั้งนี้ยกเว้นสตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.1% ที่วิธีโม่ไม่มีผลต่อค่า Breakdown ($p>0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.35 ค่า Breakdown ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Breakdown (RVU)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
โม่แห้ง	$126^{aC} \pm 2$	$117^{aBC} \pm 6$	$109^{aB} \pm 3$	$95^{aA} \pm 2$
โม่เปียก	$131^{bA} \pm 1$	$146^{bB} \pm 4$	$147^{bB} \pm 1$	$152^{cB} \pm 2$
โม่ผสม	$151^{cC} \pm 1$	$143^{bBC} \pm 2$	$114^{aA} \pm 4$	$133^{bB} \pm 6$

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.36 ค่า Breakdown ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Breakdown (RVU)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
โม่แห้ง^{ns}	$99^{a} \pm 8$	$107^{a} \pm 4$	$111^{a} \pm 6$	$108^{a} \pm 3$
โม่เปียก	$155^{bD} \pm 1$	$166^{bB} \pm 0$	$134^{bA} \pm 1$	$150^{bC} \pm 3$
โม่ผสม	$102^{aA} \pm 5$	$112^{aA} \pm 2$	$110^{aA} \pm 5$	$137^{bB} \pm 6$

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.37 ค่า Breakdown ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Breakdown (RVU)			
	0.9	1.1[ns]	1.3	1.5
โม่แห้ง	$110^{aA} \pm 2$	$126^{B} \pm 6$	$115^{aA} \pm 3$	$114^{aA} \pm 3$
โม่เปียก	$140^{bB} \pm 3$	$123^{A} \pm 1$	$143^{bB} \pm 0$	$143^{bB} \pm 4$
โม่ผสม	$130^{bC} \pm 3$	$122^{B} \pm 1$	$117^{aA} \pm 1$	$123^{aB} \pm 2$

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B, C ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่า Setback (ตารางที่ 4.38-4.40) พบว่า สตาร์ชโม่เปียกที่ได้จากการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2, 0.3 และ 0.5% และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.1% มีค่า Setback ต่ำกว่า 20 แสดงว่าวิธีโม่เปียกเป็นวิธีที่ทำให้สตาร์ชเกิดรีโทรเกรเดชันน้อยที่สุด สตาร์ชโม่แห้งและโม่ผสมเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่านั้นที่ความเข้มข้นของสารละลายมีผลต่อค่า Setback ($p \leq 0.05$) ส่วนการใช้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตในการผลิตสตาร์ช ทั้งวิธีโม่และความเข้มข้นของสารละลายไม่มีผลต่อค่า Setback ($p > 0.05$) นอกจากนี้ยังพบว่าสตาร์ชข้าวเหนียวที่ผลิตได้มีค่า Setback ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับสตาร์ชข้าวเจ้าซึ่งมีค่าเท่ากับ 65 RVU (Lim et al., 1999) แสดงว่าสตาร์ชข้าวเหนียวเกิดรีโทรเกรเดชันน้อย การที่ปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชที่ผลิตได้ไม่แตกต่างกันจึงทำให้ค่า Setback ของสตาร์ชที่ได้จากแป้งที่โม่ด้วยวิธีและการสกัดโปรตีนที่ต่างกันไม่ต่างกันอย่างชัดเจน (Whistler and Paschall, 1965)

ตารางที่ 4.38 ค่า Setback ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Setback (RVU)			
	0.2	0.3	0.4^{ns}	0.5
โม่แห้ง	28^{bB} ±2	26^{bB} ±3	21^{A} ±0	18^{bA} ±0
โม่เปียก^{ns}	23^{a} ±0	13^{a} ±2	17 ±6	14^{a} ±0
โม่ผสม	27^{bB} ±1	30^{bB} ±4	21^{A} ±1	25^{cAB} ±1

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.39 ค่า Setback ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Setback^{ns} (RVU)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
โม่แห้ง	27±4	24±1	27±3	22 ±5
โม่เปียก	25±2	23±1	21±5	24 ±1
โม่ผสม	23 ±0	25 ±2	26 ±4	31 ±2

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.40 ค่า Setback ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Setback (RVU)			
	0.9^{ns}	1.1	1.3^{ns}	1.5^{ns}
โม่แห้ง^{ns}	26±2	29^{b}±2	30±2	27±0
โม่เปียก^{ns}	21±2	18^{a}±1	26±2	23±4
โม่ผสม^{ns}	32±4	30^{b}±3	27±2	26±0

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากค่า Pasting temperature (ตารางที่ 4.41 – 4.43) พบว่า สตาร์ชโม่แห้งและโม่เปียกที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2% มีค่า Pasting temperature ต่ำที่สุดและไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) โดยสตาร์ชโม่ผสมมีค่า Pasting temperature สูงที่สุด สตาร์ชโม่เปียกที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.3% มีค่า Pasting temperature ต่ำที่สุด โดยสตาร์ชโม่แห้งและโม่ผสมมีค่า Pasting temperature ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) แต่วิธีโม่ไม่มีผลต่อค่า Pasting temperature ของสตาร์ชที่ผลิตที่สภาวะอื่น ๆ ($p>0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายมีเพียงสตาร์ชโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเท่านั้นที่ ค่า Pasting temperature มีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาสตาร์ชที่ผลิตได้ทั้งหมด พบว่าสตาร์ชมีค่า Pasting temperature ใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วง 66.10 - 69.80 °C เนื่องจากสตาร์ชที่ผลิตได้มีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ทำให้แรงยึดเหนี่ยวภายในโครงสร้างไม่ต่างกัน (Whistler and Paschall, 1965)

ตารางที่ 4.41 ค่า Pasting temperature ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Pasting temperature (°C)			
	0.2	0.3^{ns}	0.4^{ns}	0.5^{ns}
โม่แห้ง^{ns}	66.7^{a} ±0.6	66.2 ±0.0	66.9±1.0	66.6±0.7
โม่เปียก^{ns}	67.1^{a} ±0.0	66.4 ±0.3	67.5±2.8	66.9±0.2
โม่ผสม^{ns}	69.0^{b} ±0.6	67.5 ±0.6	67.8 ±0.1	67.7 ±0.2

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.42 ค่า Pasting temperature ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Pasting temperature (°C)			
	1.0^{ns}	2.0^{ns}	3.0^{ns}	4.0^{ns}
โม่แห้ง^{ns}	66.2 ±1.2	66.9 ±0.1	67.8 ±1.2	69.8±0.6
โม่เปียก	67.5^{A} ±0.7	67.8^{A} ±0.1	69.4^{B} ±0.0	68.2^{AB} ±0.6
โม่ผสม^{ns}	68.1±0.5	67.6±0.8	68.6±1.0	68.5±0.3

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.43 ค่า Pasting temperature ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Pasting temperature (°C)			
	0.9[ns]	1.1[ns]	1.3	1.5[ns]
โม่แห้ง[ns]	69.0±0.6	66.6±1.6	67.7[b] ±0.0	68.4±0.9
โม่เปียก[ns]	67.0±2.3	66.8±0.4	66.1[a] ±0.1	67.0±1.1
โม่ผสม[ns]	69.4±1.1	69.0±0.6	68.1[b] ±0.5	68.8±0.5

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชข้าวเหนียวที่ได้ (ตารางที่ 4.44 – 4.52) พบว่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจล (Onset temperature, T_o) ของ สตาร์ชมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากสตาร์ชมีปริมาณอะไมโลสและอะไมโลเพกตินไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ซึ่ง T_o จะมีค่าแตกต่างกันไปตามสัดส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกติน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2543) นอกจากนี้ยังพบว่า T_o มีค่าน้อยกว่าค่า Pasting temperature ที่วิเคราะห์ได้จาก RVA (ตารางที่ 4.41-4.43) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Jane และคณะ (1999) เนื่องจากค่า Pasting temperature วัดเมื่อสตาร์ชเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งความหนืดจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อสตาร์ชดูดน้ำและพองตัวได้ระดับหนึ่ง ในขณะที่ค่า T_o ที่ได้จาก DSC วิเคราะห์จากการวัดค่า heat flux นั่นคือเมื่อสตาร์ชเริ่มเกิดเจลจะต้องมีการดูดความร้อนเข้าไปในระบบโดยความหนืดอาจยังไม่เปลี่ยนแปลง จึงทำให้ค่า T_o น้อยกว่าค่า Pasting temperature

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.44 ค่า Onset temperature (T_o) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	T_o^{ns} (°C)			
	0.2	0.3	0.4	0.5
โม่แห้ง	58.2±1.6	59.3±0.3	60.6±1.6	59.4±4.0
โม่เปียก	59.2±0.1	59.2±0.3	60.2±1.3	60.1±0.2
โม่ผสม	59.5±0.9	59.4±0.5	59.3±0.4	60.9±1.4

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.45 ค่า Onset temperature (T_o) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	T_o^{ns} (°C)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
โม่แห้ง	58.6±1.5	61.3±1.7	60.3±1.0	60.9±0.6
โม่เปียก	59.8±0.7	61.0±1.7	60.2±0.1	60.2±0.1
โม่ผสม	61.5±2.1	60.2±0.3	61.1±1.3	61.1±0.3

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.46 ค่า Onset temperature (T_o) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	T_o^{ns} (°C)			
	0.9	1.1	1.3	1.5
โม่แห้ง	59.4±0.6	59.4±0.6	58.6±0.9	59.8±1.6
โม่เปียก	59.5±0.9	59.4±1.5	59.4±1.3	58.6±0.1
โม่ผสม	59.8±0.9	59.9±1.0	59.4±0.1	62.8±4.0

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.47 – 4.49 พบว่า อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจล (Peak temperature, T_p) ของสตาร์ชโม่แห้งและโม่ผสมมีค่าสูงที่สุดเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 3% สารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 0.9 และ 1.3% ส่วนสตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.3% สตาร์ชโม่แห้งมีค่า T_p สูงที่สุด และวิธีโม่ไม่มีผลต่อค่า T_p ของสตาร์ชที่ได้จากสภาวะอื่น ๆ ($p>0.05$) สตาร์ชโม่แห้งและโม่ผสมมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่มากกว่าสตาร์ชโม่เปียก โปรตีนจึงไปขัดขวางการพองตัว ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงเพื่อให้เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่ (Hamaker et al., 1991; Hamaker and Griffin, 1993) การเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสกัดโปรตีน ทำให้ค่า T_p สูงขึ้น ในกรณีที่เป็นสตาร์ชโม่แห้งและโม่เปียกเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสตาร์ชโม่เปียกเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ส่วนสตาร์ชที่ได้จากสภาวะอื่น ๆ ความเข้มข้นของสารละลายไม่มีผลต่อค่า T_p ($p>0.05$) เนื่องจากหลังจากที่สตาร์ชถูกทำลายพันธะไฮโดรเจนหรือ glucosidic linkage ด้วยสารละลายที่ใช้สกัดโปรตีน อาจมีการสร้าง (repolymerisation) oligosaccharide หรือกลูโคสขึ้นใหม่ กลายเป็นโมเลกุลที่ใหญ่ขึ้น ทำให้เม็ดสตาร์ชแข็งแรงมากขึ้น (Lai et al., 2002)

ตารางที่ 4.47 ค่า Peak temperature (T_p) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	T_p (°C)			
	0.2^{ns}	0.3	0.4^{ns}	0.5^{ns}
โม่แห้ง	$66.5^{A} \pm 0.4$	$67.6^{cAB} \pm 0.2$	$67.7^{B} \pm 0.4$	$68.2^{B} \pm 1.1$
โม่เปียก	$66.5^{A} \pm 0.1$	$66.4^{aA} \pm 0.2$	$67.0^{AB} \pm 0.6$	$67.6^{B} \pm 0.3$
โม่ผสม^{ns}	66.9 ± 0.7	$67.0^{b} \pm 0.3$	67.1 ± 0.5	67.1 ± 0.6

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.48 ค่า Peak temperature (T_p) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	T_p (°C)			
	1.0^{ns}	2.0^{ns}	3.0	4.0^{ns}
โม่แห้ง^{ns}	68.2±0.3	68.5±0.5	68.4^{b}±0.4	68.9±0.0
โม่เปียก	67.1^{A}±0.5	67.9^{AB}±0.8	67.5^{aA}±0.2	68.5^{B}±0.2
โม่ผสม^{ns}	68.0±1.0	68.5±0.1	68.5^{b}±0.2	69.0±0.5

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.49 ค่า Peak temperature (T_p) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	T_p (°C)			
	0.9	1.1	1.3^{ns}	1.5^{ns}
โม่แห้ง^{ns}	67.4^{b}±0.2	67.9^{b}±0.3	66.9±0.6	67.4±0.3
โม่เปียก^{ns}	66.2^{a}±0.1	66.1^{a}±0.4	66.3±0.3	66.0±0.1
โม่ผสม^{ns}	67.1^{b}±0.3	67.3^{b}±0.5	67.3±0.3	69.1±2.5

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อพิจารณาค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลาติไนซ์ ซึ่งเป็นค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเกิดเจลของสตาร์ช (ตารางที่ 4.50 – 4.52) พบว่า สตาร์ชโม่เปียกส่วนใหญ่มีค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลาติไนซ์สูงที่สุดเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.3-0.5% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.5% แสดงว่าสตาร์ชเกิดการเสียหายน้อยที่สุด (มีปริมาณ Damaged starch น้อยที่สุด) ซึ่งสอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Chen และคณะ (1999) ที่พบว่า แป้งข้าวเหนียวโม่เปียกมีค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลาติไนซ์สูงสุด

ตารางที่ 4.50 ค่า Enthalpy of gelatinization ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Enthalpy of gelatinization (J/g)			
	0.2^{ns}	0.3	0.4	0.5
โม่แห้ง	12.5^{B} ±1.1	12.0^{aB} ±0.1	10.3^{aA} ±0.3	10.6^{aA} ±0.4
โม่เปียก^{ns}	13.3 ±0.1	13.8^{b} ±0.3	14.2^{c} ±0.8	14.3^{b} ±0.3
โม่ผสม^{ns}	13.0±0.4	13.6^{b} ±0.4	13.1^{b} ±0.5	13.7^{b} ±0.8

a, b, c ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.51 ค่า Enthalpy of gelatinization ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Enthalpy of gelatinization(J/g)			
	1.0	2.0	3.0	4.0
โม่แห้ง^{ns}	11.1^{a} ±0.5	11.4^{a} ±0.5	12.8^{a} ±0.4	12.0^{a} ±1.5
โม่เปียก	13.4^{bA} ±0.2	13.5^{bA} ±0.5	14.2^{bA} ±0.1	15.2^{bB} ±0.9
โม่ผสม^{ns}	11.3^{a} ±1.1	14.1^{b} ±0.5	12.5^{a} ±1.0	13.7^{ab} ±0.6

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A, B ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวนอนเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.52 ค่า Enthalpy of gelatinization ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

ความเข้มข้น (%) / วิธีโม่	Enthalpy of gelatinization (J/g)			
	0.9^{ns}	1.1^{ns}	1.3^{ns}	1.5
โม่แห้ง^{ns}	13.5±0.2	12.9±0.4	13.6±0.1	12.6^{ab} ±1.4
โม่เปียก^{ns}	13.3 ±0.5	12.9 ±0.9	13.1 ±0.9	14.4^{b} ±0.1
โม่ผสม^{ns}	12.9 ±0.7	13.2 ±0.7	12.9 ±0.5	11.7^{a} ±1.0

a, b ค่าเฉลี่ยที่มีตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกันในแนวตั้งเดียวกัน มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งมักมีโอกาสที่อุณหภูมิของอาหารจะไม่คงที่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง การเก็บรักษาตามร้านค้าหรือเกิดเนื่องจากผู้บริโภค แม้จะไม่ทำให้อาหารละลายอย่างสมบูรณ์ แต่ก็ทำให้มีการละลายเป็นบางส่วนได้ ซึ่งจะเกิดรอบของการแช่แข็งและละลายในระยะเวลาสั้น ๆ (Freeze-thaw cycle) ส่งผลร่วมกับการละลายอาหารก่อนการบริโภค ทำให้มีน้ำซึมออกมาจากโครงสร้างในอาหาร (drip loss) และเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งมีสตาร์ชเป็นส่วนผสม ปัญหานี้เป็นผลมาจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช (Light, 1990) ดังนั้นสตาร์ชที่ใช้ควรมีความคงทนต่อกระบวนการแช่แข็งและละลาย (Freeze-thaw stability) ซึ่งความคงทนต่อกระบวนการแช่แข็งและละลาย อาจจะแสดงในรูปของปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจล (Syneresis) (Liu et al.,1999)

เมื่อพิจารณาค่า Freeze-thaw stability ของสตาร์ชข้าวเหนียวที่สกัดได้ (ตารางที่ 4.53 - 4.55) พบว่า เจลของสตาร์ชที่เกิด Syneresis เมื่อผ่านการแช่แข็งและละลายจำนวน 7 รอบ ได้แก่ สตาร์ชโม่แห้งเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2 และ 0.3% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1, 3 และ 4% และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.1 และ 1.3% สตาร์ชโม่เปียกเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1 และ 4% และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.3 และ 1.5% สตาร์ชโม่ผสมเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.3 และ 0.5% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตทุกความเข้มข้นและสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 0.9 และ 1.1% เนื่องจากเมื่อผ่านการแช่

แข็งและละลาย 7 รอบแล้ว อาจทำให้โครงสร้างเปลี่ยนแปลงจึงทำให้สตาร์ชเกิดรีโทรเกรเดชัน ซึ่งเมื่อมีการลดอุณหภูมิลง โมเลกุลของสตาร์ชจะยึดเกาะกันมากขึ้น ทำให้น้ำถูกดันออกไปจากโครงสร้างของเจลหรือเกิดจากการเติบโตของผลึกน้ำแข็ง ทำให้โครงสร้างภายในถูกทำลายและปลดปล่อยน้ำออกมา (Liu et al., 1999) ซึ่งสอดคล้องกับค่า Setback คือ เมื่อสตาร์ชที่มีค่า Setback สูง จะมีโอกาสเกิดรีโทรเกรเดชันได้มาก เมื่อนำไปผ่านกระบวนการแช่แข็งและละลาย Freeze-thaw stability จะมีค่าต่ำ สตาร์ชที่สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งได้ควรมีความคงทนต่อกระบวนการแช่แข็งและละลาย อย่างน้อย 4 cycle (Luallen, 1985) จากการทดลอง พบว่าสตาร์ชที่มีคุณสมบัติดังกล่าว ได้แก่ สตาร์ชโม่แห้งเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.3-0.5% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 2-4% และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 0.9, 1.1 และ 1.5% สตาร์ชโม่เปียกทุกสภาวะ สตาร์ชโม่ผสมเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.5% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1-2% และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.3-1.5% ดังนั้นสตาร์ชเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งได้ และเมื่อพิจารณาค่า Freeze-thaw stability (ตารางที่ 4.53 - 4.55) และ ค่า Setback (ตารางที่ 4.38-4.40) พบว่า สตาร์ชที่ทนกระบวนการแช่แข็งและละลายได้ถึง 4 cycle จะมีค่า Setback อยู่ในช่วง 13–25 RVU

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.53 ปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจล (%Syneresis) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

วิธีโม่	ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้สกัด	%Syneresis ของเจลเมื่อผ่าน Freeze-thaw cycle ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
โม่แห้ง	0.2	0.64±0.02	1.26±0.04	5.91±0.12	5.81±0.07	4.18±0.02	6.57±0.10	-
	0.3	-	-	-	-	-	0.25±0.01	0.83±0.02
	0.4	-	-	-	-	-	-	-
	0.5	-	-	-	-	-	-	-
โม่เปียก	0.2	-	-	-	-	-	-	0.19±0.01
	0.3	-	-	-	-	-	-	-
	0.4	-	-	-	-	-	-	-
	0.5	-	-	-	-	-	-	-
โม่ผสม	0.2	-	-	-	-	-	-	-
	0.3	-	3.37±0.11	3.46±0.07	2.36±0.10	3.48±0.15	5.00±0.18	-
	0.4	-	-	-	-	-	-	-
	0.5	-	-	-	-	-	-	1.15±0.03

หมายเหตุ "-" หมายถึง เจลของสตาร์ชไม่เกิด Syneresis

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.54 ปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจล (%Syneresis) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

วิธีโม่	ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้สกัด	%Syneresis ของเจลเมื่อผ่าน Freeze- thaw cycle ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
โม่แห้ง	1.0	-	-	0.79±0.02	3.45±0.10	-	-	-
	2.0	-	-	-	-	-	-	-
	3.0	-	-	-	-	0.09±0.10	2.75±0.05	-
	4.0	-	-	-	-	-	5.36±0.13	-
โม่เปียก	1.0	-	-	-	-	-	1.10±0.08	1.36±0.04
	2.0	-	-	-	-	-	-	-
	3.0	-	-	-	-	-	-	-
	4.0	-	-	-	-	1.15±0.03	-	1.15±0.03
โม่ผสม	1.0	-	-	-	-	-	1.12±0.07	1.77±0.08
	2.0	-	-	-	-	-	0.27±0.01	-
	3.0	2.16±0.01	-	3.11±0.04	-	-	6.83±0.14	-
	4.0	-	-	1.63±0.12	-	3.93±0.09	-	-

หมายเหตุ "-" หมายถึง เจลของสตาร์ชไม่เกิด Syneresis

ตารางที่ 4.55 ปริมาณน้ำที่แยกออกมาจากเจล (%Syneresis) ของสตาร์ชเมื่อสกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

วิธีโม่	ความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้สกัด	%Syneresis ของเจลเมื่อผ่าน Freeze- thaw cycle ที่						
		1	2	3	4	5	6	7
โม่แห้ง	0.9	-	-	-	-	-	-	-
	1.1	-	-	-	-	-	0.25±0.01	0.97±0.03
	1.3	-	-	-	3.93±0.15	-	10.88±0.20	-
	1.5	-	-	-	-	-	-	-
โม่เปียก	0.9	-	-	-	-	-	-	-
	1.1	-	-	-	-	-	-	-
	1.3	-	-	-	-	1.05±0.06	-	4.03±0.07
	1.5	-	-	-	-	2.34±0.13	3.69±0.19	-
โม่ผสม	0.9	-	-	2.44±0.07	-	-	0.87±0.02	-
	1.1	2.21±0.12	-	4.31±0.04	-	3.91±0.09	4.49±0.11	-
	1.3	-	-	-	-	-	-	-
	1.5	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ "-" หมายถึง เจลของสตาร์ชไม่เกิด Syneresis

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีฤทธิ์เป็นด่างแก่จึงมีประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนสูงสุด ดังนั้นสตาร์ชส่วนใหญ่ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์จึงมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่น้อยที่สุด ซึ่งปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่น้อยจะส่งผลให้สตาร์ชที่ผลิตได้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณสตาร์ชทั้งหมดสูงกว่าเมื่อสกัดสารละลายอื่น ๆ สภาวะที่รุนแรงในการสกัดโปรตีนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ยังมีอิทธิพลร่วมกับวิธีโม่ โดยเฉพาะการโม่แห้งซึ่งเป็นวิธีที่ทำให้ สตาร์ชเสียหายมากที่สุด จึงทำให้สตาร์ชโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณ Damaged starch สูงกว่าการใช้สารละลายอื่น นอกจากการใช้สารละลายโซเดียม ไฮดรอกไซด์จะทำให้ปริมาณโปรตีนลดลงแล้ว ยังทำให้มี Damaged starch เกิดขึ้นมากกว่า ซึ่ง Damaged starch นี้สามารถละลายออกไปกับน้ำในระหว่างการผลิตสตาร์ช จึงทำให้ปริมาณผลผลิตน้อยกว่าเมื่อสกัดด้วยสารละลายอื่น ๆ สำหรับค่า Peak viscosity และ Peak temperature ซึ่งได้รับผลกระทบจากปริมาณโปรตีนและ Damaged starch จะเห็นความแตกต่างจากการใช้สารละลายอื่น นอกจากนี้สตาร์ชที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ยังมี Freeze-thaw stability สูงกว่าการใช้สารละลายอื่น ๆ สตาร์ชที่ได้จึงสามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต สตาร์ชทั้งหมด โปรตีน เถ้า ไขมัน เส้นใย และอะไมโลส เท่ากับ 89.70, 89.04, 9.30, 0.52, 0.23, 0.29 และ 5.56 % โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อจัดประเภทของข้าวตามปริมาณอะไมโลสตามหลักของ IRRI ปี ค.ศ. 1972 พบว่า ข้าวเหนียว พันธุ์ กข 6 จัดเป็นข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสน้อยมาก

เมื่อนำข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 มาผลิตเป็นแป้งข้าวเหนียวโดยวิธีโม่ 3 วิธี คือ โม่แห้ง โม่เปียก และโม่ผสม แล้วพบว่า วิธีโม่เปียกเป็นวิธีที่ทำให้แป้งมีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่น้อยที่สุด รองลงมา คือ การโม่ผสม และโม่แห้ง ตามลำดับ ดังนั้นวิธีโม่เปียกจึงเป็นวิธีที่ทำให้แป้งมีปริมาณสตาร์ชทั้งหมดมากที่สุด และมีปริมาณผลผลิตน้อยที่สุด แต่จะเป็นวิธีที่ทำให้สตาร์ชเกิดการเสียหายน้อยที่สุด ($p \leq 0.05$) และจากสมบัติทางความหนืดของแป้งเมื่อวัดด้วย RVA พบว่า แป้งโม่เปียกมีค่า Peak viscosity และ Breakdown สูงที่สุด รองลงมา คือ แป้งโม่ผสม และแป้งโม่แห้ง ตามลำดับ แต่แป้งโม่เปียกจะมีค่า Setback และ Pasting temperature ต่ำที่สุด ($p \leq 0.05$)

เมื่อนำแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการโม่ทั้ง 3 วิธีมาผลิตสตาร์ชข้าวเหนียว โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1, 2, 3 และ 4% และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 0.9, 1.1, 1.3 และ 1.5% พบว่า สตาร์ชที่ได้จากการโม่เปียกส่วนใหญ่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย เถ้า และ Damaged starch น้อยที่สุด รองลงมาคือ สตาร์ชจากการโม่ผสมและโม่แห้ง ตามลำดับ โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายทั้ง 3 ชนิด ทำให้ปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีน และไขมันของสตาร์ชที่ผลิตได้มีแนวโน้มลดลง ในขณะที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต สตาร์ชทั้งหมด ปริมาณเถ้า และ Damaged starch มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ส่วนสตาร์ชที่ได้จากการโม่แห้งส่วนใหญ่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต สตาร์ชทั้งหมดและปริมาณผลผลิตน้อยที่สุด รองลงมา คือ วิธีโม่ผสมและโม่เปียก ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีโม่และความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสกัดโปรตีนไม่มีผลต่อปริมาณอะไมโลสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) จากการวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชข้าวเหนียวด้วยเครื่อง RVA พบว่า สตาร์ชจากการโม่เปียกส่วนใหญ่มีค่า Peak

viscosity และ Breakdown สูงที่สุด รองลงมา คือ วิธีโม่ผสม และวิธีโม่แห้ง ตามลำดับ โดยการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายที่ใช้ในการสกัดโปรตีนจะทำให้ค่า Peak viscosity ของ สตาร์ชมีแนวโน้มลดลง แต่สตาร์ชที่ได้จากการโม่เปียกส่วนใหญ่จะมีค่า Setback ต่ำที่สุด เมื่อวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชข้าวเหนียวด้วยเครื่อง DSC พบว่า สตาร์ชที่ผลิตได้มีค่า T_o ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สตาร์ชจากการโม่เปียกมีค่า T_p ต่ำสุด แต่มีค่าเอนทาลปีของการเกิดเจลาติไนซ์สูงสุด นอกจากนี้สตาร์ชจากการโม่เปียกที่ผลิตได้จากทุกสภาวะยังมีค่า Freeze-thaw stability สูงที่สุด

สตาร์ชที่สามารถนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งได้ ได้แก่ สตาร์ชโม่แห้งเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.3-0.5% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 2-4% และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 0.9, 1.1 และ 1.5% สตาร์ชโม่เปียกทุกสภาวะ สตาร์ชโม่ผสมเมื่อสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.5% สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ความเข้มข้น 1-2% และสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนต ความเข้มข้น 1.3-1.5%

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการนำสตาร์ชข้าวเหนียวที่มีค่า Freeze-thaw stability สูงไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งและศึกษาการยอมรับทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จำรัส โปร่งศิริวัฒนา. 2534. ความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

รุ่งทิวา วันสุขศรี. 2542. การทำแป้งข้าวเจ้าบริสุทธิ์โดยใช้วิธีทางเคมีและการทำชีรัปแป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วราทัศน์ วงศ์สุรไกร. 2539. แนวทางการพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าวไทย. ใน รายงานการประชุมวิชาการและนิทรรศการเนื่องในงานมหกรรมข้าวไทยเทิดพระเกียรติ, หน้า 48-60. 5-8 กันยายน ณ ห้องรีเจนซี โรงแรมเซ็นทรัลพลาซา กรุงเทพมหานคร.

วราภรณ์ คำบุญเรือง. 2535. ความรู้เรื่องข้าวและการทำนา. ใน สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (บรรณาธิการ), เทคโนโลยีการปลูกข้าวที่อาศัยน้ำฝน. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.

อาหาร, สถาบัน. 2546. การส่งออกแป้งและสตาร์ชของไทยปี 2541-2545 [อินเตอร์เนต]. กรุงเทพมหานคร. แหล่งที่มา: http://www.nfi.or.th [25 มีนาคม 2546]

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์แป้งข้าวเหนียว. เอกสาร มอก.ที่ 639-2529. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.

ภาษาอังกฤษ

AACC (American Association of Cereal Chemists). 1995. Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists. 9th ed. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1995. Official Methods of Analysis of AOAC International. 16th ed. Virginia: AOAC International.

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.

Carpio, E. V. and Aco, E. V. 1990. Factors affecting the dry-milling characteristic of rice flour using a pin mill. The Philippine Agriculturist 73(3&4): 387-398.

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.

Chiang, P. Y. and Yeh, A. I. 2002. Effect of soaking on wet-milling of rice. J. Cereal Sci. 35: 85-94.

Clegg, K. M. 1956. The application of the anthrone reagent to the estimation of starch in cereals. J. Sci. Food Agric. 7(1): 40-44.

Cochran, W. G. and Cox, G. M. 1957. Experimental designs. 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.

Deobald, H. J. 1972. Rice flours. In D. F. Houston (ed.), Rice: Chemistry and technology. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

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.

Fitt, L. E. and Snyder, E. M. 1984. Photomicrographs of starches. In R. L. Whistler, J. N. BeMiller and E. F. Paschall (eds.), Starch: Chemistry and technology. 2nd ed. Florida: Academic Press.

Galvez, F. C. F. and Resurreccion, A. V. A. 1993. The effects of decortication and method of extraction on the physical and chemical properties of starch from mung bean (Vigna radiata (L.) wilezec). J. Food Proc. & Preserv. 17: 93-97.

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.

Hoseney, R. C. 1994. Principles of cereal science and technology. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

Kent, N. L. 1983. Technology of cereals. 3rd ed. Oxford: Pergamon Press.

Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, 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. 1972. The rice caryopsis. In D. F. Houston (ed.), Rice: Chemistry and technology. Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

Juliano, B. O. 1979. Amylose analysis in rice – A review. In International Rice Research Institute (ed.), Proceedings of the workshop on chemical aspects of rice grain quality. Laguna: International Rice Research Institute.

Juliano, B. O. 1984. Rice starch: Production, properties, and uses. In R. L. Whistler, J. N. BeMiller and E. F. Paschall (eds.), Starch: Chemistry and technology. 2nd ed. Florida: Academic Press.

Juliano, B. O., Perez, C. M. and Kaosa-Ard, M. 1990. Grain quality characteristics of export rices in selected markets. Cereal Chem. 67(2): 192-197.

Juliano, B. O. 1993. Rice. Encyclopaedia of food science , food technology and nutrition 6: 3929.

Kennedy, J. F. 1987. Biotechnology. Vol.7a. Germany: VCH.

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.

Knight, J. W. 1969. The starch industry. Oxford: Pergamon Press.

Lai, L. N., Karim, A. A., Norziah, M. H. and Seow, C. C. 2002. Effects of Na_2CO_3 and NaOH on DSC thermal profiles of selected native cereal starches. Food Chem. 78: 355-362.

Light, J. M. 1990. Modified food starch: Why, what where and how. Cereal Foods 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.

Lineback, D. R. 1984. The starch granule: Organization and properties. Bakers Digest 58(2): 16-21.

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.

Luallen, T. E. 1985. Starch as a functional ingredient. Food Tech. 39(1): 59-63.

Luh, B. S. and Liu, Y. K. 1991. Rice flour in baking. In B. S. Luh (ed.), Rice. Vol. 2: Utilization. 2nd ed. New York: An AVI Book.

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.

Matz, S. A. 1969. Cereal science. Connecticut: The AVI Publishing.

Metcalf, S. L. and Lund, D. B. 1985. Factors affecting water uptake on milled rice. J. Food Sci. 50(6): 1676-1679, 1684.

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.

Nishita, K. D. and Bean, M. M. 1982. Grinding methods: Their impact on rice flour properties. Cereal Chem. 59(1): 46-49.

Oates, C. G. 1997. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. Trends in Food Sci. & Tech. 8: 375-380.

Oosten, B. J. 1990. Interactions between starch and electrolytes. Starch/Starke 42(7): 327-330.

Piacquadio, P., Stefano, G. D. and Sciacalepore, V. 2000. The effect of heating at subgelatinization temperature on enzymatic digestibility of corn starch. Starch/Starke 52(7): 345-350.

Radosavljevic, M., Jane, J. and Johnson, L. A. 1998. Isolation of amaranth starch by diluted alkaline-protease treatment. Cereal Chem. 75(2): 212-216.

Sanders, J. P. M. 1996. Starch manufacturing in the world. Advanced post academic course on tapioca starch technology. Jan. 22-26 and Feb. 19-23. AIT center, Bangkok.

Schoch, T. J. 1967. Properties and uses of rice starch. In R. L. Whistler, J. N. BeMiller and E. F. Paschall (eds.), Starch: Chemistry and technology. 2nd ed. Florida: Academic Press.

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.

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. 2nd ed. Florida: Academic Press

Whistler, R. L. and Paschall, E. F. 1965. Starch: Chemistry and technology. Vol.1. New York: Academic Press.

Yokoyama, W., Renner-Nantz, J. J., and Shoemaker, C. F. 1998. Starch molecular mass and size by size-exclusion chromatography in DMSO-LiBr coupled with multiple angle laser light scattering. Cereal Chem. 75(4): 530-535.

ภาคผนวก

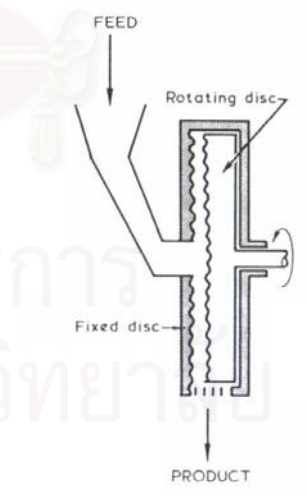
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ก.1 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

ภาพที่ ข.1 ข้าวเปลือกและข้าวสารพันธุ์กข 6

ก.2 เครื่องโม่หิน

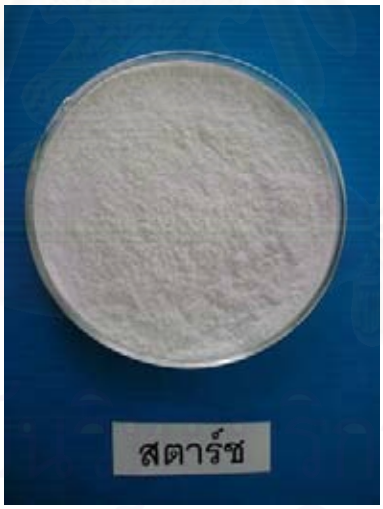


ภาพที่ ข.2 เครื่องโม่หิน (Stone mill) ประเภท single disc mill

ก.3 แป้งข้าวเหนียว

ภาพที่ ก.3 แป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ

ก.4 สตาร์ชข้าวเหนียว



ภาพที่ ก.4 สตาร์ชข้าวเหนียว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

ข.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (ดัดแปลงจาก AOAC (1995) section 32.1.03)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, WTB Binder รุ่น E53)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204)
4. โถดูดความชื้น

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 2-3 กรัม ลงในถ้วยอะลูมิเนียม (อบในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วยเปล่าไว้)
2. นำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยเปิดฝาถ้วยอะลูมิเนียมไว้
3. นำถ้วยอะลูมิเนียมออกจากตู้อบ ปิดฝาถ้วยและทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมตัวอย่าง
4. นำไปอบต่ออีก 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่ โดยให้มีความชื้นเปลี่ยนแปลงได้ ร้อยละ 0.2
5. ชั่งน้ำหนักถ้วยอะลูมิเนียมพร้อมตัวอย่าง แล้วลบด้วยน้ำหนักถ้วยเปล่าจะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ
6. คำนวณปริมาณความชื้น โดยใช้สูตร

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (ดัดแปลงจาก AOAC (1995) section 32.2.03)

อุปกรณ์

1. ชุดวิเคราะห์โปรตีน (BUCHI ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K-424, distillation unit รุ่น B-324, scrubber รุ่น B-414)

2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น (A.R. grade)

2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริค (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 กับ สารละลาย methyl red 0.2%ในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 1-2 กรัมลงในหลอดย่อยโปรตีน

2. เติม Selenium reagent mixture ซึ่งใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยา (catalyst) ประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร

3. นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่อง BUCHI digestion unit โดยใช้ความร้อน เบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอกรด (scrubber) ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4. นำฟลาสก์ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)

5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรม ดังนี้

NaOH	40 ml
Boric acid	50 ml
H_2O	50 ml
Time	6 min

6. ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนียขึ้น แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริก จะได้สารละลายสีเขียวเมื่อกลั่นครบตามกำหนดเวลา

7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในฟลาสก์ที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้

8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในฟลาสก์ทั้งหมดมาไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริคมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ (end point) เป็นสีม่วงแดง

9. ทำ blank แต่ไม่ต้องใส่ตัวอย่าง และวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

10. คำนวณหาปริมาณโปรตีน

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

เมื่อ

Va คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

Vb คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรต มีหน่วยเป็น Normal

CF คือ Conversion Factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน (ในการทดลองใช้ 5.95)

ข.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (ดัดแปลงจาก AOAC (1995) section 32.1.05)

อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp)
2. ครูซิเบิล (Crucible)
3. Hot plate
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204)
5. โถดูดความชื้น

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 3 - 5 กรัม ใส่ในครูซิเบิลที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว

2. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้ Hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน

3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้และคำนวณหาปริมาณเถ้า

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

ข.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (ดัดแปลงจาก AOAC (1995) section 32.1.13)

อุปกรณ์

1. ชุดสกัดไขมัน (Avanti 2050 Soxtec Automatic)
2. Thimble
3. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, WTB Binder รุ่น E53)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204)
5. โถดูดความชื้น

สารเคมี

1. Petroleum ether b.p.40-60 ^{o}C (A.R. grade)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 2-3 กรัม (±0.0001) แล้วห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 และใส่ห่อตัวอย่างลงใน thimble
2. เปิดเครื่อง Soxtec และตั้งค่าต่าง ๆ ดังนี้

Overtemperature	210 ^{o}C
Set temperature	135 ^{o}C
Boiling time	15 นาที
Rinsing time	30 นาที
Recovery time	20 นาที
Drying time	40 นาที

3. กดปุ่ม Heat ให้ hot plate ทำงาน จนถึงอุณหภูมิที่ตั้งไว้
4. นำ Thimble ที่มีตัวอย่างบรรจุอยู่ประกอบเข้ากับเครื่อง และใส่ cup ที่มี petroleum ether 70 มิลลิลิตร เข้าไปในเครื่อง (cup อบแห้งและชั่งน้ำหนักแล้ว)
5. กดปุ่ม Start เพื่อให้เครื่องเริ่มทำงาน
6. เมื่อครบเวลาแล้ว นำ cup ไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก cup ที่มีไขมันที่สกัดได้ นำมาคำนวณหาปริมาณไขมัน

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ข.5 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (ดัดแปลงจาก AOAC (1995) section 4.6.02)

อุปกรณ์

1. ครูซิเบิล
2. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, WTB Binder รุ่น E53)
3. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204)
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 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ต้มเดือดนาน 30 นาที สังเกตไม่ให้ปริมาตรของสารละลายลดลง หากลดลงปรับปริมาตรโดยใช้น้ำร้อน

3. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิเมตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด

4. นำกากมาย่อยต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยควบคุมปริมาตรของสารละลายเช่นเดียวกับ ข้อ 2

5. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิเมตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ด่าง

6. กรองผ่านกระดาษกรอง Whatman No.42 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

7. ล้างกากที่ได้ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร 2 ครั้ง

8. นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่

9. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา

10. นำตัวอย่างใส่ในครูซิเบิลที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอน

11. เผาครูซิเบิลพร้อมตัวอย่างที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนได้เถ้าสีขาว

12. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา นำมาคำนวณหาปริมาณเส้นใย

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

ข.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

วิธีการคำนวณ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (%) = 100 – %(โปรตีน+เถ้า+เส้นใย+ไขมัน)

ข.7 การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช (ดัดแปลงจากวิธีของ Clegg (1965))

อุปกรณ์

1. หลอดเซนตริฟิวจ์ ขนาด 85 มิลลิลิตร
2. เครื่องเซนตริฟิวจ์ (Thermo IEC รุ่น IEC MultiRF)
3. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Milton Roy รุ่น Spectronic 601)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204)

สารเคมี

1. D-glucose (A.R. grade)
2. เอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 80%(v/v)
3. สารละลายกรดเปอร์คลอริค ($HClO_4$, A.R. grade) ความเข้มข้น 52%(v/v)
4. สารละลายกรดซัลฟูริก เตรียมโดยผสมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 760 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้สารละลายปรับ 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
5. สารละลายแอนโธรน ($C_{14}H_{10}O$, A.R. grade) เตรียมให้มีความเข้มข้น 0.1%(w/v) ในสารละลายกรดซัลฟูริก ในข้อ 4 (เตรียมก่อนใช้ทุกครั้ง)

วิธีวิเคราะห์

<u>การสร้างกราฟมาตรฐาน</u>

1. เตรียมสารละลายกลูโคสที่มีความเข้มข้น 40, 80, 120, 160 และ 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

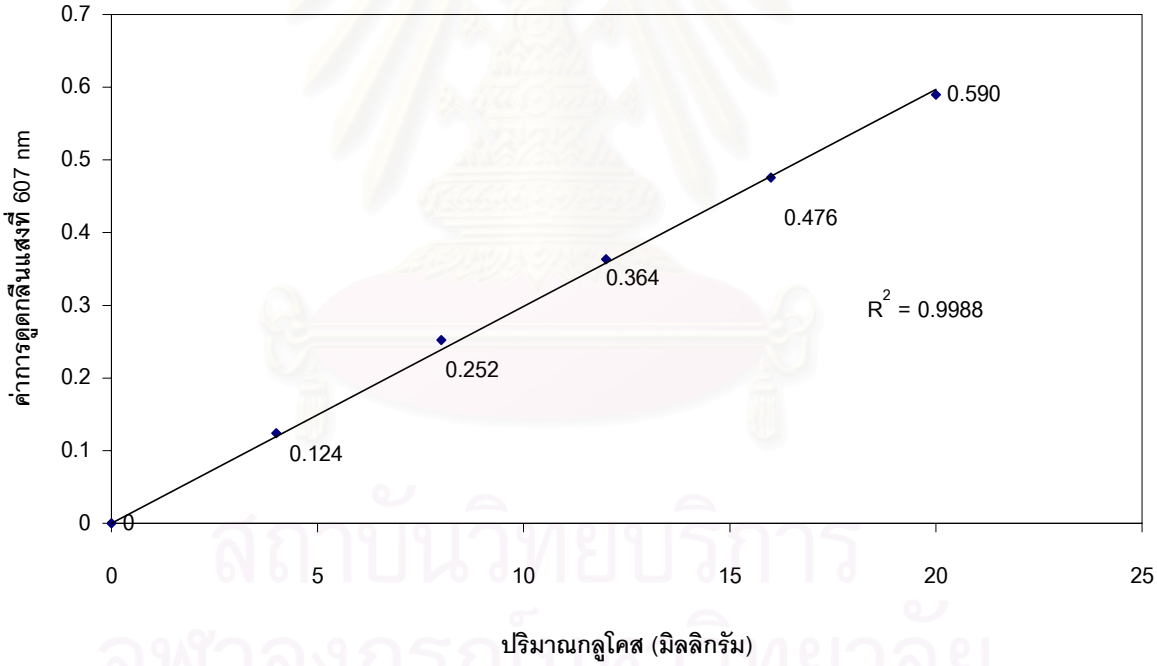
2. ปิเปตสารละลายกลูโคสมาความเข้มข้นละ 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด 5 หลอด ใช้น้ำกลั่นเป็น blank

3. เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร และสารละลายแอนโธรน 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลองแต่ละหลอด เขย่าให้เข้ากัน

4. ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 12 นาที ทำให้เย็น

5. นำสารละลายกลูโคส ทั้ง 5 ความเข้มข้น วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 607 นาโนเมตร เทียบกับ blank

6. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณกลูโคส แสดงดังภาพ ข.1



ภาพที่ ข.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ช (แต่ละจุดในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชในตัวอย่าง

1. ชั่งตัวอย่าง 0.2 กรัม ใส่ลงในหลอดเซนตริฟิวจ์

2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 80% 2 หยด เพื่อให้ตัวอย่างชื้น และน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 80% ที่ร้อน ปริมาตร 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

4. เหวี่ยงแยกส่วนใสออก โดยใช้ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใสทิ้งและสกัดซ้ำด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้น 80% ที่ร้อน ปริมาตร 30 มิลลิลิตรและเหวี่ยงแยกส่วนใสออก

5. นำตะกอนที่ได้มาเติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตรและสารละลายกรดเปอร์คลอริคความเข้มข้น 52% 6.5 มิลลิลิตร คนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาทีและตั้งทิ้งไว้ 5 นาที

6. เติมน้ำกลั่น 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

7. เหวี่ยงแยกส่วนใสออกโดยใช้ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนใสลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และสกัดซ้ำเช่นเดียวกับ ข้อ 5 เทส่วนใสที่ได้จากการสกัดลงในขวดวัดปริมาตรที่มีสารสกัดครั้งแรก ปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

8. กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 ทิ้งสารละลายที่กรองได้ 5 มิลลิลิตรแรก

9. นำสารละลายที่กรองได้มาเจือจางให้มีความเข้มข้นของกลูโคสอยู่ในช่วง 200 μg/ml (ในการทดลองนี้เจือจาง 10 เท่า)

10. ปิเปตตัวอย่างที่สกัดได้มา 1 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด ใช้น้ำกลั่นเป็น blank

11. เติมน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร และสารละลายแอนโธรน 10 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เขย่าให้เข้ากัน

12. ต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 12 นาที ทำให้เย็น

13. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 607 นาโนเมตร เทียบกับ blank

14. จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ นำไปอ่านค่าจากกราฟมาตรฐาน แล้วคำนวณหาปริมาณสตาร์ช

$$\text{ปริมาณสตาร์ช (\%)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (กรัม)} \times 10 \times 0.9 \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ข.8 การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส (Juliano, 1971)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Milton Roy รุ่น Spectronic 601)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204)

สารเคมี

1. อะไมโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (บริษัท Fluka BioChemika)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%
4. สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N
5. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยละลายไอโอดีน 0.2000 กรัมและโปแตสเซียมไอโอไดด์ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

วิธีวิเคราะห์

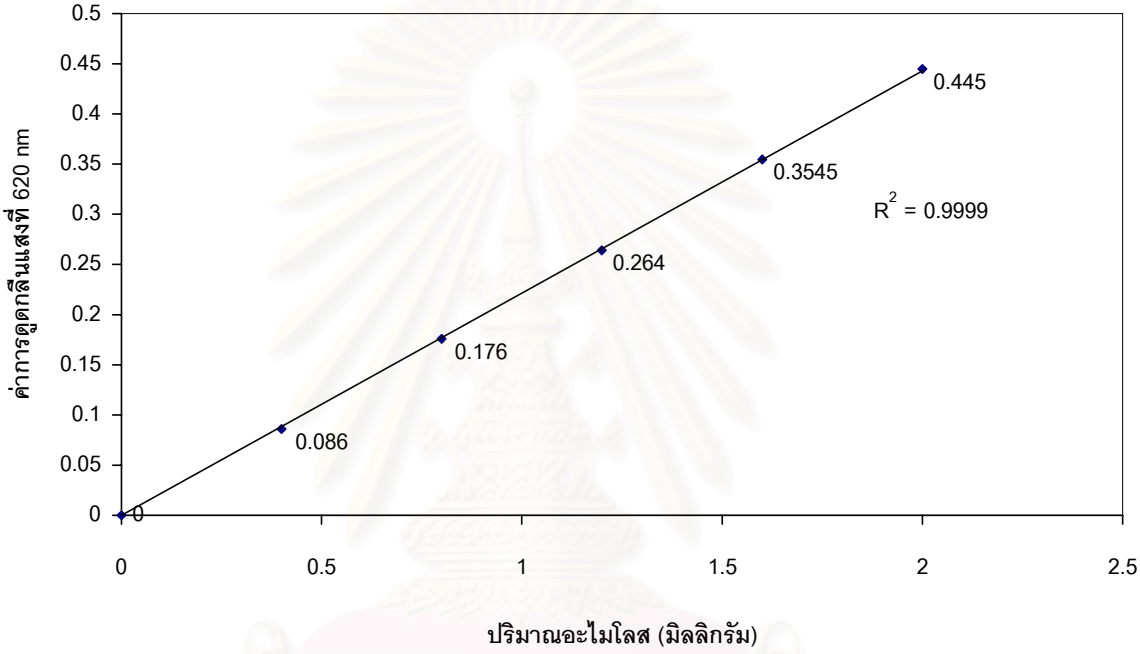
<u>การสร้างกราฟมาตรฐาน</u>

1. ชั่งอะไมโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง น้ำหนักแน่นอน 0.0400 กรัม ใส่ในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตรและเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. เตรียม blank โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตรและเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ให้ความร้อนกับสารละลายในข้อ 1 และ 2 ในอ่างน้ำเดือด 5 – 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะสารละลายอะไมโลสใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะสารละลายอะไมโลสออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 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 ด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน 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 ข.2



รูปที่ ข.2 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลส (แต่ละจุดในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ)

<u>การวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในตัวอย่าง</u>

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่าง (ผ่านตะแกรง ขนาด 100 mesh) ประมาณ 100 มิลลิกรัม (0.1 กรัม) ใส่ในฟลาสก์ ขนาด 50 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3. ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 – 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

4. ชะน้ำแป้งใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะน้ำแป้งออกมาให้ได้มากที่สุด) 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

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

ข.9 การวิเคราะห์ปริมาณ damaged starch (AAAC (1995) Method 76-30A)

อุปกรณ์

1. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Waterbath, Heto lab รุ่น Equipment DT1)
2. Hot plate
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204)

สารเคมี

1. สารละลายอะซีเตตบัฟเฟอร์ (acetate buffer) pH 4.6-4.8 เตรียมโดยชั่งโซเดียม-อะซีเตต (anhydrous sodium acetate, A.R. grade) 4.1 กรัม ละลายในกรดอะซีติกเข้มข้น 3.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้ได้สารละลาย 1 ลิตร โดยใช้น้ำกลั่น

2. สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 3.68 N±0.05

3. สารละลายโซเดียมทังสเตต ($Na_2WO_4 \bullet 2H_2O$, A.R. grade) ความเข้มข้น 12%(w/v)

4. เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α-amylase) EC 3.2.1.1 จากบริษัท Sigma Lot 022K1520 ผลิตจากเชื้อ *Aspergillus oryzae* มีแอคติวิตี 157 units/mg protein (biuret)

5. สารละลาย Alkaline ferricyanide ความเข้มข้น 0.1 N เตรียมโดยชั่ง $K_3Fe(CN)_6$ 33 กรัม และโซเดียมคาร์บอเนต 44 กรัม ละลายน้ำกลั่นและปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

6. สารละลาย Acetic acid-salt เตรียมโดยชั่งโปแตสเซียมคลอไรด์ (KCl, A.R. grade) 70 กรัม ละลายในสารละลาย 750 มิลลิลิตรที่มี $ZnSO_4 \bullet 7H_2O$(A.R. grade) 40 กรัมละลายอยู่ เติมกรดอะซีติกเข้มข้น 200 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

7. สารละลาย soluble starch – KI เตรียมโดย ชั่ง soluble starch (A.R. grade) 2 กรัม ละลายในน้ำเย็นและให้ความร้อนจนเกิดเจล ทิ้งไว้ให้เย็นและเติมโปแตสเซียมไอโอไดด์ (KI, A.R. grade) 50 กรัม ปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

8. สารละลายไธโอซัลเฟต (Thiosulfate) ความเข้มข้น 0.1 N โดย ชั่ง $Na_2S_2O_3 \bullet 5H_2O$ 24.82 กรัม และโซเดียมเตตระบอเรต ($Na_2B_4O_7 \bullet 10H_2O$, A.R. grade) 3.8 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่าง 1.00 กรัม (ความชื้น 14%) และเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 0.050 กรัม ลงในฟลาสก์ขนาด 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 มิลลิลิตรใส่ในหลอดทดลอง ขนาด 25 × 200 มิลลิลิตรที่มีฝาปิด เติมสารละลาย Alkaline ferricyanide 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

6. นำไปต้มในน้ำเดือด เป็นเวลา 20 นาที (ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มกรองจนถึงก่อนต้ม ไม่ควรเกิน 15 – 20 นาที) และทำให้เย็นโดยให้น้ำไหลผ่าน

7. นำสารละลายที่ต้มแล้ว เทใส่ฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร และ rinse หลอดด้วยสารละลาย Acetic acid-salt 25 มิลลิลิตร เทรวมในฟลาสก์ เขย่าให้เข้ากัน

8. ปิเปตสารละลาย soluble starch – KI 1 มิลลิลิตร เขย่าให้กัน

9. ไตเตรตกับสารละลายไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ ได้สารละลายสีขาวขุ่น และทำ blank เช่นเดียวกับตัวอย่าง

10. คำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในรูปของมอลโตส (A) โดยนำปริมาตรของสารละลายไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรต blank ลบด้วย ปริมาตรของสารละลายไธโอซัลเฟตที่ใช้ในการไตเตรตตัวอย่าง แล้วหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในรูปของมอลโตส จากตารางที่ ข.1

11. คำนวณหาปริมาณ damaged starch โดย

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

ตารางที่ ข.1 Ferricyanide - Maltose Conversion

0.1 N Ferricyanide Reduced (ml)	Maltose (mg)
0.10	5
0.20	10
0.30	15
0.40	20
0.50	25
0.60	31
0.70	36
0.80	41
0.90	46
1.00	51
1.10	56
1.20	60
1.30	65
1.40	71
1.50	76
1.60	80
1.70	85
1.80	90
1.90	96
2.00	101
2.10	106
2.20	111
2.30	116
2.40	121
2.50	126
2.60	130
2.70	135
2.80	140
2.90	145
3.00	151

0.1 N Ferricyanide Reduced (ml)	Maltose (mg)
3.10	156
3.20	161
3.30	166
3.40	171
3.50	176
3.60	182
3.70	188
3.80	195
3.90	201
4.00	207
4.10	213
4.20	218
4.30	225
4.40	231
4.50	237
4.60	244
4.70	251
4.80	257
4.90	264
5.00	270
5.10	276
5.20	282
5.30	288
5.40	295
5.50	302
5.60	308
5.70	315
5.80	322
5.90	328
6.00	334

0.1 N Ferricyanide Reduced (ml)	Maltose (mg)
6.10	341
6.20	347
6.30	353
6.40	360
6.50	367
6.60	373
6.70	379
6.80	385
6.90	392
7.00	398
7.10	406
7.20	412
7.30	418
7.40	425
7.50	431
7.60	438
7.70	445
7.80	451
7.90	458
8.00	465
8.10	472
8.20	478
8.30	485
8.40	492
8.50	499

ข.10 การวิเคราะห์สมบัติทางความหนืด ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyser

อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA (Rapid Visco Analyser, Newport Scientific series 4) พร้อมแคนและพาย (paddle)

2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204)

วิธีวิเคราะห์

1. เปิดเครื่อง RVA ไว้นาน 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง และปรับสภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA ดังนี้

Profile : STD 1

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

ความเร็วรอบของการกวน 160 รอบต่อนาที

อัตราการให้ความร้อน 12 องศาเซลเซียสต่อนาที

2. ในกรณีที่ตัวอย่างมีความชื้น 14% ให้เติมน้ำกลั่นปริมาตร 25.00±0.05 มิลลิลิตร ใส่ลงในแคนของเครื่อง 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 (ในการทดลองนี้ใช้ 3.00 กรัม)

M_2 = น้ำหนักตัวอย่างที่ต้องชั่ง (กรัม)

W_2 = ปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้ (มิลลิลิตร)

3. ชั่งตัวอย่างลงในแคนที่มีน้ำกลั่นอยู่ ใส่พายลงในแคน หมุนพายไปมาแรง ๆ และดึงขึ้นลงเพื่อกวนตัวอย่างไม่ให้จับเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดอยู่ที่พาย

4. นำแคนที่ใส่พายแล้วเข้าเครื่อง RVA กดมอเตอร์ลงเพื่อให้ RVA ทำงาน จะได้กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting curve)

ข.11 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Kim et al., 1995)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Perkin-Elmer, DSC-7)

2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204)

วิธีวิเคราะห์

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบความชื้น ประมาณ 3 มิลลิกรัม (โดยน้ำหนักแห้ง) ใส่ลงใน pan หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงใน pan โดยคิดเป็นอัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำเท่ากับ 30:70 % (w/w) หรือสามารถคำนวณน้ำหนักของตัวอย่างที่ต้องชั่งและน้ำที่จะเติมได้จากสูตร

$$0.003 = \frac{(\text{100-เปอร์เซ็นต์ความชื้น}) \times \text{น้ำหนักแป้งที่ต้องชั่ง}}{100} \quad \text{(หน่วย กรัม)}$$

ปริมาณน้ำที่ต้องเติม = [(0.003 × 7)/3] – น้ำหนักตัวอย่างที่ต้องชั่ง + 0.003

2. ปิดผนึกฝา pan ให้สนิทด้วยเครื่องมือปิดผนึก เก็บ sealed pan ไว้ที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน เพื่อให้ความชื้นภายใน sealed pan เข้าสู่จุดสมดุลความชื้น

3. นำ pan ใส่ในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง DSC และวาง reference pan โดยใช้ profile อุณหภูมิ 40-110 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 110 องศาเซลเซียสต่อนาที และใช้ Indium ในการ calibration

4. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์ โดยใช้ระบบ Autocalculation และบันทึกค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนซ์ ได้แก่

- อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจล (onset temperature, T_o หน่วย °C)
- อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจล (peak temperature, T_p หน่วย °C)
- เอนทาลปีของการเกิดเจลาติไนซ์ (Δ H หน่วย J/g)

ข.12 การวิเคราะห์ freeze thaw stability (ดัดแปลงจาก Liu และคณะ (1999))

อุปกรณ์

1. หลอดเซนตริฟิวจ์ ขนาด 85 มิลลิลิตร

2. เครื่องเซนตริฟิวจ์ (Thermo IEC รุ่น IEC MultiRF)

3. ตู้แช่แข็ง (Freezer, Sanyo biomedical freezer รุ่น MDF-U537)

4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204)

วิธีวิเคราะห์

1. เตรียมสารละลายสตาร์ชให้มีความเข้มข้น 6% (w/w)

2. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

3. ชั่งเจลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 20 กรัม ใส่ลงในหลอดเซนตริฟิวจ์

4. นำหลอดแช่ในน้ำ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5. นำหลอดไปเก็บที่ freezer อุณหภูมิ -30±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง หลังจากนั้นละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง

6. นำหลอดเซนตริฟิวจ์ไปเหวี่ยงแยกน้ำ ด้วยความเร็วรอบ 3,100 รอบต่อนาที เวลา 20 นาที และชั่งน้ำหนักของน้ำที่แยกออก

7. ทำซ้ำใน ข้อ 5 และ 6 อีก 6 ครั้ง (7 cycle)

8. คำนวณปริมาณการเกิด syneresis

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของปริมาณผลผลิต โปรตีน สตาร์ช damaged starch ของแป้งที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	308.675	7.060*
	Within groups	43	43.721	
	Total	45		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	0.066	88.867*
	Within groups	3	0.001	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	2	9.183	2.761
	Within groups	3	3.326	
	Total	5		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	2	179.554	124.653*
	Within groups	6	1.440	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางความหนืดของแป้งที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
Peak viscosity	Between groups	2	9775.190	1382.085*
	Within groups	9	7.073	
	Total	11		
Breakdown	Between groups	2	7040.454	1398.745*
	Within groups	9	5.033	
	Total	11		
Setback	Between groups	2	8.962	7.120*
	Within groups	9	1.259	
	Total	11		
Pasting temperature	Between groups	2	9.506	4.826*
	Within groups	9	1.970	
	Total	11		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	3	12.273	0.995
	Within groups	4	12.338	
	Total	7		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	3	1.457	272.807*
	Within groups	4	0.005	
	Total	7		
ปริมาณไขมัน	Between groups	3	0.000	3.370
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเถ้า	Between groups	3	0.008	18.749*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	3	0.001	11.795*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	3	1.364	245.083*
	Within groups	4	0.006	
	Total	7		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	3	0.335	2.990
	Within groups	4	0.112	
	Total	7		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	3	5.213	19.007*
	Within groups	4	0.274	
	Total	7		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	3	35.027	55.595*
	Within groups	4	0.630	
	Total	7		
Peak viscosity	Between groups	3	1492.833	71.944*
	Within groups	4	20.750	
	Total	7		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.3 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	3	359.000	23.541*
	Within groups	4	15.250	
	Total	7		
Setback	Between groups	3	48.792	11.152*
	Within groups	4	4.375	
	Total	7		
Pasting temperature	Between groups	3	0.173	0.385
	Within groups	4	0.450	
	Total	7		
Onset temperature	Between groups	3	2.842	0.530
	Within groups	8	5.364	
	Total	11		
Peak temperature	Between groups	3	1.692	4.132*
	Within groups	8	0.409	
	Total	11		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	3	3.338	9.904*
	Within groups	8	0.337	
	Total	11		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	3	1.036	0.202
	Within groups	4	5.118	
	Total	7		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	3	1.774	230.524*
	Within groups	4	0.008	
	Total	7		
ปริมาณไขมัน	Between groups	3	0.003	60.914*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเถ้า	Between groups	3	0.001	32.674*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	3	0.001	6.422
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	3	1.774	216.114*
	Within groups	4	0.008	
	Total	7		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	3	0.168	0.869
	Within groups	4	0.193	
	Total	7		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	3	2.470	5.106
	Within groups	4	0.484	
	Total	7		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	3	0.558	6.046
	Within groups	4	0.092	
	Total	7		
Peak viscosity	Between groups	3	320.833	51.333*
	Within groups	4	6.250	
	Total	7		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	3	152.458	25.950*
	Within groups	4	5.875	
	Total	7		
Setback	Between groups	3	43.125	4.726
	Within groups	4	9.125	
	Total	7		
Pasting temperature	Between groups	3	0.415	0.204
	Within groups	4	2.031	
	Total	7		
Onset temperature	Between groups	3	0.865	2.076
	Within groups	8	0.417	
	Total	11		
Peak temperature	Between groups	3	0.771	6.971*
	Within groups	8	0.111	
	Total	11		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	3	0.665	3.293
	Within groups	8	0.202	
	Total	11		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	3	24.728	10.830*
	Within groups	4	2.283	
	Total	7		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	3	1.217	278.057*
	Within groups	4	0.004	
	Total	7		
ปริมาณไขมัน	Between groups	3	0.002	13.435*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเถ้า	Between groups	3	0.000	1.977
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	3	0.001	19.282*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	3	1.320	234.429*
	Within groups	4	0.006	
	Total	7		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	3	0.077	0.531
	Within groups	4	0.145	
	Total	7		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	3	3.917	8.528*
	Within groups	4	0.459	
	Total	7		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	3	0.692	4.335
	Within groups	4	0.160	
	Total	7		
Peak viscosity	Between groups	3	1983.500	417.579*
	Within groups	4	4.750	
	Total	7		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	3	509.833	39.218*
	Within groups	4	13.000	
	Total	7		
Setback	Between groups	3	30.125	7.774*
	Within groups	4	3.875	
	Total	7		
Pasting temperature	Between groups	3	0.968	4.903
	Within groups	4	0.198	
	Total	7		
Onset temperature	Between groups	3	1.620	2.133
	Within groups	8	0.759	
	Total	11		
Peak temperature	Between groups	3	0.031	0.108
	Within groups	8	0.283	
	Total	11		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	3	0.402	1.446
	Within groups	8	0.278	
	Total	11		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	13.428	1.028
	Within groups	3	13.060	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	3.437	1138.811*
	Within groups	3	0.003	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.003	23.130*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.001	40.690*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.002	20.682*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	3.853	703.457*
	Within groups	3	0.005	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.018	0.277
	Within groups	3	0.066	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups			
	Within groups			
	Total			
ปริมาณ damaged starch	Between groups			
	Within groups			
	Total			
Peak viscosity	Between groups	2	3606.500	2163.900*
	Within groups	3	1.667	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.6 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	335.167	201.100*
	Within groups	3	1.667	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	17.167	10.300*
	Within groups	3	1.667	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	3.162	13.083*
	Within groups	3	0.242	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	1.429	1.315
	Within groups	6	1.087	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	0.140	0.717
	Within groups	6	0.196	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	0.543	1.240
	Within groups	6	0.438	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.3%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	21.495	14.257*
	Within groups	3	1.508	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	5.619	1037.400*
	Within groups	3	0.005	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.003	40.697*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.001	2.785
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.000	8.910
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	5.967	1327.090*
	Within groups	3	0.004	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.164	0.607
	Within groups	3	0.271	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups			
	Within groups			
	Total			
ปริมาณ damaged starch	Between groups			
	Within groups			
	Total			
Peak viscosity	Between groups	2	8482.667	706.889*
	Within groups	3	12.000	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.7 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.3%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	490.500	24.322*
	Within groups	3	20.167	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	164.667	16.746*
	Within groups	3	9.833	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	0.980	7.350
	Within groups	3	0.133	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	0.025	0.197
	Within groups	6	0.126	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	0.937	14.629*
	Within groups	6	0.064	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	2.812	39.641*
	Within groups	6	0.071	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.4%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	34.757	3.042
	Within groups	3	11.426	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	6.514	609.441*
	Within groups	3	0.011	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.006	79.395*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.006	70.500*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.000	3.822
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	7.203	652.198*
	Within groups	3	0.011	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.599	3.935
	Within groups	3	0.152	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	2	13.662	24.124*
	Within groups	3	0.566	
	Total	5		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	2	24.114	52.853*
	Within groups	3	0.456	
	Total	5		
Peak viscosity	Between groups	2	6742.167	321.056*
	Within groups	3	21.000	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.8 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.4%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	876.500	99.226*
	Within groups	3	8.833	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	8.167	0.742
	Within groups	3	11.000	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	0.420	0.140
	Within groups	3	3.000	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	1.246	0.871
	Within groups	6	1.431	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	9.134	2.500
	Within groups	6	3.654	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	12.453	39.599*
	Within groups	6	0.314	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	53.063	162.739*
	Within groups	3	0.326	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	4.150	1013.355*
	Within groups	3	0.004	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.008	133.800*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.007	11.690*
	Within groups	3	0.001	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.000	3.277
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	4.696	967.473*
	Within groups	3	0.005	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.103	0.921
	Within groups	3	0.112	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	2	9.572	32.444*
	Within groups	3	0.295	
	Total	5		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	2	100.263	322.234*
	Within groups	3	0.311	
	Total	5		
Peak viscosity	Between groups	2	10340.167	1348.717*
	Within groups	3	7.667	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.9 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.5%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	1659.500	111.876*
	Within groups	3	14.833	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	62.000	93.000*
	Within groups	3	0.667	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	0.695	3.534
	Within groups	3	0.197	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	1.730	0.285
	Within groups	6	6.076	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	1.056	1.911
	Within groups	6	0.553	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	11.792	44.232*
	Within groups	6	0.267	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	3	10.799	1.977
	Within groups	4	5.461	
	Total	7		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	3	0.037	2.059
	Within groups	4	0.018	
	Total	7		
ปริมาณไขมัน	Between groups	3	0.002	53.537*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเถ้า	Between groups	3	0.000	0.199
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	3	0.000	0.690
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	3	0.053	2.910
	Within groups	4	0.018	
	Total	7		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	3	0.127	0.753
	Within groups	4	0.168	
	Total	7		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	3	0.038	0.049
	Within groups	4	0.775	
	Total	7		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	3	5.801	58.407*
	Within groups	4	0.099	
	Total	7		
Peak viscosity	Between groups	3	6.833	0.255
	Within groups	4	26.750	
	Total	7		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.10 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	3	55.792	1.899
	Within groups	4	29.375	
	Total	7		
Setback	Between groups	3	9.125	0.839
	Within groups	4	10.875	
	Total	7		
Pasting temperature	Between groups	3	4.723	6.195
	Within groups	4	0.762	
	Total	7		
Onset temperature	Between groups	3	4.309	2.620
	Within groups	8	1.645	
	Total	11		
Peak temperature	Between groups	3	0.250	2.260
	Within groups	8	0.110	
	Total	11		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	3	1.724	2.378
	Within groups	8	0.725	
	Total	11		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	3	0.745	0.194
	Within groups	4	3.847	
	Total	7		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	3	0.107	6.981*
	Within groups	4	0.015	
	Total	7		
ปริมาณไขมัน	Between groups	3	0.003	42.956*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเถ้า	Between groups	3	0.001	1.243
	Within groups	4	0.001	
	Total	7		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	3	0.000	0.764
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	3	0.114	7.673*
	Within groups	4	0.015	
	Total	7		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	3	0.119	1.735
	Within groups	4	0.069	
	Total	7		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	3	0.316	0.436
	Within groups	4	0.724	
	Total	7		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	3	1.692	24.662*
	Within groups	4	0.069	
	Total	7		
Peak viscosity	Between groups	3	1797.792	161.599*
	Within groups	4	11.125	
	Total	7		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.11 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	3	340.167	151.185*
	Within groups	4	2.250	
	Total	7		
Setback	Between groups	3	6.833	1.302
	Within groups	4	5.250	
	Total	7		
Pasting temperature	Between groups	3	1.501	6.563*
	Within groups	4	0.229	
	Total	7		
Onset temperature	Between groups	3	0.778	0.941
	Within groups	8	0.827	
	Total	11		
Peak temperature	Between groups	3	1.034	4.540*
	Within groups	8	0.228	
	Total	11		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	3	2.174	8.707*
	Within groups	8	0.250	
	Total	11		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ช จากการโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	3	0.658	0.471
	Within groups	4	1.396	
	Total	7		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	3	0.068	3.023
	Within groups	4	0.023	
	Total	7		
ปริมาณไขมัน	Between groups	3	0.004	89.932*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเถ้า	Between groups	3	0.003	4.301
	Within groups	4	0.001	
	Total	7		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	3	0.000	3.277
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	3	0.067	3.964
	Within groups	4	0.017	
	Total	7		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	3	0.068	.987
	Within groups	4	0.069	
	Total	7		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	3	0.006	0.018
	Within groups	4	0.354	
	Total	7		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	3	0.289	1.787
	Within groups	4	0.162	
	Total	7		
Peak viscosity	Between groups	3	507.125	36.550*
	Within groups	4	13.875	
	Total	7		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.12 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	3	461.458	19.128*
	Within groups	4	24.125	
	Total	7		
Setback	Between groups	3	28.500	5.182
	Within groups	4	5.500	
	Total	7		
Pasting temperature	Between groups	3	0.395	0.768
	Within groups	4	0.514	
	Total	7		
Onset temperature	Between groups	3	0.924	0.602
	Within groups	8	1.536	
	Total	11		
Peak temperature	Between groups	3	0.539	1.830
	Within groups	8	0.294	
	Total	11		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	3	4.909	7.048*
	Within groups	8	0.697	
	Total	11		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 1%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	5.176	1.537
	Within groups	3	3.367	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	0.292	66.451*
	Within groups	3	0.004	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.002	38.557*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.006	5.334
	Within groups	3	0.001	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.000	4.882
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	0.380	72.096*
	Within groups	3	0.005	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.191	8.391
	Within groups	3	0.023	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	2	0.329	0.778
	Within groups	3	0.422	
	Total	5		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	2	9.088	69.321*
	Within groups	3	0.131	
	Total	5		
Peak viscosity	Between groups	2	9192.167	380.366*
	Within groups	3	24.167	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.13 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 1%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	1968.167	63.489*
	Within groups	3	31.000	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	8.167	1.633
	Within groups	3	5.000	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	1.865	2.555
	Within groups	3	0.730	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	6.134	2.586
	Within groups	6	2.372	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	1.063	2.598
	Within groups	6	0.409	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	4.961	9.967*
	Within groups	6	0.498	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 2%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	8.022	2.731
	Within groups	3	2.938	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	0.209	7.477
	Within groups	3	0.028	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.002	21.771*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.004	40.157*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.000	8.255
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	0.261	9.499*
	Within groups	3	0.027	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.120	1.934
	Within groups	3	0.062	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	2	0.456	0.702
	Within groups	3	0.650	
	Total	5		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	2	7.669	48.538*
	Within groups	3	0.158	
	Total	5		
Peak viscosity	Between groups	2	6602.000	477.253*
	Within groups	3	13.833	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.14 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 2%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	2162.167	316.415*
	Within groups	3	6.833	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	4.667	2.545
	Within groups	3	1.833	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	0.380	1.854
	Within groups	3	0.205	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	1.069	0.552
	Within groups	6	1.938	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	0.338	1.269
	Within groups	6	0.266	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	5.799	27.194*
	Within groups	6	0.213	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 3%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	11.994	3.334
	Within groups	3	3.598	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	0.019	3.556
	Within groups	3	0.005	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.003	98.201*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.001	1.313
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.000	2.535
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	0.046	13.782*
	Within groups	3	0.003	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.180	1.233
	Within groups	3	0.146	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	2	0.984	1.366
	Within groups	3	0.720	
	Total	5		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	2	16.997	1508.615*
	Within groups	3	0.011	
	Total	5		
Peak viscosity	Between groups	2	1829.167	332.576*
	Within groups	3	5.500	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.15 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 3%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	393.167	20.693*
	Within groups	3	19.000	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	17.167	1.198
	Within groups	3	14.333	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	1.362	1.695
	Within groups	3	0.803	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	0.764	0.877
	Within groups	6	0.871	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	0.844	11.692*
	Within groups	6	0.072	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	2.497	6.883*
	Within groups	6	0.363	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 4%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	41.529	9.503*
	Within groups	3	4.370	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	0.315	8.563
	Within groups	3	0.037	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.003	411.784*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.000	.377
	Within groups	3	0.001	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.000	3.107
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	0.389	12.756*
	Within groups	3	0.031	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.008	0.044
	Within groups	3	0.177	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	2	1.073	1.583
	Within groups	3	0.678	
	Total	5		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	2	18.689	134.252*
	Within groups	3	0.139	
	Total	5		
Peak viscosity	Between groups	2	2908.167	114.046*
	Within groups	3	25.500	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.16 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 4%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	948.500	54.200*
	Within groups	3	17.500	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	48.500	6.326
	Within groups	3	7.667	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	1.385	5.161
	Within groups	3	0.268	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	0.741	4.558
	Within groups	6	0.162	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	0.242	2.523
	Within groups	6	0.096	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	7.738	6.704*
	Within groups	6	1.154	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ช จากการโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	3	1.966	0.604
	Within groups	4	3.257	
	Total	7		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	3	0.418	10.456*
	Within groups	4	0.040	
	Total	7		
ปริมาณไขมัน	Between groups	3	0.002	45.669*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเถ้า	Between groups	3	0.002	13.432*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	3	0.000	5.492
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	3	0.440	12.928*
	Within groups	4	0.034	
	Total	7		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	3	0.153	0.491
	Within groups	4	0.312	
	Total	7		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	3	0.686	1.372
	Within groups	4	0.500	
	Total	7		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	3	2.791	16.920
	Within groups	4	0.165	
	Total	7		
Peak viscosity	Between groups	3	126.458	18.394*
	Within groups	4	6.875	
	Total	7		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.17 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่แห้งที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	3	89.792	6.841*
	Within groups	4	13.125	
	Total	7		
Setback	Between groups	3	8.125	3.824
	Within groups	4	2.125	
	Total	7		
Pasting temperature	Between groups	3	2.245	2.303
	Within groups	4	0.975	
	Total	7		
Onset temperature	Between groups	3	0.845	0.848
	Within groups	8	0.997	
	Total	11		
Peak temperature	Between groups	3	0.470	3.406
	Within groups	8	0.138	
	Total	11		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	3	0.740	1.358
	Within groups	8	0.545	
	Total	11		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	3	1.675	1.136
	Within groups	4	1.474	
	Total	7		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	3	0.353	1.420
	Within groups	4	0.248	
	Total	7		
ปริมาณไขมัน	Between groups	3	0.00	74.238*
	Within groups	4	0.00	
	Total	7		
ปริมาณเถ้า	Between groups	3	0.001	7.504*
	Within groups	4		
	Total	7		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	3	0.000	3.187
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	3	0.340	1.350
	Within groups	4	0.252	
	Total	7		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	3	0.019	0.028
	Within groups	4	0.685	
	Total	7		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	3	0.286	0.638
	Within groups	4	0.449	
	Total	7		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	3	0.352	9.879
	Within groups	4	0.036	
	Total	7		
Peak viscosity	Between groups	3	646.167	63.041*
	Within groups	4	10.250	
	Total	7		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.18 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่เปียกที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	3	194.125	29.302*
	Within groups	4	6.625	
	Total	7		
Setback	Between groups	3	28.333	3.656
	Within groups	4	7.750	
	Total	7		
Pasting temperature	Between groups	3	0.390	0.244
	Within groups	4	1.597	
	Total	7		
Onset temperature	Between groups	3	0.492	0.411
	Within groups	8	1.198	
	Total	11		
Peak temperature	Between groups	3	0.051	0.638
	Within groups	8	0.079	
	Total	11		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	3	1.412	2.824
	Within groups	8	0.500	
	Total	11		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.19 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ช จากการโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	3	1.135	0.854
	Within groups	4	1.329	
	Total	7		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	3	0.254	11.250*
	Within groups	4	0.023	
	Total	7		
ปริมาณไขมัน	Between groups	3	0.001	11.284*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเถ้า	Between groups	3	0.000	0.810
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	3	0.001	16.981*
	Within groups	4	0.000	
	Total	7		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	3	0.246	10.658*
	Within groups	4	0.023	
	Total	7		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	3	0.042	0.082
	Within groups	4	0.509	
	Total	7		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	3	0.240	1.299
	Within groups	4	0.185	
	Total	7		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	3	1.351	8.868
	Within groups	4	0.152	
	Total	7		
Peak viscosity	Between groups	3	470.333	45.886*
	Within groups	4	10.250	
	Total	7		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.19 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจากการโม่ผสมที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้นต่าง ๆ

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	3	124.833	45.394*
	Within groups	4	2.750	
	Total	7		
Setback	Between groups	3	15.167	2.167
	Within groups	4	7.000	
	Total	7		
Pasting temperature	Between groups	3	0.631	1.161
	Within groups	4	0.544	
	Total	7		
Onset temperature	Between groups	3	7.566	1.701
	Within groups	8	4.449	
	Total	11		
Peak temperature	Between groups	3	2.631	1.562
	Within groups	8	1.685	
	Total	11		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	3	1.437	2.685
	Within groups	8	0.535	
	Total	11		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.20 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้น 0.9%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	15.063	29.081*
	Within groups	3	0.518	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	0.625	5.139
	Within groups	3	0.122	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.010	251.283*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.001	19.162*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.001	12.439*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	0.773	6.343
	Within groups	3	0.122	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.044	0.046
	Within groups	3	0.958	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	2	1.230	4.310
	Within groups	3	0.285	
	Total	5		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	2	0.374	8.962
	Within groups	3	0.042	
	Total	5		
Peak viscosity	Between groups	2	884.667	89.966*
	Within groups	3	9.833	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.20 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้น 0.9%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	512.167	74.951*
	Within groups	3	6.833	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	61.167	6.016
	Within groups	3	10.167	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	3.362	1.482
	Within groups	3	2.268	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	0.136	0.208
	Within groups	6	0.654	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	1.142	25.910*
	Within groups	6	0.044	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	0.283	1.122
	Within groups	6	0.252	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.21 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้น 1.1%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	27.718	20.878*
	Within groups	3	1.328	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	0.270	3.834
	Within groups	3	0.071	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.007	137.018*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.001	4.541
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.000	7.471
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	0.368	5.134
	Within groups	3	0.072	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.070	0.108
	Within groups	3	0.644	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	2	0.648	1.764
	Within groups	3	0.367	
	Total	5		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	2	0.694	4.408
	Within groups	3	0.158	
	Total	5		
Peak viscosity	Between groups	2	486.500	112.269*
	Within groups	3	4.333	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.21 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้น 1.1%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	8.167	0.742
	Within groups	3	11.000	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	96.500	27.571*
	Within groups	3	3.500	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	3.420	3.231
	Within groups	3	1.058	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	0.211	0.174
	Within groups	6	1.213	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	2.558	14.852*
	Within groups	6	0.172	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	0.093	0.189
	Within groups	6	0.490	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.22 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้น 1.3%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	11.081	2.067
	Within groups	3	5.360	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	0.608	138.825*
	Within groups	3	0.004	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.006	132.653*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.001	9.711*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.000	1.422
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	0.741	154.760*
	Within groups	3	0.005	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.066	1.148
	Within groups	3	0.057	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	2	0.704	1.740
	Within groups	3	0.405	
	Total	5		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	2	0.727	4.986
	Within groups	3	0.146	
	Total	5		
Peak viscosity	Between groups	2	387.500	31.849*
	Within groups	3	12.167	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.22 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้น 1.3%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	480.167	169.471*
	Within groups	3	2.833	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	7.167	2.529
	Within groups	3	2.833	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	2.205	24.500*
	Within groups	3	0.090	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	0.762	0.916
	Within groups	6	0.831	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	0.876	4.691
	Within groups	6	0.187	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	0.393	1.055
	Within groups	6	0.373	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.23 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่างๆที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้น 1.5%

	SOV	df	MS	F
ปริมาณผลผลิต	Between groups	2	16.024	18.330*
	Within groups	3	0.874	
	Total	5		
ปริมาณโปรตีน	Between groups	2	0.691	3.166
	Within groups	3	0.218	
	Total	5		
ปริมาณไขมัน	Between groups	2	0.005	468.308*
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณเถ้า	Between groups	2	0.002	3.643
	Within groups	3	0.001	
	Total	5		
ปริมาณเส้นใย	Between groups	2	0.001	5.426
	Within groups	3	0.000	
	Total	5		
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต	Between groups	2	0.789	3.696
	Within groups	3	0.213	
	Total	5		
ปริมาณอะไมโลส	Between groups	2	0.129	0.369
	Within groups	3	0.350	
	Total	5		
ปริมาณสตาร์ช	Between groups	2	0.768	1.692
	Within groups	3	0.454	
	Total	5		
ปริมาณ damaged starch	Between groups	2	3.227	25.678*
	Within groups	3	0.126	
	Total	5		
Peak viscosity	Between groups	2	504.167	49.590*
	Within groups	3	10.167	
	Total	5		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ค.23 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่ได้จากการโม่ด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโดเดซิลเบนซินซัลโฟเนตความเข้มข้น 1.5%

	SOV	df	MS	F
Breakdown	Between groups	2	440.667	47.214*
	Within groups	3	9.333	
	Total	5		
Setback	Between groups	2	8.667	1.444
	Within groups	3	6.000	
	Total	5		
Pasting temperature	Between groups	2	1.727	2.339
	Within groups	3	0.738	
	Total	5		
Onset temperature	Between groups	2	14.103	2.289
	Within groups	6	6.161	
	Total	8		
Peak temperature	Between groups	2	7.291	3.418
	Within groups	6	2.133	
	Total	8		
Enthalpy of gelatinization	Between groups	2	5.876	5.925*
	Within groups	6	0.992	
	Total	8		

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุพัตรา งามอุรุเลิศ เกิดเมื่อวันที่ 2 กันยายน 2520 ที่จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เทคโนโลยีอาหาร คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2541 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย