สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งและสตาร์ชจากเกาลัดน่าน *Sterculia monosperma* Vent.

นางสาวมนทกานต์ เบญจพลากร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF CHESTNUT *Streculia monosperma* Vent.

FLOUR AND STARCH

Miss Montakarn Benjapalakorn

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Food Technology

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งและสตาร์ชจากเกาลัดน่าน *Sterculia monosperma* Vent.
โดย	นางสาวมนทกานต์ เบญจพลากร
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมนะเศวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

.... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุล)

มนทกานต์ เบญจพลากร : สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งและสตาร์ชจากเกาลัดน่าน *Sterculia monosperma* Vent. (PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF CHESTNUT *Sterculia monosperma* Vent. FLOUR AND STARCH) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. กัลยา เลาหสงคราม, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ, 107 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งและสตาร์ชจากเกาลัด *Sterculia monosperma* Vent. และการนำไปประยุกต์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งหรือสตาร์ชเป็นองค์ประกอบ โดยแปรวิธีการโม่ (โม่แห้ง, โม่เปียก) พบว่า แป้งจากการโม่ทั้ง 2 วิธี มีปริมาณผลผลิตและเส้นใยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) แป้งจากการโม่แห้งมีปริมาณโปรตีน ไขมันและเถ้ามากกว่า แต่คาร์โบไฮเดรตและแอมิโลสต่ำกว่าแป้งจากการโม่เปียก เม็ดแป้งเกาลัดมีทั้งรูปร่างกลม และรูปไข่ที่มีรอยตัด เม็ดแป้งจากการโม่แห้งสูญเสีย birefringence ไปบางส่วน และมีองค์ประกอบอื่นหรือเม็ดสตาร์ชที่แตกหักเกาะติดอยู่บริเวณผิวชัดเจนกว่าเม็ดสตาร์ชของแป้งโม่เปียก จากการวัดค่าสี พบว่าแป้งโม่แห้งมีค่า L, a และดัชนีความขาวต่ำกว่า แต่ค่า b สูงกว่าแป้งโม่เปียก แป้งจากการโม่แห้งมีปริมาณ damaged starch ความสามารถในการจับน้ำ, การละลายน้ำ, อุณหภูมิในการเกิดเจล (T_o, T_p และ pasting temperature) สูงกว่า แต่ค่ากำลังการพองตัว, peak viscosity, breakdown, ΔH_{gel} และการคืนตัวต่ำกว่าแป้งจากการโม่เปียก จากการศึกษาการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดเกาลัด โดยแปรชนิดและความเข้มข้นของสารสกัด (น้ำ, สารละลาย $NaHSO_3$ ความเข้มข้น 0.3-0.7% และสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1-0.5%) พบว่าการสกัดด้วยสารละลาย 0.5% NaOH ให้สตาร์ชที่มีปริมาณโปรตีนต่ำสุด (0.28% db) และจากการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ พบว่าสตาร์ชมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน เส้นใย และแอมิโลส 99.58%, 0.28%, 0.15% และ 36.63% โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณเถ้าและไขมันน้อยมาก มีลักษณะ birefringence ชัดเจน เม็ดสตาร์ชมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 9.10 µm มีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ C มีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน 70-81°C และ ΔH_{gel} 18.19 J/g เมื่อวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA ที่ความเข้มข้น 7% พบว่ามี pasting temperature 82.37°C, peak viscosity, breakdown และ setback เท่ากับ 150.53, 17.58 และ 63.36 RVU ตามลำดับ และพบว่าไม่ทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง (3-9) ต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ช พบว่าแป้งและสตาร์ชเกาลัดที่มีความเป็นกรด-ด่าง 9 มีความหนืดสูงที่สุด เมื่อนำสตาร์ชและแป้งจากการโม่เปียกมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซอสพริก และใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่าสตาร์ชและแป้งเกาลัดสามารถใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซอสพริกได้ แต่ไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.........เทคโนโลยีทางอาหาร.......... ลายมือชื่อนิสิต........มนทกานต์ เบญจพลากร..........

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

ปีการศึกษา................2549.................... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..........

4672373623 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORDS : CHESTNUT/PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES/STARCH/FLOUR

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF CHINA-CHESTNUT *Streculia monosperma* Vent. FLOUR AND STARCH. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. KALAYA LAOHASONGKRAM, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC. PROF. SAIWARUN CHAIWANICHSIRI, Ph.D., 107 pp.

This research aimed to investigate the physicochemical properties of flours and starch from chestnut (*Sterculia monosperma* Vent.), and their uses in food products. Two milling methods (dry-milling and wet-milling) were studied and found that the yield and fiber content of the dry-milled and wet-milled flours were not significantly different ($p>0.05$). Flour from dry-milling had higher protein, fat and ash and lower carbohydrate and amylose contents than those from wet-milling. The starch granules of both flours were round and half cut oval shape. The dry-milled flour granules were found to lose their birefringence partially and had more other components or damaged starch attached on the surface than the wet-milled flour granules. From the color measurement it was found that the dry-milled flour had lower L, a values and white index, but higher b values than the wet-milling. The dry-milled flour were found to have higher damaged starch, water binding capacity, solubility, onset temperature (T_o), peak temperature (T_p) and pasting temperature but lower swelling power, peak viscosity, breakdown, enthalpy of gelatinization (ΔH_{gel}) and retrogradation than the wet-milled flour. Type and concentration of extracted solution (water, 0.3-0.7% $NaHSO_3$ and 0.1-0.5% NaOH) were studied. The results showed that starch isolated by using 0.5% NaOH had the lowest protein content (0.28 %db). The starch obtained had carbohydrate, protein, fiber and amylose contents of 99.58%, 0.28%, 0.15% and 36.63%db, respectively, and trace amounts of ash and fat. Clear birefringence of starch granules was observed under the polarized light. The china-chestnut starch granules had the average sizes of 9.10 μm and exhibited a C-type X-ray diffraction pattern. The gelatinization temperature of china-chestnut starch was 70-81°C and ΔH_{gel} was 18.19 J/g. The pasting properties of starch as measured by RVA at concentration of 7 % showed to be pasting temperature of 82.37°C, peak viscosity, breakdown and setback of 150.53, 17.58 and 63.36 RVU, respectively. In addition, the starch had low freeze-thaw stability. From the study on the effect of pH (3-9) on pasting properties of china-chestnut flour and starch pastes, it was found that the pastes at pH 9 had the highest viscosity. The application of the wet-milled flour and starch showed that they could be used as thickener in acidic food such as chilli sauce but were not suitable for rice noodles.

Department..........Food Technology.......... Student's signature....Montakarn Benjapalakorn

Field of study........Food Technology.......... Advisor's signature....Kalaya Laohasongkram

Academic year............2006.................... Co-advisor's signature....Saiwarun C.............

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. กัลยา เลาหสงคราม และรองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาการทำวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งได้อบรมสั่งสอนให้มีความรอบคอบ รับผิดชอบต่อหน้าที่ และตั้งใจปฏิบัติงาน ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. พัชรี ปานกุล และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุล ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณและขอบคุณผู้ให้ความอนุเคราะห์และให้การสนับสนุนด้านต่างๆ ของงานวิจัยนี้

- ทุนอุดหนุนการศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา กองทุนพัฒนาบุคลากรวิทยาเขตสารสนเทศพะเยา มหาวิทยาลัยนเรศวร
- ทุนวิจัยจากโครงการการศึกษาศักยภาพเชิงอุตสาหกรรม การใช้ประโยชน์และการเพิ่มมูลค่าพืชที่ปลูกในจังหวัดน่าน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- วัตถุดิบพริกชี้ฟ้าแดงดองและกระเทียมดอง จากบริษัท ไทยเทพรส จำกัด (มหาชน)

กราบขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า ทั้งในด้านวิชาการ และจริยธรรม

ขอบคุณพี่ภัณฑิรา เหมภัทรสุวรรณ พี่ปริญญาเอก และเพื่อนๆ ปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกคน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจกันมาตลอดการวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ญาติ พี่ น้อง ที่ได้สนับสนุนด้านการศึกษาและให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ตลอดจนให้กำลังใจอันมีค่ายิ่งเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่	
1. บทนำ	1
2. วารสารปริทัศน์	2
2.1 เกาลัด	2
2.2 แป้งและสตาร์ช	3
2.3 สมบัติทางเคมีและกายภาพที่สำคัญของแป้ง	4
2.3.1 สมบัติทางเคมี	4
2.3.2 สมบัติทางกายภาพ	8
3. ขั้นตอนการทดลอง	17
3.1 การเตรียมวัตถุดิบ	17
3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย	17
3.2.1 การหาปริมาณผลผลิตเนื้อเมล็ดเกาลัด	17
3.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดเกาลัด	17
3.2.3 การศึกษาผลของวิธีโม่แป้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเกาลัด	18
3.2.4 การสกัดสตาร์ชจากเมล็ดเกาลัด	22
3.2.5 การศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ชเกาลัด	23
3.2.6 ศึกษาการนำแป้งและสตาร์ชเกาลัดไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ	23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

4. ผลการทดลองและวิจารณ์... 27
4.1 ปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อเมล็ดเกาลัด........................ 27
4.2 ผลของวิธีโม่แป้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเกาลัด............................ 27
4.3 ผลของวิธีการสกัดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชเกาลัด............ 44
4.4 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้ง
และสตาร์ชเกาลัด.. 58
4.5 การนำแป้งและสตาร์ชเกาลัดไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้ง
เป็นองค์ประกอบ.. 62
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.. 69
รายการอ้างอิง.. 71
ภาคผนวก.. 80
ภาคผนวก ก... 81
ภาคผนวก ข... 102
ภาคผนวก ค... 103
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์... 107

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชชนิดต่างๆ.. 13

2.2 ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งชนิดต่างๆ
ที่วัดโดยเครื่อง DSC…….. 14

3.1 องค์ประกอบของซอสพริก……………………………………………………………. 24

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดเกาลัดหลังแกะเปลือก………………………………… 27

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก……………… 29

4.3 ค่าสี และค่าดัชนีความขาวของแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียก……………... 32

4.4 ปริมาณ damaged starch และค่าความสามารถในการจับน้ำของแป้งเกาลัด
จากการโม่แห้งและโม่เปียก……………………………………………………………... 33

4.5 ค่าความสามารถในการจับน้ำของแป้งเกาลัดและแป้งชนิดอื่นๆ 34

4.6 สมบัติด้านความหนืดระหว่าง heating-cooling cycle ที่วิเคราะห์โดย RVA
ของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียกที่ระดับความเข้มข้น 7%................. 39

4.7 สมบัติด้านความร้อนของแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียกที่วิเคราะห์
ด้วยเครื่อง DSC……………………………………………………………………………. 40

4.8 สมบัติด้านความร้อนของแป้งเกาลัดและแป้งชนิดต่างๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC.. 41

4.9 ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันที่อุณหภูมิ 4 ^{O}C ของแป้งเกาลัดที่ได้
จากการโม่แห้งและโม่เปียก.. 44

4.10 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารสกัดต่อปริมาณผลผลิตและปริมาณโปรตีน
ของสตาร์ชเกาลัดที่สกัดได้จากเมล็ดเกาลัด…………………………………………… 45

4.11 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเกาลัด.. 46

4.12 ค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชเกาลัดที่สกัดด้วยสารละลาย NaOH…………..... 49

4.13 ปริมาณ damaged starch และค่าความสามารถในการจับน้ำของสตาร์ชเกาลัด….. 50

4.14 ค่ากำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชเกาลัดและสตาร์ชชนิดต่างๆ……….. 53

4.15 สมบัติด้านความหนืดของสารละลายสตาร์ชเกาลัดเข้มข้น 7 %
ในช่วงheating-cooling cycle วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA 54

4.16 สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชเกาลัดและสตาร์ชชนิดต่างๆ ที่วิเคราะห์
ด้วยเครื่อง RVA…………………………………………………………………………. 55

ตารางที่ หน้า

4.17 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชเกาลัดที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC.................... 56
4.18 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชเกาลัดและสตาร์ชต่างๆที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC.. 56
4.19 ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C ของสตาร์ชเกาลัด........................ 58
4.20 ความหนืดของซอสพริกที่ใช้แป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็นสารให้ความข้นหนืดเปรียบเทียบกับซอสพริกที่ผลิตในทางการค้า ยี่ห้อศรีราชาพานิช........................ 63
4.21 ความหนืดของซอสพริกที่ใช้แป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็นสารให้ความข้นหนืดเปรียบเทียบกับซอสพริกที่ผลิตในทางการค้า ยี่ห้อศรีราชาพานิชหลังปรับเปลี่ยนขั้นตอนการผลิต.. 65
4.22 สมบัติทางกายภาพของก๋วยเตี๋ยวที่ทดแทนส่วนของแป้งข้าวเจ้าด้วยสตาร์ชเกาลัด... 67
4.23 คะแนนทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยสตาร์ชเกาลัด 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด.. 68
ก.1 Ferricyanide-Maltose Conversion.. 88
ก.2 ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA.............. 95
ก.3 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่เป็นแบบ A, B และ C.......................... 100
ค.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชเกาลัดด้วยเครื่อง Wide Angle X-ray Diffraction.. 103
ค.2 สมบัติด้านความหนืดในช่วง heating-cooling cycle วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งในน้ำ ที่ pH ต่างกัน.. 104
ค.3 สมบัติด้านความหนืดในช่วง heating-cooling cycle วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียกในน้ำ ที่ pH ต่างกัน.................................. 105
ค.4 สมบัติด้านความหนืดในช่วง heating-cooling cycle วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ของสตาร์ชเกาลัดในน้ำ ที่ pH ต่างกัน... 106

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ผลแก่ของเกาลัด.. 3

2.2 เมล็ดเกาลัด.. 3

2.3 โครงสร้างของแอมิโลส.. 5

2.4 โครงสร้างของอะมิโลเพกติน.. 6

2.5 ลักษณะโครงสร้างเกลียวคู่ของอะมิโลเพกติน.. 6

2.6 ลักษณะโครงสร้างอะมิโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน................ 7

2.7 บริเวณส่วนผลึก และส่วนอสัณฐานของเม็ดสตาร์ช.. 9

2.8 รูปแบบการหักเหรังสีเอ็กซเรย์ของเม็ดสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน................ 9

2.9 รูปแบบการพองตัวของแป้งต่างชนิด.. 11

2.10 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC.. 14

3.1 วิธีโม่แห้ง.. 19

3.2 วิธีโม่เปียก.. 20

3.3 ขั้นตอนการเตรียมซอสพริก.. 24

3.4 ขั้นตอนการทำเส้นก๋วยเตี๋ยว.. 25

4.1 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของเม็ดแป้งเกาลัด
จากการโม่แห้งและโม่เปียก.. 30

4.2 ลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชเกาลัดของแป้งเกาลัดที่ได้
จากการโม่แห้งและโม่เปียก.. 31

4.3 กำลังการพองตัวของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก
ที่ช่วงอุณหภูมิ 50-90 $^{\circ}$C.. 35

4.4 การละลายของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียกที่ช่วงอุณหภูมิ 50-90 $^{\circ}$C.. 36

4.5 กำลังการพองตัวของแป้งเกาลัดและแป้งชนิดต่างๆ.. 37

4.6 โครงสร้างของเจลแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียกเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลาย
น้ำแข็งรอบที่ 1 (กำลังขยาย 100 เท่า).. 42

4.7 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชเกาลัด.. 47

4.8 ขนาดและการกระจายของเม็ดสตาร์ชเกาลัดในสตาร์ชเกาลัด.. 47

4.9 ลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชเกาลัด.. 48

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ หน้า

4.10 X-ray diffraction pattern แสดงโครงสร้างผลึกของสตาร์ชเกาลัด......................... 49
4.11 กำลังการพองตัวของสตาร์ชและแป้งเกาลัดจากการโม่เปียก
ที่ช่วงอุณหภูมิ 50-90^{O}C………………………………………………………….... 51
4.12 การละลายของสตาร์ชและแป้งเกาลัดจากการโม่เปียกที่ช่วงอุณหภูมิ 50-90^{O}C…… 52
4.13 โครงสร้างของเจลสตาร์ชเกาลัดเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งรอบที่ 1
(กำลังขยาย 100 เท่า).. 57
4.14 ผลของ pH ต่อค่า peak viscosity ของแป้งและสตาร์ชเกาลัด……………….……. 60
4.15 ผลของ pH ต่อค่า breakdown ของแป้งและสตาร์ชเกาลัด………………………… 60
4.16 ผลของ pH ต่อค่า setback ของแป้งและสตาร์ชเกาลัด…………………………….. 61
4.17 ผลของ pH ต่อค่า pasting temperature ของแป้งและสตาร์ชเกาลัด……………… 61
4.18 การเตรียมซอสพริกที่ปรับเปลี่ยนขั้นตอนการผลิต………………………………….. 64
ก.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส.. 90

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

อุตสาหกรรมแป้งมีความสำคัญต่อความเป็นอยู่ของประชากรโลกเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเป็นแหล่งอาหารหลักของมนุษย์ โดยทั่วไปมีการใช้แป้งในอุตสาหกรรมอาหาร เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหารจำพวกซอส ซุปและน้ำปรุงรสอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็ง (freeze-thaw) สภาวะกรด การฆ่าเชื้อแบบพาสเจอไรซ์ (pasteurization) และสเตอริไลส์ (sterilization) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการนำแป้งมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมยา อุตสาหกรรมกาวและอุตสาหกรรมแป้งดัดแปร (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

รูปแบบการใช้ประโยชน์จากแป้งในอุตสาหกรรมต่างๆ มีการเปลี่ยนแปลงเสมอ อุตสาหกรรมหนึ่งในปัจจุบันอาจถูกแทนที่ด้วยอีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่กำลังพัฒนาต่อไปในอนาคต การคิดค้นใหม่ๆ ทำให้เกิดแป้งชนิดใหม่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างเช่น การผลิตพลาสติกย่อยสลายได้ ทำให้มีความต้องการแป้งที่มีเม็ดแป้งขนาดเล็กและมีปริมาณแอมิโลสสูง จึงเกิดความพยายามที่จะเสาะแสวงหาแป้งชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัตินั้นหรือใช้เทคนิคต่างๆ ทางชีวเคมี พันธุวิศวกรรม เพื่อดัดแปรแป้งหรือพืชนั้นๆ ทำให้เกิดความก้าวหน้าทางวิชาการมากขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

เกาลัดเป็นไม้ยืนต้นที่ปลูกได้ง่าย แข็งแรง ไม่มีโรคแมลงรบกวน ติดผลดก และเนื้อเมล็ดมีลักษณะเป็นแป้ง (Allen, 1967) ซึ่งเป็นแหล่งของสตาร์ช, โปรตีน และกรดไขมันจำเป็นที่ดีแหล่งหนึ่ง (Berry, 1982) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาการสกัดแป้งและสตาร์ชจากเมล็ดเกาลัดและศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งและสตาร์ชที่ได้ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมต่างๆ เพื่อขยายการใช้ประโยชน์จากแป้งและสตาร์ชดังกล่าวให้กว้างขวางยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นทางเลือกใหม่ของการใช้วัตถุดิบภายในประเทศในอุตสาหกรรมแป้งและผลิตภัณฑ์จากแป้งอีกด้วย ซึ่งเป็นการนำเกาลัดไปใช้ประโยชน์ให้มากที่สุด

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 เกาลัด (Chestnut)

เกาลัด เป็นไม้ต้นในวงศ์ Sterculiaceae ชื่อทางวิทยาศาสตร์คือ *Sterculia monosperma* Vent. ชื่อพ้องอื่นๆ เช่น *Sterculia nobilis* (Salisb) Smith และ *Southwellia nobilis* Roxb. ซึ่งต่างจากเกาลัดจีน (Chinese chestnut) ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Castanea mollissima* Blume ชื่ออื่นๆ เรียกตามแหล่งเพาะปลูก เช่น ภาคใต้ของประเทศไทย เรียก หงอนไก่ใบใหญ่ ประเทศจีน เรียก เท็งท้อ (Theng-tho) (เต็ม สมิตินันท์, 2544) เกาลัดเป็นพรรณไม้นำเข้ามาจากประเทศจีน ปลูกในประเทศไทยทางภาคเหนือและภาคกลาง เช่น เชียงใหม่ เชียงราย น่าน ลำปาง นครปฐม เป็นต้น เพื่อบริโภคเมล็ดในรูปของเมล็ดต้มสุก และปลูกเป็นไม้ประดับตามสวน ออกดอกเป็นผลระหว่างเดือนกันยายนถึงเดือนเมษายนของปีถัดไป ในต่างประเทศ เช่น อินเดีย บังคลาเทศ อินโดนีเซีย นำเกาลัดไปปลูกเพื่อใช้เป็นอาหารเช่นกัน (จำลอง เพ็งคล้าย, 2538)

ผลของเกาลัดออกรวมกันเป็นกลุ่ม แต่ละกลุ่มย่อยมักมี 2 ผล ผลอ่อนมีสีเขียว ผลแก่จะสีแดงหรือสีแสด รูปมน หรือค่อนข้างกลม กว้างประมาณ 2.5 เซนติเมตร ยาวประมาณ 5 เซนติเมตร เปลือกแข็ง มีขนนุ่มคล้ายกำมะหยี่ เปลือกเป็นคลื่นไปตามรูปเมล็ดที่อยู่ภายใน ปลายผลมักเป็นจะงอยโค้งเล็กน้อย ผลแก่จะแตกออกตามรอยประสานด้านข้าง (รูปที่ 2.1) เมล็ดมีสีน้ำตาลเข้มถึงดำ (รูปที่ 2.2) เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร ยาวประมาณ 3 เซนติเมตร แต่ละผลมี 1-2 เมล็ด (จำลอง เพ็งคล้าย, 2538)

เมล็ดเกาลัดมีน้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 4 กรัม โดยมีส่วนของเนื้อเมล็ด (kernel) ประมาณ 59% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นแหล่งของโปรตีน และกรดไขมันที่จำเป็น โดยมีกรดไขมันชนิดไลโนเลอิก 18.24% ของกรดไขมันทั้งหมด ไลโนเลนิก และอะราชิโดนิก 3.21% ของกรดไขมันทั้งหมด (Berry, 1982) โดยองค์ประกอบหลักของเมล็ดเกาลัด คือคาร์โบไฮเดรต (FAO, 1972)

รูปที่ 2.1 ผลแก่ของเกาลัด

รูปที่ 2.2 เมล็ดเกาลัด

2.2 แป้งและสตาร์ช

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่สะสมอยู่ในพืชชั้นสูง พบในคลอโรพลาสต์ (ในใบ) และในส่วนที่พืชใช้เป็นแหล่งเก็บอาหาร เช่น เมล็ดและหัว คำว่า “แป้ง” ในการผลิตนั้น หมายถึงคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก โดยทั่วไปแป้งยังมีส่วนประกอบอื่นๆ อยู่มาก จะเรียกว่า ฟลาวร์ (flour) ตัวอย่างเช่น แป้งข้าวโพด แป้งข้าวสาลี ถ้ายังมีส่วนประกอบของโปรตีนสูง ก็จะจัดอยู่ในประเภท

ฟลาวร์ เรียกว่า corn flour, wheat flour แต่เมื่อสิ่งเจือปนอันหมายถึงโปรตีน ไขมัน เกลือแร่อื่นๆ ถูกสกัดออกไป จนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ จึงเรียกว่าเป็นแป้งสตาร์ช (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาทั้งการผลิตฟลาวร์และสตาร์ช ดังนั้นต่อไป เมื่อกล่าวถึงฟลาวร์จะใช้คำว่าแป้ง และเมื่อกล่าวถึงสตาร์ชจะใช้ทับศัพท์ว่าสตาร์ช

2.3 สมบัติทางเคมีและกายภาพที่สำคัญของแป้ง

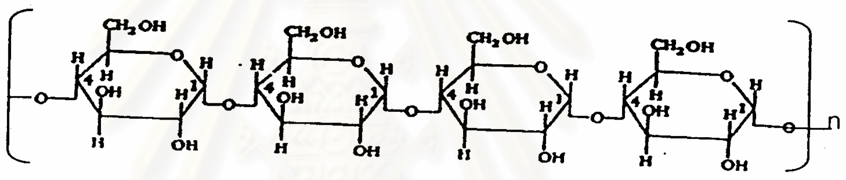
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่มีสะสมอยู่ในส่วนต่างๆ ของพืช โดยอาจแบ่งชนิดของแป้งได้เป็น 3 ประเภท ตามแหล่งที่พบ คือ แป้งจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด ข้าวสาลี ถั่วเขียว แป้งจากรากหรือหัว เช่น มันเทศ มันฝรั่ง มันสำปะหลัง และแป้งจากลำต้น เช่น สาคู แป้งจากแต่ละแหล่งและชนิดมีลักษณะสำคัญทางเคมีและกายภาพเฉพาะตัว เช่น ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง อุณหภูมิในการเกิดเจล (gelatinization temperature) การพองตัว (swelling) การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ความหนืดของแป้ง (viscosity) เป็นต้น เป็นเหตุให้แป้งแต่ละชนิดมีความเหมาะสมในการใช้งานต่างกัน (Richard, 1968)

2.3.1 สมบัติทางเคมี

แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6 : 10 : 5 โดยแป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (แอมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพกติน) วางตัวในแนวรัศมี แป้งจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของแอมิโลสและอะมิโลเพกตินแตกต่างกัน ทำให้สมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน นอกจากนี้ในแป้งจะมีสารตัวกลาง ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เถ้า เป็นต้น ซึ่งมีความสำคัญต่อสมบัติของแป้ง โดยไขมันจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการจับตัวกับน้ำของแป้ง นอกจากนี้ยังส่งผลให้เกิดฟิล์มและแป้งเปียก (paste) ที่มีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น เนื่องจากไขมันจะรวมตัวกับแอมิโลสเกิดเป็น inert complex และกรดไขมันไม่อิ่มตัวซึ่งอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้งจะทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ไนโตรเจนหรือโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวของเม็ดแป้ง ซึ่งมีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลาติไนซ์เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนี้ยังทำให้เกิด Maillard reaction ทำให้สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงได้ ซึ่งโดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาดังกล่าวเกิดขึ้นกับแป้งจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณ

โปรตีนสูง ส่วนเถ้าซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม ปกติจะไม่มีผลต่อสมบัติของแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

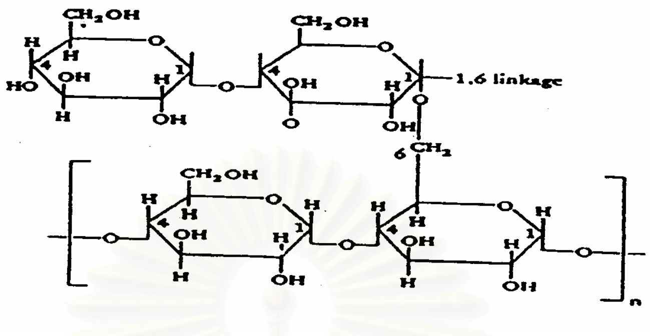
แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage (รูปที่ 2.3) เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงทำให้สามารถจับกับโมเลกุลแป้งชนิดอื่นได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน เช่น แอมิโลสจับกับอะมิโลเพกตินเป็นเกลียวคู่ (double helices) และเกลียวเดี่ยว (single helices) ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายสามมิติ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง (Bowers, 1992) นอกจากนี้แอมิโลสยังสามารถจับกับไขมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (amylose-lipid complex) ที่มีความคงทน การทำลายพันธะนี้ต้องใช้อุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส (Kugimiya, Donovan, and Wong, 1980)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของแอมิโลส
ที่มา: Penfield และ Campbell (1990)

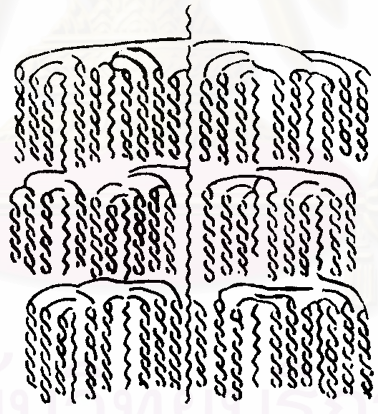
อะมิโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization, DP) อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,6-glucosidic linkage (รูปที่ 2.4) อะมิโลเพกตินมีน้ำหนักมากกว่าแอมิโลสประมาณ 1,000 เท่า คือ ประมาณ 10^7-10^9 ดาลตัน เนื่องจากขนาดที่ใหญ่กว่าและมีกิ่งสาขาทำให้มีการคืนตัวต่ำ อะมิโลเพกตินสามารถเกิดเกลียวคู่ (รูปที่ 2.5) โดยใช้พันธะไฮโดรเจนและแรงวันเดอร์วาลส์ในการเชื่อมต่อกัน กิ่งอะมิโลเพกตินภายในเม็ดแป้งสามารถเกิดผลึกได้ ทั้งกิ่งที่อยู่ใกล้กันในกลุ่ม (cluster) เดียวกัน หรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่ใกล้เคียงกัน (Hizukuri, 1986) ดังนั้นจึงทำให้อะมิโลเพกตินมีความสำคัญมากกว่าแอมิโลสทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ โดยอะมิโลเพกตินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวกันได้ทำให้เกิดโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystalline region) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous region)

(รูปที่ 2.6) ซึ่งรวมตัวเป็นเม็ดแป้งได้ ส่วนแอมิโลสเพียงอย่างเดียวไม่สามารถเกิดส่วนที่เป็นผลึกได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะมิโลเพกติน

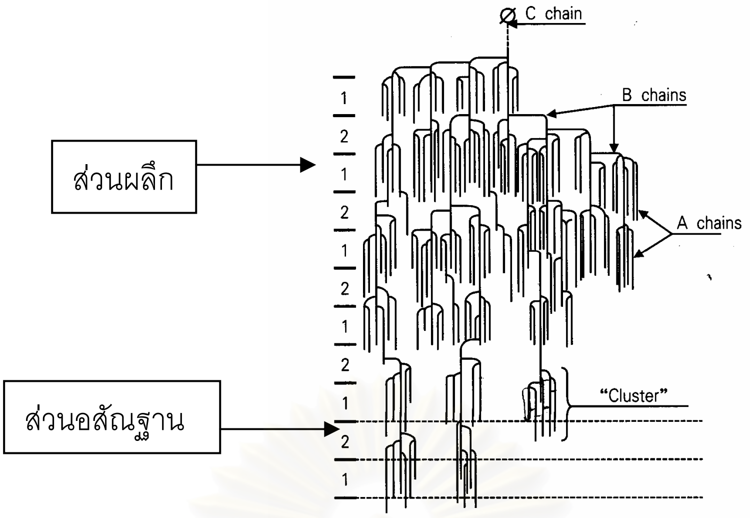
ที่มา: Penfield และ Campbell (1990)



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างเกลียวคู่ของอะมิโลเพกติน

ที่มา: Hizukuri (1986)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 ลักษณะโครงสร้างอะมิโลเพกตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน
ที่มา: Robin และคณะ (1974)

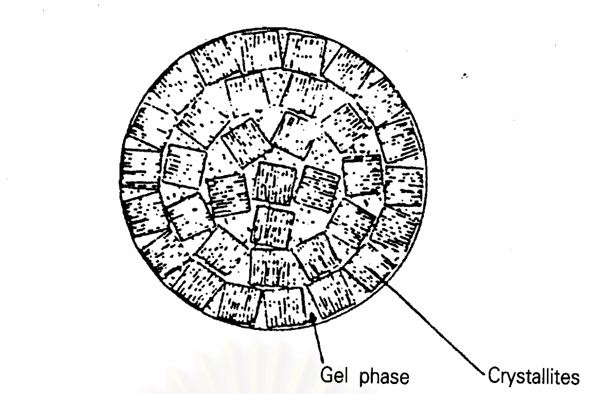
อัตราส่วนของปริมาณแอมิโลสต่ออะมิโลเพกตินมีผลต่อการพองตัวของเม็ดแป้ง ความเหนียวและความใสของแป้งเปียกที่ได้หลังจากการเกิดเจล ทั้งนี้มีผลต่อเนื้อสัมผัสเนื่องจากสมบัติของแอมิโลสและอะมิโลเพกตินมีความแตกต่างกัน คือ แอมิโลสเป็นส่วนที่ละลายน้ำได้ดี เมื่อต้มในน้ำจะหนืดน้อยกว่า แต่ขุ่นมากกว่า ส่วนอะมิโลเพกตินจะข้นหนืดและใสกว่า เมื่อทิ้งไว้ให้เย็นแอมิโลสจะจับเป็นเจลได้ ส่วนอะมิโลเพกตินจะไม่จับเป็นเจล แป้งที่มีแอมิโลสสูง จะมีอุณหภูมิในการพองตัวสูงกว่าปกติเมื่อทำให้เกิดการพองตัวอย่างสมบูรณ์ การคืนตัวของแป้งที่มีแอมิโลสน้ำหนักโมเลกุลต่างกันจะให้ผลที่ต่างกัน (Whistler and Smart, 1953) โดยแอมิโลสที่มีขนาดเล็กเกินไป จะมีการเคลื่อนที่อยู่เสมอ การจัดเรียงตัวใหม่เกิดได้ลำบาก การคืนตัวจึงเกิดได้ยาก แต่ถ้ามีขนาดใหญ่เกินไป การคืนตัวจะเกิดอย่างเชื่องช้าเนื่องจากโมเลกุลเคลื่อนที่ลำบาก

2.3.2 สมบัติทางกายภาพ

ก. ลักษณะของเม็ดแป้ง

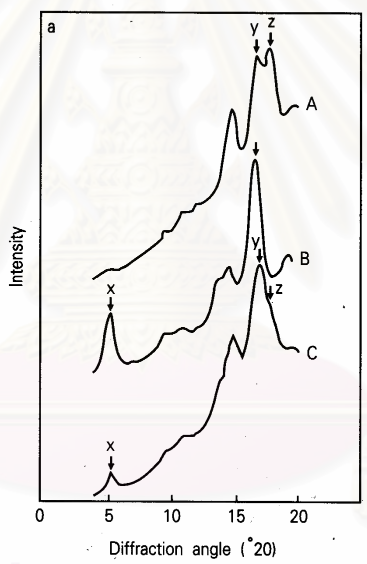
แป้งส่วนใหญ่มีสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ละลายในน้ำเย็น ขนาดและรูปร่างของเม็ดแป้ง (granule) แตกต่างกันไปตามชนิดของแป้ง (Oates, 1997) โดยเม็ดแป้งของข้าวมีขนาดเล็กที่สุด และมีรูปร่างหลายเหลี่ยม ส่วนเม็ดแป้งมันฝรั่งมีขนาดใหญ่ที่สุด และมีรูปร่างเป็นรูปไข่ การตรวจสอบลักษณะของเม็ดแป้งโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีที่รวดเร็วและง่ายที่สุด สามารถตรวจสอบลักษณะต่างๆ ได้ เช่น รูปร่าง ขนาด การกระจายตัวของเม็ดแป้ง และตำแหน่งของไฮลัม (hilum) รวมทั้งสามารถตรวจสอบความเสียหายและการปนเปื้อนของแป้งชนิดอื่นได้อีกด้วย การตรวจสอบลักษณะเม็ดแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์ สามารถทำได้ทั้งภายใต้แสงปกติ (normal light) และภายใต้แสงโพลาไรซ์ (polarized light) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ถ้าผู้ใช้ไม่มีความชำนาญ ผลที่ได้อาจผิดพลาดและยังมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถดูโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดแป้งได้ เนื่องจากกำลังขยายไม่เพียงพอ การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) สามารถตรวจสอบโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดแป้งได้อย่างละเอียด เนื่องจากมีกำลังขยายมากกว่าหลายร้อยเท่า และสามารถดูพื้นผิวของเม็ดแป้งซึ่งมีรอยแตกหรือรอยร้าวของเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้งที่พบในธรรมชาติอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาดเล็กซึ่งมีโครงสร้างกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยโมเลกุลของแอมิโลสและอะมิโลเพกตินจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystallite) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) (รูปที่ 2.7) จากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกเม็ดแป้งด้วยเครื่อง Wide Angle X-ray Diffraction (รูปที่ 2.8) พบว่าเม็ดแป้งโดยทั่วไปสามารถแบ่งลักษณะโครงสร้างผลึกได้ 3 แบบ คือ ผลึกแบบ A เป็นการเรียงตัวของโครงสร้างแบบหนาแน่นมาก มี peak ขึ้นที่มุมหักเห (diffraction angle) 17^{o} และ 17.9^{o} พบในแป้งจากธัญพืช ผลึกแบบ B มีการเรียงตัวกันหลวมๆ มี peak ขึ้นที่มุมหักเห 5.6^{o} และ 17^{o} พบในแป้งจากพืชหัว และผลึกแบบ C จะมีการเรียงตัวแบบผสมกันระหว่างแบบ A และแบบ B (5.6^{o}, 17^{o} และ 17.9^{o}) พบในแป้งจากพืชตระกูลถั่ว (Hoseney, 1994) ส่วนผลึกของแอมิโลสที่เกิดร่วมกับองค์ประกอบอื่นๆ จะให้ X-ray diffraction pattern แบบ V เช่น แอมิโลสรวมตัวกับไขมัน เป็น amylose-lipid complex เกิดโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้แก่เม็ดแป้ง นอกจากนี้โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นอยู่กับการปฏิบัติ (treatment) ต่อเม็ดแป้ง เช่น การดัดแปรแป้งด้วยวิธีต่างๆ



รูปที่ 2.7 บริเวณส่วนผลึก และส่วนอสัณฐานของเม็ดสตาร์ช

ที่มา : ดัดแปลงจาก French (1975)



รูปที่ 2.8 รูปแบบการหักเหรังสีเอ็กซเรย์ของเม็ดสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน

(A) สตาร์ชข้าวโพด ผลึกแบบ A

(B) สตาร์ชมันฝรั่ง ผลึกแบบ B

(C) สตาร์ชถั่ว ผลึกแบบ C

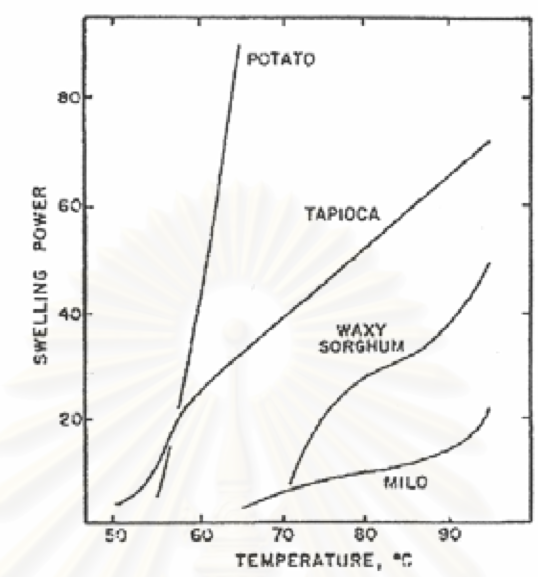
ที่มา: Bogracheva และคณะ (1998)

ข. กำลังการพองตัว (Swelling power) **และการละลาย** (Solubility)

แป้งดิบจะไม่ละลายน้ำหรือละลายน้ำได้เล็กน้อยที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ โดยทั่วไปเม็ดแป้งสามารถดูดซับน้ำในบรรยากาศได้จนเกิดความสมดุลระหว่างความชื้นภายในเม็ดแป้งกับความชื้นในบรรยากาศ ปริมาณน้ำที่ดูดซับจะขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ แป้งส่วนใหญ่เมื่อเกิดสมดุลภายใต้บรรยากาศปกติจะมีความชื้น 10 ถึง 17% ที่อุณหภูมิต่ำแป้งสามารถดูดน้ำได้ประมาณ 25-30% และมีการพองตัวน้อยมากจนไม่สามารถสังเกตได้ (Kerr, 1950) การให้ความร้อนแก่น้ำแป้งทำให้พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดแป้งจะดูดน้ำตลอดเวลาที่ให้ความร้อน พองตัวเป็นหลายเท่าของขนาดเดิม และมีโมเลกุลแอมิโลสละลายออกมาในน้ำที่อยู่บริเวณรอบๆ เม็ดแป้ง (Bowers, 1992) กำลังการพองตัวของแป้งแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่แยกออกด้วยการปั่นเหวี่ยง และพบว่าการละลายและการพองตัวมีความสัมพันธ์กัน โดยทั่วไปพบว่าเมื่อแป้งพองตัวเพิ่มขึ้น จะเกิดรอยแตกบนเม็ดแป้ง ทำให้แอมิโลสไหลออกมานอกเม็ดแป้ง ส่งผลให้การละลายสูงขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

แป้งแต่ละชนิดมีรูปแบบการพองตัวต่างกัน (รูปที่ 2.9) โดยแป้งมันฝรั่งมีการพองตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ แสดงว่าพันธะระหว่างโมเลกุลอ่อน (weak bonding forces) ส่วนแป้งมันสำปะหลังจะเริ่มพองตัวที่อุณหภูมิเดียวกับแป้งมันฝรั่งแต่การพองตัวจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ สันนิษฐานได้ว่า แรงพันธะภายในเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลังมีช่วงกว้างมากกว่าแรงพันธะของแป้งมันฝรั่ง อย่างไรก็ตามแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลังมีการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิต่ำ เมื่อเทียบกับแป้ง waxy sorghum และแป้ง milo แสดงว่าพันธะระหว่างโมเลกุลอ่อน ทั้งนี้อาจเนื่องจาก ionizable esterified phosphate ช่วยเสริมการพองตัวโดยลักษณะการพองตัวเกิดอย่างต่อเนื่องและเร็ว เป็นลักษณะการพองตัวแบบขั้นเดียว (single-stage swelling) ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของแป้งที่เป็นพอลิอิเล็คโตรไลท์ กล่าวคือพันธะไฮโดรเจนในเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งบางส่วนจะปรากฏอยู่ที่ hydration water bridge แทนที่จะอยู่ร่วมในโมเลกุลเม็ดสตาร์ชอย่างแข็งแรง (Leach, 1965) ส่วนแป้งจากธัญพืช เช่น white milo (waxy sorghum) และ milo มีการพองตัวที่อุณหภูมิสูงกว่าแป้งจากพืชหัวและราก และการพองตัวจะขยายขึ้นอย่างช้าๆ ถึงแม้อุณหภูมิจะเพิ่มมากขึ้น เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นอีกการพองตัวจะเกิดเร็วขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะการพองตัวแบบสองขั้น (two-stage selling) แสดงว่าภายในเม็ดสตาร์ชมีแรงพันธะอยู่สองลักษณะคือ พันธะ

แรงอ่อนจะคลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 75 องศาเซลเซียส และพันธะแรงแข็งจะคลายตัวที่อุณหภูมิประมาณ 85 องศาเซลเซียส ขึ้นไป (Leach, 1965)



รูปที่ 2.9 รูปแบบการพองตัวของแป้งต่างชนิด
ที่มา: Leach (1965)

นอกจากนี้กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของแป้ง ยังขึ้นอยู่กับจำนวนแอมิโลสและอะมิโลเพกตินในแป้ง ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดแป้ง เช่น จำนวนกิ่งก้านสาขา การจัดเรียงตัวและความยาวของสาขาในอะมิโลเพกติน รวมถึงน้ำหนักโมเลกุลของแอมิโลสและอะมิโลเพกติน สารเจือปนในเม็ดแป้งที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น ไขมัน โปรตีน ฟอสฟอรัส ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว เป็นต้น (Leach, McCowen, and Schoch, 1959)

ค. การเกิดเจลาติไนเซชัน

การเกิดเจลาติไนเซชันเป็นกระบวนการที่แสดงถึงการพองตัว และการดูดซึมน้ำของเม็ดแป้งในขณะที่ได้รับความร้อน ซึ่งน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น การศึกษาการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งทำให้ทราบถึงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน ซึ่งนำไปใช้ในการกำหนดการให้ความร้อนต่อแป้งที่นำไปใช้ นอกจากนี้การศึกษาด้วยเครื่องมือบางชนิด เช่น Brabender Visco Analyzer หรือ Rapid Visco Analyzer (RVA) ยังทำให้ทราบ heating-cooling

cycle ของแป้งซึ่งมีประโยชน์ต่ออุตสาหกรรมอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ แป้งแต่ละชนิดมีการเกิดเจลาติไนเซชันที่แตกต่างกัน อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งแต่ละชนิดไม่เท่ากัน โดยส่วนใหญ่แป้งจากพืชหัวจะมีการเกิดเจลาติไนเซชันที่อุณหภูมิต่ำกว่าแป้งจากพืชชนิดอื่น เช่น แป้งมันฝรั่ง เนื่องจากแป้งชนิดนี้มีฟอสฟอรัสอยู่ด้วย ทำให้เกิดประจุผลักเม็ดแป้งให้ออกจากกัน และเม็ดแป้งมีขนาดใหญ่ ทำให้พองตัวได้ง่าย เม็ดแป้งจึงมีการพองตัวได้เร็วขึ้น ส่งผลให้เกิดเจลาติไนเซชันได้เร็วขึ้น ส่วนแป้งข้าวโพด แป้งข้าวฟ่าง และแป้งข้าวเจ้า มีอุณหภูมิเจลาติไนเซชันสูง เนื่องจากแป้งดังกล่าวมีปริมาณไขมันสูง และมีขนาดเล็กกว่าแป้งมันฝรั่ง ไขมันสามารถรวมตัวกับแอมิโลสได้ ทำให้โครงสร้างแข็งแรงขึ้น การพองตัวจึงลดลงและทำให้เกิดเจลาติไนเซชันช้าลง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

RVA เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ต้องพิจารณาความหนืดขณะที่ให้ความร้อน หลักการทำงานคล้าย Brabender Visco Analyzer แต่มีคุณสมบัติพิเศษ คือสามารถเปลี่ยนระดับอุณหภูมิให้ร้อนและเย็นได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ และสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ ทำให้การหา pasting curve ใช้เวลาน้อยลงเนื่องจากมีกลไกในการให้ความร้อนที่ดีกว่า และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยกว่า (Thiewes and Steeneken, 1997) เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ของผลการวิเคราะห์ความหนืดของสตาร์ชด้วยเครื่อง RVA และเครื่อง Brabender Visco Analyzer พบว่ามีความสัมพันธ์กันสูง (r=0.94) ในทุกจุดที่เปรียบเทียบ ยกเว้นจุดที่แสดงการเกิด final viscosity จะมีความสัมพันธ์กันต่ำ (r=0.74) ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดการคืนตัวของแป้งต้องใช้ระยะเวลามาก (Haasse, Mintus, and Weipert, 1995) สำหรับการศึกษา heating-cooling cycle พบว่า RVA ใช้ตัวอย่างน้อยกว่า สามารถทำซ้ำได้และใช้เวลาในการวิเคราะห์สั้นกว่า ซึ่งเวลาที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ heating-cooling cycle คือ 13 นาที โดยมีอัตราการให้ความร้อน 12 องศาเซลเซียสต่อนาที และอัตราทำให้เย็น 12 องศาเซลเซียสต่อนาที โดยแป้งธัญพืชส่วนใหญ่ เช่น แป้งข้าวเจ้า แป้งข้าวโพด แป้งข้าวฟ่าง จะมี gelatinization temperature สูงกว่าแป้งจากพืชหัว เช่นแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ทั้งนี้สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชอาจแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของพืชแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชชนิดต่างๆ[a]

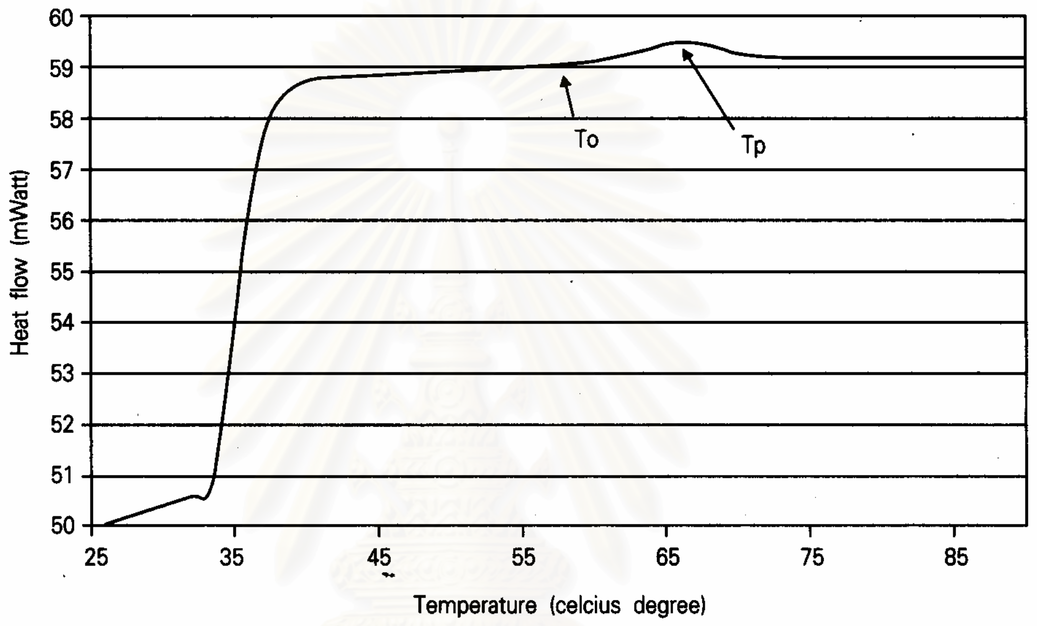
Type	Pasting temperature (^{O}C)	Peak viscosity (RVU)	Setback (RVU)
Normal maize	82.0	152	74
Waxy maize	69.5	205	16
du Waxy maize	75.7	109	22
ae Waxy maize	83.2	162	40
Waxy rice	64.1	205	16
Sweet rice	64.6	219	28
Normal rice	79.9	113	64
Wheat	88.6	104	79
Cattail millet	74.2	201	128
Chinese taro	73.1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

[a]ความเข้มข้นของสตาร์ช 8% (w/w, db)

ที่มา: Jane และคณะ (1999)

การเกิดเจลาติไนเซชันไม่ได้เกิดเฉพาะอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งแต่เกิดเป็นช่วงอุณหภูมิประมาณ 8 ถึง 12 องศาเซลเซียส (Schoch and Mayward, 1968) การตรวจสอบกระบวนการเจลาติไนเซชัน นอกจากสังเกตจากการเปลี่ยนแปลงการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เช่น Kofler gelatinization temperature range แล้ว สามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการ ซึ่งเครื่องมือที่นิยมใช้ในปัจจุบันนี้คือ เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งวัดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีของวัสดุในรูปฟังก์ชันกับอุณหภูมิ ปกติพอลิเมอร์ต่างๆ ในรูปผลึก และอสัณฐานจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน แป้งก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อย เมื่อให้ความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย (T_m) ที่สูงมาก กล่าวคือในช่วงของ 160 ถึง 200 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้น อุณหภูมิของการหลอมละลายจะลดลงเมื่อมีปริมาณน้ำประมาณ 70 ส่วนหรือมากกว่า การหลอมละลายก็คือการเกิดเจลาติไนเซชัน ช่วงของอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลง (onset temperature, T_o) และอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (peak temperature, T_p) คือ ช่วงอุณหภูมิของเจลาติไนเซชัน สำหรับการวัดลักษณะของการเกิด

เจลาติไนเซชันของแป้งด้วยเครื่อง DSC ทำได้โดยการให้ความร้อนแก่ตัวอย่างสารผสมแป้งกับน้ำในอัตราส่วน 30/70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงในการเกิดเจลาติไนเซชัน จะได้ thermogram ซึ่งเป็นกราฟระหว่าง heat flow และอุณหภูมิ พลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชัน (enthalpy, ΔH) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักแป้งตัวอย่าง ตัวอย่างกราฟที่ได้จากเครื่อง DSC แสดงได้ดังรูปที่ 2.9 แป้งแต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันต่างๆ กัน (Swinkels, 1985) ดังตารางที่ 2.2



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

(T_o = Onset temperature, T_p =Peak temperature)

ที่มา: วันชัย โชคชัยไพศาล, ชูเกียรติ กิจคุณาเสถียร และกล้าณรงค์ ศรีรอต (2541)

ตารางที่ 2.2 ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งชนิดต่างๆ ที่วัดด้วยเครื่อง DSC

แป้ง	ช่วงอุณหภูมิ (^{O}C)
แป้งข้าวโพด	70-89
แป้งมันฝรั่ง	57-87
แป้งสาลี	50-86
แป้งมันสำปะหลัง	68-92
แป้งข้าวโพดเหนียว	68-90

ที่มา: Swinkels (1985)

ง. การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไป จะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของแอมิโลสขนาดเล็กจะกระจัดกระจายออกทำให้ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัว โมเลกุลของแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ โครงสร้างใหม่นี้สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืด (viscosity) คงตัวมากขึ้น เกิดลักษณะเจลเหนียว คล้ายฟิล์มหรือผลึก เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว (setback) (Smith, 1979) เมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลงไปอีก ลักษณะการเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในจะถูกบีบออกมานอกเจล ซึ่งเรียกว่า syneresis ปรากฏการณ์ทั้งสองนี้จะทำให้เจลมีลักษณะขาวขุ่นและมีความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)

การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของแป้ง กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของแอมิโลส อะมิโลเพกติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ในแป้ง ในสภาวะที่อุณหภูมิต่ำและความเข้มข้นของแป้งสูงแป้งสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี ในช่วง pH 5-7 แป้งสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันได้เร็วที่สุด สำหรับช่วง pH ที่สูงหรือต่ำกว่านี้แป้งจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้ช้าลง ซึ่งการชะลอการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งทำได้โดยเติมเกลือที่มีประจุลบและบวก (monovalent anion และ cation), แคลเซียมไนเตรท (calcium nitrate) และยูเรีย (urea) (Swinkels, 1985)

ปริมาณและขนาดของแอมิโลสมีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง แป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีปริมาณอะมิโลเพกตินสูง อัตราในการเกิดรีโทรเกรเดชันจะสูงสุด (การละลายต่ำสุด) เมื่อ DP ของแอมิโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันจะลดลงเมื่อโมเลกุลของแอมิโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้แอมิโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งหนึ่งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 ถึง 160 องศาเซลเซียส อะมิโลเพกตินมีผลทำให้เกิดการรีโทรเกรดน้อยมาก ดังนั้นแป้งแต่ละชนิดจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันที่แตกต่างกัน ในแป้งข้าวโพดเหนียวจะมีอัตราการคืนตัวของแป้งต่ำที่สุดเนื่องจากไม่มีแอมิโลสในแป้งข้าวโพดเหนียว สำหรับแป้งข้าวโพดและแป้งสาลีจะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันสูงกว่าแป้งมันฝรั่งและแป้งมันสำปะหลัง เนื่องจากในแป้งธัญพืชมีปริมาณแอมิโลสสูง (ประมาณ 28%) แอมิโลสโมเลกุลเล็ก และมีไขมันในปริมาณสูงทำให้เกิดการจับตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและไขมัน (amylose-lipid complex) (กล้าณรงค์ ศรีรอต และ

เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) การตรวจสอบความสามารถในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งแต่ละชนิด อาจประมาณได้จากค่าการคืนตัว (setback) ของแป้ง ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (setback from peak) หรือความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) โดยใช้เครื่อง Brabender Visco Analyzer หรือ RVA นอกจากนี้การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งสามารถวัดได้โดยพิจารณาค่าเอนทาลปี (ΔH) ที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะเก็บเจลแป้งด้วยเครื่อง DSC โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชัน ($\Delta H_{gelatinization}$) กับค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดรีเจลาติไนเซชัน (regelatinization) หรือค่าพลังงานในการเกิดรีโทรเกรเดชัน ($\Delta H_{retrogradation}$) (Stevens and Elton, 1971) และคำนวณร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันจากสมการ

$$\%retrogradation = \frac{\Delta H_{retrogradation} x100}{\Delta H_{gelatinization}}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ขั้นตอนการทดลอง

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

วัตถุดิบที่ใช้งานวิจัย คือ เกาลัด (chestnut) *Sterculia monosperma* Vent. จากจังหวัดน่าน โดยนำเมล็ดเกาลัดมาแกะเปลือกออก 2 ชั้น จะได้เนื้อเมล็ดเกาลัด โดยเนื้อเมล็ดเกาลัดที่จะนำไปศึกษาวิเคราะห์จะต้องมีลักษณะเนื้อเนียนละเอียด สีขาวเหลืองจนเหลืองเข้ม สำหรับเมล็ดที่อ่อนเกินไปซึ่งเนื้อเมล็ดจะมีลักษณะเป็นวุ้นใส จะไม่นำมาใช้ในการวิเคราะห์

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.2.1 การหาปริมาณผลผลิตเนื้อเมล็ดเกาลัด (%yield)

สุ่มตัวอย่างเมล็ดเกาลัดสดทั้งเปลือก มาครั้งละ 500 กรัม แกะเปลือก และชั่งน้ำหนักเนื้อเมล็ดเกาลัดที่ได้ คำนวณปริมาณผลผลิตจากสมการ (3.1) ทำการทดลอง 6 ซ้ำ

$$\text{ปริมาณผลผลิต (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อเมล็ดเกาลัด} \times 100}{\text{น้ำหนักเมล็ดเกาลัดทั้งเปลือก}} \qquad (3.1)$$

3.2.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดเกาลัด

นำเนื้อเมล็ดเกาลัด มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังนี้

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

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

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

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

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

ทำการทดลอง 5 ซ้ำ

3.2.3 การศึกษาผลของวิธีโม่แป้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเกาลัด

นำเนื้อเมล็ดเกาลัด มาโม่ด้วยวิธีโม่แห้งและโม่เปียกโดยดัดแปลงจากวิธีของ Mukprasirt และ Sajjaanantakul (2004) ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2

3.2.3.1 คำนวณปริมาณผลผลิต (% yield) ในรูปของร้อยละโดยน้ำหนักแห้งจากสมการ (3.2)

$$\text{ปริมาณผลผลิต (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งแห้งที่ได้} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของเนื้อเมล็ดเกาลัดเริ่มต้น}} \quad (3.2)$$

3.2.3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเกาลัด เช่นเดียวกับข้อ 3.2.2 และวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเกาลัด ดังนี้

3.2.3.3 ค่าสี (L, a, b) โดยใช้เครื่อง Chroma Meter (Minolta รุ่น CR-300 series, Japan) ระบบ Hunter L, a, b และหาค่าดัชนีความขาว (White index) จากสมการ (3.3) (Chen, Lu, and Lii, 1999)

$$\text{ค่าดัชนีความขาว} = 100 - \sqrt{(100-L)^2+a^2+b^2} \quad (3.3)$$

3.2.3.4 ความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้ pH meter (EUTECH รุ่น CyberScan pH 1000 Bench, Singapore) ตามวิธีของ AOAC (1995) section 943.02 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.7)

3.2.3.5 ปริมาณ damaged starch (AACC, 2000) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.8)

3.2.3.6 ปริมาณแอมิโลส (Juliano, 1971) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.9)

เนื้อเมล็ดเกาลัด

↓

แช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5% w/v นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วน 1:1 w/v

↓

ลอกเยื่อสีน้ำตาลที่หุ้มเนื้อเมล็ดออก

↓

ล้างน้ำกลั่น 3 ครั้งและสะเด็ดน้ำ

↓

แช่สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.5% w/v นาน 30 นาที ด้วยอัตราส่วน 1:1 w/v

↓

ล้างน้ำกลั่น 3 ครั้งและสะเด็ดน้ำ

↓

หั่นเป็นชิ้นบางขนาด 1-3 มิลลิเมตร

↓

อบด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาด (Microtemp รุ่น TFC-900, Thailand) ที่อุณหภูมิ 50^{O}C นาน 4 ชั่วโมง

↓

บดด้วย Waring blender (model 32BL80, U.S.A.)ที่ระดับความเร็วต่ำ (low speed) นาน 2 นาที

↓

โม่ด้วยเครื่องโม่หิน (stone mill แบบ single disc)

↓

ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 mesh

→ ส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อน

นำไปโม่ด้วยเครื่องโม่หินอีก 1 รอบ

← ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 mesh

↓

ส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงร่อน

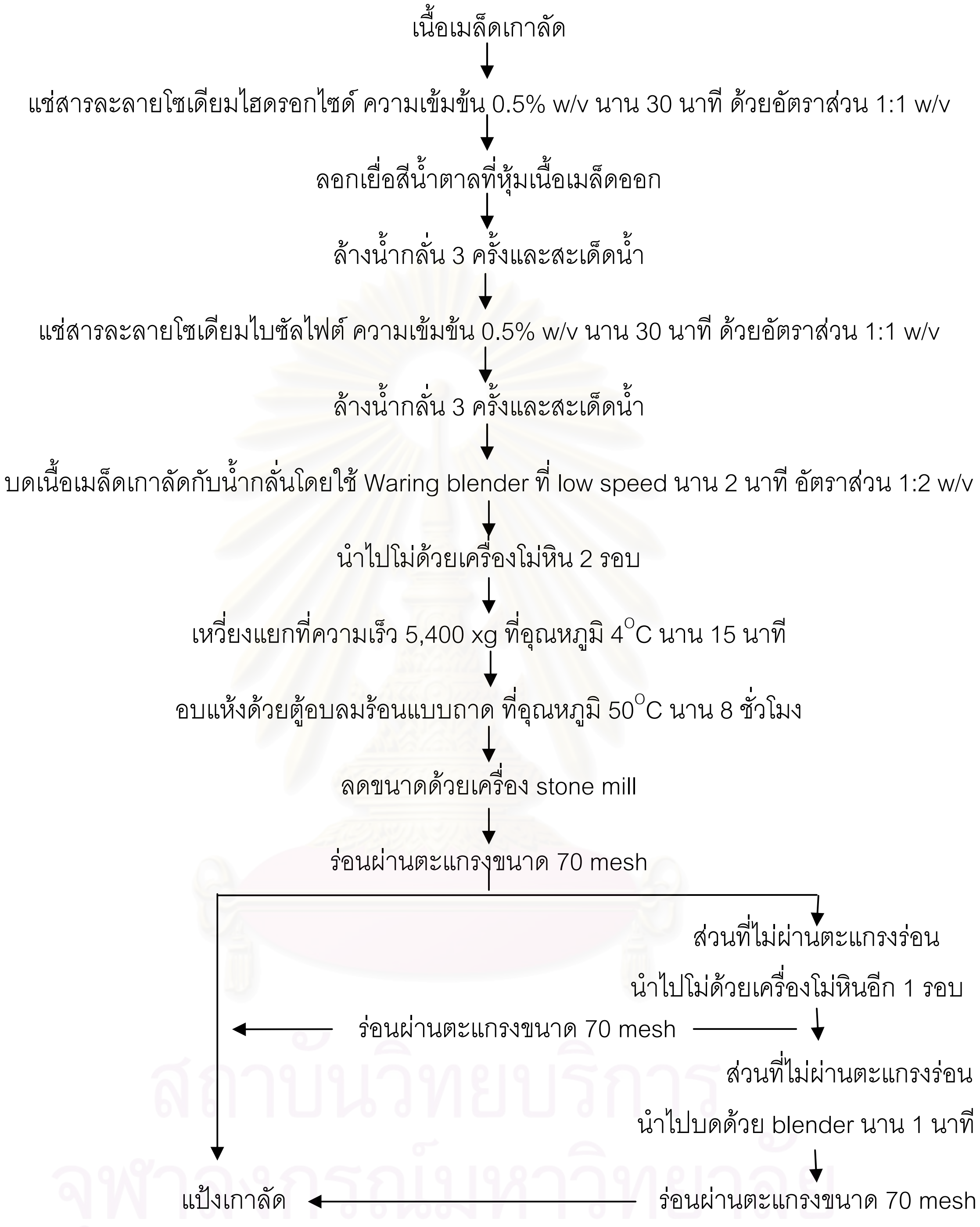
นำไปบดด้วย blender นาน 1 นาที

↓

แป้งเกาลัด ← ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 mesh

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.1 วิธีโม่แห้ง



รูปที่ 3.2 วิธีโม่เปียก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3.7 รูปร่าง และพื้นผิวเม็ดสตาร์ชของแป้งเกาลัด โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (JEOL รุ่น JSM-5800 LV, Japan) ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.10)

3.2.3.8 ลักษณะ birefringence โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Olympus รุ่น CH30RF200) และแผ่นฟิล์มโพลารอยด์บิดระนาบแสง (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.11)

3.2.3.9 ความสามารถในการจับน้ำ (water binding capacity) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Medcalf และ Gilles (1965) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.12)

3.2.3.10 กำลังการพองตัวและการละลาย (Schoch, 1964) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.13)

3.2.3.11 สมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA 4 D, Newport Scientific, Pty.Ltd) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.14)

3.2.3.12 สมบัติการเกิดเจลาติไนเซชัน โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) (Perkin Elmer รุ่น Diamond DSC, U.S.A.) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Kim และคณะ (1995) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.15)

3.2.3.13 ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง (freeze-thaw stability) ด้วยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Hoover และ Manuel (1995) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.16) และถ่ายรูปเจลแป้งที่ผ่านการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง ด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Olympus รุ่น CH30RF200)

ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ t-test

3.2.3.14 การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งเกาลัดด้วยเครื่อง DSC โดยเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 7 และ 14 วัน โดยดัดแปลงจากวิธีของ Baker และ Duarte (1995) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.17) และคำนวณหาร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันตามสมการ (3.4)

$$\text{ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชัน (\% retrogradation)} = \frac{\Delta H_{retrogradation} \times 100}{\Delta H_{gelatinization}} \quad (3.4)$$

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณผลผลิตและปริมาณโปรตีน ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

3.2.4 การสกัดสตาร์ชจากเมล็ดเกาลัด

สกัดสตาร์ชจากเนื้อเมล็ดเกาลัด ตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Mukprasirt และ Sajjaanantakul (2004) โดยแช่เนื้อเมล็ดเกาลัดในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 30 นาที ในอัตราส่วนเนื้อเมล็ดเกาลัด : สารละลาย เท่ากับ 1 : 1 (w/v) เพื่อลอกเยื่อสีน้ำตาลที่หุ้มเนื้อเมล็ดออก แล้วล้างน้ำกลั่น 3 ครั้ง และสะเด็ดน้ำ นำไปแช่สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 0.5% เป็นเวลา 30 นาที ในอัตราส่วนเนื้อเมล็ดเกาลัด : สารละลาย เท่ากับ 1 : 1 (w/v) เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ ล้างน้ำกลั่น 3 ครั้งและสะเด็ดน้ำ บดเนื้อเมล็ดเกาลัดกับสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ช ด้วย Waring blender ที่ความเร็วต่ำ (low speed) เป็นเวลา 2 นาที ในอัตราส่วนเนื้อเมล็ด : สารละลาย เท่ากับ 1 : 1 w/v โดยแปรชนิดและความเข้มข้นของสารสกัด คือ น้ำ, สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3 ระดับ (0.1%, 0.3% และ 0.5% NaOH) และสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ความเข้มข้น 3 ระดับ (0.3%, 0.5% และ 0.7% $NaHSO_3$) จากนั้นกรองผ่านตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh และล้างอนุภาคบนตะแกรงด้วยน้ำกลั่น ในอัตราส่วน
เนื้อเมล็ด : น้ำกลั่น เท่ากับ 1 : 5 (w/v) จากนั้นเหวี่ยงแยกสารละลายออกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ (Hettich Zentrifugen รุ่น Royanta 46R, Germany) ความเร็ว 5,400 xg ที่อุณหภูมิ 4^{O}C เป็นเวลา 15 นาที แล้วเติมน้ำกลั่น ในอัตราส่วนเนื้อเมล็ดเริ่มต้น : น้ำกลั่น เท่ากับ 1 : 1 (w/v) ปรับสารละลายสตาร์ชที่ได้ให้มีความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.00 (pH meter ยี่ห้อ Horiba รุ่น F-21, Japan) โดยใช้กรดไฮโดรคลอริค 1 N จากนั้นนำไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็ว 5,400 xg ที่อุณหภูมิ 4^{O}C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำสตาร์ชมาล้างด้วยน้ำกลั่นในอัตราส่วนเนื้อเมล็ด : น้ำกลั่น เท่ากับ 1: 1 (w/v) แล้วเหวี่ยงแยกน้ำกลั่นออกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็ว 5,400 xg ที่อุณหภูมิ 4^{O}C เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นล้างสตาร์ชด้วยเอธานอล 80% ในอัตราส่วนเนื้อเมล็ด : เอธานอล เท่ากับ 1 : 1 (w/v) และเหวี่ยงแยกเอธานอลออกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็ว 5,400 xg ที่อุณหภูมิ 4^{O}C เป็นเวลา 15 นาที ล้างสตาร์ชด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง ในอัตราส่วนอัตราส่วนเนื้อเมล็ด : น้ำกลั่น เท่ากับ 1: 1 (w/v) แล้วเหวี่ยงแยกน้ำกลั่นออกด้วยเครื่องเซนตริฟิวจ์ ความเร็ว 5,400 xg ที่อุณหภูมิ 4^{O}C เป็นเวลา 15 นาที แล้วนำตะกอนสตาร์ชที่ได้ไปอบแห้ง ด้วยตู้อบลมร้อนแบบถาดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดด้วยเครื่องปั่น (Panasonic รุ่น MX795N, Thailand) และร่อนผ่านตะแกรง

ขนาด 100 mesh นำสตาร์ชที่ได้ทั้งหมดมาชั่งน้ำหนัก แล้วคำนวณปริมาณผลผลิต (%yield) ในรูปของร้อยละโดยน้ำหนักแห้งตามสมการ 3.2 และวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน เช่นเดียวกับข้อ 3.2.2.2

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของปริมาณผลผลิตและปริมาณโปรตีน ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

เลือกชนิดและความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดเกาลัดที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากสารสกัดที่ให้ปริมาณผลผลิตสูง ปริมาณโปรตีนต่ำสุด เพื่อนำสตาร์ชจากเกาลัดที่ได้ไปศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพเช่นเดียวกับข้อ 3.2.3 และศึกษาขนาดของเม็ดสตาร์ชเกาลัด โดยใช้เครื่อง Laser Particle Size Analyzer (Mastersizer S long bed Ver. 2.11) ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.18) โครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชเกาลัด โดยใช้เทคนิค Wide Angle X-ray Diffraction มุมในการวัดตั้งแต่ 4 องศา ถึง 35 องศา (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.19)

3.2.5 การศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ชเกาลัด

นำแป้งและสตาร์ชเกาลัดจากข้อ 3.2.2 และข้อ 3.2.3 มาศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อความหนืดของแป้งและสตาร์ชเปียก โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและสตาร์ชเปียกใน heating-cooling cycle ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer และควบคุมความเข้มข้นของสารละลายแป้งและสตาร์ชร้อยละ 7 ในสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีความเป็นกรด-ด่าง 3, 5, 7 และ 9 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงรูปแบบความหนืดของแป้งและสตาร์ชเกาลัดโดยใช้ค่า peak viscosity, breakdown, setback และ pasting temperature

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าต่าง ๆ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

3.2.6 ศึกษาการนำแป้งและสตาร์ชเกาลัดไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ

นำแป้งและสตาร์ชเกาลัดที่ผ่านการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพมาใช้ทดแทนแป้งบางชนิดในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ ได้แก่ ซอสพริก และเส้นก๋วยเตี๋ยว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.6.1 ศึกษาการใช้แป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็นสารให้ความข้นหนืดในซอสพริก

นำแป้งและสตาร์ชเกาลัดที่ผลิตได้มาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซอสพริก โดยแปรความเข้มข้นของแป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็น 5 ระดับ คือ 1, 2, 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนัก ดัดแปลงสูตรและวิธีการผลิตซอสพริกจากวิธีของกัลยา เลาหสงคราม และคณะ (2546) ดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของซอสพริก (ดัดแปลงจากสูตรของกัลยา เลาหสงคราม และคณะ, 2546)

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
พริกชี้ฟ้าแดงดอง (บริษัท ไทยเทพรส)	28.0	27.7	27.4	27.2	26.9
กระเทียมดอง (บริษัท ไทยเทพรส)	7.3	7.2	7.2	7.1	7.0
น้ำส้มสายชูหมัก ความเข้มข้น 4.2%ยี่ห้อ คิวพี	9.3	9.2	9.1	9.0	8.9
น้ำตาลทราย	28.6	28.3	28.0	27.7	27.4
น้ำ	25.8	25.6	25.3	25.0	24.8
แป้งโม่เปียกหรือสตาร์ชเกาลัด	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0

ชั่งน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดตามสูตร
โดยแปรปริมาณแป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็น 1, 2, 3, 4 และ 5% โดยน้ำหนัก

↓

ผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากันด้วยเครื่องผสม Kenwood model 9070
โดยใช้ความเร็วรอบต่ำสุด เป็นเวลา 1 นาที

↓

ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ $80^{\circ}C$ เป็นเวลา 5 นาที

↓

บรรจุซอสพริกลงในขวดแก้วขณะร้อน ปิดฝาทันที
และทำให้เย็นทันทีด้วยน้ำเย็น จนมีอุณหภูมิเป็น $30^{\circ}C$

↓

เก็บในตู้เย็น ที่อุณหภูมิ $4^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาวัดความหนืด

รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมซอสพริก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วัดความหนืดของซอสพริกที่ผลิตได้ด้วยเครื่องวัดความหนืด (BROOKFIELD model DVI+) ที่ความเร็วรอบ 100 rpm หัวเข็มเบอร์ 5 วัดความหนืดที่เวลา 30 วินาที ที่อุณหภูมิ 25^{O}C เปรียบเทียบกับซอสพริกที่ผลิตในทางการค้า (ซอสพริกศรีราชา ยี่ห้อศรีราชาพานิช ชนิดเผ็ดปานกลาง)

วางแผนการทดลองแบบ CRD ทำการทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของความหนืด ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

3.2.6.2 ศึกษาการทดแทนบางส่วนของแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งและสตาร์ชเกาลัดในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว

ผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวเจ้า (ตราช้างสามเศียร ของบริษัทซอเฮง) โดยดัดแปลงจากวิธีของณัฐญา โกมลมณี (2541) ดังรูปที่ 3.4

น้ำแป้งข้าวเจ้าความเข้มข้น 32.5% โดยน้ำหนัก ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

↓

เทใส่ถาดสแตนเลสสตีล ขนาด 18 เซนติเมตร x 24 เซนติเมตร (กว้างxยาว) ที่ทาน้ำมันพืช

↓

เขย่าถาดเพื่อให้น้ำแป้งกระจายทั่วถาด

↓

นึ่งในลังถึงเป็นเวลา 4 นาที

↓

ผึ่งให้เย็นในถาดประมาณ 5 นาที

↓

ดึงแผ่นก๋วยเตี๋ยวออกจากถาด
และตัดเป็นเส้นขนาด 2 เซนติเมตร x 24 เซนติเมตร x 0.1 เซนติเมตร (กว้างxยาวxหนา)

รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำเส้นก๋วยเตี๋ยว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทดแทนบางส่วนของแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งและสตาร์ชเกาลัด โดยแปรปริมาณแป้งและสตาร์ช เป็น 3 ระดับ คือ 5, 10 และ 15% โดยน้ำหนักของแป้งทั้งหมด ตามลำดับ และผลิตเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยวตามรูปที่ 3.4 นำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้บรรจุในถุงพลาสติกชนิด Polyethylene (PE) แล้วเก็บในตู้เย็น ที่อุณหภูมิ 4^{O}C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (Shelke *et al.*, 1990) แล้วนำมาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ สี และเนื้อสัมผัส ร่วมกับการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ก. สมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว

ก.1 การวัดสีเส้นก๋วยเตี๋ยว ทำโดยนำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บไว้มาลวกในน้ำเดือด นาน 30 วินาที แช่ในน้ำเย็น 15 วินาที แล้ววัดสีด้วยเครื่อง Chromameter (Minolta รุ่น CR-300 series, Japan) โดยวัดสี 4 ครั้งต่อตัวอย่าง 1 ซ้ำ

ก.2 การวัดเนื้อสัมผัสด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส

วัดเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวในด้าน tensile strength และ extensibility ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron รุ่น 5565, U.S.A.) โดยใช้ชุดหัวทดสอบ Noodle Tensile Test Fixture (S5407A) ด้วยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Hormdok และ Noomhorm (2006) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.20) โดยในการเตรียมตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวเพื่อวัดเนื้อสัมผัส ทำโดยนำเส้นก๋วยเตี๋ยวที่เก็บไว้ 24 ชั่วโมง มา 1 เส้น ขนาด 2 เซนติเมตร x 24 เซนติเมตร x 0.1 เซนติเมตร (กว้างxยาวxหนา) ลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 วินาที แช่ในน้ำเย็น 15 วินาที

วางแผนการทดลองแบบ CRDทำการทดลอง 3 ซ้ำ ซ้ำละ 10 เส้น วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติของค่าต่าง ๆ ด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

ข. คุณภาพทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส โดยนำเส้นก๋วยเตี๋ยว 75 กรัม ลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 วินาที แช่น้ำเย็น 15 วินาที แล้วคลุกน้ำมัน 1 ช้อนชา แบ่งใส่ถ้วยๆ ละ 40 กรัม ประเมินผลทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ในด้านต่างๆ ได้แก่ สี ความเหนียว และความนุ่ม โดยใช้แบบทดสอบแบบ Quantitative Descriptive Analysis (QDA) with scoring test (ภาคผนวก ข) และประเมินผลทางประสาทสัมผัสด้านความชอบโดยรวมด้วยแบบทดสอบ 9-point hedonic scale (ณัฐญา โกมลมณี, 2541) โดยใช้ผู้ทดสอบจำนวน 30 คน

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ปริมาณผลผลิตและองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดเกาลัด

เตรียมเมล็ดเกาลัดสำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตแป้ง (flour) และสตาร์ช (starch) โดยแกะเปลือกสีดำของเมล็ดเกาลัดออกด้วยมือ จะได้เนื้อภายในเมล็ด ซึ่งมีสีขาวเหลือง และมีเยื่อหุ้มเมล็ดสีน้ำตาลติดอยู่ ในการเตรียมวัตถุดิบพบว่า ได้ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยของเมล็ดเกาลัดหลังแกะเปลือกร้อยละ 74.98±1.54

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดเกาลัดหลังแกะเปลือก (ตารางที่ 4.1) พบว่าเนื้อเมล็ดเกาลัดมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักมากที่สุด คือ 84.71% (%db) รองลงมาคือโปรตีน เถ้า เส้นใย และไขมัน คือ 6.76%, 3.56%, 3.54% และ 1.42% (%db) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดเกาลัดหลังแกะเปลือก

องค์ประกอบทางเคมี	ปริมาณ (%db)*
ความชื้น (%wb)	42.60±0.27
คาร์โบไฮเดรต	84.71±0.27
โปรตีน	6.76±0.05
เถ้า	3.56±0.05
เส้นใยหยาบ (crude fiber)	3.54±0.13
ไขมัน	1.42±0.38

*ค่าเฉลี่ยจากการสุ่มวิเคราะห์ตัวอย่าง 5 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2 ผลของวิธีโม่แป้งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งเกาลัด

4.2.1 ปริมาณผลผลิตของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

จากการนำเนื้อเมล็ดเกาลัดไปผ่านการโม่แห้งและโม่เปียกเพื่อผลิตเป็นแป้ง แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 mesh พบว่า วิธีการโม่ไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) โดยได้ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยร้อยละ 43.78±0.52 โดยน้ำหนักแห้ง

4.2.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเกาลัด

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแป้งที่ผ่านการโม่แห้งและโม่เปียก (ตารางที่ 4.2) พบว่าวิธีโม่มีผลต่อปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เถ้าและแอมิโลส อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อปริมาณเส้นใยและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ($p > 0.05$) โดยแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตและแอมิโลสต่ำกว่า แต่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้า สูงกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานของ Chen และคณะ (1999) และ Mukprasirt และ Sajjaanantakul (2004) ที่พบว่า การโม่แห้งจะให้แป้งข้าวเหนียวและแป้งเมล็ดขนุนที่มีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าสูงกว่าการโม่เปียก ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการโม่เปียก เป็นการโม่วัตถุดิบพร้อมกับน้ำ ทำให้โปรตีนที่ละลายน้ำได้, น้ำตาล และ nonstarch-bound lipids บางส่วนถูกชะล้างออกไปกับน้ำในระหว่างการโม่ (Medcalf and Lund, 1985; Juliano and Hicks, 1996)

จากการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสในแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียก พบว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งมีปริมาณแอมิโลสต่ำกว่าแป้งจากการโม่เปียก ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งมีปริมาณไขมันสูงกว่า จึงอาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อน amylose-lipid complexes ได้มากกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก แอมิโลสจึงไม่สามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนให้สีน้ำเงินได้ ส่งผลให้ปริมาณแอมิโลสในแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งซึ่งวิเคราะห์ด้วย Iodine method มีค่าต่ำกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่เปียก (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Mukprasirt และ Sajjaanantakul (2004) ที่พบว่าแป้งเมล็ดขนุนจากการโม่แห้งมีปริมาณแอมิโลส (36.67%) ต่ำกว่าการโม่เปียก (39.23%) และ Singh และคณะ (2000) ซึ่งพบว่า แป้งข้าว Japonica (Nipponbare) ที่ผ่านการสกัดไขมัน มีปริมาณแอมิโลสสูงขึ้นจาก 19.9% เป็น 25.6% ซึ่งแสดงให้เห็นถึงบทบาทของไขมันในการจับกับพอลิเมอร์สายโซ่ตรง (แอมิโลส) ในข้าว

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

องค์ประกอบ	ปริมาณ (%db) ในแป้งจากการ*	
	โม่แห้ง	โม่เปียก
คาร์โบไฮเดรต	$89.40^{a}\pm0.15$	$93.64^{b}\pm0.43$
โปรตีน	$6.37^{b}\pm0.19$	$3.01^{a}\pm0.15$
เถ้า	$0.02^{b}\pm0.00$	$0.01^{a}\pm0.00$
เส้นใยหยาบ^{ns}	2.81±0.07	2.80±0.30
ไขมัน	$1.40^{b}\pm0.04$	$0.53^{a}\pm0.01$
แอมิโลส	$27.17^{a}\pm0.96$	$29.76^{b}\pm0.17$
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)^{ns}	6.71±0.01	6.70±0.01

a, b ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

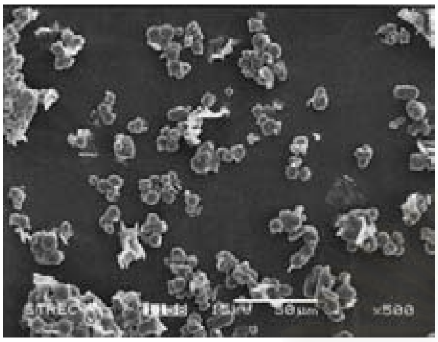
จากการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธี พบว่ามีค่าประมาณ 6.70 ซึ่งเป็นค่าปกติของแป้ง โดยอยู่ในช่วงใกล้เคียงกับแป้งทางการค้าทั่วไป เช่น แป้งมันสำปะหลัง (pH 4.5-7.0) และแป้งข้าวเจ้า (pH 5.0-7.0) ตาม มอก. 274-2521 (อุตสาหกรรม, 2521) และ มอก. 638-2529 (อุตสาหกรรม, 2529) ตามลำดับ

4.2.3 สมบัติทางกายภาพของแป้งเกาลัด

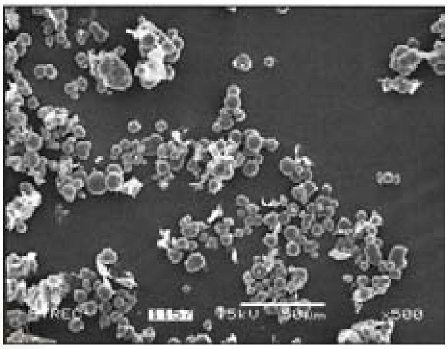
4.2.3.1 รูปร่างและพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชเกาลัดในแป้งเกาลัด

จากการศึกษารูปร่างและพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชเกาลัดโดยใช้ SEM (รูปที่ 4.1) พบว่า เม็ดสตาร์ชเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียก มีทั้งรูปร่างกลม และรูปไข่ที่มีรอยตัดคล้ายเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลัง มีพื้นผิวไม่เรียบ โดยเม็ดสตาร์ชเกาลัดในแป้งจากการโม่แห้งมีองค์ประกอบอื่นหรือเศษของเม็ดสตาร์ชที่แตกหักเกาะติดอยู่บริเวณผิวของเม็ดสตาร์ชชัดเจนกว่าเม็ดสตาร์ชเกาลัดในแป้งจากการโม่เปียก ทั้งนี้อาจเนื่องจากในระหว่างการโม่แห้งมีความร้อนเกิดขึ้นจึงทำให้เม็ดสตาร์ชบางส่วนเสียหายและเกิดการเจลาติไนซ์ ในขณะที่การโม่เปียกเป็นการโม่พร้อมน้ำ ซึ่งน้ำจะช่วยลดอุณหภูมิและแรงเสียดทานในการโม่ (Jomduang and Mohamed, 1994; Lumdubwong and Seib, 2000; Chaing and Yeh, 2002) นอกจากนี้น้ำยังช่วยชะล้าง

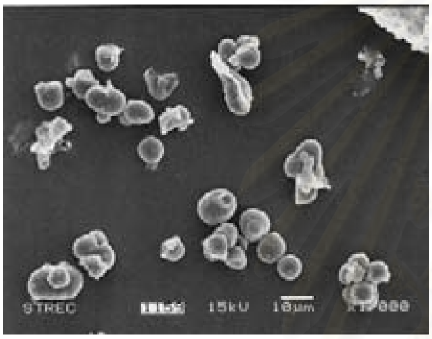
เอาองค์ประกอบอื่นๆ บางส่วนออกไปพร้อมกับน้ำด้วย (Medcalf and Lund, 1985; Juliano and Hicks, 1996)



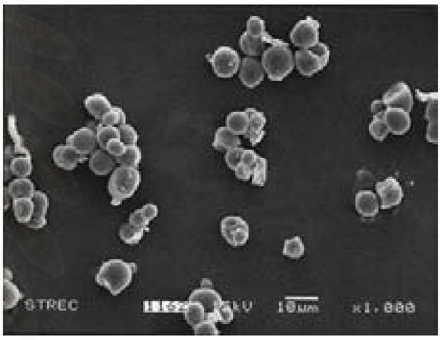
(x500) โม่แห้ง



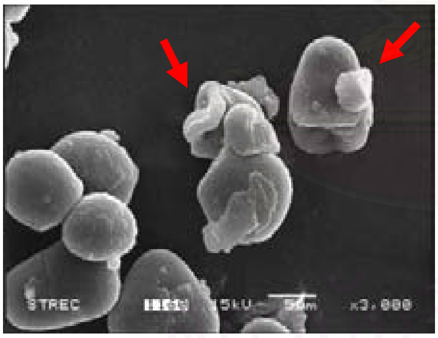
(x500) โม่เปียก



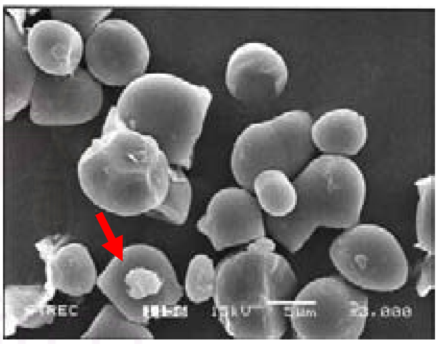
(x1000) โม่แห้ง



(x1000) โม่เปียก



(x3000) โม่แห้ง



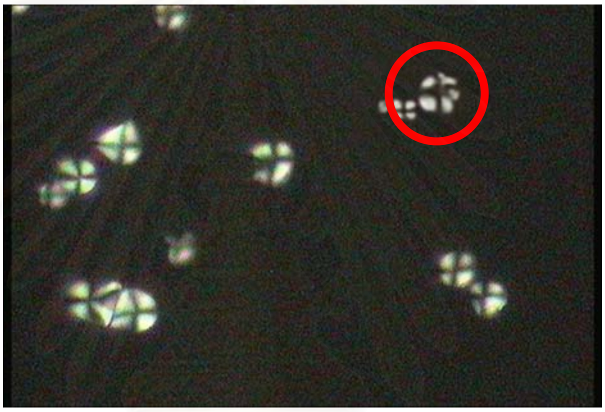
(x3000) โม่เปียก

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของเม็ดแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียก (หัวลูกศรแสดงบริเวณที่องค์ประกอบอื่นหรือเศษของเม็ดสตาร์ชที่แตกหักเกาะติดอยู่บนผิวของเม็ดสตาร์ช)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.3.2 ลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชเกาลัดในแป้งเกาลัด

จากการตรวจสอบลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชเกาลัด (รูปที่ 4.2) พบว่า เม็ดสตาร์ชส่วนใหญ่มีตำแหน่งไฮลัมที่จุดศูนย์กลางของเม็ดสตาร์ช แต่เม็ดสตาร์ชบางเม็ดของแป้งจากการโม่แห้งเริ่มมีการสูญเสีย birefringence ทั้งนี้เนื่องจากระหว่างการโม่แห้งมีความร้อนเกิดขึ้น จึงทำให้เม็ดสตาร์ชบางส่วนเกิดการเสียหาย โครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย และอาจเกิดการเจลาติไนซ์ (Gallant, Bouchet, and Baldwin, 1997) ในขณะที่การโม่เปียกเป็นการโม่พร้อมน้ำ ซึ่งน้ำจะช่วยลดอุณหภูมิและแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นในระหว่างการโม่ เม็ดสตาร์ชจึงได้รับความเสียหายน้อย และยังคงลักษณะ birefringence



แป้งเกาลัดจากการโม่แห้ง

แป้งเกาลัดจากการโม่เปียก

รูปที่ 4.2 ลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชเกาลัดของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก (วงกลมคือ บริเวณเม็ดสตาร์ชที่สูญเสีย birefringence ไปบางส่วน)

4.2.3.3 ค่าสี และค่าดัชนีความขาวของแป้งเกาลัด

จากการวัดค่าสีของแป้งเกาลัด พบว่า วิธีการโม่มีผลต่อค่า L (ความสว่าง) a (สีแดง-สีเขียว) b (สีเหลือง-สีน้ำเงิน) และค่าดัชนีความขาว อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งมีค่า b มากกว่า แต่มีค่า L, ค่า a และค่าดัชนีความขาว น้อยกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่เปียก (ตารางที่ 4.3) ทั้งนี้เนื่องจากรงควัตถุภายในเมล็ดเกาลัดถูกชะล้างออกไปพร้อมกับน้ำในระหว่างการโม่เปียก ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับรายงานการศึกษาของ Mukprasirt และ Sajjaanantakul (2004) ซึ่งพบว่า แป้งเมล็ดขนุนจากการโม่แห้งมีสีเหลืองมากกว่า แต่มีค่าความสว่างน้อยกว่าแป้งที่ได้จากการโม่เปียก

ตารางที่ 4.3 ค่าสี และค่าดัชนีความขาวของแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียก

วิธีโม่	ค่าสี*			ค่าดัชนีความขาว*
	L	a	b	
โม่แห้ง	$90.68^{a}\pm0.28$	$-0.50^{a}\pm0.02$	$16.15^{b}\pm0.14$	$81.34^{a}\pm0.26$
โม่เปียก	$91.87^{b}\pm0.07$	$0.59^{b}\pm0.03$	$7.97^{a}\pm0.05$	$88.59^{b}\pm0.06$

a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2.3.4 Damaged starch และความสามารถในการจับน้ำของแป้งเกาลัด

จากการวิเคราะห์ปริมาณ damaged starch ของแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียก (ตารางที่ 4.4) พบว่า แป้งเกาลัดจากการโม่แห้งมีปริมาณ damaged starch มากกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่เปียกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากในระหว่างการโม่แห้งมีความร้อนเกิดขึ้น จึงทำให้เม็ดสตาร์ชบางส่วนเกิดการเสียหายและเกิดการเจลาติไนซ์ ส่วนการโม่เปียกเป็นการโม่พร้อมน้ำ ซึ่งน้ำจะช่วยลดอุณหภูมิและแรงเสียดทานในการโม่ จึงทำให้สตาร์ชเกิดการเสียหายน้อยกว่า ดังนั้นปริมาณ damaged starch จึงน้อยกว่า (Jomduang and Mohamed, 1994; Lumdubwong and Seib, 2000; Chaing and Yeh, 2002) ซึ่งการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของภัณฑิรา เหมภัทรสุวรรณ (2548) และสุพัตรา งามอุรุเลิศ (2545) ซึ่งพบว่าแป้งข้าวฟ่างและแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการโม่แห้งมีปริมาณ damaged starch มากกว่าแป้งที่ได้จากการโม่เปียกตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ปริมาณ damaged starch และค่าความสามารถในการจับน้ำของแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียก

วิธีโม่	% damaged starch*	ค่าความสามารถในการจับน้ำ (g น้ำ/g แป้ง)*
โม่แห้ง	$6.64^{b}\pm0.29$	$1.86^{b}\pm0.04$
โม่เปียก	$2.53^{a}\pm0.22$	$1.38^{a}\pm0.04$

a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

โดยทั่วไปแป้งจะไม่สามารถละลายในน้ำเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) จากการศึกษาค่าความสามารถในการจับน้ำของแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียก พบว่า วิธีการโม่มีผลต่อความสามารถในการจับน้ำอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งมีค่าความสามารถในการจับน้ำมากกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่เปียก (ตารางที่ 4.4) เช่นเดียวกับ Jomduang และ Mohamed (1994) ที่รายงานว่า แป้งข้าวเหนียวจากการโม่แห้งจะมีค่าความสามารถในการจับน้ำมากกว่าแป้งข้าวเหนียวจากการโม่เปียก และยังพบว่าความสามารถในการจับน้ำนั้นมีความสัมพันธ์กับปริมาณ damaged starch คือ ถ้าแป้งมีปริมาณ damaged starch มาก จะมีค่าความสามารถในการจับน้ำได้มากด้วย

เมื่อเปรียบเทียบค่าความสามารถในการจับน้ำของแป้งเกาลัดกับแป้งชนิดต่างๆ (ตารางที่ 4.5) จะเห็นได้ว่าแป้งเกาลัดมีค่าความสามารถในการจับน้ำต่ำกว่าแป้งถั่วเขียว เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างแป้งเกาลัดกับแป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลี พบว่าแป้งเกาลัดซึ่งมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่ากลับมีค่าความสามารถในการจับน้ำสูงกว่า อาจเนื่องจากแป้งเกาลัดมีปริมาณ damaged starch มากกว่าแป้งทั้ง 2 ชนิด (Betancur-Ancona, López-Luna, and Chel-Guerrero, 2003)

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ค่าความสามารถในการจับน้ำของแป้งเกาลัดและแป้งชนิดอื่นๆ

ชนิดแป้ง	% damaged starch	โปรตีน (%db)	ค่าความสามารถในการจับน้ำ (g น้ำ/g แป้ง)
แป้งเกาลัด			
โม่แห้ง	6.64	6.37	1.86
โม่เปียก	2.53	3.01	1.38
แป้งข้าวเหนียว[1]	NA	6.4	1.19
แป้งสาลี[2]	NA	12.90	0.68
แป้งถั่วเขียว[3]	NA	25.96	2.10

NA หมายถึงไม่ระบุในเอกสารอ้างอิง

ที่มา: [1] Jomduang และ Mohamed (1994)

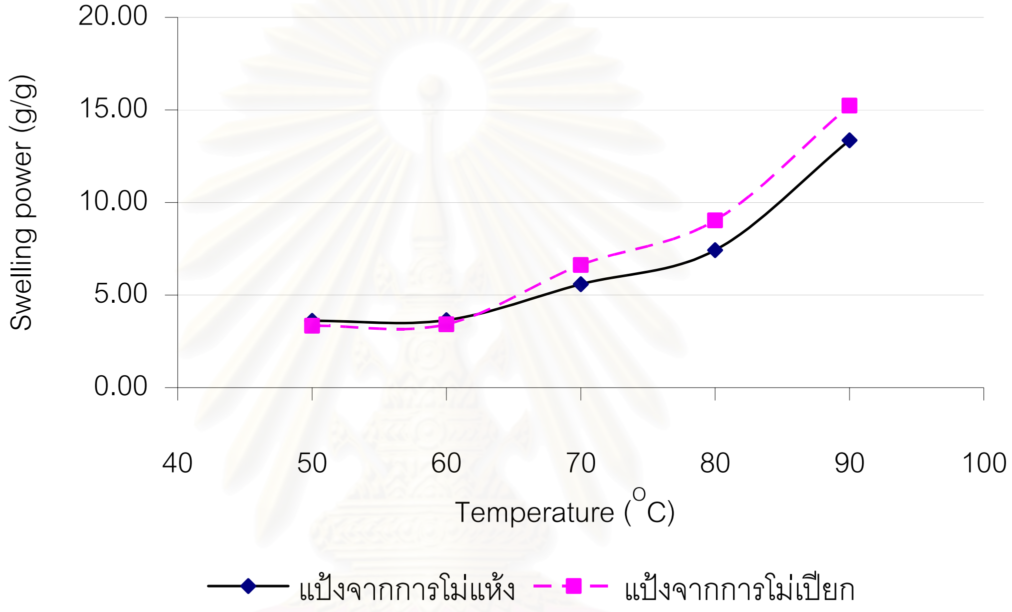
[2] Godoy, Tulin และ Quevedo (1992)

[3] Dzudie และ Hardy (1996)

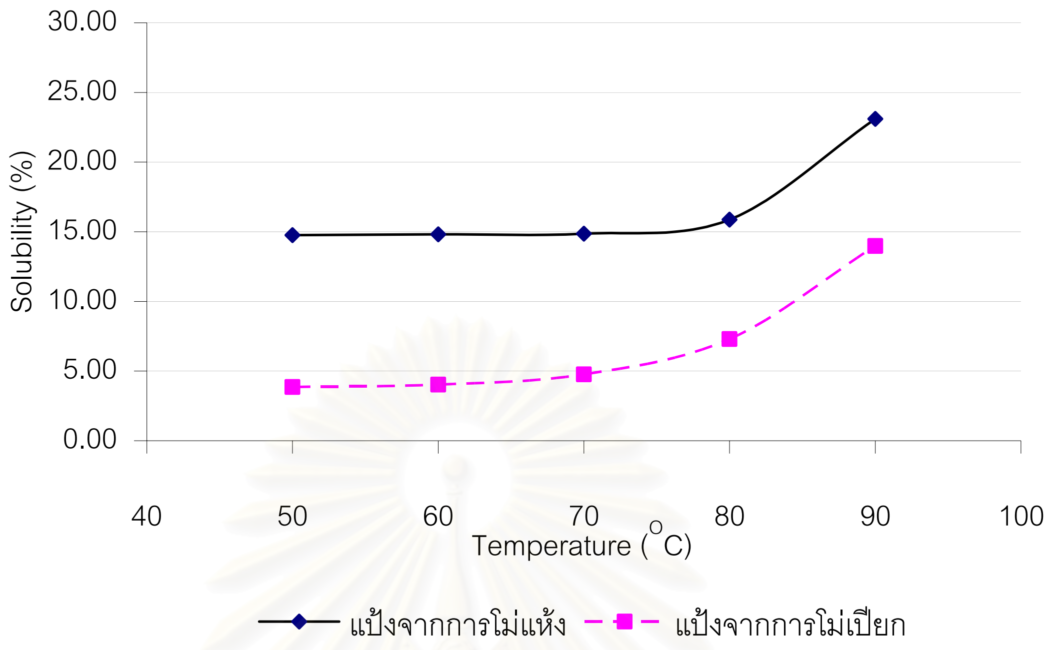
4.2.3.5 กำลังการพองตัวและการละลายของแป้งเกาลัด

กำลังการพองตัวสามารถบ่งบอกความหนืดของแป้งสุกได้ โดยแป้งที่มีกำลังการพองตัวสูงจะมีความหนืดสูงเมื่อแป้งสุก เช่น แป้งมันฝรั่ง ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อเม็ดสตาร์ชมีการพองตัวมากขึ้นเรื่อยๆ จะส่งผลให้เม็ดสตาร์ชมีการเคลื่อนที่ได้น้อยลงหรือเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น เนื่องจากโมเลกุลน้ำอิสระที่อยู่รอบๆเม็ดแป้งเหลือน้อยลง ซึ่งเป็นลักษณะของการเกิดความหนืด ส่วนการละลายมีความสัมพันธ์กับกำลังการพองตัว คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเม็ดสตาร์ชพองตัวเพิ่มขึ้น จะทำให้แอมิโลสบางส่วนหลุดออกมาจากเม็ดสตาร์ช ทำให้มีการละลายสูงขึ้นด้วย (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) จากการวัดกำลังการพองตัวและการละลายของแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียก ที่อุณหภูมิต่างๆ คือ 50, 60, 70, 80 และ 90 ^{O}C (รูปที่ 4.3) พบว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธี มีกำลังการพองตัวค่อนข้างต่ำ โดยกำลังการพองตัวของแป้งเกาลัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น โดยที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน (50 และ 60 ^{O}C) แป้งเกาลัดจากการโม่แห้งจะมีค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่เปียก แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (70 ^{O}C ขึ้นไป) แป้งเกาลัดจากการโม่เปียกจะมีกำลังการพองตัวสูงกว่าแป้งจากการโม่แห้ง และเมื่อวัดค่าการละลาย (รูปที่ 4.4) พบว่าแป้งเกาลัดจากการโม่ทั้ง 2 วิธีมีการละลายเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยแป้งจากการโม่แห้งมีการละลายสูงกว่าแป้งจาก

การโม่เปียกในทุกช่วงอุณหภูมิ ทั้งนี้เนื่องจากการโม่แห้งทำให้มีปริมาณ damaged starch มากกว่าการโม่เปียก ดังนั้นเมื่อเม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว โมเลกุลของแอมิโลสในเม็ดสตาร์ชจึงสามารถละลายออกจากเม็ดสตาร์ชได้ง่ายกว่าแป้งที่มีปริมาณ damaged starch น้อย สอดคล้องกับผลการทดลองของ Chen และคณะ (1999) ซึ่งพบว่า แป้งข้าวเหนียวในประเทศไต้หวันที่ได้จากวิธีโม่ที่แตกต่างกัน มีการละลายต่างกัน

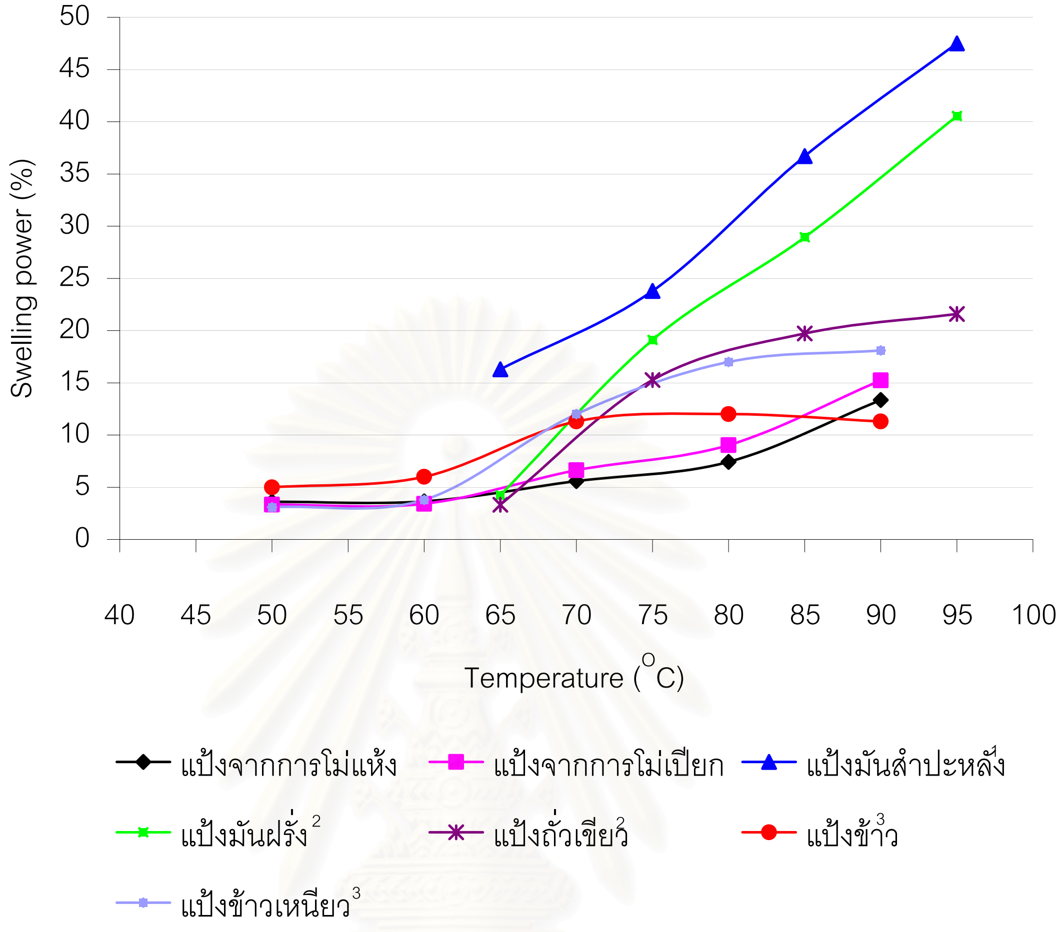


รูปที่ 4.3 กำลังการพองตัวของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก ที่ช่วงอุณหภูมิ 50-90 $^{\circ}$C



รูปที่ 4.4 การละลายของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียกที่ช่วงอุณหภูมิ 50-90 °C

เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังการพองตัวของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธี กับแป้งชนิดต่างๆ (รูปที่ 4.5) พบว่าแป้งเกาลัดมีค่ากำลังการพองตัวต่ำกว่าแป้งมันสำปะหลัง แป้งมันฝรั่ง แป้งถั่วเขียว แป้งข้าว และแป้งข้าวเหนียว ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งเกาลัดมีปริมาณแอมิโลสเป็นองค์ประกอบสูง ทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดแป้งมีความหนาแน่นและแข็งแรงมากกว่าตัวอย่างแป้งอื่นๆ นอกจากนี้อาจเป็นผลเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ เช่น ขนาดและการกระจายตัวของโมเลกุลแอมิโลสและอะมิโลเพกติน, ความยาวสายโซ่ของอะมิโลเพกติน ปริมาณโปรตีนและไขมันที่มีในแป้ง (Hoover, 2001) สำหรับแป้งมันฝรั่งซึ่งมีกำลังการพองตัวสูงกว่า เนื่องจากมีพันธะภายในของเม็ดแป้งอ่อนแอ นอกจากนี้ยังเป็นผลเนื่องจากการมีหมู่ฟอสเฟต ทำให้เม็ดแป้งมีการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถก่อให้เกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546)



รูปที่ 4.5 กำลังการพองตัวของแป้งเกาลัดและแป้งชนิดต่างๆ

ที่มา: [1] นลินี อุดมทวี (2540)

[2] วรนุช ตรีเจษฎารักษ์ (2530)

[3] Singh และคณะ (2000)

4.2.3.6 **สมบัติด้านความหนืดของแป้งเกาลัด**

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้ง เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้ง ได้แก่ ชนิดของแป้ง และการดัดแปรแป้งด้วยวิธีต่างๆ (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) จากการศึกษาสมบัติด้านความหนืดใน heating-cooling cycle ด้วยเครื่อง RVA ที่ระดับความเข้มข้น 7% และ pH 7 พบว่าวิธีการโม่มีผลต่อค่า peak viscosity, breakdown และ setback อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยแป้งเกาลัดจากการโม่เปียก จะมีค่า peak viscosity, breakdown และ setback

สูงกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่แห้ง (ตารางที่ 4.6) ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งเกาลัดจากการโม่แห้ง มีปริมาณไขมันและโปรตีนมากกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่เปียก ซึ่งไขมันสามารถสร้างพันธะกับแอ-มิโลสเกิดเป็นโครงสร้างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมให้เม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงขึ้น ซึ่งจะไปยับยั้งการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ช ส่วนโปรตีนจะไปขัดขวางการพองตัวของเม็ดสตาร์ชทำให้แป้งมีค่า peak viscosity ต่ำ (Chandrashekar and Kirleis, 1988; Hamaker, Griffin, and Moldenhauer, 1991; Hamaker and Griffin, 1993; Lim *et al*., 1999) ส่งผลให้ความหนืดต่ำกว่าแป้งจากการโม่เปียก ผลการทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Mukprasirt และ Sajjaanantakul (2004) ที่พบว่าความหนืดของแป้งขนุนจากการโม่แห้งมีค่าต่ำกว่าแป้งขนุนจากการโม่เปียก นอกจากนี้ การโม่แห้งทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการเสียหายมาก แป้งเกาลัดจากการโม่แห้ง จึงมี peak viscosity และ breakdown ต่ำ และอาจเนื่องมาจากแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งที่ได้จากการโม่เปียก

สำหรับค่า pasting temperature เป็นอุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อน้ำแป้งได้รับความร้อน แล้วเกิดการเจลาติไนซ์ ความร้อนจะไปทำลายพันธะไฮโดรเจน ทำให้ร่างแหไมเซลล์ภายในเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงลดลง เม็ดสตาร์ชจึงดูดน้ำและพองตัวขึ้น (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) และค่า peak time ซึ่งเป็นเวลาที่เกิดจุดสูงสุด (peak) ของความหนืด จากการทดลองพบว่า วิธีการโม่ไม่มีผลต่อค่า pasting temperature และ peak time อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) (ตารางที่ 4.6) แต่ค่า pasting temperature และ peak time ของแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งมีแนวโน้มสูงกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่เปียก ทั้งนี้เนื่องจากแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าแป้งจากการโม่เปียก ซึ่งโปรตีนในแป้งจะไปจำกัดการพองตัวของเม็ดสตาร์ช (Chandrashekar and Kirleis, 1988; Hamaker, Griffin, and Moldenhauer, 1991; Hamaker and Griffin, 1993; Lim *et al*., 1999) นอกจากนี้อาจเนื่องจากความแตกต่างของปริมาณไขมันในแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธีดังกล่าวข้างต้น

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกำลังการพองตัวกับค่า pasting temperature ของแป้งเกาลัด จะเห็นได้ว่ากำลังการพองตัวของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธี มีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดที่ช่วงอุณหภูมิ 80-90°C และค่า pasting temperature ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA มีค่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวเช่นกัน นอกจากนี้ค่า pasting temperature และค่า peak time ของแป้งเกาลัดจากการโม่เปียกมีค่าต่ำกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่แห้ง แสดงให้เห็นว่าแป้งเกาลัดจากการโม่เปียกสามารถพองตัวได้ง่ายกว่า สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์กำลังการพองตัวของแป้งเกาลัดจากการโม่ทั้ง 2 วิธี ที่พบว่าที่ช่วงอุณหภูมิดังกล่าวแป้งเกาลัดจากการโม่เปียกมีกำลังการพองตัวสูงกว่า จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนืดได้เร็วกว่า ส่งผลให้ pasting

temperature และ peak time ต่ำกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่แห้ง แม้จะไม่มีความแตกต่างทางสถิติก็ตาม

ตารางที่ 4.6 สมบัติด้านความหนืดระหว่าง heating-cooling cycle ที่วิเคราะห์โดย RVA ของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียกที่ระดับความเข้มข้น 7%

Pasting properties	โม่แห้ง*	โม่เปียก*
Peak viscosity (RVU)	$43.97^{a}\pm3.46$	$88.33^{b}\pm1.13$
Trough (RVU)	$36.92^{a}\pm2.89$	$75.42^{b}\pm1.13$
Breakdown (RVU)	$7.06^{a}\pm0.70$	$12.92^{b}\pm0.14$
Final viscosity (RVU)	$38.64^{a}\pm2.86$	$90.81^{b}\pm1.25$
Setback (RVU)	$12.25^{a}\pm1.91$	$29.47^{b}\pm0.31$
Pasting temperature (^{O}C)^{ns}	84.25±0.44	83.88±0.12
Peak time (minute)^{ns}	7.98 ± 0.10	7.82 ± 0.03

a, b ที่แตกต่างกันในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

* ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.2.3.7 สมบัติด้านความร้อนของแป้งเกาลัด

จากการศึกษาสมบัติด้านความร้อนของแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียก ด้วยเครื่อง DSC พบว่า วิธีการโม่มีผลต่อค่า onset temperature (T_O), peak temperature (T_P) และเอนทาลปีของการเกิดเจลาติไนซ์ (ΔH_{gel}) อย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$) โดยแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งมีค่า T_O, T_P สูงกว่า แต่มีค่า ΔH_{gel} ต่ำกว่าแป้งเกาลัดจากการโม่เปียก (ตารางที่ 4.7) ความแตกต่างนี้อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของปริมาณ damaged starch ที่เกิดขึ้นในระหว่างการโม่แห้ง (Grant, 1998) นอกจากนี้การโม่แห้งอาจทำลายโครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกของเม็ดสตาร์ช (Chen *et al.*, 1999) ดังนั้น พลังงานความร้อนที่จำเป็นสำหรับการเกิดเจลาติไนซ์จึงมีค่าต่ำกว่า (Kerr *et al.*, 2000) การทดลองดังกล่าวสอดคล้องกับผลการทดลองของ Chen และคณะ (1999) ที่พบว่าแป้งข้าวเหนียวที่ได้จากการโม่แห้ง มีค่า T_O และ T_P สูงกว่า แต่ค่า ΔH_{gel} ต่ำกว่าแป้งที่ได้จากการโม่เปียก เมื่อพิจารณาค่า T_O และค่า pasting temperature ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง RVA พบว่า ค่า T_O ของแป้งเกาลัดมีค่าต่ำกว่าค่า pasting temperature เนื่องจาก

ค่า pasting temperature เป็นอุณหภูมิที่สารละลายน้ำแป้งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด ซึ่งความหนืดจะเกิดเมื่อเม็ดแป้งเริ่มดูดน้ำและพองตัวได้ระดับหนึ่ง ในขณะที่ T_O วัดจากการเปลี่ยนแปลงด้านความร้อน (heat flux) นั่นคือ เมื่อแป้งเริ่มเกิดเจลต้องมีการดูดความร้อนเข้าไปในระบบโดยความหนืดอาจยังไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ค่า T_O ต่ำกว่าค่า pasting temperature (Jane *et al*., 1999)

ตารางที่ 4.7 สมบัติด้านความร้อนของแป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียกที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

สมบัติด้านความร้อน	โม่แห้ง*	โม่เปียก*
T_O (^OC)	$75.54^b \pm 0.11$	$73.21^a \pm 0.23$
T_P (^OC)	$80.05^b \pm 0.08$	$77.72^a \pm 0.28$
T_C (^OC)	$84.79^b \pm 0.22$	$82.79^a \pm 0.20$
ΔH_{gel} (J/g)	$11.28^a \pm 0.42$	$14.04^b \pm 0.47$

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

* ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนของแป้งเกาลัดกับแป้งชนิดต่างๆ (ตารางที่ 4.8) พบว่าค่า T_O, T_P, T_C และ ΔH_{gel} ของแป้งเกาลัดมีแนวโน้มสูงกว่าแป้งชนิดอื่น ซึ่งอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งจะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของแป้ง เช่น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณแอมิโลสและอะมิโลเพกติน (กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ, 2546) การที่แป้งเกาลัดมี T_O, T_P, T_C และ ΔH_{gel} สูงกว่าแป้งชนิดอื่นๆ อาจเนื่องจากแป้งเกาลัดมีปริมาณแอมิโลสสูง ส่งผลให้โครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งมีความแข็งแรงขึ้น จึงต้องใช้พลังงานสูงขึ้นในการทำให้เกิดเจล จึงทำให้อุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ และ ΔH_{gel} ของแป้งสูงขึ้น แต่ Fujita และคณะ (1998) และ Jane และคณะ (1999) รายงานผลการทดลองที่สอดคล้องกันว่า waxy starch มีค่า ΔH_{gel} สูงกว่า normal starch ซึ่ง Sasaki, Yasui และ Matsuki (2000) ได้อธิบายว่าค่า ΔH_{gel} อาจมีความสัมพันธ์กับปริมาณของส่วนผลึกของอะมิโลเพกตินด้วย เนื่องจาก ΔH_{gel} คือพลังงานที่ใช้ในการละลายโครงสร้างผลึกในการเกิดเจล ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการละลายโครงสร้างผลึกส่วนที่เป็นอะมิโลเพกตินสูงกว่าแอมิโลส ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่ค่า ΔH_{gel} ของแป้งที่มีอะมิโลเพกตินสูง มีค่าสูงกว่าแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูง

นอกจากนี้อาจเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ ได้อีก เช่น การกระจายตัวของความยาวสายโซ่อะมิโลเพกติน การจัดเรียงตัวของแอมิโลสและอะมิโลเพกติน ขาดของเม็ดแป้ง เป็นต้น (Tester, 1997)

ตารางที่ 4.8 สมบัติด้านความร้อนของแป้งเกาลัดและแป้งชนิดต่างๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

ชนิดแป้ง	อัตราส่วนแป้ง:น้ำ (w/w)	T_O (^OC)	T_P (^OC)	T_C (^OC)	ΔH_{gel} (J/g)
แป้งเกาลัด					
แป้งโม่แห้ง	1:2.3	75.54	80.05	84.79	11.28
แป้งโม่เปียก	1:2.3	73.21	77.72	82.79	14.04
แป้งข้าวเจ้า[1]	1:2.14	69.73	76.78	86.74	11.49
แป้งข้าวเหนียว[2]	1:1.5	59.24	71.88	NA	11.74
แป้งข้าวโพด[3]	1:2.3	68.6	73.2	78.4	8.46

NA หมายถึงไม่ระบุในเอกสารอ้างอิง

ที่มา: [1] ปรินทิพย์ จิรหฤทัย (2548)

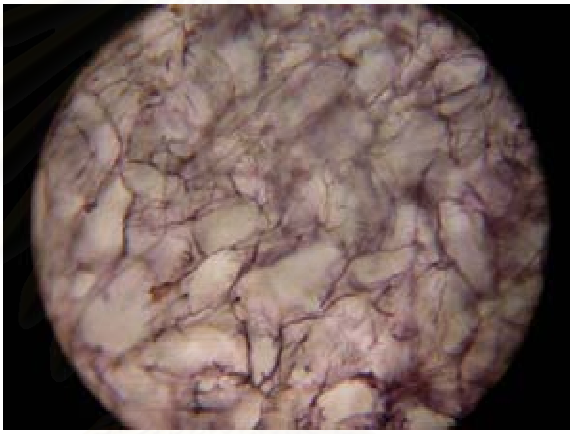
[2] Chen และคณะ (1999)

[3] Sandhu, Singh และ Malhi (2007)

4.2.3.8 ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งของแป้งเกาลัด

ผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็งมักมีโอกาสที่อุณหภูมิของอาหารจะไม่คงที่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นระหว่างการขนส่ง การเก็บตามร้านค้าหรือเกิดเนื่องจากผู้บริโภค แม้จะไม่ทำให้อาหารละลายอย่างสมบูรณ์ แต่ก็ทำให้มีการละลายเป็นบางส่วนได้ ซึ่งจะเกิดรอบของการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำแข็งในระยะเวลาสั้นๆ ส่งผลร่วมกับการละลายอาหารก่อนการบริโภค ทำให้มีน้ำซึมออกจากโครงสร้างในอาหาร (drip loss) และเกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร ในกรณีที่ผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็งมีสตาร์ชเป็นส่วนผสม ปัญหานี้เป็นผลมาจากการคืนตัวของสตาร์ช (Light, 1990) ดังนั้นสตาร์ชที่ใช้ควรมีความคงทนต่อกระบวนการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็ง (freeze-thaw stability) ซึ่งความคงทนต่อกระบวนการแช่เยือกแข็ง อาจแสดงในรูปของปริมาณน้ำที่ออกมาจากเจล (syneresis) (Liu, Ramsden, and Corke, 1999)

จากการศึกษา freeze-thaw stability ด้วยการวัดปริมาณน้ำที่แยกออกมาหลังการปั่นเหวี่ยงเอาน้ำออกจากเจลแป้งด้วยเครื่อง centrifuge (การเกิด syneresis) พบว่าจากการเตรียมสารละลายแป้งความเข้มข้น 6% (w/v) แป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งไม่สามารถเตรียมเป็นเจลแป้งได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากองค์ประกอบที่เป็นโปรตีนและไขมันในแป้งไปขัดขวางการจัดเรียงตัวใหม่ของแอมิโลสในการเกิดการคืนตัว สำหรับแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็งรอบที่ 1 พบว่าโครงสร้างของเจลแป้งเปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ (spongy) (รูปที่ 4.6) ซึ่งโครงสร้างนี้สามารถดูดน้ำกลับได้ ทำให้ไม่สามารถวัดการเกิด % syneresis ได้ แสดงว่าแป้งเกาลัดไม่สามารถทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งได้



รูปที่ 4.6 โครงสร้างของเจลแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียกเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งรอบที่ 1 (กำลังขยาย 100 เท่า)

4.2.3.9 การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งเกาลัด

การเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งเกิดจากการที่โมเลกุลของสตาร์ชจัดเรียงตัวกันใหม่เป็นโครงสร้างที่เป็นผลึก (Atwell *et al.*, 1988) ดังนั้นเมื่อนำสตาร์ชที่เกิดเจลาติไนเซชันด้วยเครื่อง DSC แล้ว ไปวัดสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC อีกครั้งภายหลังการเก็บ จะเกิด peak ของรีเจลาติไนเซชัน และสามารถหาร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ โดยเปรียบเทียบระหว่างค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชันกับค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดรีเจลาติไนเซชันหรือค่าพลังงานในการเกิดรีโทรเกรเดชัน จากการศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชัน โดยนำแป้งเกาลัดที่ผ่านการเจลาติไนซ์ด้วยเครื่อง DSC ไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C เป็นเวลา 3, 7 และ 14 วัน แล้วจึงนำ

มาวิเคราะห์สมบัติด้านความร้อนของเจลหลังการเก็บ และคำนวณร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันตามสมการ (3.4) (ตารางที่ 4.9) พบว่า แป้งเกาลัดจากการโม่แห้งและโม่เปียกเกิดรีโทรเกรเดชันในวันที่ 3 และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น โดยวิธีโม่มีผลต่อร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ระยะเวลาการเก็บนาน 3 และ 7 วัน แต่ไม่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ระยะเวลาการเก็บ 14 วัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน คือ เวลาในการเก็บรักษา (Liu and Thompson, 1998) และจากผลการทดลองจะเห็นว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บเจลเพิ่มขึ้นจาก 3 เป็น 7 วัน ความแตกต่างของร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันระหว่างแป้งโม่แห้งและโม่เปียกมีค่าลดลง (ความแตกต่างของร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันลดลงจากประมาณ 7% เป็น 4%) และเมื่อระยะเวลาการเก็บเจลเพิ่มขึ้นเป็น 14 วัน พบว่าร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันไม่มีความแตกต่างกัน เนื่องจากระยะเวลาการเก็บเจลเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน สำหรับแป้งโม่เปียกซึ่งมีปริมาณไขมันและโปรตีนน้อยกว่า การจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลแอมิโลสในการเกิดรีโทรเกรเดชันจึงเกิดขึ้นได้เร็วกว่า ในขณะที่แป้งโม่แห้งที่มีปริมาณไขมันและโปรตีนมากกว่า จะขัดขวางการจัดเรียงตัวใหม่ของแอมิโลสในการเกิดรีโทรเกรเดชัน ทำให้แป้งโม่แห้งมีร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำกว่าในช่วงระยะเวลาการเก็บ 3 วัน แต่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น โมเลกุลของแอมิโลสจะค่อยๆ จัดเรียงตัวได้มากขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากค่าร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธี ที่ระยะเวลาการเก็บ 7 วัน มีความแตกต่างกันน้อยลง จนกระทั่งไม่มีความแตกต่างกันที่ระยะเวลาการเก็บ 14 วันนั่นเอง ซึ่งแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งมีค่าร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันที่ระยะเวลาการเก็บนาน 3 และ 7 วัน (25.98% และ 34.97% ตามลำดับ) ต่ำกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก (32.89% และ 38.55% ตามลำดับ) และเมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันกับค่า setback ซึ่งได้จากการศึกษาสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA พบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกันคือ แป้งเกาลัดจากการโม่แห้งมีการคืนตัวหรือการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำกว่าแป้งจากการโม่เปียก ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องจากปริมาณไขมันและโปรตีนในแป้งจากการโม่แห้งสูงกว่าแป้งจากการโม่เปียก

ตารางที่ 4.9 ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันที่อุณหภูมิ 4 ^{O}C ของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

วิธีโม่	ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชัน*		
	3 วัน	7 วัน	14 วัน^{ns}
โม่แห้ง	25.98^{a}± 0.76	34.97^{a}± 0.54	38.18 ± 0.42
โม่เปียก	32.89^{b}± 1.02	38.55^{b}± 0.67	38.44 ± 0.59

a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3 ผลของวิธีการสกัดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชเกาลัด

จากการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดเกาลัด โดยแปรชนิดและความเข้มข้นของสารสกัด คือ น้ำ, สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) ความเข้มข้น 3 ระดับ (0.3, 0.5 และ 0.7% w/v) และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 3 ระดับ (0.1, 0.3 และ 0.5% w/v) (ตารางที่ 4.10) พบว่า ชนิดและความเข้มข้นของสารสกัดไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของสตาร์ช ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในสตาร์ชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณโปรตีนจะลดลง และการใช้สารละลาย NaOH เป็นสารสกัดที่ให้สตาร์ชที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าการใช้สารละลาย $NaHSO_3$ และน้ำ การสกัดด้วยสารละลาย 0.5% NaOH จะให้สตาร์ชเกาลัดที่มีปริมาณโปรตีนต่ำสุด (0.28%db) เนื่องจากสารละลาย NaOH มีฤทธิ์เป็นด่างแก่ สามารถทำลายพันธะไฮโดรเจนที่จับกันระหว่างโปรตีน จึงสกัดโปรตีนออกมาได้ (Knight, 1969; Watson, 1984) ส่วนสารละลาย $NaHSO_3$ และน้ำสกัดโปรตีนได้น้อยกว่าสารละลาย NaOH อาจเนื่องจาก $NaHSO_3$ เป็นด่างอ่อน ในขณะที่น้ำมีฤทธิ์ค่อนข้างเป็นกลาง ดังนั้นจึงเลือกใช้สารละลาย 0.5% NaOH เป็นสารสกัดเพื่อนำสตาร์ชเกาลัดที่ได้ไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดเกาลัดด้วยสารละลาย 0.5% NaOH ทำให้ได้สตาร์ชเกาลัดที่มีปริมาณโปรตีนต่ำสุด แสดงว่ามีความบริสุทธิ์สูงที่สุด (Lii and Chang, 1981)

ตารางที่ 4.10 ผลของชนิดและความเข้มข้นของสารสกัดต่อปริมาณผลผลิตและปริมาณโปรตีนของสตาร์ชเกาลัดที่สกัดได้จากเมล็ดเกาลัด

ชนิดและความเข้มข้นของสารสกัด	ปริมาณผลผลิต * ของสตาร์ชเกาลัด (%db) ^{ns}	ปริมาณโปรตีน ในสตาร์ชเกาลัด (%db)*
น้ำ	25.73±0.52	1.21^{f}±0.01
0.3% $NaHSO_3$	25.39±1.74	1.18^{f}±0.02
0.5% $NaHSO_3$	24.99±0.81	1.08^{e}±0.04
0.7% $NaHSO_3$	25.74±1.21	1.01^{d}±0.02
0.1% NaOH	24.96±1.05	0.60^{c}±0.02
0.3% NaOH	24.53±1.70	0.33^{b}±0.01
0.5% NaOH	25.79±0.47	0.28^{a}±0.01

ns ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

a, b, c,… ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

* ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเกาลัด

เมื่อนำสตาร์ชเกาลัดที่สกัดด้วยสารละลาย 0.5% NaOH ซึ่งมีปริมาณโปรตีนต่ำสุดมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ให้ผลดังตารางที่ 4.8 ซึ่งจะเห็นว่า สตาร์ชเกาลัดที่ได้มีความบริสุทธิ์สูง โดยมีปริมาณโปรตีน 0.28% ปริมาณเส้นใย 0.15% เถ้าและไขมันในปริมาณน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมิโลสระหว่างสตาร์ชเกาลัดที่สกัดได้และแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก (ตารางที่ 4.11) พบว่าสตาร์ชเกาลัดมีปริมาณแอมิโลสมากกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธี ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธี มีปริมาณไขมันสูงกว่า จึงอาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อน amylose-lipid complexes ได้มากกว่าสตาร์ชเกาลัด แอมิโลสจึงไม่สามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนให้สีน้ำเงินได้ ส่งผลให้ปริมาณแอมิโลสในสตาร์ชเกาลัดซึ่งวิเคราะห์ด้วย Iodine method มีค่าสูงกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธี (Singh *et al.*, 2000) สำหรับค่า pH ของสตาร์ชเกาลัด มีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติคือ 6.78±0.01

ตารางที่ 4.11 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเกาลัด

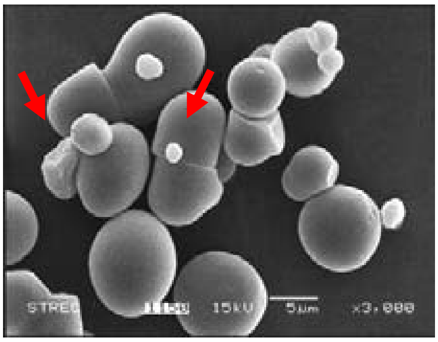
องค์ประกอบ	ปริมาณ (%db)*
คาร์โบไฮเดรต	99.58±0.05
โปรตีน	0.28±0.01
เถ้า	trace
เส้นใย (crude fiber)	0.15±0.06
ไขมัน	trace
แอมิโลส	36.63±0.30
ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	6.78±0.01

*ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.2 สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชเกาลัด

4.3.2.1 รูปร่าง ขนาด การกระจายตัว และลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชเกาลัด

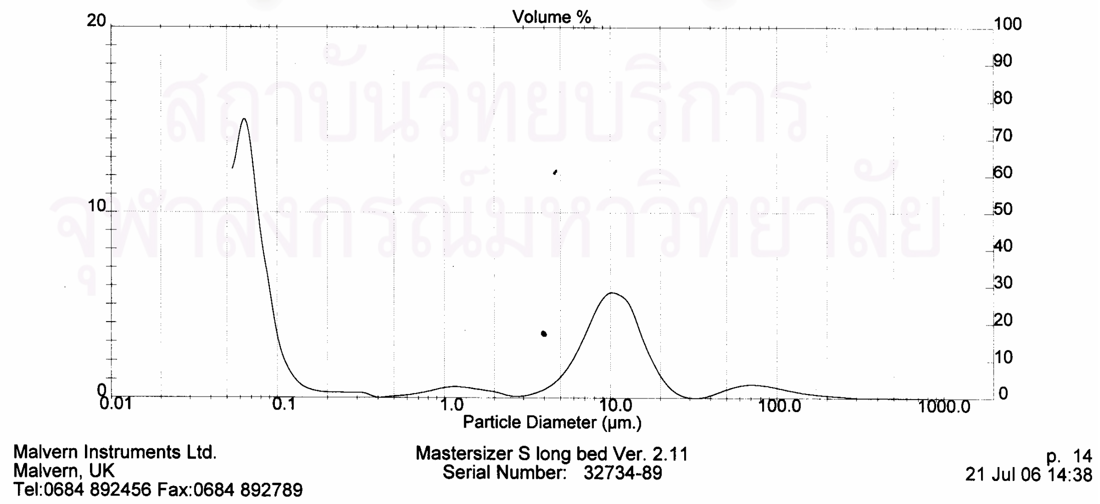
จากการศึกษารูปร่างและพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชเกาลัด โดยใช้กล้อง SEM (รูปที่ 4.7) พบว่า เม็ดสตาร์ชมีทั้งรูปร่างกลม และรูปร่างคล้ายไข่ที่มีรอยตัดเช่นเดียวกับแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก แต่มีลักษณะสภาพพื้นผิวเรียบ แสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลาย NaOH ในการสกัดสตาร์ช ไม่ส่งผลให้รูปร่างของเม็ดสตาร์ชเปลี่ยนแปลงไป แต่การใช้ NaOH ในการสกัดโปรตีน และขั้นตอนในการสกัดและล้าง ทำให้สภาพพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชเกาลัดเรียบกว่าในแป้งเกาลัด อย่างไรก็ตามยังพบองค์ประกอบอื่นหรือเศษของเม็ดสตาร์ชที่แตกหักเกาะติดอยู่ (บริเวณลูกศรชี้)



(x3000) สตาร์ชเกาลัด

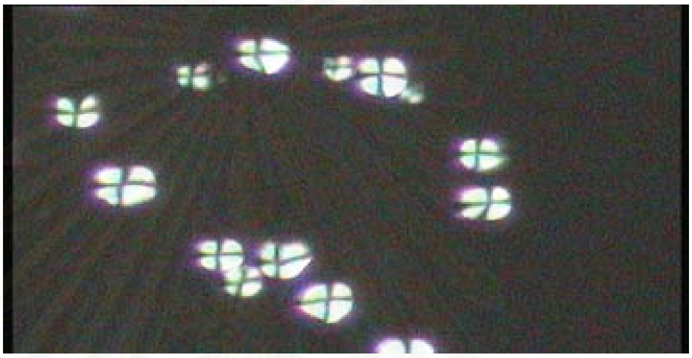
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชเกาลัด (หัวลูกศรแสดงบริเวณที่องค์ประกอบอื่นหรือเศษของเม็ดสตาร์ชที่แตกหักเกาะติดอยู่บนผิวของเม็ดสตาร์ช)

จากการศึกษาขนาดและการกระจายของเม็ดสตาร์ช ด้วยเครื่อง laser particle size analyzer (รูปที่ 4.8) พบว่าเม็ดสตาร์ชเกาลัดมีขนาดอยู่ในช่วง 0.06-15.82 ไมครอน โดยมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 9.10±0.04 ไมครอน ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดลองของศจี น้อยตั้ง, ศรินทิพ สุกใส และอมร เพชรสม (2548) ที่พบว่าขนาดของเม็ดสตาร์ชเกาลัดที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM อยู่ในช่วง 10-15 ไมครอน นอกจากนี้เม็ดสตาร์ชเกาลัดยังมีขนาดใกล้เคียงกับสตาร์ชเมล็ดขนุน (6-9 ไมครอน) (Mukprasirt and Sajjanantakul, 2004) ซึ่งจัดว่าเป็นสตาร์ชที่มีเม็ดสตาร์ชขนาดค่อนข้างเล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากธัญพืชและพืชหัว ซึ่งมีขนาดเม็ดสตาร์ชเฉลี่ย 11.7-38.3 µm ยกเว้นสตาร์ชข้าวที่มีขนาดเม็ดสตาร์ชเฉลี่ยเล็กกว่าสตาร์ชเกาลัด โดยมีขนาดเม็ดสตาร์ชเฉลี่ยเพียง 6.4 µm (Li and Yeh, 2001)



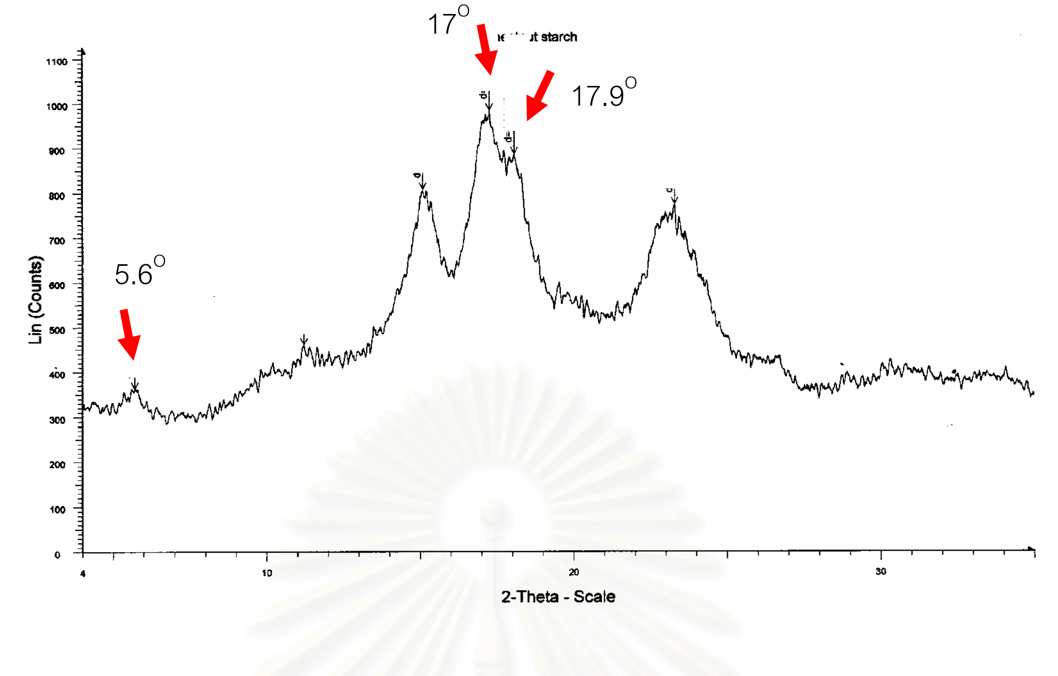
รูปที่ 4.8 ขนาดและการกระจายของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชเกาลัด

จากการตรวจสอบลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชเกาลัด พบว่า มี birefringence ที่ชัดเจน และมีตำแหน่งไฮลัมที่จุดศูนย์กลางของเม็ดสตาร์ช (รูปที่ 4.9) แสดงว่าการสร้างสายพอลิเมอร์ของแอมิโลสและอะมิโลเพกตินเริ่มจากจุดศูนย์กลางของเม็ดสตาร์ชและขยายออกตามแนวรัศมีของสตาร์ช และการที่เม็ดสตาร์ชเกิด birefringence เมื่อบิดระนาบแสงโพลาไรซ์แสดงว่าเม็ดสตาร์ชมีสภาพเป็น semi-crystalline โดยส่วนที่เป็น birefringence เกิดจาก crystalline region ในเม็ดสตาร์ช (Gallant *et al.*, 1997)



รูปที่ 4.9 ลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชเกาลัด

จากการศึกษาโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช โดยใช้ Wide Angle X-ray Diffraction พบว่า สตาร์ชเกาลัดมี peak เกิดขึ้นที่ 5.6 องศา 17.0 องศา และ 17.9 องศา (รูปที่ 4.10 และตารางที่ ค.1) ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ C ที่มักพบในโครงสร้างของสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว โดยเป็นลักษณะโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างผลึกแบบ A (พบในธัญพืช) ที่มีโครงสร้างผลึกเรียงตัวแบบหนาแน่น และโครงสร้างผลึกแบบ B (พบในพืชหัว) ซึ่งมีการเรียงตัวแบบหลวมๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชเกาลัด เม็ดสตาร์ชน่าจะมีโครงสร้างผลึกแบบ A เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสค่อนข้างสูง (36.63%) ซึ่งสูงกว่าสตาร์ชจากธัญพืช (23-30%) (Oates, 1997) แต่จากการวิเคราะห์กลับพบว่าเม็ดสตาร์ชเกาลัดมีโครงสร้างผลึกแบบ C ทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากปัจจัยอื่นนอกเหนือจากปริมาณแอมิโลส เช่น ความยาวสายโซ่ของอะมิโลเพกติน (chain length; CL) โดยโครงสร้างผลึกแบบ A จะมี CL $<$ 19.7, แบบ B จะมี CL $\geq$ 21.6 และแบบ C จะมี CL ระหว่าง 20.3-21.3 (Hoover, 2001)



รูปที่ 4.10 X-ray diffraction pattern แสดงโครงสร้างผลึกของสตาร์ชเกาลัด

4.3.2.3 **ค่าสี และค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชเกาลัด**

เมื่อนำสตาร์ชเกาลัดที่ได้จากการสกัดด้วยสารละลาย NaOH มาวัดค่าสีและดัชนีความขาว (ตารางที่ 4.12) พบว่า สตาร์ชเกาลัดมีค่า L 96.78, ค่า a 0.14, ค่า b 2.58 และค่าดัชนีความขาว 95.87 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าสีและดัชนีความขาวระหว่างสตาร์ชเกาลัดกับแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก พบว่าสตาร์ชเกาลัดมีค่าดัชนีความขาว และค่า L มากกว่า แต่มีค่า a และค่า b ต่ำกว่าแป้งเกาลัด นั่นคือสตาร์ชเกาลัดมีสีขาวเพิ่มขึ้น เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งใช้เป็นสารสกัดสตาร์ชมีสมบัติเป็นสารฟอกสี (bleaching) (Freeman and Watson, 1971) สอดคล้องกับผลทดลองของขจี บุญดี (2543) ที่พบว่า สตาร์ชกระจับที่สกัดด้วยสารละลาย NaOH มีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าแป้งกระจับที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก

ตารางที่ 4.12 ค่าสีและดัชนีความขาวของสตาร์ชเกาลัดที่สกัดด้วยสารละลาย NaOH

ตัวอย่าง	ค่าสี*			ค่าดัชนีความขาว*
	L	a	b	
สตาร์ชเกาลัด	$96.78^{b}\pm0.09$	$0.14^{a}\pm0.02$	$2.58^{a}\pm0.17$	$95.87^{b}\pm0.17$
แป้งโม่เปียก	$91.87^{a}\pm0.07$	$0.59^{b}\pm0.03$	$7.97^{b}\pm0.05$	$88.59^{a}\pm0.06$

a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.2.5 Damaged starch **และค่าความสามารถในการจับน้ำ** (water binding capacity) **ของสตาร์ชเกาลัด**

ในขั้นตอนการผลิตสตาร์ชมีทั้งการสกัดโปรตีนด้วยด่างและการบด ทำให้เม็ดสตาร์ชได้รับความเสียหายหรือเกิดเจลาติไนเซชัน ซึ่งส่งผลให้สตาร์ชที่ผลิตได้เปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ปริมาณ damaged starch ในสตาร์ชเกาลัด (ตารางที่ 4.13) พบว่ามีปริมาณ damaged starch ค่อนข้างต่ำ (0.55 %) และมีปริมาณน้อยกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก (2.53 %) ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชที่เสียหายอาจละลายไปกับสารละลายในระหว่างขั้นตอนการล้างและการเหวี่ยงแยกตะกอนระหว่างการสกัดสตาร์ช (Matsunaga and Seib, 1997; Lim *et al.*, 1999) ส่วนค่าความสามารถในการจับน้ำของสตาร์ชเกาลัด พบว่ามีค่าค่อนข้างต่ำ (1.26 %) ซึ่งต่ำกว่าแป้งที่ได้จากการโม่เปียก (1.38 %) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสตาร์ชเกาลัดมีปริมาณ damaged starch ต่ำ

ตารางที่ 4.13 ปริมาณ damaged starch และค่าความสามารถในการจับน้ำของสตาร์ชเกาลัด

ตัวอย่าง	% damaged starch*	ค่าความสามารถในการจับน้ำ* (g น้ำ/g แป้ง)
สตาร์ชเกาลัด	$0.55^{a}\pm0.12$	$1.26^{a}\pm0.03$
แป้งโม่เปียก	$2.53^{b}\pm0.22$	$1.38^{b}\pm0.04$

a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

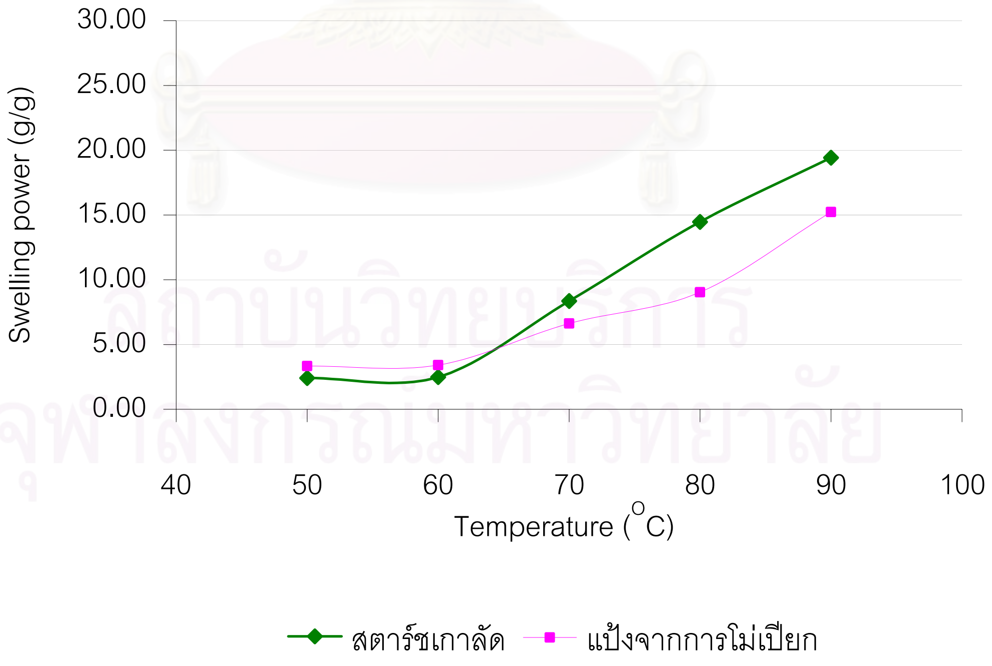
* ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

4.3.2.6 **กำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชเกาลัด**

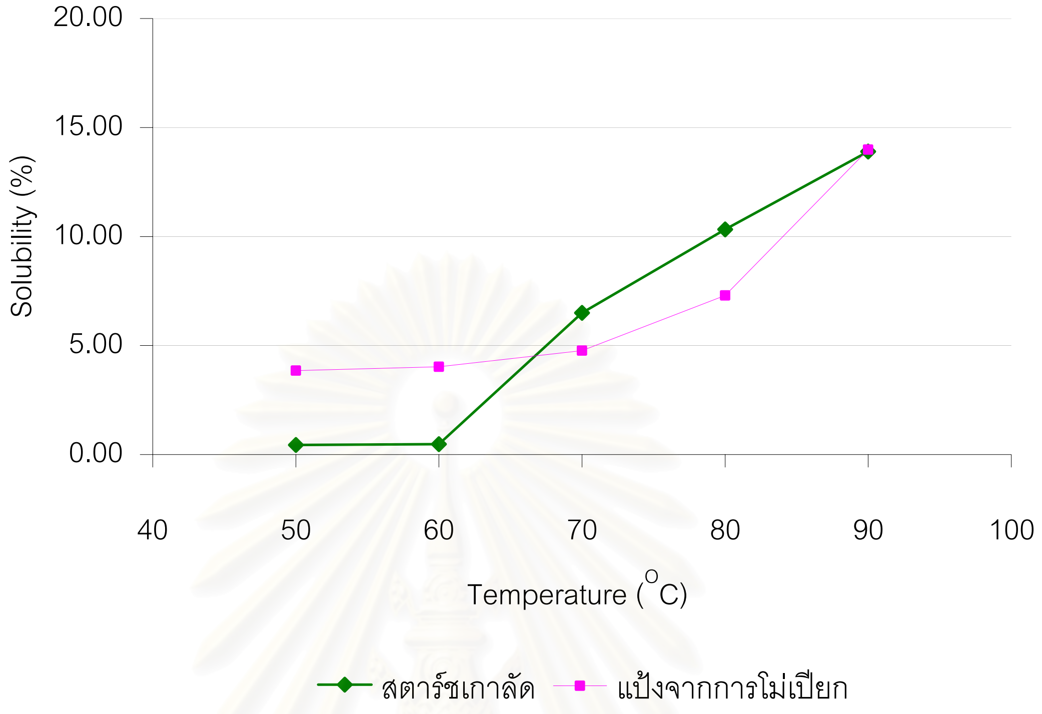
เมื่อนำสตาร์ชเกาลัดไปศึกษากำลังการพองตัวและการละลาย (รูปที่ 4.11-4.12) พบว่ากำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชเกาลัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น พันธะไฮโดรเจนภายในเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย ทำให้น้ำสามารถเข้าไปทำพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแอมิโลสและอะมิโลเพกติน เม็ดสตาร์ชจึงพองตัว

เพิ่มขึ้น และเมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวมากขึ้น โมเลกุลของแอมิโลสภายในเม็ดสตาร์ชสามารถละลายออกมาภายนอกเม็ดสตาร์ชได้มากขึ้น (Hoover, 2001)

เมื่อพิจารณากำลังการพองตัวของสตาร์ชเกาลัดเปรียบเทียบกับแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก (รูปที่ 4.11) พบว่าที่อุณหภูมิ 50-60 °C กำลังการพองตัวของสตาร์ชเกาลัดมีแนวโน้มต่ำกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก ทั้งนี้สาเหตุเนื่องจากสตาร์ชเกาลัดมีปริมาณ damaged starch ต่ำกว่าแป้งเกาลัด และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (70-90 °C) กำลังการพองตัวของสตาร์ชเกาลัดมีแนวโน้มสูงกว่า เนื่องจากสตาร์ชมีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก ซึ่งโปรตีนและไขมันจะไปยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช จึงทำให้แป้งจากการโม่เปียกซึ่งมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่า มีกำลังการพองตัวต่ำกว่าสตาร์ชเกาลัด เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการละลายที่อุณหภูมิต่างๆ ของสตาร์ชเกาลัดกับแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก (รูปที่ 4.12) พบว่า ที่อุณหภูมิ 50-60 °C สตาร์ชเกาลัดมีการละลายต่ำกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น (70-80 °C) พบว่าสตาร์ชเกาลัดมีอัตราการละลายสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดและมีค่าสูงกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก แต่มีแนวโน้มไม่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 90 °C ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชเกาลัดมีปริมาณ damaged starch โปรตีน และไขมันน้อยกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก



รูปที่ 4.11 กำลังการพองตัวของสตาร์ชและแป้งเกาลัดจากการโม่เปียกที่ช่วงอุณหภูมิ 50-90°C



รูปที่ 4.12 การละลายของสตาร์ชและแป้งเกาลัดจากการโม่เปียกที่ช่วงอุณหภูมิ 50-90°C

เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชเกาลัดกับสตาร์ชชนิดต่างๆ (ตารางที่ 4.14) พบว่าสตาร์ชเกาลัดมีค่ากำลังการพองตัวต่ำกว่าสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชข้าวเหนียว แต่ใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าว และสตาร์ชข้าวโพด สำหรับสตาร์ชมันฝรั่งมีค่ากำลังการพองตัวและการละลายสูงกว่าสตาร์ชชนิดอื่นๆ ค่อนข้างมาก อาจเนื่องจากสตาร์ชมันฝรั่งมีหมู่ฟอสเฟตปริมาณมาก ทำให้โครงสร้างภายในส่วนผลึกของเม็ดสตาร์ชอ่อนแอ สามารถดูดน้ำและพองตัวได้ง่าย (Galliard and Bowler, 1987) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อกำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ช เช่น ปริมาณไขมัน ขนาดและการกระจายตัวของแอมิโลสและอะมิโลเพกติน ความยาวสายโซ่ของอะมิโลเพกติน สัดส่วนระหว่างแอมิโลสและอะมิโลเพกตินเป็นต้น (Hoover, 2001)

ตารางที่ 4.14 ค่ากำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชเกาลัดและสตาร์ชชนิดต่างๆ

ชนิดสตาร์ช	swelling power (g/g) (^{O}C)	solubility (%) (^{O}C)
สตาร์ชเกาลัด	19.42 (90)	13.89 (90)
สตาร์ชมันฝรั่ง	1159 (95)[1]	82 (95)[1]
สตาร์ชข้าวโพด	22 (95)[1]	22 (95)[1]
สตาร์ชข้าว	23-30 (95)[2]	11-18 (95)[2]
สตาร์ชข้าวเหนียว	45-50 (95)[2]	2.3-3.2 (95)[2]

ที่มา: [1] Leach, McCowen และ Schoch (1959)

[2] Lii, Tais และ Tseng (1996) และ Lii, Shao และ Tseng (1995)

4.3.2.7 สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชเกาลัด

จากการศึกษาสมบัติด้านความหนืดใน heating-cooling cycle ด้วยเครื่อง RVA ของสตาร์ชเกาลัด ที่ความเข้มข้น 7% และ pH7 (ตารางที่ 4.15) และเปรียบเทียบกับแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก (ตารางที่ 4.6) พบว่า pasting temperature ของสตาร์ชเกาลัด (82.37^{O}C) มีแนวโน้มต่ำกว่าแป้งจากการโม่เปียก แต่สตาร์ชเกาลัดมีความหนืดสูงกว่าแป้งโม่เปียก โดยมีค่า peak viscosity, breakdown และ setback สูงกว่า แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชมีความคงตัวต่อความร้อนและแรงเฉือนต่ำกว่า แต่มีการคืนตัวสูงกว่าแป้งเกาลัด ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของปริมาณโปรตีนและไขมันในสตาร์ชเกาลัดที่มีค่าต่ำกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก สอดคล้องกับผลการทดลองของ Teo และคณะ (2000) ซึ่งพบว่า พฤติกรรมทางด้านความหนืดของแป้งและสตาร์ชข้าวมีความแตกต่างกัน โดยเมื่อให้ความร้อนภายใต้สภาวะที่เหมือนกัน ความหนืดของสตาร์ชข้าวจะเพิ่มสูงขึ้นเร็วกว่าแป้งข้าว ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของปริมาณโปรตีน โดยแป้งข้าวซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่า จะมีค่าความหนืดสูงสุดต่ำกว่า แต่มีความคงตัวมากกว่าสตาร์ชข้าวซึ่งมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า

ตารางที่ 4.15 สมบัติด้านความหนืดของสารละลายสตาร์ชเกาลัดเข้มข้น 7 %ในช่วง heating-cooling cycle วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

สมบัติด้านความหนืด	สตาร์ชเกาลัด*
Peak viscosity (RVU)	150.53±0.13
Trough (RVU)	133.09±0.47
Breakdown (RVU)	17.58±0.30
Final viscosity (RVU)	196.30±2.89
Setback (RVU)	63.36±2.91
Pasting temperature (^{O}C)	82.37±0.83

* ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชเกาลัดกับสตาร์ชชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 4.16) พบว่าค่า pasting temperature และ setback ของสตาร์ชเกาลัด มีแนวโน้มสูงกว่า ในขณะที่ค่า breakdown มีแนวโน้มต่ำกว่าสตาร์ชข้าวเจ้า สตาร์ชข้าวเหนียวและสตาร์ชมันสำปะหลังถ้าพิจารณาเปรียบเทียบที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน ซึ่งทั้งนี้อาจเป็นผลเนื่องมาจากสตาร์ชเกาลัดมีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าสตาร์ชชนิดอื่น ทำให้โครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชแข็งแรงกว่า เม็ดสตาร์ชจึงพองตัวได้ยากกว่า pasting temperature จึงสูงกว่า แต่จะมีความคงทนต่อแรงเฉือนและความร้อนได้มากกว่าจึงทำให้มีค่า breakdown ต่ำกว่า ในขณะที่จะทำให้การเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากกว่าหรือมีค่า setback สูงกว่า นอกจากนี้อาจเป็นผลมาจากปัจจัยอื่น เช่น ความแตกต่างของความยาวสายโซ่อะมิโลเพกติน (Jane *et al.*, 1999) เมื่อพิจารณาค่า peak viscosity ของสตาร์ชเกาลัด พบว่ามีค่าสูงกว่าสตาร์ชข้าวเจ้าทั้งที่มีระดับความเข้มข้นต่ำกว่า แต่ไม่สามารถบอกได้อย่างชัดเจนว่าสตาร์ชเกาลัดจะมีค่า peak viscosity สูงหรือต่ำกว่าสตาร์ชข้าวเหนียว สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันฝรั่งที่ระดับความเข้มข้นเดียวกัน

ตารางที่ 4.16 สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชเกาลัดและสตาร์ชชนิดต่างๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

สตาร์ช	Pasting temperature (^{O}C)	Viscosity (RVU)				
		Peak viscosity	Trough	Breakdown	Final viscosity	Setback
ข้าวเจ้า[a]	79.9	113	96	17	160	64
ข้าวเหนียว[a]	64.1	205	84	121	100	16
มันสำปะหลัง[a]	67.6	173	61	112	107	46
มันฝรั่ง[a]	63.5	702	165	537	231	66
เกาลัด[b]	82.4	150	133	17	196	63

[a] ที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 8% (w/w, db)

[b] ที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 7% (w/w, db)

ที่มา: Jane และคณะ (1999)

4.3.2.8 **สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชเกาลัด**

เมื่อนำสตาร์ชเกาลัดมาศึกษาสมบัติด้านความร้อนด้วยเครื่อง DSC ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 95 ^{O}C ที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 30% (dry basis) ได้ผลดังตารางที่ 4.17 และเปรียบเทียบกับแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก (ตารางที่ 4.7) พบว่า สตาร์ชเกาลัดมีค่า T_O และ T_P ต่ำกว่า แต่มี ΔH_{gel} สูงกว่าแป้งโม่เปียก เนื่องจากแป้งที่ได้จากการโม่เปียกมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่าโดยโปรตีนและไขมันจะไปยับยั้งการเกิดเจลาติไนเซชันของเม็ดสตาร์ชส่งผลให้ T_O และ T_P ของแป้งเกาลัดมีค่าสูงกว่า และเมื่อพิจารณาค่า ΔH_{gel} ของแป้ง พบว่ามีค่าต่ำกว่าสตาร์ชเกาลัด ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งที่ได้จากการโม่เปียกมีปริมาณ damaged starch มากกว่า เนื่องจากโครงสร้างส่วนที่เป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชบางส่วนถูกทำลายในระหว่างการโม่ (Chen *et al.*, 1999) ดังนั้น พลังงานความร้อนที่จำเป็นสำหรับการเกิดเจลาติไนซ์จึงมีค่าต่ำกว่า (Kerr *et al.*, 2000)

ตารางที่ 4.17 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชเกาลัดที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

สมบัติด้านความร้อน	สตาร์ชเกาลัด*
T_O (^OC)	70.38±0.05
T_P (^OC)	74.94±0.04
T_C (^OC)	81.15±0.09
ΔH_{gel} (J/g)	18.19±0.40

* ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชเกาลัดกับสตาร์ชชนิดอื่นๆ (ตารางที่ 4.18) พบว่าสตาร์ชเกาลัดมีค่า T_O, T_P, T_C และ ΔH_{gel} สูงกว่าสตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชข้าว และสตาร์ชข้าวสาลี ทั้งนี้อาจเนื่องจากสตาร์ชเกาลัดมีปริมาณแอมิโลสเป็นองค์ประกอบสูง ทำให้โครงสร้างร่างแหในเม็ดสตาร์ชมีความหนาแน่นและแข็งแรงมากกว่าสตาร์ชอื่นๆ โดยอุณหภูมิและพลังงานในการเกิดเจลาติไนเซชัน จะบ่งบอกถึงความแตกต่างของโครงสร้างผลึกเม็ดสตาร์ชในพืชชนิดต่างๆ โดยสตาร์ชที่มีอุณหภูมิและพลังงานในการเกิดเจลาติไนเซชันสูง แสดงว่ามีความเป็นผลึกมากหรือมีโครงสร้างที่คงทนต่อการเกิดเจลาติไนเซชันได้มากกว่า (Barichello *et al.*, 1990)

ตารางที่ 4.18 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชเกาลัดและสตาร์ชต่างๆที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

ชนิดสตาร์ช	ปริมาณแอมิโลส (%)	อัตราส่วนสตาร์ช:น้ำ (w/w)	T_O (^OC)	T_P (^OC)	T_C (^OC)	ΔH_{gel} (J/g)
เกาลัด	36.6	1:2.3	70.4	74.9	81.2	18.19
มันฝรั่ง[1]	20.1-31.0	1:2.3	59.7-66.2	62.9-69.6	67.3-75.4	12.6-17.9
ข้าว	5-28.4[2]	1:2.3	66.0-67.3[3]	69.7-71.9[3]	74.1-78.04[3]	8.2-10.9[3]
ข้าวโพด[4]	15.3-25.1	1:2.3	66.3-69.3	71.5-73.1	76.5-78.0	8.9-10.9

ที่มา: [1] Kim และคณะ (1995) และ Singh และ Singh (2001)

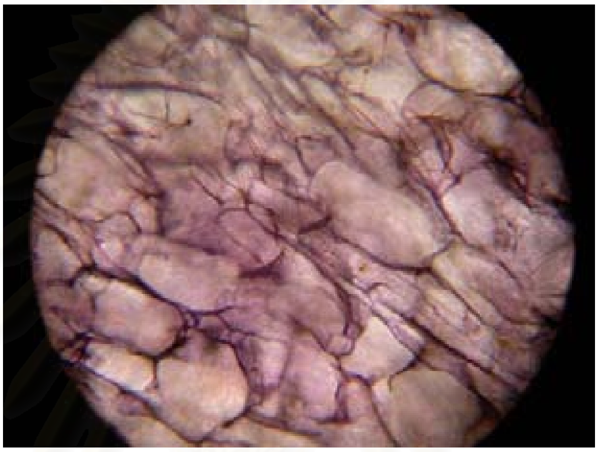
[3] Juliano (1992) และ Jane และคณะ (1996)

[3] Sodhi และ Singh (2002)

[4] Sandhu, Singh และ Kaur (2004)

4.3.2.9 **ความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและละลายน้ำแข็งของสตาร์ชเกาลัด**

จากการศึกษา freeze-thaw stability ของสตาร์ชเกาลัด พบว่าเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-การละลายน้ำแข็งรอบที่ 1 โครงสร้างของเจลสตาร์ชก็เปลี่ยนแปลงไปเป็นโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ (รูปที่ 4.13) เช่นเดียวกับแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก ซึ่งโครงสร้างนี้สามารถดูดน้ำกลับได้ ทำให้ไม่สามารถวัดการเกิด % syneresis ได้ แสดงว่าสตาร์ชเกาลัดก็ไม่สามารถทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง



รูปที่ 4.13 โครงสร้างของเจลสตาร์ชเกาลัดเมื่อผ่านการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็งรอบที่ 1 (กำลังขยาย 100 เท่า)

4.3.2.10 **การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชเกาลัด**

เมื่อนำสตาร์ชเกาลัดมาวิเคราะห์การเกิดรีโทรเกรเดชัน โดยนำสตาร์ชที่ผ่านการเจลาติไนซ์ด้วยเครื่อง DSC ไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 ^{o}C เป็นเวลา 3, 7 และ 14 วัน แล้วนำมาหาสมบัติทางความร้อนอีกรอบหนึ่ง และคำนวณร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชัน (ตารางที่ 4.19) พบว่าสตาร์ชเกาลัดมีค่าร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้นจาก 3 วันเป็น 7 วัน และมีแนวโน้มคงที่เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นจาก 7 วัน เป็น 14 วัน โดยที่ระยะเวลาการเก็บนาน 3 วัน มีร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำกว่าการเก็บเป็นระยะเวลา 7 วันเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Hoover (2001) ที่พบว่า อุณหภูมิและระยะเวลามีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน

ตารางที่ 4.19 ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันที่อุณหภูมิ 4 ^{O}C ของสตาร์ชเกาลัด

ตัวอย่าง	ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชัน*		
	3 วัน	7 วัน	14 วัน
สตาร์ชเกาลัด	34.34±0.31	39.26±0.62	38.39±1.04

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเกิดรีโทรเกรเดชันระหว่างสตาร์ชเกาลัดและแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งพบว่าร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชเกาลัดที่ระยะเวลาการเก็บ 3, 7 และ 14 วัน (34.34, 39.26 และ 38.69% ตามลำดับ) มีแนวโน้มสูงกว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้ง (25.98, 34.97 และ 38.18% ตามลำดับ) แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างสตาร์ชเกาลัดและแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก พบว่าที่ระยะเวลาการเก็บ 3 วัน ค่าร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชเกาลัดมีแนวโน้มสูงกว่า เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนและไขมันต่ำกว่าแป้งเกาลัด สอดคล้องกับผลการทดลองของ Teo และคณะ (2000) ที่พบว่าเจลแป้งข้าวมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำกว่าเจลสตาร์ชข้าวที่อุณหภูมิการเก็บเจลอุณหภูมิเดียวกัน อาจเนื่องจากเจลแป้งมีองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ไขมันและโปรตีนมากกว่า จึงทำให้มีความเข้มข้นที่แท้จริงของสตาร์ชต่ำกว่าเจลสตาร์ชข้าว ส่งผลให้เจลสตาร์ชข้าวเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีกว่า นอกจากนี้ไขมันและโปรตีนที่มีอยู่ในเจลแป้งข้าวจะยับยั้งการเกิดรีโทรเกรเดชันของเจลแป้งได้ เมื่อพิจารณาค่าร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันเปรียบเทียบระหว่างสตาร์ชเกาลัดและแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก ที่ระยะเวลาการเก็บนาน 7 และ 14 วัน พบว่ามีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากแป้งโม่เปียกมีปริมาณไขมันและโปรตีนสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งจะไปขัดขวางการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลแอมิโลสในการเกิดรีโทรเกรเดชัน จะเห็นได้จากที่ระยะเวลาการเก็บเจล 3 วัน แป้งโม่เปียกจะมีร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำกว่า แต่เมื่อเพิ่มระยะเวลาการเก็บมากขึ้น โมเลกุลของแอมิโลสในเจลแป้งโม่เปียกจะค่อยๆ จัดเรียงตัวได้มากขึ้น ส่งผลให้ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งโม่เปียกและสตาร์ชเกาลัดที่ระยะเวลาการเก็บ 7 และ 14 วัน มีแนวโน้มไม่แตกต่างกัน

4.4 ผลของความเป็นกรด-ด่างต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งและสตาร์ชเกาลัด

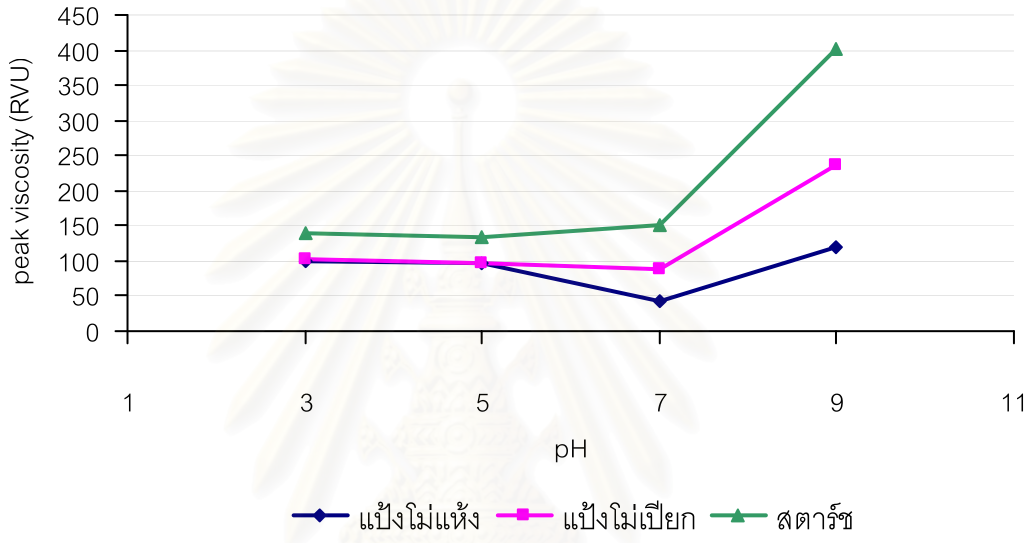
การใช้แป้งในอุตสาหกรรมอาหารอาจมีวัตถุประสงค์แตกต่างกัน ขึ้นกับลักษณะผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ (Furia, 1972) เช่น การใช้แป้งเพื่อเป็นสารเพิ่มความข้นหนืด (thickening agent) ในซอสมะเขือเทศและซุป สารให้เสถียรภาพ (stabilizer) ในน้ำสลัดเข้มข้น เป็นต้น แม้ว่าการใช้แป้งจะมี

ความแตกต่างในวัตถุประสงค์การใช้งาน แต่ในเชิงปฏิบัติหรือกระบวนการผลิตส่วนใหญ่ จะมีลักษณะการใช้งานที่คล้ายกัน เช่น ใช้แป้งในรูปของแป้งเปียก โดยผ่านกระบวนการให้ความร้อน การกวน และอาจมีการปรับ pH ของอาหาร เป็นต้น ดังนั้นในการทดสอบเสถียรภาพของแป้ง จึงควรพิจารณาถึงผลของความเป็นกรด-ด่างต่อเสถียรภาพของแป้ง โดยทดสอบการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกใน heating-cooling cycle เพื่อให้มีสภาพใกล้เคียงกับการใช้งานจริง

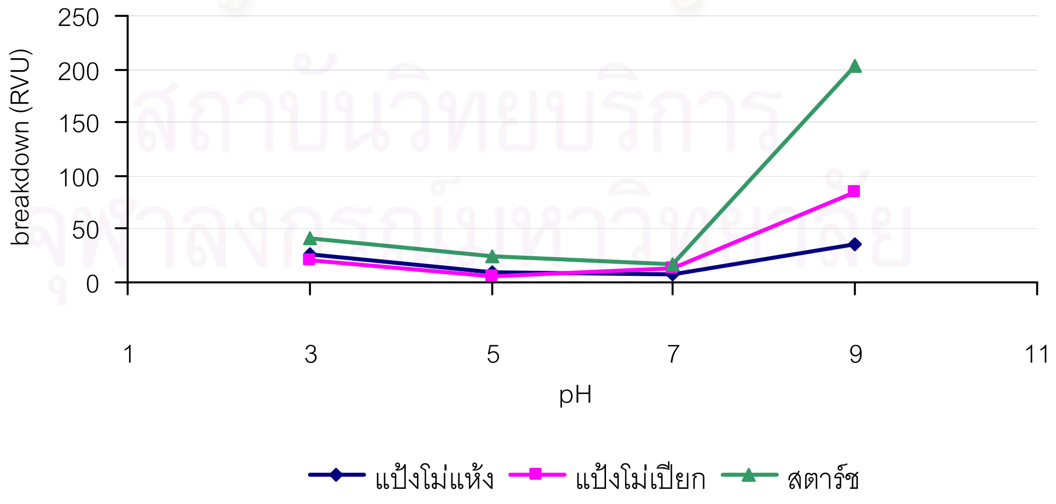
จากการนำสารละลายแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งและโม่เปียก ความเข้มข้น 7% มาศึกษาผลของ pH ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3, 5, 7 และ 9 (รูปที่ 4.14-4.17, ตารางที่ ค.2-ค.4) พบว่าที่ pH ต่ำกว่า 7 แป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธี มีค่า peak viscosity, breakdown และ setback ต่ำกว่า แต่จะมีค่า pasting temperature ใกล้เคียงกับแป้งที่ pH มากกว่า 7 เมื่อพิจารณาแป้งจากการโม่ทั้ง 2 วิธี ที่ pH 7 และ 9 พบว่า เมื่อ pH เพิ่มขึ้น ค่า peak viscosity, breakdown และ setback เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในสภาวะด่าง สตาร์ชจะเกิดเจลาติไนเซชันบางส่วน ส่งผลให้สตาร์ชเกิดการพองตัวเพิ่มขึ้น ความหนืดจึงเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่า pasting temperature จะลดลง เมื่อพิจารณาความคงตัวต่อสภาพความเป็นกรด-ด่างของแป้งกาลัดที่ pH 3, 5 และ 7 พบว่าค่า peak viscosity, setback และ breakdown ของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธี มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ pasting temperature มีค่าลดลงเมื่อ pH ต่ำลง การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อ pH เป็นกรดมากขึ้น อาจเนื่องจากช่วง pH 3-5 เป็นช่วง isoelectric point ของโปรตีนในแป้งเกาลัด ส่งผลให้โปรตีนเกิดการตกตะกอน โมเลกุลของน้ำอิสระที่สามารถจับกับเม็ดแป้งมีจำนวนมากขึ้น จึงทำให้ pasting temperature ลดลง และมีความหนืดสูงขึ้น (Lin, Breene and Sargent, 1990)

เมื่อนำสารละลายสตาร์ชเกาลัด ความเข้มข้น 7% มาศึกษาผลของ pH ในสารละลายบัฟเฟอร์ pH 3, 5, 7 และ 9 (รูปที่ 4.14-4.17, ตารางที่ ค.2-ค.4) พบว่า ที่ pH ต่ำกว่า 7 สตาร์ชเกาลัดมีค่า peak viscosity, breakdown และ setback ต่ำกว่า แต่จะมีค่า pasting temperature สูงกว่าสตาร์ชที่ pH มากกว่า 7 เมื่อพิจารณาสตาร์ชที่ pH7 และ 9 พบว่า เมื่อ pH เพิ่มขึ้น ค่า peak viscosity, breakdown และ setback เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากในสภาวะด่าง สตาร์ชจะเกิดเจลาติไนเซชันบางส่วน ส่งผลให้สตาร์ชเกิดการพองตัวเพิ่มขึ้น ความหนืดจึงเพิ่มสูงขึ้น แต่ค่า pasting temperature จะลดลง เมื่อพิจารณาความคงตัวต่อสภาพความเป็นกรด-ด่างของสตาร์ชเกาลัดที่ pH 3, 5 และ 7 พบว่าค่า peak viscosity, setback และ pasting temperature ของสตาร์ชเกาลัดมีค่าลดลงตามค่า pH ในขณะที่ breakdown มีค่าเพิ่มขึ้น แม้ว่าค่า peak viscosity จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลงจาก 5 เป็น 3 แต่ไม่พบความเปลี่ยนแปลงมากนัก การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อ pH เป็นกรดมากขึ้น เนื่องจากในสภาพเป็นกรด พันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) ของโมเลกุลสตาร์ชจะถูกไฮโดรไลซ์ ทำให้สายโมเลกุลมีขนาดสั้นลง โมเลกุล

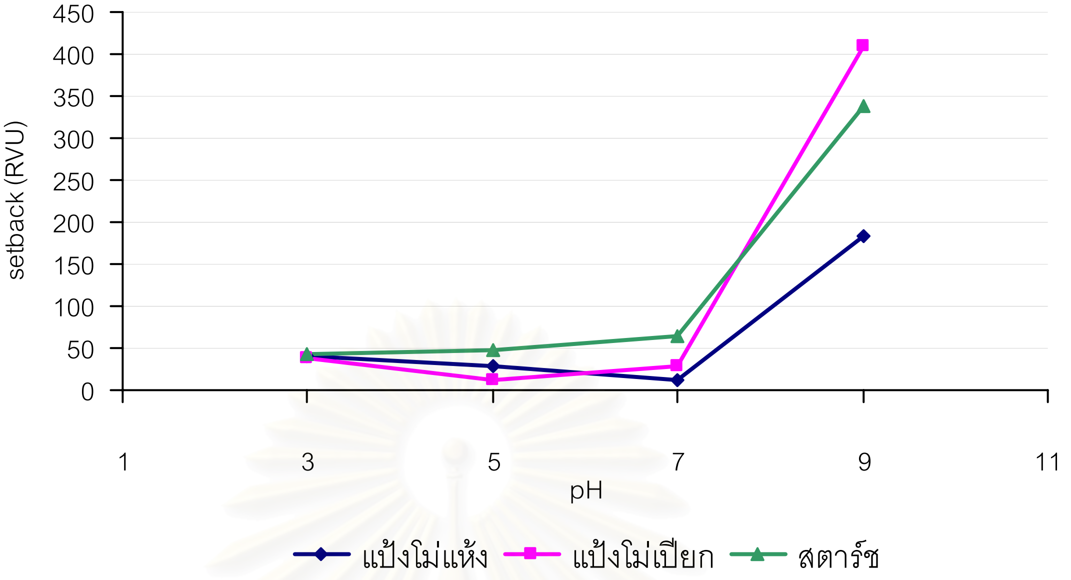
แป้งฉีกขาดได้ง่าย ความหนืดจึงลดลงมาก (Saartrat *et al*., 2005; Wang *et al*., 2000) และในสภาพความเป็นกรดมากขึ้น โมเลกุลแป้งถูกไฮโดรไลซ์ ซึ่งจะทำให้โมเลกุลของทั้งแอมิโลสและอะมิโลเพกตินกระจัดกระจายออกมามาก โมเลกุลน้ำจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างสายพอลิเมอร์ของแป้งมากขึ้นหรือสายของแอมิโลสที่สั้นลงทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่เร็วขึ้น ทำให้โอกาสที่แอมิโลสจะกลับมาสร้างพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายพอลิเมอร์ลดลง ดังนั้นค่า setback จึงลดลง (Saartrat *et al*., 2005; Wang *et al*., 2000)



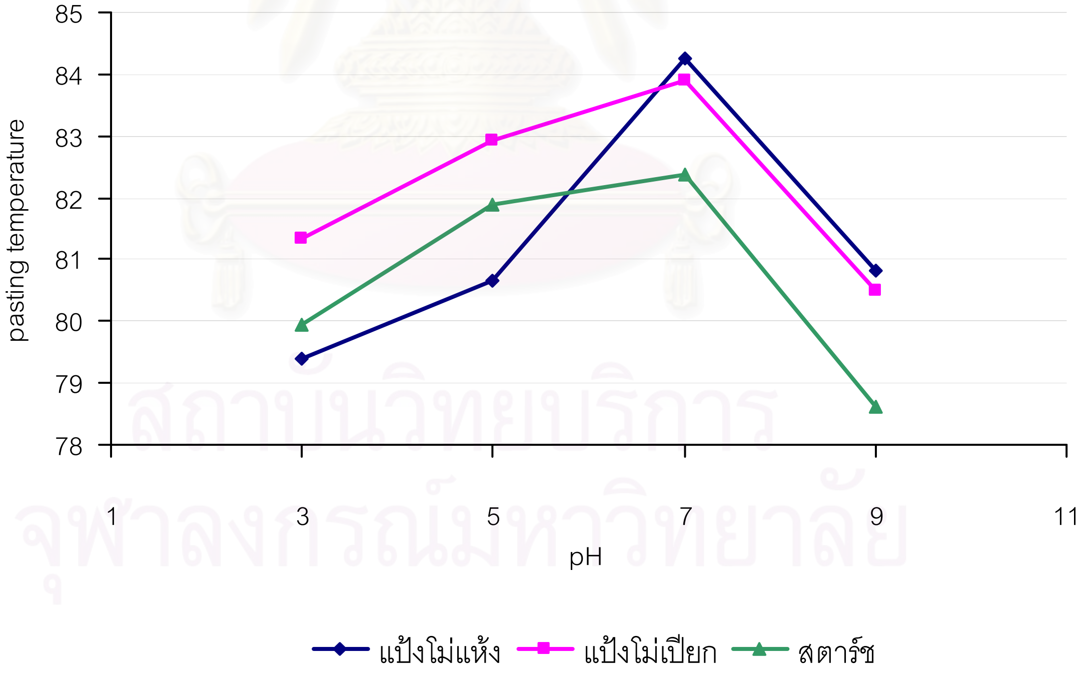
รูปที่ 4.14 ผลของ pH ต่อค่า peak viscosity ของแป้งและสตาร์ชเกาลัด



รูปที่ 4.15 ผลของ pH ต่อค่า breakdown ของแป้งและสตาร์ชเกาลัด



รูปที่ 4.16 ผลของ pH ต่อค่า setback ของแป้งและสตาร์ชเกาลัด



รูปที่ 4.17 ผลของ pH ต่อค่า pasting temperature ของแป้งและสตาร์ชเกาลัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การนำแป้งและสตาร์ชเกาลัดไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบ

จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งและสตาร์ชเกาลัด พบว่าเมื่อความเป็นกรด-ด่างลดลง จาก pH 7 เป็น pH 5 และ pH 3 ความหนืดของของสารละลายแป้งและสตาร์ชเกาลัดเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงน่าจะมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ที่มีความเป็นกรด และจากการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสของแป้งและสตาร์ชเกาลัด พบว่ามีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วง 27-36% ซึ่งเป็นช่วงปริมาณแอมิโลสที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวจากแป้งข้าวเจ้า (เสนอ ร่วมจิตร, 2522; ณรงค์ นิยมวิทย์, 2535) และมีร้อยละการเกิดรีโทรเกเดชันใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้า (ปรินทิพย์ จิรหฤทัย, 2548) โดยมีค่าต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย จึงนำแป้งและสตาร์ชเกาลัดมาทดแทนส่วนของแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว โดยแป้งเกาลัดที่ใช้จะเป็นแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียกเท่านั้น เนื่องจากแป้งที่ได้จากการโม่เปียกมีความหนืดและร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันสูงกว่าแป้งที่ได้จากการโม่แห้ง

4.5.1 การใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในซอสพริก

จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งและสตาร์ชเกาลัด (รูปที่ 4.14-4.17, ตารางที่ ค.2-ค.4) พบว่าเมื่อค่า pH ลดลงจาก pH 7 เป็น pH 3-5 ความหนืดของสารละลายแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก และสารละลายสตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ดังนั้นจึงนำสตาร์ชเกาลัดและแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียกมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นกรด ($pH < 4.6$) โดยเลือกซอสพริกเป็นผลิตภัณฑ์ตัวอย่างในการศึกษา

เมื่อวัดความหนืดซอสพริกที่ใช้แป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็นสารให้ความข้นหนืดด้วยเครื่อง BROOKFIELD (ตารางที่ 4.20) เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมและซอสพริกที่ผลิตในทางการค้า (ซอสพริกศรีราชา ยี่ห้อศรีราชาพานิช ชนิดเผ็ดปานกลาง) พบว่า ซอสพริกศรีราชาชนิดเผ็ดปานกลางซึ่งมีความหนืดปานกลาง (กัลยา เลาหสงคราม และคณะ, 2546) มีความหนืดมากกว่าซอสพริกที่ผลิตโดยใช้แป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็นสารให้ความข้นหนืดในทุกๆ ความเข้มข้น (1-5% w/w) อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งผู้บริโภคทั่วไป (ร้อยละ 59.7) ชอบซอสพริกที่มีลักษณะความหนืดค่อนข้างข้น (กัลยา เลาหสงคราม และคณะ, 2546) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างความหนืดของซอสพริกที่ใช้แป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็นสารให้ความข้นหนืดกับตัวอย่างควบคุม พบว่าความหนืดของซอสพริกที่ใช้แป้งและสตาร์ชดังกล่าวในทุกๆ ความเข้มข้น (1-5% w/w) มีค่าเพิ่มขึ้นน้อยมาก

หรือแทบไม่ต่างจากตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมสารให้ความข้นหนืด ทั้งนี้อาจเนื่องจากน้ำตาลที่เป็นส่วนผสมหลักอย่างหนึ่งในซอสพริกซึ่งมีปริมาณมาก (ประมาณ 30% (w/w)) ไปขัดขวางการดูดน้ำ (hydration) ของเม็ดสตาร์ช และลดปริมาณน้ำอิสระในระบบทำให้ในระบบมีปริมาณน้ำไม่เพียงพอต่อการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้งและสตาร์ช (Derby *et al.*, 1975) จึงทำให้ซอสพริกที่เติมแป้งและสตาร์ชเกาลัดมีความหนืดไม่เป็นไปตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตซอสพริก โดยเติมน้ำตาลเป็นส่วนผสมสุดท้ายหลังจากให้ความร้อนส่วนผสมทุกอย่างแล้ว (รูปที่ 4.18) ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำตาลไปขัดขวางการดูดน้ำของเม็ดสตาร์ชและทำให้เม็ดสตาร์ชสามารถเกิดเจลาติไนซ์ได้อย่างเต็มที่

ตารางที่ 4.20 ความหนืดของซอสพริกที่ใช้แป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็นสารให้ความข้นหนืด** เปรียบเทียบกับซอสพริกที่ผลิตในทางการค้า ยี่ห้อศรีราชาพานิช

ชนิดสารให้ความข้นหนืด	ความเข้มข้น (%w/w)	ความหนืดของซอสพริก* ที่อุณหภูมิ 25^{O}C (centipoises)
ซอสพริกที่ผลิตในทางการค้า ยี่ห้อศรีราชาพานิช ชนิดเผ็ดปานกลาง	-	$1296^{e} \pm 16.00$
ตัวอย่างควบคุม	0	$195^{abc} \pm 4.62$
แป้งเกาลัดจากการโม่เปียก	1	$189^{a} \pm 4.62$
	2	$192^{ab} \pm 8.00$
	3	$195^{abc} \pm 4.62$
	4	$202^{bcd} \pm 4.62$
	5	$208^{cd} \pm 8.00$
สตาร์ชเกาลัด	1	$197^{abcd} \pm 9.24$
	2	$197^{abcd} \pm 4.62$
	3	$205^{bcd} \pm 4.62$
	4	$208^{cd} \pm 8.00$
	5	$211^{d} \pm 4.62$

a, b, c,… ที่แตกต่างกันแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

** ค่าความเป็นกรด-ด่างของซอสพริกประมาณ 3.60

ชั่งน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมดตามสูตร

↓

ผสมส่วนผสมทั้งหมดให้เข้ากัน (ยกเว้นน้ำตาล) ด้วยเครื่องผสม Kenwood model 9070
โดยใช้ความเร็วรอบต่ำสุด เป็นเวลา 1 นาที

↓

ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 5 นาที

↓

เติมน้ำตาลและคนจนน้ำตาลละลายหมด

↓

บรรจุซอสพริกลงในขวดแก้วขณะร้อน ปิดฝาทันที
และทำให้เย็นทันทีด้วยน้ำเย็น จนมีอุณหภูมิเป็น 30°C

↓

เก็บในตู้เย็น ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาวัดความหนืด

รูปที่ 4.18 การเตรียมซอสพริกที่ปรับเปลี่ยนขั้นตอนการผลิต

จากการปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตซอสพริกโดยเติมน้ำตาลเป็นส่วนผสมสุดท้ายหลังจากให้ความร้อนส่วนผสมต่างๆ และวิเคราะห์ความหนืดของซอสพริกที่ใช้แป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็นสารให้ความข้นหนืด เปรียบเทียบกับซอสพริกศรีราชาชนิดเผ็ดปานกลาง (ตารางที่ 4.21) พบว่าความหนืดของซอสพริกที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณแป้งและสตาร์ชเพิ่มขึ้น และความหนืดของซอสพริกที่ผลิตได้ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) เมื่อใช้ปริมาณแป้งและสตาร์ชเท่ากัน เมื่อพิจารณาความหนืดของซอสพริกที่ใช้แป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็นสารให้ความข้นหนืดเปรียบเทียบกับซอสพริกศรีราชา พบว่าการใช้แป้งและสตาร์ชที่ความเข้มข้น 3% จะได้ซอสพริกที่มีความหนืดไม่แตกต่างจากซอสพริกศรีราชาชนิดเผ็ดปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำแป้งและสตาร์ชเกาลัดมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซอสพริกหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีความเป็นกรดสูง

ตารางที่ 4.21 ความหนืดของซอสพริกที่ใช้แป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็นสารให้ความข้นหนืด** เปรียบเทียบกับซอสพริกที่ผลิตในทางการค้า ยี่ห้อศรีราชาพานิชหลังปรับเปลี่ยนขั้นตอนการผลิต

ชนิดสารให้ความข้นหนืด	ความเข้มข้น (%w/w)	ความหนืดของซอสพริก*ที่อุณหภูมิ 25^{O}C (centipoises)
ซอสพริกที่ผลิตในทางการค้า ยี่ห้อศรีราชาพานิช ชนิดเผ็ดปานกลาง	-	1296^{b} ± 16.00
แป้งเกาลัดจากการโม่เปียก	1	357^{a} ± 20.13
	3	1379^{b} ± 225.47
	5	2245^{c} ± 162.45
สตาร์ชเกาลัด	1	355^{a} ± 12.22
	3	1363^{b} ± 234.10
	5	2320^{c} ± 217.77

a, b, c ที่แตกต่างกันแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

** ค่าความเป็นกรด-ด่างของซอสพริกประมาณ 3.60

4.5.2 การใช้แป้งและสตาร์ชเกาลัดทดแทนแป้งข้าวเจ้าในผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยว

ก๋วยเตี๋ยวเป็นผลิตภัณฑ์อาหารเส้นที่แปรรูปมาจากแป้งข้าวเจ้า โดยการผลิตก๋วยเตี๋ยว ข้าวเจ้าที่นำมาใช้คือส่วนที่เป็นปลายข้าวหรือข้าวสารหักซึ่งเป็นของเหลือจากการสีข้าว และมักรวมข้าวพันธุ์ต่างๆ ไว้ด้วยกัน พันธุ์ข้าวเหล่านี้มีทั้งข้าวที่เหนียวนุ่มจนถึงร่วนแข็ง การควบคุมคุณภาพวัตถุดิบให้สม่ำเสมอจึงทำได้ยาก ผู้ผลิตส่วนใหญ่อาศัยประสบการณ์และความชำนาญในการคัดเลือกปลายข้าวที่นำมาผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ได้จึงมีคุณภาพไม่ค่อยสม่ำเสมอ จากการศึกษาวิจัยเพื่อหาวิธีทางวิทยาศาสตร์มาใช้ควบคุมคุณภาพวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว โดยนำข้าวพันธุ์ต่างๆ มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่าปริมาณแอมิโลสในข้าวพันธุ์ต่างๆ เป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากข้าวเจ้าพันธุ์ที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกันจะมีคุณภาพแตกต่างกัน โดยเฉพาะในด้านความเหนียวและความคงตัวของเส้นเมื่อผ่านการลวก ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญที่มีผลต่อการ

ยอมรับของผู้บริโภค (พิมพ์เพ็ญ ถิรพร, 2533) โดยเสนอ ร่วมจิตร (2522) และณรงค์ นิยมวิทย์ (2535) พบว่าข้าวเจ้าพันธุ์ที่เหมาะสมในการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวให้มีคุณภาพเป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคต้องมีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 27-33 ซึ่งเป็นข้าวพันธุ์แอมิโลสสูง นอกจากปริมาณแอมิโลสแล้ว การเกิดรีโทรเกรเดชันยังมีความสำคัญต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ โดยจะส่งผลโดยตรงต่อความเหนียวของเส้นก๋วยเตี๋ยว ซึ่งถ้าแป้งมีอัตราการเกิดรีโทรเกรเดชันมาก เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จะมีความเหนียวเพิ่มขึ้น (เสนอ ร่วมจิตร, 2522) แต่ถ้ามากเกินไป เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จะมีลักษณะเหนียวแข็งซึ่งไม่เป็นที่ต้องการของผู้ทดสอบ (พิมพ์เพ็ญ ถิรพร, 2533) ซึ่งจากการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสและการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งและสตาร์ชเกาลัด พบว่ามีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงดังกล่าว และมีร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันใกล้เคียงกับแป้งข้าวเจ้า (ปรินทิพย์ จิรหฤทัย, 2548) โดยมีค่าต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย ดังนั้นจึงเลือกศึกษาการนำแป้งและสตาร์ชเกาลัดมาใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนในผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยว

จากการใช้สตาร์ชและแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียกทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนในผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยว โดยแปรปริมาณแป้งและสตาร์ชเกาลัดเป็น 3 ระดับ คือ 5, 10 และ 15% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด พบว่าการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยแป้งเกาลัดทั้ง 3 ระดับ จะทำให้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้ไม่คงตัวในขณะลวก โดยเมื่อนำไปลวกในน้ำเดือดเป็นเวลา 30 วินาที เส้นก๋วยเตี๋ยวจะเปื่อยและแตกยุ่ยในน้ำ จนไม่สามารถนำมาวัดลักษณะเนื้อสัมผัสได้ สำหรับการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยสตาร์ชเกาลัดพบว่า สามารถทดแทนได้เพียง 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมดเท่านั้น เมื่อเพิ่มปริมาณการทดแทนเป็น 10 และ 15% พบว่าให้ผลเช่นเดียวกับการทดแทนด้วยแป้งเกาลัดนั่นคือ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ได้จะไม่มีความคงตัวหลังผ่านการลวก ดังนั้นจึงวิเคราะห์ค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัส และประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างก๋วยเตี๋ยวที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยสตาร์ชเกาลัด 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด เพียงตัวอย่างเดียวเท่านั้น (ตารางที่ 4.22 และตารางที่ 4.23 ตามลำดับ)

จากการวัดค่าสีและลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยว (ตารางที่ 4.22) พบว่าก๋วยเตี๋ยวที่ทดแทนด้วยสตาร์ชเกาลัด 5% มีค่า L และค่า a ต่ำกว่า แต่มีค่า b มากกว่าก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าล้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากสตาร์ชเกาลัดยังคงมีรงควัตถุที่ให้สีเหลืองที่อยู่ในเมล็ดเกาลัดหลงเหลืออยู่ จึงส่งผลให้ก๋วยเตี๋ยวที่ทดแทนด้วยสตาร์ชเกาลัดมีสีเหลืองมากกว่าก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าล้วนทำให้ได้รับคะแนนด้านสีลดลง (ตารางที่ 4.23) และก๋วยเตี๋ยวที่ได้จากการทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยสตาร์ชเกาลัดมีค่า tensile strength และ extensibility ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส (ตารางที่ 4.23) ที่พบว่า ก๋วยเตี๋ยวที่ทดแทนด้วยสตาร์ชเกาลัด 5% ได้คะแนนความเหนียวลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ขณะที่คะแนนด้านความนุ่มมี

แนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ไม่แตกต่างจากก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าล้วนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) นั่นคือมีความแข็งกระด้างน้อยลง (นุ่มมากขึ้น) แต่เมื่อพิจารณาคะแนนความชอบโดยรวม จะเห็นว่าก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าล้วน มีคะแนนสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากก๋วยเตี๋ยวที่ผลิตจากแป้งข้าวเจ้าล้วนมีความเหนียวมากกว่า และไม่นุ่มจนเกินไป ซึ่งพิมพ์เพ็ญ ถิรพร (2533) ได้อธิบายลักษณะเนื้อสัมผัสของก๋วยเตี๋ยวที่เป็นที่ต้องการของผู้ทดสอบว่าเป็นเนื้อสัมผัสแบบเหนียวนุ่ม โดยเส้นก๋วยเตี๋ยวจะมีคะแนนความชอบของผู้ทดสอบเพิ่มขึ้น เมื่อมีความเหนียวนุ่มเพิ่มขึ้น แต่คะแนนความชอบจะลดลงเมื่อก๋วยเตี๋ยวมีความกระด้างเพิ่มขึ้น

สำหรับค่า extensibility ที่ได้จากการทดลอง อาจเป็นค่าที่สูงเกินไป เนื่องจากเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นแผ่นแบน จึงไม่สามารถยึดให้ติดแน่นกับหัวดึงทดสอบได้ ดังนั้นจึงใช้การพัน 2-3 รอบเข้ากับหัวดึง และในระหว่างการทดสอบสังเกตเห็นว่าเมื่อเริ่มให้แรงดึง เส้นก๋วยเตี๋ยวบริเวณดังกล่าวจะพันรอบหัวดึงแน่นขึ้น ส่งผลให้ค่า extensibility ที่ได้ เป็นค่าที่เกิดจากการยืดตัวของเส้นก๋วยเตี๋ยวรวมกับระยะทางของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่พันรอบหัวทดสอบแน่นขึ้น แต่ค่าที่ได้สามารถแสดงให้เห็นแนวโน้มของลักษณะเนื้อสัมผัสเส้นก๋วยเตี๋ยวเมื่อทดแทนด้วยสตาร์ชเกาลัดดังได้กล่าวข้างต้น

ตารางที่ 4.22 สมบัติทางกายภาพของก๋วยเตี๋ยวที่ทดแทนส่วนของแป้งข้าวเจ้าด้วยสตาร์ชเกาลัด

สตาร์ชเกาลัด (%)	สี*			Tensile* strength (gf)	Extensibility* (มิลลิเมตร)
	L	a	b		
0	$77.08^{b}\pm1.39$	$-1.60^{b}\pm0.11$	$3.05^{a}\pm0.05$	$54.23^{b}\pm0.40$	$28.00^{b}\pm0.92$
5	$74.40^{a}\pm1.40$	$-1.83^{a}\pm0.90$	$3.78^{b}\pm0.20$	$47.96^{a}\pm0.50$	$22.40^{a}\pm0.17$

a, b ที่แตกต่างกันแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq0.05$)

* ค่าเฉลี่ย $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่า ก๋วยเตี๋ยวที่ทดแทนด้วยสตาร์ชเกาลัดบางส่วน มีความเหนียวลดลงเมื่อเทียบกับก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากแป้งข้าวเจ้าล้วน ส่งผลให้ความชอบโดยรวมของผู้ทดสอบมีค่าลดลง ดังนั้นสตาร์ชเกาลัดไม่สามารถช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวได้ แม้ว่าจะมีปริมาณแอมิโลสสูงก็ตาม ทั้งนี้อาจเนื่องจากการผสมแป้งต่างชนิดกันมีผลให้สมบัติทางเคมีและกายภาพบางอย่างของแป้งเปลี่ยนแปลงไป (Obanni and BeMiller, 1997)

ตารางที่ 4.23 คะแนนทางประสาทสัมผัสของเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทดแทนแป้งข้าวเจ้าด้วยสตาร์ชเกาลัด 5% ของน้ำหนักแป้งทั้งหมด

สตาร์ชเกาลัด (%)	สี	ความนุ่ม^{ns}	ความเหนียว	ความชอบรวม
0	6.00^{b}± 0.98	5.00 ± 0.83	4.77^{b}± 0.90	7.10^{b}± 0.80
5	5.10^{a}± 0.92	5.23 ± 0.90	4.30^{a}± 0.92	5.37^{a}± 1.07

a, b ที่แตกต่างกันแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เนื้อเมล็ดเกาลัดมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ โปรตีน เส้นใย ไขมัน และเถ้า ตามลำดับ เมื่อนำเนื้อเมล็ดเกาลัดมาโม่แห้งและโม่เปียก พบว่าปริมาณผลผลิตของแป้งที่ได้จากการโม่ทั้ง 2 วิธีไม่แตกต่างกัน วิธีการโม่มีผลต่อองค์ประกอบทางเคมี ค่าสี สมบัติด้านความหนืด สมบัติด้านความร้อน ปริมาณ damaged starch ความสามารถในการจับน้ำ กำลังการพองตัว การละลาย และการคืนตัวของแป้งเกาลัด เม็ดสตาร์ชเกาลัดมีทั้งรูปร่างกลม และรูปไข่ที่มีรอยตัด โดยเม็ดสตาร์ชเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งจะสูญเสีย birefringence ไปบางส่วน นอกจากนี้แป้งเกาลัดมีสมบัติไม่คงทนต่อการแช่เยือกแข็ง-ละลายน้ำแข็ง

จากการเตรียมสตาร์ชโดยการนำเนื้อเมล็ดเกาลัด มาสกัดโปรตีนออก พบว่า การสกัดด้วยสารละลาย 0.5% NaOH จะได้สตาร์ชที่มีปริมาณโปรตีนต่ำสุด โดยสตาร์ชที่ได้มีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน เส้นใย และแอมิโลส 99.58, 0.28, 0.15 และ 36.63% โดยน้ำหนักแห้ง ปริมาณเถ้าและไขมันน้อยมาก มีลักษณะ birefringence ชัดเจน เม็ดสตาร์ชมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 9.10 µm และมีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ C สตาร์ชเกาลัดมีช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชัน 70-81°C พลังงานความร้อนในการเกิดเจลาติไนซ์ 18.19 J/g และไม่คงทนต่อการแช่เยือกแข็งละลายน้ำแข็งเช่นเดียวกับแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียก นอกจากนี้แป้งและสตาร์ชมีความคงทนต่อความเป็นกรด (pH3-7) สูง และมีความหนืดสูงที่สุด เมื่อมีความเป็นกรด-ด่างสูงกว่า 7 (pH=9)

จากการศึกษาการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารพบว่าแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียกและสตาร์ชเกาลัดสามารถใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซอสพริกได้ แต่ไม่เหมาะสมสำหรับใช้ทดแทนแป้งข้าวเจ้าบางส่วนในผลิตภัณฑ์ก๋วยเตี๋ยว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยเกี่ยวกับแป้งและสตาร์ชที่ควรทำต่อคือการศึกษาในระดับโมเลกุล เพื่อให้สามารถอธิบายถึงปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพได้มากขึ้น นอกจากนี้อาจนำแป้งและสตาร์ชดังกล่าวไปประยุกต์ใช้หรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์อาหารที่เป็นผลิตภัณฑ์เฉพาะ (specialty product) เนื่องจากเกาลัดมีราคาค่อนข้างสูง อีกทั้งออกผลผลิตตามฤดูกาล และมีปริมาณไม่มากนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กล้าณรงค์ ศรีรอต และเกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กัลยา เลาหสงคราม, รมณี สงวนดีกุล, สุเมธ ตันตระเธียร, พาสวดี ประทีปะเสน และ สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ. 2546. การศึกษาหาเอกลักษณ์ของผลิตภัณฑ์น้ำจิ้มไก่และซอสพริกศรีราชาของไทย. รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหาร. ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งชาติ สถาบันอาหาร.

ขจี บุญดี. 2543. ผลของวิธีการโม่ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากกระจับ *Trapa bispinosa* Roxb. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จำลอง เพ็งคล้าย. 2538. อนุกรมวิธานพืช อักษร ก ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. กรุงเทพฯ: บริษัท เพื่อนพิมพ์ จำกัด.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2535. ธัญชาติและพืชหัว. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณรงค์ นิยมวิทย์ และอัญชนีย์ อุทัยพัฒนาชีพ. 2528. วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ณัฐญา โกมลมณี. 2541. การทดแทนแป้งบางส่วนด้วยเส้นใยอาหารในผลิตภัณฑ์ประเภทอาหารเส้น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เต็ม สมิตินันท์. 2544. ชื่อพรรณไม้แห่งประเทศไทย. ส่วนพฤกษศาสตร์ป่าไม้ สำนักวิชาการป่าไม้ กรมป่าไม้. 810 หน้า.

นลินี อุดมทวี. 2540. การดัดแปรแป้งมันสำปะหลังโดยปฏิกิริยาการแทนที่. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปรินทิพย์ จิรหฤทัย. 2548. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์เพ็ญ ถิรพร. 2533. ผลของการใช้แป้งมันสำปะหลังผสมแป้งข้าวเจ้าต่อคุณภาพของเส้นก๋วยเตี๋ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์. กรุงเทพ: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัณฑิรา เหมภัทรสุวรรณ. 2548. ผลของพันธุ์และกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของแป้งและสตาร์ชข้าวฟ่าง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วรนุช ตรีเจษฎารักษ์. 2530. การแปรสภาพแป้งมันฝรั่งเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วันชัย โชคชัยไพศาล, ชูเกียรติ กิจคุณาเสถียร และกล้าณรงค์ ศรีรอต. 2541. การศึกษาผลกระทบของพันธุ์มันสำปะหลังและอายุการเก็บเกี่ยวต่อคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกและกายภาพของแป้ง. ในรายงานการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 36 สาขาอุตสาหกรรมเกษตร ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 3-5 กุมภาพันธ์ 2541. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ศจี น้อยตั้ง, ศรินทิพ สุกใส และอมร เพชรสม. 2548. การศึกษาทางชีวเคมีและคุณค่าทางอาหารของเมล็ดเกาลัดน่าน [Online]. สมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์. การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วทท.) ครั้งที่ 31. แหล่งที่มา: http://www.scisoc.or.th/stt/31/sec_f/paper/stt31_F0048.pdf [15 กันยายน 2549]

สุพัตรา งามอุรุเลิศ. 2545. ผลของกระบวนการผลิตต่อคุณภาพของสตาร์ชข้าวเหนียว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร. กรุงเทพมหานคร: คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสนอ ร่วมจิตร. 2522. การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีบางประการของข้าวเจ้าพันธุ์ต่างๆ ที่มีผลต่อลักษณะก๋วยเตี๋ยว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. กรุงเทพมหานคร: คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อุตสาหกรรม กระทรวง. 2521. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง มอก. 274-2521. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

อุตสาหกรรม กระทรวง. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า มอก. 638-2529. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

ภาษาอังกฤษ

AACC. 2000. Approved Methods of the American of Cereal Chemists. 9th ed, Minnesota: American Association of Cereal Chemists.

Allen, B. M. 1967. Malaysian Fruits. Singapore: Donald Moore Press Ltd.

AOAC. 1995. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 16th ed, Washington D. C. AOAC International.

Atwell, W. A., Hood, L, F., Lineback, D. R., Varriano-Marston, E., and Zobel, H. F. 1988. The terminology and methodology associated with basic starch phenomena. Cereal Food World 33: 306-311.

Baker, L. A., and Duarte, P. R. 1995. Retrogradation of amaranth starch at different storage temperatures and the effects of salt and sugars. Cereal Chemistry 72(3): 308-314.

Barcenas, M. E., Haros, M., Benedito, C., and Rosell, C. M. 2003. Effect of freezing and frozen storage on the stailing of part-baked bread. Food Research International 36(6): 863-869.

Barichello, V., Yada, R. Y., Coffin, R. H., and Stanley, D. W. 1990. Low temperature sweetening in susceptible and resistant potatoes: starch structure and composition. Journal of Food Science 54: 1054-1059.

Berry, S. K. 1982. Fatty acid composition and cyclopene fatty acid content of China-chestnuts (*Sterculia monosperma* Ventenat). Journal of American Chemical Society 59(1): 57-58.

Betancur-Ancona, D., López-Luna, J., and Chel-Guerrero, L. 2003. Comparison of the chemical composition and functional properties of Phaseolus lunatus prime and tailing starches. Food Chemistry 82: 217-225.

Bogracheva, T. Y., Morris, V. J., Ring, S. G., and Hedley, C. L. 1998. The granular structure of C-type pea starch and its role in gelatinization. Biopolymers 45: 323-332.

Bowers, J. 1992. Food Theory and Application. New York: Macmillian Publishing Company.

Chaing, P. Y., and Yeh, A. I. 2002. Effect of soaking on wet-milling of rice. Journal of Cereal Science 35(1): 85-94.

Chandrashekar, A., and Kirleis, A. W. 1988. Influence of protein on starch gelatinization in sorghum. Cereal Chemistry 65(6): 457-462.

Chen, J.J., Lu, S., and Lii, C.Y. 1999. Effect of milling methods on the physicochemical characteristic of waxy rice in Taiwan. Cereal Chemistry 76(5): 796-799.

Derby, R. I., Miller, B. S., Miller, B. F., and Trimbo, H. B. 1975. Visual observation of water-starch gelatinization in limited water systems. Cereal Chemistry 52: 702-713.

Dzudie, T., and Hardy, J. 1996. Physicochemical and functional properties of flours prepared from common beans and green mung beans. Journal of Agricultural and Food Chemistry 44: 3029-3032.

FAO. 1972. Food Composition Table for Use East Asia 1972. Part I: Proximate Composition Mineral and Vitamin Contents of East Asia Food, Item 977 [Online]. Available from: http://www.fao.org/docrep/003/X6878E/X6878E00.htm#TOC [2004, August 18]

Freeman, J. E., and Watson, S. A. 1971. Influence of sorghum endosperm pigments on starch quality. Cereal Science Today 16(11): 378-381.

French, D. 1975. Chemistry and biochemistry of starch. In W. J. Whelan (ed.), Biochemistry of Carbohydrates, pp. 267-335. London: Butterworth.

Furia, T. E. 1972. CRC Handbook of Food Additive, Vol. I. Ohio: CRC Press, pp. 384-392, 542-545.

Fujita, S., Yamamoto, H., Sugimoto, Y., Morita, N., and Yamamori, M. 1998. Thermal and crystalline properties of waxy wheat (*Triticum aestivum* L.) starch. Journal of Cereal Science 26: 1-5.

Gallant, D. J., Bouchaet, B., and Baldwin, P. M. 1997. Microscopy of starch: Evidence of a new level of granule organization. Carbohydrate Polymers 32: 177-191.

Galliard, T., and Bowler, P. 1987. Morphology and composition of starch. In T. Gallant (ed.), Starch Properties and Potential, pp. 57-78. Chichester: Wiley.

Godoy, C. V., Tulin, E. F., and Quevedo, E. S. 1992. Physicochemical properties of raw and blanched taro flours. Journal of Food Processing and Preservation 16: 239-252.

Grant, L. A. 1998. Effects of starch isolation, drying, and grinding techniques on its gelatinization and retrogradation properties. Cereal Chemistry 75(5): 590-594.

Haasse, N. U., Mintus, T., and Weipert, D. 1995. Viscosity measurement of potato starch paste with the Rapid Visco Analyzer. Starch/Stärke 47: 123-126.

Hamaker, B. R., and Griffin, V. K. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. Cereal Chemistry 70(4): 377-380.

Hamaker, B. R., Griffin, V. K., and Moldenhauer, K. A. K. 1991. Potential influence of a starch granule-associated protein on cooked rice stickiness. Journal of Food Science 56(5): 1327-1329, 1346.

Hizukuri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins and its significance. Carbohydrate Research 14: 398-342.

Hoover, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: A review. Carbohydrate Polymers 45: 253-267.

Hoover, R., and Manuel, H. 1995. A comparative study of physicochemical properties of starches from two lentils cultivars. Food Chemistry 53: 273-284.

Hormdok, R., and Noomhorm, A. 2006. Hydrothermal treatments of rice starch for improvement of rice noodle quality. Lebensmittel-Wissenschaft-und-Technologie (accepted)

Hoseney, R. C. 1994. Cereal Science and Technology. New York: American Association of Cereal Chemists.

Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPhetson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., and Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chemistry 76(5): 629-637.

Jane, J., Kasemsuwan, T., Chen, J. F., and Juliano, B. O. 1996. Phosphorus in rice and other starches. Cereal Foods World 41: 827-832.

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). Journal of the Science Food and Agriculture 65: 85-93.

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

Juliano, B. O. 1992. Structure, chemistry, and function of the rice grain and its fractions. Cereal Foods World 37: 772-774.

Juliano, B. O., and Hicks, P. A. 1996. Rice functional properties and rice food products. Food Reviews International. 12: 71-103.

Kerr, R. W. 1950. Chemistry and Industry of Starch. 2nd ed, New York: Academic Press.

Kerr, W. L., Ward, C. D. W., McWatters, K. H., and Resurreccion, A. V. A. 2000. Effect of milling and particle size on functionality and physicochemical properties of cowpea flour. Cereal Chemistry 77(2): 213-219.

Kim, Y. S., Wiesenborn, D. P., Orr, P. H., and Grant, L. A. 1995. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. Journal of Food Science 60(5): 1060-1065.

Knight, J. W. 1969. The Starch Industry. Oxford : Pergamon Press.

Kugimiya, M., Donovan, J. W., and Wong, R. Y. 1980. Phase transitions of amylose-lipid complexes in starches: A calorimetric study. Starch/Stärke 32: 265.

Leach, H. W. 1965. Gelatinization of starch. In R. V. Whistler, and E. F. Paschall. (eds.). *Starch :* Chemistry and Technology. New York: Academic Press.

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

Light, J. M. 1990. Modified food starch: Why, what, where, and how. Cereal Food World 35(11): 1081-1092.

Li, J. Y., and Yeh, A. I. 2001. Relationships between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. Journal of Food Engineering 50: 141-148.

Lii, C. Y., and Chang,, A. M. 1981. Characterization of red bean (*Phaseolus radiatus* var. Aurea) starch and its noodle quality. Journal of Food Science 46: 78-81.

Lii, C. Y., Shao, Y. Y., and Tseng, K. H. 1995. Effect of amylosse content on the rheological property of rice starch. Cereal Chemistry 72: 393-400.

Lii, C. Y., Tsai, M. L., and Tseng, K. H. 1996. Effect of amylase content on the rheological property of rice starch. Cereal Chemistry 73: 415-420.

Lin, S., Breene, W. M., and Sargent, J. S. 1990. Effects of pH, sodium chloride, polysaccharides, and surfactants on the pasting characteristics of pea flours (*Pisum sativum*). Cereal Chemistry 67(1): 14-19.

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/Stärke 51(4):120-125.

Liu, H., Ramsden, L., and Corke, H. 1999. Physical properties of cross-linked and acetylated normal and waxy rice starch. Starch/Stärke 51(7): 249-252.

Liu, Q., and Thompson, B. 1998. Effects of moisture content and different gelatinization heating temperatures on retrogradation of waxy-type maize starches. Carbohydrate Research 314: 221-235.

Lumdubwong, N., and Seib, P. A. 2000. Rice starch isolation by alkaline protease digestion of wet-milled rice flour. Journal of Cereal Science 31(1): 63-74.

Matsunaga, N., and Seib, P. A. 1997. Extraction of wheat starch with aqueous sodium hydroxide. Cereal Chemistry 74(6): 851-857.

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

Medcalf, S. L., and Lund, D. B. 1985. Factors affecting water uptake on milled rice. Journal of Food Science 50(6): 1676-1684.

Mukprasirt, A., and Sajjaanantakul, K. 2004. Physico-chemical properties of flour and starch from jackfruits seeds (*Artocarpus heterophyllus* Lam.) compared with modified starches. International Journal of Food Science and Technology 39(3): 271-276

Newport Scientific Pty, Ltd. 1995. Operation Manual for the Series 4 Rapid Visco Analyzer, pp. 93. Australia: Newport Scientifis Pty, Ltd.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Oates, C. G. 1997. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. Trends in Food Science and Technology 8: 375-382.

Obanni, M., and BeMiller, J. N. 1997. Properties of some starch blends. Cereal Chemistry 74(4): 431-436.

Penfield, M. P., and Campbell, A. M. 1990. Starch Experimental Food Science. London: Academic Press.

Richard, R. M. 1968. Tailoring starches for the baking industry. The Baker Digest 64: 48-53.

Robin, J. P., Mercier, C., Charbonniere, R., and Guilbot, J. A. 1974. Lintnerized starches, gel filtration and enzymatic studies of insoluble residues from prolonged acid treatment of potato starch. Cereal Chemistry 51: 389-406.

Saartrat, S., Puttanlek, C., Rungsardthong, V., and Uttapap, D. 2005. Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. Carbohydrate Polymers 61: 211-221.

Sandhu, K. S., Singh, N., and Kaur, M. 2004. Characteristics of the different corn types and their grain fractions: physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches. Journal of Food Engineering 64: 119-127.

Sandhu, K. S., Singh, N., and Malhi, N. S. 2007. Some properties of corn grains and their flours I: Physicochemical, functional and chapati-making properties of flours. Food Chemistry 101: 938-946.

Sasaki, T., Yasui, T., and Matsuki, J. 2000. Effect of amylase content on gelatinization, retrogradation, and pasting properties of starches from waxy and nonwaxy wheat and their F1 seeds. Cereal Chemistry 77(1): 58-63.

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

Schoch, T. J., and Maywald, E. C. 1968. Preparation and properties of various legume starches. Cereal Chemistry 45: 564-573.

Shelke, K., Dick, J. W., Holm, Y. F., and Loo, K. S. 1990. Chinese wet noodle formation: A response surface methodology study. Cereal Chemistry 67(4): 338-342.

Singh, V., Okdome, H., Toyoshima, H., Isobe, S., and Ohtsubo, K. 2000. Thermal and physicochemical properties of rice grain, flour and starch. Journal of Agriculture and Food Chemistry 48(7): 2639-2647.

Singh, J., and Singh, N. 2001. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. Food Chemistry 75: 67-77.

Smith, R. J. 1979. Food Carbohydrate. Wesport, Connecticut: The AVI Publishing Co.

Sodhi, N. S., and Singh, N. 2002. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. Food Chemistry 80: 99-108.

Stevens, D. J., and Elton, G. A. H. 1971. Thermal properties of the starch water systems. I. Measurement of heat gelatinization by differential scanning calorimetry. Starch/Stärke 23: 8-11.

Swinkels, J. J. M. 1985. Sources of starch, its chemistry and physics. In G. M. A. van Beynum, and J. A. Roels (eds.). Starch Conversion Technology. New York: Marcel Dekker, Inc., pp. 15-45.

Teo, C. H., Karim, A. A., Cheah, P. B., Norziah, M. H., and Seow, C. C. 2000. On the roles of protein and starch in the aging of non waxy rice flour. Food Chemistry 69: 229-236.

Tester, R. F. 1997. Influence of growth conditions of barley starch properties. International Journal of Biological Macromolecules 21: 37-45.

Thiewes, H. J., and Steeneken, P. A. M. 1997. Comparison of the Brabender Viscograph and the Rapid Visco Analyzer. 1. Statistical evaluation of the pasting profile. Starch/Stärke 49: 85-92.

Wang, F. C., Chung, D. S., Seib, P. A., and Kim, Y. S. 2000. Optimum steeping process for wet milling of sorghum. Cereal Chemistry 77(4): 478-483.

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. Orlando : Academic Press.

Whistler, R. L., and Smart, C. L. 1953. Polysaccharide Chemistry. New York: Academic Press, pp. 239-245.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (1995) section 32.1.03

อุปกรณ์

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

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 – 5 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมซึ่งอบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาไว้เป็นเวลา 16 – 18 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ยังอยู่ในตู้อบ แล้วทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาความชื้นจากสมการ

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

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC (1995) section 32.2.03

อุปกรณ์

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

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 กับสารละลาย methyl red 0.2 % ในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ใน Kjeldahl tube

2. เติม Selinium mixture เพื่อเร่งปฏิกิริยาประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟูริคเข้มข้น 20-25 มิลลิลิตร

3. นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่อง Buchi Digestion Unit โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอกรด (scrubber) ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4. นำฟลาสก์ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2 - 3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)

5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรม ดังนี้

NaOH	70	มิลลิลิตร
Boric acid	50	มิลลิลิตร
H_2O	50	มิลลิลิตร
Time	6	นาที

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

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

เมื่อ Va คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

Vb คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริคที่ใช้ไตเตรต มีหน่วยเป็น Normal

CF คือ Conversion Factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน (ในการทดลองใช้ 6.25)

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC(1995) section 32.1.05

<u>อุปกรณ์</u>

1. เตาเผา (Muffle furnace, Carbolite รุ่น CWF 1200, England)
2. ครูซิเบิล (Crucible)
3. Hot plate
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
5. โถดูดความชื้น

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 3-5 กรัม ใส่ในครูซิเบิลที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
2. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้ Hot plate ในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
4. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้และคำนวณหาปริมาณเถ้า

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

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC (1995) section 32.1.13

อุปกรณ์

1. Soxtherm Gerhardt (รุ่น S-226, Germany)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งและทราบน้ำหนักแน่นอน 2 กรัม ห่อด้วยกระดาษ Whatman No. 1 ใส่ในthimble

2. ใส่ thimble ซึ่งมีตัวอย่างบรรจุอยู่ในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักแน่นอน

3. เติม petroleum ether ซึ่งใช้เป็นตัวสกัด 80 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด

4. สกัดไขมันเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส

5. ระเหยส่วนของ petroleum ether ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบขวดสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่

6. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด

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

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธี AOAC (1995) section 4.6.02

อุปกรณ์

1. ครูซิเบิล

2. ตู้อบลมร้อน (Hot air oven, Memmert รุ่น W350, Germany)

3. เตาเผา (Muffle furnace, Carbolite รุ่น CWF 1200, England)

4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

5. โถดูดความชื้น

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริค (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25 % (v/v)

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

3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วทั้งหมดใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร

2. เติมสารละลายกรดซัลฟูริค ความเข้มข้น 1.25 % ปริมาตร 200 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์

ต้มเดือดนาน 30 นาที สังเกตไม่ให้ปริมาตรของสารละลายลดลงหากลดลงปรับปริมาตรโดยใช้น้ำร้อน

3. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Buchner funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิลิตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด

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

5. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย Bucher 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. เผาตัวอย่างบน hot plate จนหมดควัน ก่อนนำเข้าเตาเผาที่ 550 องศาเซลเซียส จนได้เป็นเถ้าสีขาว

12. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา นำมาคำนวณหาปริมาณเส้นใย

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

ก.6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

<u>วิธีการคำนวณ</u>

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

ก.7 ความเป็นกรด-ด่าง ตามวิธีของ AOAC 943.02 (1995)

<u>อุปกรณ์</u>

เครื่องวัด pH (EUTECH รุ่น CyberScan pH 1000 Bench)

วิธีทดลอง

1. ปรับมาตรฐาน (calibrate) เครื่องวัด pH ด้วย standardized pH buffer โดยใช้ pH 7.00 และ pH 4.00 ตามลำดับ
2. ชั่งตัวอย่าง 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร
3. กวนอย่างสม่ำเสมอ 5 นาทีแล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 10 นาที
4. วัดค่า pH ของสารละลายส่วนใสโดยใช้เครื่องวัด pH

ก.8 การวิเคราะห์ปริมาณ damaged starch ตามวิธี AACC (2000) Method 70-30A

อุปกรณ์

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

สารเคมี

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

2. สารละลายกรดซัลฟูริก ความเข้มข้น 3.68±0.05 N

3. สารละลายโซเดียมทังสเตต ($Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$, 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 มิลลิลิตร ที่มี $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ (A.R. grade) 40 กรัม ละลายอยู่ เติมกรดอะซีติกเข้มข้น 200 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรของสารละลายให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

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

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

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่าง 1.00 กรัม (ความชื้น 14%) และเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส 0.0500 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 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง ขนาด 25 x 200มิลลิลิตรที่มีฝาปิด เติมสารละลาย Alkaline ferricyanide 10 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

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

7. นำสารละลายที่ต้มแล้ว เทใส่ฟลาสก์ขนาด 125 มิลลิลิตร และชะหลอดด้วยสารละลาย Acetic acid-salt 25 มิลลิลิตร เทรวมในฟลาสก์ เขย่าให้เข้ากัน

8. เติมสารละลาย starch-KI 1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายในข้อ 7 เขย่าให้เข้ากัน

9. ไตเตรตกับสารละลายไธโอซัลเฟต ความเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติ ได้สารละลายสีขาวขุ่น และทำ blank เช่นเดียวกับตัวอย่าง

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

11. คำนวณหาปริมาณ damaged starch โดย

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

ตารางที่ ก.1 Ferricyanide-Maltose Conversion

0.2 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

0.1 N Ferricyanide Reduced (ml)	Maltose (mg)
3.00	151
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

0.1 N Ferricyanide Reduced (ml)	Maltose (mg)
5.90	328
6.00	334
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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.9 การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส (Juliano, 1971)

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Spectronic รุ่น Genesys 20,U.S.A.)

2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

<u>สารเคมี</u>

1. แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (บริษัท Fluka BioChemika, U.S.A.)

2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N

3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 %

4. สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N

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

<u>วิธีทดลอง</u>

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งแอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง น้ำหนักแน่นอน 0.0400 กรัม ใส่ในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

2. เตรียม blank โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอร์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในฟลาสก์ขนาด 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3. ให้ความร้อนกับสารละลายในข้อ 1 และ 2 ในอ่างน้ำเดือด 5-10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

4. ชะสารละลายแอมิโลสใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะสารละลายแอมิโลสออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน

5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 5 ขวด

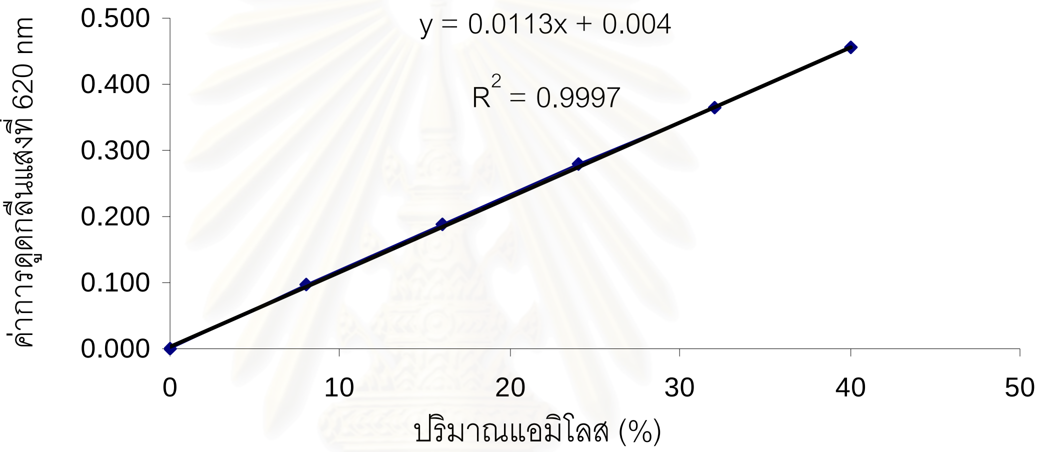
6. ปิเปตสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรทั้ง 5 ใบ ตามลำดับ

7. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ให้เป็นเวลา 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. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณแอมิโลส ดังรูปที่ ก. 1



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส

การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสในตัวอย่าง

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

2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอร์ 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 แล้วคำนวณหาปริมาณแอ-มิโลส

$$\text{ปริมาณแอมิโลส (\%)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (กรัม)} \times 100 \times 20}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

ก.10 ลักษณะรูปร่าง การกระจายตัวและพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) (ตามวิธีการวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (JEOL รุ่น JSM-5800 LV, Japan)

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

วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างแป้งติดบน stub โดยใช้เทปกาวสองหน้าหรือกาว

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

3. บันทึกภาพโครงสร้างของตัวอย่างด้วย SEM ควบคุมที่ 20 kV ใช้กำลังขยาย 500, 1000 และ 3,000 เท่า

4. วิเคราะห์ลักษณะรูปร่าง การกระจายตัวและพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากภาพที่บันทึกได้

ก.11 ลักษณะ birefringence โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (microscope)

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์ (Olympus รุ่น CH30RF200, Japan)

2. แผ่นฟิล์มโพลารอยด์

3. อุปกรณ์ถ่ายภาพแบบดิจิตอล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>วิธีทดลอง</u>

1. เตรียมสารละลายกลีเซอรีนและน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 แล้วหยดลงบนสไลด์ 1 - 2 หยด

2. นำตัวอย่างสตาร์ชมาละลายกับสารละลายข้อ 1 บนสไลด์ให้ได้ความหนาแน่นของเม็ดสตาร์ชพอดีกับการถ่ายภาพ

3. ปรับระยะภาพโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่ำสุดแล้วเห็นภาพชัดเจนที่สุด จากนั้นเปลี่ยนกำลังขยายให้สูงขึ้นเป็น 400 เท่า

4. ปรับเลื่อนสไลด์ให้ได้องค์ประกอบของภาพที่ต้องการและปรับความคมชัดของภาพโดยดูที่กล้องถ่ายภาพ

5. ตั้งระบบการทำงานของอุปกรณ์ถ่ายภาพเป็นแบบอัตโนมัติและปรับเป็นแบบไม่ใช้ flash

6. นำฟิล์มโพลารอยด์วางปิดบนแหล่งกำเนิดแสงของกล้องจุลทรรศน์และนำแผ่นฟิล์มอีก 1 แผ่น วางปิดบนสไลด์หรือกั้นระหว่างสไลด์กับอุปกรณ์ถ่ายภาพ

7. หมุนแผ่นฟิล์มโพลารอยด์ที่วางปิดบนแหล่งกำเนิดแสงให้ได้สีของพื้นภาพเป็นสีดำเพื่อให้เห็นลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ช

8. ปรับความคมชัดของภาพแล้วถ่ายภาพเม็ดสตาร์ชภายใต้แสงโพลาไรซ์ที่เกิดจากแผ่นฟิล์มโพลารอยด์

ก.12 **ความสามารถในการจับน้ำ** (water binding capacity) **ดัดแปลงจากวิธีของ** Medcalf **และ** Gilles (1965)

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, U.S.A.)

2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Water bath, Memmert รุ่น E 350, Germany)

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างแป้งที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 5 กรัม ใส่หลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนัก

2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 25 มิลลิลิตร

3. ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้อง และทำกวนตลอดเวลา

4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5,000 rpm

5. เทน้ำทิ้งและคว่ำทิ้งไว้ 10 นาที

6. ชั่งน้ำหนักแป้งที่ได้

7. คำนวณหาความสามารถในการจับน้ำ

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

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

<u>อุปกรณ์</u>

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

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างแป้งที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 0.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่หลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงทราบน้ำหนักแล้ว
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร
3. แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95องศาเซลเซียส กวนตลอดเวลาเป็นเวลา 30 นาที
4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,750 xg นาน 15 นาที
5. ดูดของเหลวส่วนบนใส่ภาชนะที่ทราบน้ำหนักให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ และนำไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสจนแห้ง
6. ชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนแป้งเปียกในหลอดนำมาชั่งเป็นน้ำหนักแป้งที่พองตัว แล้วนำมาคำนวณตามสูตรต่อไปนี้

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

$$\text{กำลังการพองตัว (g/g)} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่พองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

<u>อุปกรณ์</u>

1. เครื่อง RVA (Rapid Visco Analyzer, Newport Scienctific รุ่น 4D, Australia) พร้อมถ้วยบรรจุตัวอย่าง (can) และใบพัด (paddle)

2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Water bath, Memmert รุ่น E 350, Germany)

<u>วิธีทดลอง</u>

1. เปิดเครื่อง RVA ไว้นาน 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง และปรับสภาวะในการทำงานของเครื่อง RVA ดังนี้

Profile : STD 1

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

ความเร็วรอบของการกวน 0-10 วินาทีแรก 960 รอบต่อนาที หลังจากนั้นจะลดลงมาที่ 160 รอบต่อนาที จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง

อัตราการให้ความร้อน 12 องศาเซลเซียสต่อนาที

2. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25.00±0.1 มิลลิลิตร (สำหรับตัวอย่างที่มีความชื้นร้อยละ 14) ใส่ลงใน can ของ RVA

3. ชั่งตัวอย่าง 3.00±0.01 กรัม ใส่ลงใน can ที่มีน้ำอยู่แล้ว น้ำหนักตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดตัวอย่าง โดยทั่วไปแนะนำตามตารางที่ ก. 2

4. ใส่ใบพัด (paddle) ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างหมุนใบพัดกวนไปมาแรง ๆ และดึงขึ้นเพื่อกวนตัวอย่างแรง ๆ ประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกับเป็นก้อนที่ผิวน้ำหรือติดที่ใบพัดกวนให้ทำซ้ำอีกครั้ง

5. นำ can ที่ใส่ใบพัดไว้แล้วสอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้ RVA ทำงาน เสร็จแล้วนำถ้วยบรรจุตัวอย่างออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่าง ๆ (หน่วย RVU) ดังนี้

1.1 เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที

1.2 อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรือมีความหนืดเพิ่มขึ้นเป็น 2 RVUในเวลา 20 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

1.3 อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

1.4 ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น RVU

1.5 ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU

1.6 ความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วย RVU

1.7 ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด trough (setback from trough) มีหน่วยเป็น RVU

ตารางที่ ก.2 ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA

ชนิดตัวอย่าง	จำนวน (กรัม)
เมล็ดพืชทั้งหมด (บดรวมเปลือก)	4.00
แป้ง (flour)	3.50
สตาร์ชปกติ (native starch)	
จากธัญชาติชนิดไม่มียาง (non-waxy	3.00
cereal)	3.00
จากธัญชาติชนิดมียาง (waxy cereal)	2.00[1]
มันฝรั่ง	2.50
มันสำปะหลัง	
สตาร์ชดัดแปร (modified starch)	
Acid modified	4.00-2.00[2]
Oxidised	4.00-2.00[2]
Substitued	2.50
Cross-linked	2.50

[1] ใช้ 1.2 กรัม ถ้าเป็นสตาร์ชที่ไม่ได้ผลิตมาเพื่อวัตถุประสงค์ในเชิงพาณิชย์

[2] จำนวนที่ใช้ขึ้นอยู่กับ degree of modification

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

<u>อุปกรณ์</u>

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

<u>วิธีทดลอง</u>

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบความชื้น ประมาณ 3 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงใน volatile pan หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงใน pan โดยคิดเป็นอัตราส่วนแป้งหรือสตาร์ชต่อน้ำเท่ากับร้อยละ 30:70 โดยน้ำหนัก

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

3. นำ pan ใส่ในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง DSC และวาง reference pan โดยใช้ profile อุณหภูมิ 30 - 95 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และใช้ Indium ในการ calibration

4. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์ โดยใช้ระบบ Autocalculation และบันทึกค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนเซชัน ได้แก่

- อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนเซชัน (onset temperature, T_o หน่วย ^oC)
- อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนเซชัน (peak temperature, T_p หน่วย ^oC)
- เอนทาลปีของการเกิดเจลาติไนเซชัน (Δ H หน่วย J/g)

ก.16 Freeze-thaw stability **ดัดแปลงจากวิธีของ** Liu **และคณะ** (1999)

<u>อุปกรณ์</u>

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

วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายแป้งให้มีความเข้มข้น 6 % (w/v)

2. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง

3. ชั่งเจลที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ประมาณ 20 กรัม ใส่ลงในหลอดเซนตริฟิวจ์

4. นำหลอดแช่ในน้ำ เก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5. นำหลอดไปเก็บที่ freezer อุณหภูมิ -30±1 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 ชั่วโมง หลังจากนั้นละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส 2 ชั่วโมง

6. นำหลอดเซนตริฟิวจ์ไปเหวี่ยงแยกน้ำ ด้วยความเร็วรอบ 1,000 x*g* เวลา 20 นาที และชั่งน้ำหนักของน้ำที่แยกออกจากเจล

7. คำนวณปริมาณการเกิด syneresis

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

ก.17 การวิเคราะห์การเกิดรีโทรเกรเดชัน ดัดแปลงจากวิธีของ Baker และ Duarte (1995)

อุปกรณ์

เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Perkin-Elmer รุ่น Diamond-DSC, USA.)

วิธีทดลอง

1. ทดสอบการเกิดเจลาติไนซันของเจลแป้งหรือสตาร์ชตามวิธีในภาคผนวก ก.16

2.. นำ pan ที่ผ่านการทดสอบการเกิดเจลาติไนเซชันแล้วตามวิธีในข้อที่ 1-4 มาห่อด้วยฟอยล์และเก็บในถุงพลาสติกและปิดปากถุงให้สนิท

3. นำมาเก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3, 7 และ 14 วัน และเมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดนำถุงที่บรรจุ pan มาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

4. นำ pan ใส่ในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง DSC และวาง reference pan โดยใช้ profile อุณหภูมิ 30 - 95 องศาเซลเซียส ที่อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และใช้ Indium ในการ calibration

5. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์ โดยใช้ระบบ Autocalculation และบันทึกค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนเซชัน ได้แก่ T_o, T_p และ ΔH

นำค่าที่ได้คำนวณร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันของตัวอย่าง

$$\text{ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชัน} = \frac{\Delta H_{retrogradation} \times 100}{\Delta H_{gelatinization}}$$

ก.18 ขนาดของเม็ดสตาร์ชเกาลัด โดยเครื่อง Laser particle size analyzer ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์

เครื่อง Laser Particle Size Analyzer (Mastersizer S long bed Ver. 2.11)

วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายตัวอย่างสตาร์ชความเข้มข้น 0.0320-0.0550% (w/v)
2. ประกอบเครื่องโดยใส่เลนส์ (300RF) และเซลล์ใส่ตัวอย่างเข้ากับตัวเครื่อง
3. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 15 นาที (warming) เพื่อให้แสงเลเซอร์เข้าสู่สมดุล
4. ใช้น้ำกลั่นในการปรับค่า background ของเครื่องก่อนวิเคราะห์ตัวอย่าง
5. นำสารละลายสตาร์ชใส่ในเซลล์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง รอจนกว่าค่า obscuration อยู่ระหว่าง 10-30%
6. ประมวลผลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ หาขนาดอนุภาคสตาร์ชที่มีมากที่สุดและสร้างกราฟกระจายตัวของอนุภาคเม็ดสตาร์ช

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.19 ศึกษาโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช โดยใช้เครื่อง Wide Angle X-ray Diffractometer และวิเคราะห์ pattern ตามวิธีของ Zobel (1964)

<u>อุปกรณ์</u>

เครื่อง Wide Angle X-ray Diffractometer (JEOL รุ่น JDX-8030)

<u>วิธีทดลอง</u>

1. นำตัวอย่างสตาร์ชโรยบน sample plate แล้วกด sample plate ให้เม็ดสตาร์ชเรียงตัวอัดกันแน่น

2. นำ sample plate ใส่เข้าเครื่อง Wide Angle X-ray Diffractometer ที่ช่อง sample holder แล้วเปิดเครื่อง (warming) ทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที

3. วัดค่าในช่วงมุมที่ต้องการ โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมสภาวะโดยมีรายละเอียดดังนี้

Target	:	Cu	
Voltage	:	40	kV
Current	:	40	mA
Start angle	:	4	degree
Stop angle	:	35	degree
Increment	:	0.01	degree
Scan speed	:	0.1	sec/step
Detecter	:	VANTEC-1 Detecter (Super Speed Detecter)	

4. วิเคราะห์ X-ray diffraction pattern โดยเทียบค่า 2θ, d-spacing และ Intensity ที่ได้กับลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชที่เป็น pattern มาตรฐานดังตารางที่ ก.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.3 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่เป็นแบบ A, B และ C

Starch X-ray diffraction								
A type			B type			C type		
d-spacing A^{O}	Intensity*	2θ	d-spacing A^{O}	Intensity*	2θ	d-spacing A^{O}	Intensity*	2θ
8.72	w-	10.1	15.8	m	5.59	15.4	w	5.73
7.70	w-	11.5	8.90	w-	9.93	8.82	w-	10.0
5.78	s	15.3	7.94	w-	11.1	7.65	w-	11.5
5.17	s	17.1	6.14	m	14.4	5.78	s	15.3
4.86	s-	18.2	5.16	s	17.2	5.12	s	17.3
4.37	m	20.3	4.54	w+	19.5	4.85	m	18.3
3.78	s	23.5	4.00	m	22.2	4.35	w-	20.4
3.30	w+	27.0	3.70	m-	24.0	3.78	m+	23.5
2.88	w	31.0	3.38	w	26.3	3.32	w	26.8
			2.60	w	34.4			

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

ก. 20 การวัดลักษณะเนื้อสัมผัสในรูปค่า tensile strength และค่า extensibility ดัดแปลงจากวิธีของ Hormdok และ Noomhorm (2006)

<u>อุปกรณ์</u>

เครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Instron รุ่น 5565, USA.)

<u>วิธีทดลอง</u>

1. เปิดเครื่อง Instron และคอมพิวเตอร์ ประกอบอุปกรณ์วัดค่า โดยใช้ชุดหัวทดสอบ Noodle Tensile Test Fixture (S5407A)

2. calibrate probe ให้มีระยะห่างระหว่างหัวทดสอบเท่ากับ 30 มิลลิเมตร

3. ปรับความเร็วการเคลื่อนที่ขณะวัดของ load cell ให้มีค่าเท่ากับ 3 มิลลิเมตรต่อวินาที

4. นำตัวอย่างเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ลวกแล้วมา 1 เส้น และพันเข้ากับ probe ที่อยู่ด้านล่าง 2-3 รอบ แล้วพาเส้นก๋วยเตี๋ยวขึ้นไปที่ probe ด้านบน แล้วพันเข้ากับ probe อันบน 2-3 รอบ

5. กดปุ่ม run a test เพื่อให้หัวทดสอบ ดึงตัวอย่างจนกระทั่งตัวอย่างขาดออกจากกัน
   - tensile strength หรือค่าความต้านการดึง (กรัม) หมายถึง แรงสูงสุดที่ใช้ในการดึงให้เส้นก๋วยเตี๋ยวขาด
   - extensibility หรือระยะทางที่ตัวอย่างสามารถยืดออกได้จนกระทั่งตัวอย่างขาด (มิลลิเมตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ชื่อผู้ทดสอบ... วันที่.......................รหัสตัวอย่าง........................

โปรดประเมินคุณภาพตัวอย่างผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยวต่อไปนี้ โดยใส่เครื่องหมาย √ ลงในช่อง ☐ เพื่อแสดงความรู้สึกของท่านต่อตัวอย่างที่ทดสอบ

1. กรุณาบอกระดับความรู้สึกต่อคุณลักษณะต่าง ๆ ของเส้นก๋วยเตี๋ยว

1.1 ความรู้สึกด้านสี (1 = สีเหลือง และ 7 = สีขาว)

☐ สีเหลือง ☐ สีขาวอมเหลืองมาก ☐ สีขาวอมเหลืองค่อนข้างมาก ☐ สีขาวอมเหลืองปานกลาง ☐ สีขาวอมเหลืองค่อนข้างน้อย ☐ สีขาวอมเหลืองน้อย ☐ สีขาว

1.2 ความรู้สึกด้านความนุ่ม (1 = แข็งหรือกระด้าง และ 7= นุ่มมาก)

☐ เส้นแข็งหรือกระด้าง ☐ เส้นแข็ง/กระด้างค่อนข้างมาก ☐ เส้นแข็ง/กระด้างเล็กน้อย

☐ เส้นนุ่มปานกลาง ☐ เส้นนุ่มเล็กน้อย ☐ เส้นนุ่มค่อนข้างมาก ☐ เส้นนุ่มมาก

1.3 ความรู้สึกด้านความเหนียว (1 = ไม่เหนียวหรือเปื่อยมาก และ 7 = เหนียวมาก)

☐ เส้นไม่เหนียวหรือเปื่อยมาก ☐ เส้นไม่เหนียวหรือเปื่อยค่อนข้างมาก ☐ เส้นไม่เหนียวหรือเปื่อยเล็กน้อย

☐ เส้นเหนียวเล็กน้อย ☐ เส้นเหนียวปานกลาง ☐ เส้นเหนียวค่อนข้างมาก ☐ เส้นเหนียวมาก

2. กรุณาบอกระดับความชอบต่อคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว

ความชอบโดยรวม (1 = ไม่ชอบมากที่สุด และ 9 = ชอบมากที่สุด)

☐ ไม่ชอบมากที่สุด ☐ ไม่ชอบมาก ☐ ไม่ชอบปานกลาง ☐ ไม่ชอบเล็กน้อย ☐ เฉยๆ

☐ ชอบเล็กน้อย ☐ ชอบปานกลาง ☐ ชอบมาก ☐ ชอบมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ...

....

....

ภาคผนวก ค.

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชเกาลัดด้วยเครื่อง Wide Angle X-ray Diffraction

Angle 2-theta	d value angstrom	Intensity count	Intensity %
5.66875	15.57768	362.0	36.7
11.18532	7.90413	461.0	46.7
15.05861	5.87866	809.0	82.0
17.22912	5.14265	986.0	100.0
18.03574	4.91443	888.0	90.0
23.27621	3.81848	776.0	78.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 สมบัติด้านความหนืดในช่วง heating-cooling cycle วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่แห้งในน้ำ ที่ pH ต่างกัน

pH	แป้งเกาลัดจากการโม่แห้ง*					
	Peak viscosity (RVU)	Trough viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Pasting temperature (^{O}C)
3	98.33^{b}±2.68	71.39^{b}±2.55	26.95^{b}±0.46	112.80^{b}±3.80	41.42^{c}±1.30	79.40^{a}±0.52
5	97.64^{b}±2.93	88.97^{c}±2.95	8.67^{a}±0.44	117.86^{b}±3.56	28.89^{b}±0.67	80.67^{b}±0.19
7	43.97^{a}±3.46	36.92^{a}±2.89	7.06^{a}±0.70	38.64^{a}±2.86	12.25^{a}±1.91	84.25^{c}±0.44
9	121.00^{c}±3.88	86.30^{c}±6.38	35.03^{c}±3.04	269.75^{c}±6.75	183.44^{d}±1.83	80.82^{b}±0.03

a, b, c,… ที่แตกต่างกันแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

104

ตารางที่ ค.3 สมบัติด้านความหนืดในช่วง heating-cooling cycle วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ของแป้งเกาลัดที่ได้จากการโม่เปียกในน้ำ ที่ pH ต่างกัน

pH	แป้งเกาลัดจากการโม่เปียก*					
	Peak viscosity (RVU)	Trough viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Pasting temperature (^{O}C)
3	102.28[c]±0.63	81.95[b]±2.10	20.33[c]±2.67	120.44[c]±0.33	38.50[c]±2.38	81.35[b]±0.39
5	96.22[b]±0.57	90.31[c]±0.51	5.92[a]±0.08	101.25[b]±0.82	10.94[a]±0.32	82.92[c]±0.40
7	88.33[a] ±1.13	75.42[a]±1.13	12.92[b]±0.14	90.81[a]±1.25	29.47[b]±0.31	83.88[d]±0.12
9	236.86[d]±2.92	151.36[d]±0.64	85.50[d]±2.40	559.89[d]±5.35	408.53[d]±4.83	80.50[a]±0.48

a, b, c,… ที่แตกต่างกันแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

105

ตารางที่ ค.4 สมบัติด้านความหนืดในช่วง heating-cooling cycle วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ของสตาร์ชเกาลัดในน้ำ ที่ pH ต่างกัน

pH	สตาร์ชเกาลัด*					
	Peak viscosity (RVU)	Trough viscosity (RVU)	Breakdown (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Pasting temperature (^{O}C)
3	138.78^{b}±0.48	97.11^{a}±4.86	41.67^{b}±5.01	139.22^{a}±3.81	42.11^{a}±1.07	79.93^{b}±0.03
5	132.97^{a}±1.81	109.36^{b}±3.16	23.61^{a}±1.77	157.25^{b}±4.84	47.89^{b}±1.81	81.88^{c}±0.58
7	150.53^{c}±0.13	133.09^{c}±3.47	17.58^{a}±0.30	196.30^{c}±2.89	63.36^{c}±2.91	82.37^{c}±0.83
9	402.92^{d}±4.93	199.59^{d}±7.07	203.33^{d}±7.12	537.63^{d}±5.30	338.05^{d}±4.86	78.62^{a}±0.46

a, b, c,… ที่แตกต่างกันแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวมนทกานต์ เบญจพลากร เกิดวันที่ 2 พฤษภาคม 2523 ที่จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยนเรศวร เมื่อปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2546

<u>ผลงานวิจัย</u>

เสนอผลงานใน การประชุมวิชาการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 32 (วทท.32) ระหว่างวันที่ 10 – 12 ตุลาคม 2549 ณ ศูนย์ประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ เรื่อง สมบัติทางความร้อนของแป้งและสตาร์ชเกาลัดน่าน *Sterculia monosperma* Vent. (Thermal properties of flour and starch from chestnut *Sterculia monosperma* Vent.)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย