



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การอาหาร)
ปริญญา

วิทยาศาสตร์การอาหาร

วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งและสตาร์ชจากเมล็ดขนุนและการนำไปใช้ประโยชน์
ในผลิตภัณฑ์ซอสพริก

Comparison of Jackfruit Seed Flour and Starch and Its Utilization in Chilli Sauce

نامผู้วิจัย นางสาวเกศกัญญา เร่งสุทธิ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ สงวนศรี เจริญเหรียญ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ศาสตราจารย์ อรอนงค์ นัยวิกุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ธีระกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งและสตาร์ชจากเมล็ดขนุนและการนำไปใช้ประโยชน์
ในผลิตภัณฑ์ซอสพริก

Comparison of Jackfruit Seed Flour and Starch and Its Utilization
in Chilli Sauce

โดย

นางสาวเกษกัญญา เร่งสุทธิ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร)

พ.ศ. 2552

เกษัญญา เร่งสุทธิ 2552: การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งและสตาร์ชจากเมล็ดขนุนและการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ซอสพริก ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตรการอาหาร) สาขาวิทยาศาสตรการอาหาร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สงวนศรี เจริญเหรียญ, Ph.D. 149 หน้า

ขนุนมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Artocarpus heterophyllus* เป็นไม้ผลที่ปลูกทั่วไปในประเทศไทยและประเทศแถบเขตร้อน เนื้อขนุนเมื่อสุกมีสีเหลืองรสหวานและมีเมล็ดขนุนอยู่ภายใน (Tulyathan *et al.*, 2002) ซึ่งเมล็ดขนุนมีปริมาณร้อยละ 10 – 15 ของผลทั้งหมด (Bobbio *et al.*, 1978; Kumar *et al.*, 1988) เมล็ดขนุนจะนำมาต้มกินเล่นแต่ส่วนใหญ่จะเหลือทิ้งโดยไม่ได้นำประโยชน์มากนัก สำหรับวัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ก็นำเมล็ดขนุนมาผลิตแป้งและสกัดสตาร์ช แล้วเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆกับสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่ง นอกจากนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาเป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริก จากการเตรียมแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนพบว่าปริมาณของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนได้ผลผลิตร้อยละ 31.90 และ 10.55 (น้ำหนักเปียก) ตามลำดับ วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีพบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยมากที่สุดแต่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุด แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนจัดอยู่ในกลุ่มมีปริมาณแอมิโลสซึ่งมีเท่ากับร้อยละ 27.73 และ 32.14 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ เม็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนมีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดสตาร์ชข้าวโพด ส่วนเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งมีขนาดใหญ่กว่าเม็ดสตาร์ชอื่นๆ การพองตัวของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนคล้ายกับสตาร์ชข้าวโพด การเปลี่ยนแปลงความหนืดพบว่าอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาทิไนเซชันของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพด ส่วนสตาร์ชมันฝรั่งมีอุณหภูมิเริ่มเกิดเจลาทิไนเซชันต่ำกว่าตัวอย่างอื่น คุณสมบัติด้านความร้อนพบว่าแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนใช้พลังงานในการเกิดเจลาทิไนเซชันน้อยกว่าสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่ง นอกจากนี้แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีโครงสร้างผลึกแบบ A เหมือนกับสตาร์ชข้าวโพด ส่วนสตาร์ชมันฝรั่งมีโครงสร้างผลึกแบบ B คุณสมบัติความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายพบว่า เจลแป้งเมล็ดขนุนมีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายต่ำที่สุดเพราะมีค่าร้อยละการแยกของน้ำมากที่สุดโดยมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างภายในของเจลแป้งเมล็ดขนุนซึ่งมีขนาดรูพรุนใหญ่กว่าเจลอื่นๆ ขณะที่เจลสตาร์ชมันฝรั่งมีขนาดรูพรุนเล็กที่สุด จากการนำแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพดเป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในซอสพริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 พบว่าค่าความเป็นกรดค่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดและค่าสีของซอสพริกทุกชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีความคงตัวมากที่สุด เมื่อทำการเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่าซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนยังมีค่าความคงตัวมากที่สุดขณะที่ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุนมีค่าใกล้เคียงกับซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด นอกจากนี้ยังพบว่าซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีการแยกชั้นน้อยที่สุดขณะที่ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุนมีการแยกชั้นใกล้เคียงกับซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด ดังนั้นสตาร์ชเมล็ดขนุนมีความเหมาะสมมากกว่าแป้งเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพดสำหรับใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในซอสพริก

Kategunya Rengsutthi 2009: Comparison of Jackfruit Seed Flour and Starch and Its Utilization in Chilli Sauce. Master of Science (Food Science), Major Field: Food Science, Department of Food Science and Technology. Thesis Advisor: Associate Professor Sanguansri Charoenrein, Ph.D.
149 pages.

Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) is a popular fruit crop that is widely grown in Thailand and other tropical areas. The perianth ripe fruit contains well yellow sweet bulbs and seeds (Tulyathan *et al.*, 2002). Seeds make up around 10-15% of total fruit weight (Bobbio *et al.*, 1978; Kumar *et al.*, 1988) which are eaten as a snack but are normally discarded. The objectives of this study were to find the percent yield of jackfruit seed flour (JFF) and jackfruit seed starch (JFS) and to compare the properties of JFF and JFS to corn starch (CS) and potato starch (PS). Moreover, possibility in using JFF and JFS as a thickener and stabilizer in chilli sauce was investigated. Our results showed that yield of JFF and JFS were 31.90% and 10.55% (wet basis) respectively. The chemical analysis result that protein, lipid, fiber and ash content of JFF more than other samples but carbohydrate content of JFF was less than other samples. JFF and JFS had high amylose (27.73 and 32.14% respectively) content. The granule size of JFS was similar to CS while the granule size of PS was bigger than other samples. Swelling power of JFF and JFS was similar to that of CS. RVA profile showed pasting temperature of JFF and JFS were similar to CS while PS found a lower pasting temperature than other samples. According to differential scanning calorimetry thermogram JFF and JFS required less energy for gelatinization than CS and PS. The X-Ray Diffraction patterns of JFF and JFS were similar to CS which belonged to A type starch while PS belonged to B type. The JFF gel appear as less resistant to syneresis after freezing and thawing. Scanning electron microscope image of freeze – thawed JFF gel showed spongy structure with larger pore size than other samples while PS gel was less syneresis than other gels. We used JFF, JFS and CS at level 1% as thickener and stabilizer in chilli sauce. The result showed that JFS gave highest consistency. The pH, total soluble solid (°brix), color of all samples were not significantly different. After storage for 4 weeks chilli sauce with JFS had highest consistency. Moreover, JFS gave less separated value than other samples while JFF gave separated value similar to that of CS. Hence, JFS is more suitable to used as a thickener and stabilizer in chilli sauce than JFF and CS.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์เป็นอย่างมากจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สวงศรี เจริญเหรียญ ที่ได้ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการที่ปรึกษา และกรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น แนวทางในการแก้ปัญหา ความเอาใจใส่และความเมตตา ตลอดจนการตรวจสอบและ แก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ นัยวิกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำข้อคิดเห็น และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบ ขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณี จิรภาคย์กุล ประธานควบคุมการสอบปากเปล่าขั้น สุดท้ายและ รองศาสตราจารย์ ดร. ทนง ภัทรชพันธุ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้ความกรุณาตรวจ แก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรม สั่งสอนผู้วิจัยมา

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ทุนสนับสนุนการ ทำวิทยานิพนธ์ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหารทุกท่าน ที่ให้ คำแนะนำและการช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จ ลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณเพื่อน รุ่นพี่ รุ่นน้องนิสิตปริญญาโทและเอกสาขาวิทยาศาสตร์การ อาหารทุกท่านที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือเป็นอย่างมากทั้งร่างกายและแรงใจตลอดช่วง ระยะเวลาของการศึกษาและทำวิจัย

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ น้องสาวที่ให้ความช่วยเหลือและส่งเสริม ตลอดจนเป็นกำลังใจอย่างดีมาโดยตลอด

เกษกัญญา เร่งสุทธิ

กันยายน 2552

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	40
อุปกรณ์	40
วิธีการ	44
ผลและวิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	101
สรุป	101
ข้อเสนอแนะ	104
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	105
ภาคผนวก	119
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์องค์ประกอบและสมบัติของวัตถุดิบ	120
ภาคผนวก ข ข้อมูลประกอบผลการทดลอง	137
ภาคผนวก ค แบบทดสอบผลิตภัณฑ์ซอสพริก	146
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	149

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชจากแหล่งต่างๆ	11
2	ปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชเมล็ดขนุนจากงานวิจัยต่างๆ	11
3	องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากผลไม้	15
4	รูปร่างและขนาดของเม็ดสตาร์ชที่ได้จากแหล่งต่างๆ	19
5	ขนาดเม็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนที่ใช้ในงานวิจัยต่างๆ	20
6	กำลังการพองตัว อุณหภูมิที่เกิดเจลลาติไนเซชันของสตาร์ชชนิดต่างๆ	23
7	องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดขนุนพันธุ์ศรีบรรจง	53
8	ลักษณะและร้อยละของปริมาณผลผลิตได้ของแป้งและสตาร์ช เมล็ดขนุนพันธุ์ศรีบรรจง	53
9	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งและสตาร์ช	56
10	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุนจากงานวิจัยต่างๆ	57
11	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุนจากงานวิจัยต่างๆ	57
12	ปริมาณแอมิโลสของแป้งและสตาร์ชต่างๆ	58
13	ขนาดเฉลี่ยเม็ดของสตาร์ช	60
14	ค่าสีของแป้งและสตาร์ช	62
15	กำลังการพองตัวของแป้งและสตาร์ชที่อุณหภูมิต่างๆ	66
16	ค่า $T_{o\text{Gel}}$, $T_{p\text{Gel}}$, $T_{c\text{Gel}}$, ΔH_{Gel} ของแป้งและสตาร์ชต่างๆ	77
17	ค่า $T_{o\text{Retro-AP I}}$, $T_{p\text{Retro-AP}}$, $T_{c\text{Retro-AP}}$, $\Delta H_{\text{Retro-AP}}$ ของแป้งและสตาร์ชต่างๆ	80
18	ค่าความเป็นกรดต่างของซอสพริก 4 ตัวอย่างก่อนและหลังเก็บรักษา	88
19	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดซอสพริก 4 ตัวอย่างก่อนและ หลังเก็บรักษา	89
20	ค่าสีของซอสพริกพริก 4 ตัวอย่างก่อนและหลังเก็บรักษา	90
21	ค่าความหนืดของซอสพริก 4 ตัวอย่างวัดโดย Brookfield Viscometer	91
22	ค่าความคงตัวของซอสพริก 4 ตัวอย่างวัดโดย Bostwick Consistometer	92

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
23	คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของซอสพริก 4 ตัวอย่าง ก่อนเก็บรักษา
24	คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของซอสพริก 4 ตัวอย่าง หลังเก็บรักษา
ตารางผนวกที่	
ข1	ค่าแฟกเตอร์การพองตัวที่ระดับอุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ของแป้งและสตาร์ช
ข2	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด ความหนืดสูงสุด ความหนืดลดลง ความหนืดสุดท้าย และเซตแบบคของแป้งและสตาร์ช
ข3	ค่าร้อยละการแยกของน้ำหลังการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็งในรอบการแช่เยือก แข็งและการทำละลายที่ 1 – 5 ของเจลแป้งและสตาร์ช
ข4	ค่าการแยกชั้นของซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่างเก็บรักษาที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 สัปดาห์

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ส่วนประกอบของเมล็ดขนุน	6
2 โครงสร้างของเอมิโลส	10
3 โครงสร้างของเอมิโลสในสารละลาย	12
4 โครงสร้างของเอมิโลเพกทิน	13
5 ลักษณะโครงสร้างเอมิโลเพกทินที่ประกอบด้วยผลึกและส่วนอสัณฐาน	14
6 โครงสร้างของเมล็ดสตาร์ช	17
7 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แบบ A (สตาร์ชจากธัญพืช) และ B (สตาร์ชจากพืชหัว)	18
8 ลักษณะเมล็ดสตาร์ชข้าว สาลี มันฝรั่ง ข้าวโพด เมล็ดขนุน เมล็ดทุเรียน จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด	21
9 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว	25
10 การเกิดเจลลาติในเซชันของสตาร์ช	26
11 ผลึกรีโทรเกรด	28
12 ลักษณะและสีของแป้งและสตาร์ช	54
13 ลักษณะและรูปร่างของเมล็ดสตาร์ชจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงส่องกราดที่กำลังขยาย 1000x	59
14 การพองตัวที่ระดับอุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียสของแป้งและสตาร์ช	63
15 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดของแป้งและสตาร์ชจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว	67
16 กราฟการดูดกลืนความร้อนสลายโครงร่างผลึกของเจลลาติในเซชันของแป้งและสตาร์ชจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC	71
17 กราฟการดูดกลืนความร้อนของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนที่ปริมาณน้ำร้อยละ 70 และ 80 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	การกระจายขนาดของเม็ดสตาร์ชของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนจำนวน 500 แกรนูล	73
19	กราฟการดูดกลืนความร้อนของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนโดยให้ความร้อน 2 ครั้ง ด้วยปริมาณน้ำร้อยละ 70 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC	74
20	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ร้อยละความเป็นผลึกและตำแหน่งพีคที่พบของแป้งและสตาร์ช	82
21	ร้อยละการแยกของน้ำจากการแช่เยือกแข็งและการละลาย 5 รอบของเจลแป้งและสตาร์ช	83
22	โครงสร้างเจลของแป้งและสตาร์ชจากการแช่เยือกแข็งและการละลายรอบที่ 1 และ 5	86
23	ลักษณะปรากฏของซอสพริก 4 ตัวอย่างในขวดก่อนและเก็บรักษาเป็นเวลา 4 สัปดาห์	93
24	ค่าการแยกชั้นของซอสพริก 4 ตัวอย่างเก็บรักษาเก็บรักษาที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 สัปดาห์	95
ภาพผนวกที่		
ก1	ปริมาณแอมิโลสและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน	124
ก2	ลักษณะสเปกตรัมที่วัดได้, พื้นที่ใต้พีค (A) และพื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัม	135
ข1	กราฟการดูดกลืนความร้อนสลายโครงสร้างผลึกแอมิโลเพกทินรีโทรเกรดของแป้งและสตาร์ชวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC	140
ข2	เจลแป้งเมล็ดขนุน เจลสตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชมันฝรั่งที่ความเข้มข้นร้อยละ 9	141
ข3	สีของซอสพริก 4 ตัวอย่างบรรจุในขวด	143
ข4	สีของซอสพริก 4 ตัวอย่างบรรจุในถ้วย	143

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข5	การทดสอบความคงตัวของซอสพริก 4 ตัวอย่างด้วย Bostwick consistometer
ข6	การแยกชั้นของซอสพริก 4 ตัวอย่างบรรจุในกระบอกตวงหลังเก็บรักษาที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 สัปดาห์
	144

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

JFF	=	แป้งเมล็ดขนุน
JFS	=	สตาร์ชเมล็ดขนุน
CS	=	สตาร์ชข้าวโพด
PS	=	สตาร์ชมันฝรั่ง
$T_{o\text{Gel}}$	=	อุณหภูมิเริ่มของการเกิดเจลในเซชัน
$T_{p\text{Gel}}$	=	อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดเจลในเซชัน
$T_{c\text{Gel}}$	=	อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลในเซชัน
ΔH_{Gel}	=	ค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลในเซชัน
$T_{o\text{Retro-AP}}$	=	อุณหภูมิเริ่มต้นของการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดรีโทรเกรเดชันของ แอมิโลเพกทิน
$T_{p\text{Retro-AP}}$	=	อุณหภูมิที่จุดสูงสุดของการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดรีโทรเกรเดชันของ แอมิโลเพกทิน
$T_{c\text{Retro-AP}}$	=	อุณหภูมิสุดท้ายของการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดรีโทรเกรเดชันของ แอมิโลเพกทิน
$\Delta H_{\text{Retro-AP}}$	=	ค่าพลังงานของการสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของ แอมิโลเพกทิน

การเปรียบเทียบคุณสมบัติของแป้งและสตาร์ชจากเมล็ดขนุนและการนำไปใช้ประโยชน์ ในผลิตภัณฑ์ซอสพริก

Comparison of Jackfruit Seed Flour and Starch and Its Utilization in Chilli Sauce

คำนำ

ขนุนมีชื่อเรียกทางวิทยาศาสตร์ว่า *Artocarpus heterophyllus* และมีชื่อภาษาอังกฤษว่า Jack-fruit ส่วนต่างๆของขนุนสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน สำหรับการบริโภคสามารถนำมารับประทานได้ตั้งแต่ผลดิบจนสุก และทั้งยังสามารถแปรรูปให้เกิดมูลค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นขนุนจึงเป็นไม้ผลทางเศรษฐกิจที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย ผลผลิตขนุนรวมทั้งประเทศในปี 2550 มีปริมาณ 79,743.78 ตันต่อปี (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550) มีการนำขนุนมาใช้แปรรูปต่างๆ เช่น ขนุนกวนปรุงรส ขนุนเชื่อม ขนุนแช่อิ่ม ขนุนแผ่นกรอบ ขนุนแผ่นบาง ขนุนแผ่นหนา ข้าวเกรียบขนุน (มันหนาและคณะ, 2550) ซึ่งนอกจากเกษตรกรและกลุ่มแม่บ้านทำการผลิตขึ้นเพื่อจำหน่ายภายในประเทศแล้ว ในปัจจุบันยังมีบริษัทหรือโรงงานขนาดเล็กและกลางทำการผลิตขนุนทอดกรอบและขนุนอบแห้งในรูปแบบขบเคี้ยว (jack fruit chip) ส่งจำหน่ายต่างประเทศและกำลังได้รับความนิยมอย่างมาก เนื่องจากเป็นผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวที่ทำจากผลไม้ มีคุณค่าทางโภชนาการและรสชาติอร่อยกว่าผลิตภัณฑ์ขบเคี้ยวฟองกรอบที่ทำจากแป้ง ในกระบวนการผลิตขนุนทอดกรอบและขนุนอบแห้งจะมีเมล็ดขนุนเป็นวัสดุเศษเหลือซึ่งโดยมากทางโรงงานจะทิ้งหรือในบางครั้งขายในราคาที่ต่ำมากให้แก่ชาวบ้านไปต้มรับประทานซึ่งมีผู้รับซื้อไม่มากนัก มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเมล็ดขนุนมาสกัดเป็นแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุน วิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนตลอดจนการนำไปใช้ดังนี้ Bobbio *et al.* (1978) สกัดสตาร์ชเมล็ดขนุนและวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ พบว่าสามารถสกัดสตาร์ชเมล็ดขนุนได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 10-15 ของน้ำหนักเมล็ดขนุนสด สตาร์ชเมล็ดขนุนมีความคงตัวดี (paste stability) ขณะที่ให้ความร้อนและแรงเฉือน จึงน่าจะเหมาะที่จะนำสตาร์ชเมล็ดขนุนไปใช้ในผลิตภัณฑ์ที่ต้องการความคงทนต่อความร้อนและแรงเฉือน เช่น ใส้พาย ชุปกระป๋อง อาหารเด็กอ่อน Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) สกัดแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนและพบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีความคงตัวต่อความร้อนและแรงเฉือนทางกลไกระหว่างการทำให้สุกซึ่งสตาร์ชเมล็ดขนุนที่มีปริมาณเอมิโลสสูง

จะมีความคงตัว (paste stability) ดีในระหว่างการให้ความร้อน ดังนั้น Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) จึงเสนอว่าควรนำสตาร์ชเมล็ดขนุนไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในอาหาร Tulyathan *et al.* (2002) นำแป้งเมล็ดขนุนไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมปังผลปรากฏว่าค่าปริมาตรจำเพาะ (specific volume) ของขนมปังลดลงร้อยละ 51 ที่ระดับการใช้แป้งเมล็ดขนุนร้อยละ 5 กับแป้งสาลีร้อยละ 95 ดังนั้นผู้วิจัยกลุ่มนี้ให้ความเห็นว่าแป้งเมล็ดขนุนที่ปริมาณต่ำกว่าร้อยละ 5 สามารถทดแทนการใช้แป้งสาลีสำหรับผลิตขนมปัง นอกจากนี้อมรรัตน์ (2546) ตรวจสอบการใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนเป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซอสมะเขือเทศและไส้พายพบว่าสามารถใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนเป็นสารที่ให้ความหนืดในซอสมะเขือเทศและเมื่อเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์พบว่าความหนืดของซอสมะเขือเทศไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้สตาร์ชเมล็ดขนุนมีความคงตัวในสภาพเป็นกรดเมื่อใช้เป็นไส้พายมะนาว

ซอสพริกเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นเครื่องจิ้มและปรุงรสช่วยเพิ่มรสชาติให้อาหารซึ่งได้รับความนิยมบริโภคเป็นอย่างมาก การเติบโตของร้านอาหารไทยก็เป็นช่องทางที่ช่วยผลักดันส่งออกเครื่องปรุงรสของไทยทำให้ซอสพริกมีการขยายตัวร้อยละ 11 และคาดว่าจะมีการเติบโตขึ้นอีก (มดิชน, 2550) ซอสพริกเตรียมจาก พริก และมีส่วนประกอบอื่นๆ เช่น เกลือ น้ำส้มสายชู น้ำตาล เครื่องเทศ และอาจเติมสารคงตัว ลักษณะที่ดีของซอสพริก คือ มีสีตามธรรมชาติ สีสม่ำเสมอ เป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีส่วนที่เป็นน้ำใสแยกออกมา ไม่มีวัตถุแปลกปลอม มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติของซอสพริกคือมีกลิ่นน้ำส้มสายชูและกลิ่นพริก นอกจากลักษณะปรากฏ เช่น สีและความสวยงามของบรรจุภัณฑ์แล้ว ลักษณะทางกายภาพอื่นๆ ได้แก่ ความหนืดและความคงตัวของซอสพริกก็เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการยอมรับของผู้บริโภค ซึ่งปัญหาที่พบของซอสพริกคือเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลานาน ความหนืดเปลี่ยนไปหรือเกิดการแยกชั้น ซึ่งผู้ผลิตบางรายมีการเติมสารคงตัวเพื่อปรับความหนืดให้เหมาะสมและเพิ่มความคงตัวเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการแยกชั้นของเนื้อซอสและน้ำ สารประกอบที่ให้ความหนืดและความคงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสคือ สตาร์ชตามธรรมชาติ สตาร์ชดัดแปร กัม ซึ่งในบรรดาสตาร์ชตามธรรมชาติจะมีการใช้สตาร์ชข้าวโพดมากที่สุด (ศิวาพร, 2535) สตาร์ชข้าวโพดใช้เป็นส่วนผสมของอาหารเป็นจำนวนมาก แต่ปริมาณการผลิตสตาร์ชข้าวโพดภายในประเทศไม่เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค จึงต้องสั่งเข้ามาจากต่างประเทศ ปี 2551 ประเทศไทยนำเข้าสตาร์ชข้าวโพดปริมาณ 9,195,112 ตันเป็นจำนวนเงินถึง 161 ล้านบาท (กรมศุลกากร, 2551ก) ถ้าสามารถหาวัตถุดิบแหล่งใหม่ซึ่งมีอยู่ในประเทศและใช้แทนสตาร์ชข้าวโพดได้จะช่วยลดค่าใช้จ่ายสำหรับการนำเข้าสตาร์ชข้าวโพดจากต่างประเทศ

ดังนั้น งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์นำเมล็ดขนุนที่เหลือจากการแปรรูปขนุนมาทำการผลิตแป้งและสกัดสาร คำนวณหาค่าร้อยละของผลผลิตที่ได้ (% yield) และวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆ เปรียบเทียบกับสารข้าวโพดและสารมันฝรั่ง นอกจากนี้ยังศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งและสารเมล็ดขนุนมาใช้ประโยชน์เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวแทนสารข้าวโพดในผลิตภัณฑ์ซอสพริก

วัตถุประสงค์

1. ผลิตและตรวจสอบร้อยละผลผลิตที่ได้ของแป้งเมล็ดขนุนและสตาร์ชเมล็ดขนุน
2. เปรียบเทียบสมบัติต่างๆของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนกับสตาร์ชข้าวโพดกับสตาร์ชมันฝรั่ง
3. ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในซอสพริก

การตรวจเอกสาร

1. ขนุน

ขนุนมีชื่อสามัญว่า jackfruit เป็นพืชในวงศ์ Moraceae และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Artocarpus heterophyllus* Lam. ซึ่งเป็นไม้ผลที่ปลูกทั่วไปในประเทศไทยและแถบประเทศเมืองร้อน มีการแบ่งขนุนโดยยึดหลักตามลักษณะคุณภาพและขนาดของผล ออกเป็น 3 ชนิดดังนี้ 1.สายพันธุ์ขนุนละมุด เป็นขนุนที่มีลักษณะผลค่อนข้างกลมและเล็ก เปลือกบาง เมื่อสุกผลนิ่ม ชุ่มอ่อนนุ่มเหนียว ขวงไม่มาก เนื้อขวงและเมื่อสุก ให้รสหวานจัดและกลิ่นแรง 2.สายพันธุ์ขนุนหนัง มีผลกลมยาว ยาวมาก ไข่เล็ก ยาวมาก ขวงมากและมีลักษณะแห้งไม่แฉะ เนื้อแน่นหวานกรอบ 3.สายพันธุ์ขนุนจำปาตะ เป็นพันธุ์ที่มีผลเล็กกว่า 2 พันธุ์แรก เปลือกบาง เนื้อขวงค่อนข้างและ รสหวาน กลิ่นหอมฉุน (ศักดิ์สิทธิ์, 2545) ลักษณะทั่วไปของขนุน ลำต้นขนาดใหญ่ สูงประมาณ 10-25 เมตร กิ่งก้านสั้น ใบขนุนเรียวยาวคล้ายรูปไข่ เนื้อใบหนาและหยาบ หลังใบสีเขียวเข้มเป็นมัน ดอกขนุนเป็นแบบดอกตัวผู้และดอกตัวเมียแยกกันอยู่คนละดอกแต่อยู่บนต้นเดียวกัน (ศักดิ์สิทธิ์, 2545) ผลเป็นแบบผลรวม (multiple fruit) มีน้ำหนักประมาณ 15-50 กิโลกรัมต่อผล ขวงมีลักษณะหวาน หอม หนา บาง ขึ้นอยู่แต่ละสายพันธุ์ ในผล 1 ผล อาจมีเมล็ด 100-500 เมล็ด ซึ่งคิดเป็นน้ำหนักร้อยละ 8-15 ของน้ำหนักรวมทั้งผล (นพรัตน์, 2536) เมล็ดขนุนมีลักษณะเป็นรูปทรงไข่และไต เมล็ดขนุนมีเปลือกหุ้ม 2 ชั้น ดังภาพที่ 1 ชั้นนอกเป็นเยื่อสีขาว ผิวเรียบมัน (white aril) ส่วนชั้นในเป็นเยื่อบางสีน้ำตาล มีลวดลายคล้ายเนื้อไม้ (thin brown spermoderm) เนื้อเมล็ดมีสีขาวออกเหลืองซึ่งส่วนใหญ่เป็น cotyledon มีสตาrchเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง (Winton and Winton, 1935; Mukherjee *et al.*, 1960)



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของเมล็ดขนุน ได้แก่ 1: เปลือกชั้นนอกสีขาว (aril), 2: เปลือกชั้นในเป็นเยื่อบางสีน้ำตาล (spermoderm), 3: เนื้อเมล็ดขนุน (cotyledon)

2. แป้งและสตาร์ช

แป้ง (flour) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัตถุดิบที่มีคาร์โบไฮเดรตสูงเช่นข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด มันฝรั่ง โดยการบดหรือโม่ กรรมวิธีการผลิตมี 3 วิธี คือวิธีโม่แห้ง วิธีโม่เปียก และวิธีผสม จากนั้นนำมาอบแห้งด้วยลมร้อนและร้อนให้แป้งมีความละเอียดตามวัตถุประสงค์การใช้ ส่วนประกอบของแป้งประกอบด้วยสารอาหารต่างๆที่มีอยู่ในวัตถุดิบคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย แร่ธาตุต่างๆ (รุ่งทิพา, 2543) Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) ทำการผลิตแป้งเมล็ดขนุนด้วย 2 วิธีคือโม่แห้งและโม่เปียก แป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากการโม่แห้งมีปริมาณโปรตีน ไขมัน ถั่ว สูงกว่าแป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากการโม่เปียก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ มณฑานต์ (2549) พบว่าการโม่แห้งแป้งเมล็ดมีปริมาณโปรตีน ไขมัน ถั่ว สูงกว่าแป้งเมล็ดที่ได้จากการโม่เปียก เนื่องจากกระบวนการโม่เปียกเป็นการโม่วัตถุดิบพร้อมด้วยน้ำ ทำให้โปรตีนที่ละลายน้ำได้ และ non starch bound-lipids บางส่วนถูกชะล้างออกไปกับน้ำในระหว่างการโม่ (Medcalf and Lund, 1985) นอกจากนี้ Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) พบว่าแป้งเมล็ดขนุนจากการโม่แห้งมีปริมาณแอมิโลสต่ำกว่าแป้งเมล็ดขนุนจากการโม่เปียกเนื่องจากแป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากการโม่แห้งมีปริมาณไขมันสูงกว่า จึงอาจเกิดสารประกอบเชิงซ้อน amylose lipid complex ได้มากกว่าแป้งเมล็ดขนุนที่ได้จากการโม่เปียก แอมิโลสจึงไม่สามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนให้สีน้ำเงินได้ ส่งผลให้ปริมาณแอมิโลสในแป้งเมล็ดขนุนจากการโม่แห้งมีค่าต่ำกว่าแป้งเมล็ดขนุนจากการโม่เปียก ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ มณฑานต์ (2549) ที่พบว่าแป้งเมล็ดจากการโม่แห้งมีปริมาณแอมิโลสต่ำกว่าแป้งเมล็ดจากการโม่เปียก

Tulyathan *et al.* (2002) ทำการผลิตแป้งเมล็ดขนุนโดยปอกเปลือกสีขาวออกและนำไปแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 5 เป็นเวลา 2 นาทีลอกเปลือกสีน้ำตาลออก นำเมล็ดมาผ่านเป็นแผ่นบางๆและนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 50-60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 13 จากนั้นนำแผ่นเมล็ดขนุนไปบดเป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 ไมโครเมตร ซึ่งได้ปริมาณผลผลิตแป้งร้อยละ 36.4

สตาร์ช (starch) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำแป้งมาผ่านกระบวนการกำจัดส่วนของโปรตีนที่อยู่ร่วมกับสตาร์ชออกไป (พนอจิต, 2531) จนมีความบริสุทธิ์สูงมาก Tester (1997) กล่าวว่าสตาร์ชที่มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เป็นสตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์สูง การแยกโปรตีนมักใช้ การแยกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลายๆครั้งและล้างออกด้วยน้ำ จากนั้นแยกน้ำและนำตะกอนที่ได้มาอบแห้ง (สยามล, 2544) สตาร์ชเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดหนึ่งพบมากได้จากการสังเคราะห์แสงซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส ที่ประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ที่มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่าปลายรีดิวซิง (reducing end group)

มีงานวิจัยที่ทำการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดขนุนและเมล็ดผลไม้ต่างๆหลากหลายวิธี ซึ่งแต่ละวิธีจะให้ปริมาณสตาร์ช องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ช สมบัติทางกายภาพ สมบัติเคมีเชิงกายภาพแตกต่างกันไป Bobbio *et al.* (1978) ทำการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดขนุนโดยนำเมล็ดมาปอกเปลือกสีน้ำตาล แล้วจึงผ่านเมล็ดจากนั้นนำเมล็ดที่ผ่านมานี้ไปผสมกับสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 (น้ำหนัก/ปริมาตร) เป็นเวลา 2 นาที กรองสารละลายด้วยผ้าฝ้ายบางๆเพื่อกำจัดเส้นใยออกลดอุณหภูมิของเหลวที่กรองได้ลดลงเหลือ 4-5 องศาเซลเซียส แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดน้ำตาลที่ละลายได้ (soluble sugar) และนำมาล้างด้วยเอทานอลที่ความเข้มข้นร้อยละ 80 นำสตาร์ชอบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จนสตาร์ชที่ได้มีความชื้นสุดท้ายต่ำกว่าร้อยละ 13 วิธีนี้จะได้ปริมาณผลผลิต (% yield) ร้อยละ 10-15 (น้ำหนักเปียก) ซึ่งได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 25-40 (น้ำหนักแห้ง)และมีปริมาณโปรตีนและเถ้าเท่ากับร้อยละ 0.32 และ 0.22 ตามลำดับ

นฤจิต (2529) สกัดสตาร์ชจากเมล็ดขนุนโดยปอกเปลือกแข็ง (aril) ของเมล็ดขนุนออกเหลือส่วนที่มีสีน้ำตาลแดง (spermoderm) จากนั้นนำเมล็ดขนุนแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ไซค์เข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 30 นาที นำมาล้างน้ำหลายครั้งเพื่อกำจัดค้างออก นำมาปั่นผสมกับ สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์เข้มข้นร้อยละ 0.5 แยกกากออก จากนั้นตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน เท สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ทิ้ง ล้างน้ำและตะกอนหลายๆครั้ง โดยครั้งสุดท้ายล้างด้วย แอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 แล้วนำมาอบในตู้อบจนแห้ง

Oates and Powell (1995) สกัดสตาร์ชจากเมล็ดผลไม้ต่างๆได้แก่ เมล็ดขนุน เมล็ดทุเรียน เมล็ดมะม่วง เมล็ดลำไย เมล็ดเงาะ โดยนำเมล็ดผลไม้เหล่านี้มาปอกเปลือกออกแล้วนำมาแช่น้ำ เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นนำมาล้างและปั่นด้วยความเร็วต่ำเป็นเวลา 2 นาที กรองกากออกด้วยถุงผ้า ขาวบางขนาดรูประมาณ 80 ไมโครเมตร จากนั้นนำมาล้างและตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 3 ครั้งและ นำมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 10 และสารละลายไทอูอินความ เข้มข้นร้อยละ 0.02 เพื่อละลายและแยกโปรตีน แล้วล้างออกด้วยน้ำและนำสตาร์ชมาอบแห้งที่ อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ปริมาณร้อยละผลผลิต (น้ำหนักแห้ง) ที่ได้ของสตาร์ชจากเมล็ดผลไม้มี ดังนี้ สตาร์ชเมล็ดขนุนร้อยละ 14.05 สตาร์ชเมล็ดทุเรียนร้อยละ 3.00, สตาร์ชเมล็ดมะม่วงร้อยละ 11.20 สตาร์ชเมล็ดลำไยร้อยละ 15.00 สตาร์ชเมล็ดเงาะร้อยละ 7.20

Tulyathan *et al.* (2002) สกัดสตาร์ชเมล็ดขนุนจากแป้งเมล็ดขนุน โดยใช้แป้งเมล็ดขนุน ผสมกับน้ำอัตราส่วน 3:1 นำน้ำแป้งกรองผ่านตะแกรงขนาด 70 ไมโครเมตรเพื่อกำจัดเส้นใย ตั้งทิ้ง ไว้ให้ตกตะกอนและเทของเหลวส่วนบนออกโดยมีอุณหภูมิต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส นำสตาร์ชไป อบแห้งที่อุณหภูมิ 40 – 60 องศาเซลเซียส จนมีความชื้นน้อยกว่าร้อยละ 13 นำสตาร์ชไปบดด้วย โกร่งและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 70 ไมโครเมตร วิธีการสกัดนี้ได้ปริมาณโปรตีนร้อยละ 1.84 (น้ำหนักแห้ง)

Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) สกัดสตาร์ชโดยนำเมล็ดขนุนมาปั่นผสมกับ สารละลายโซเดียมซัลไฟต์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 เป็นเวลา 2 นาที และกรองกำจัดเส้นใยออก ล้าง น้ำกลั่นเพื่อกำจัดน้ำตาลที่ละลายได้ (soluble sugar) และนำไปหมუნเหวี่ยง ล้างสตาร์ชด้วยน้ำกลั่น และเอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 และล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง นำไปอบแห้งและบด ได้ปริมาณ โปรตีนร้อยละ 0.81 ปริมาณไขมันและเถ้าเท่ากับร้อยละ 0.90 และ 0.17 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ

Tongdang (2008) ทำการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดผลไม้ได้แก่ เมล็ดขนุน เมล็ดทุเรียน โดยนำ เมล็ดเหล่านี้ไปปอกเปลือกสีกินน้ำตาล นำเมล็ดผลไม้ต่างๆปั่นผสมกับสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความ

เข้มข้นร้อยละ 1 เป็นเวลา 2 นาที กรองสารละลายด้วยผ้าไนลอนและล้างตะกอนด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 อีก 3 ครั้ง กรองและนำตะกอนที่เดิมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 โมลาร์มาหมუნเหวี่ยงแยก ทำซ้ำจนส่วนบนของสารละลายใส ปรับให้เป็นกลางด้วยสารละลายไฮดรอกลอร์ริกความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ กรองสารละลายสตาร์ชด้วยผ้าไนลอนและนำสตาร์ชอบแห้งที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส วิธีการสกัดนี้ให้ปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเมล็ดขนุนเท่ากับร้อยละ 18.20 (น้ำหนักแห้ง) สตาร์ชจากเมล็ดทุเรียนร้อยละ 10.20 (น้ำหนักแห้ง)

มนทกานต์ (2549) ทำการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดเกล็ดโดยแปรชนิดและความเข้มข้นของสารสกัด คือ น้ำ สารละลายโซเดียมไบซัลไฟด์ ความเข้มข้น 3 ระดับร้อยละ (0.3, 0.5 และ 0.7 น้ำหนัก/ปริมาตร) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 3 ระดับร้อยละ (0.1, 0.3 และ 0.5 น้ำหนัก/ปริมาตร) พบว่าชนิดและความเข้มข้นของสารสกัดไม่มีผลต่อปริมาณผลผลิตของสตาร์ช ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อปริมาณโปรตีนในสตาร์ชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งพบว่าสารสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 จะได้สตาร์ชที่มีปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด

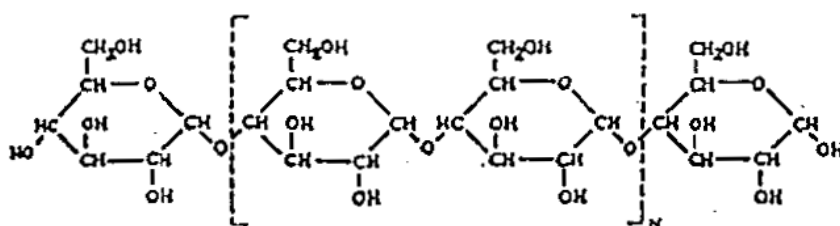
2.1 องค์ประกอบภายในของสตาร์ช

2.1.1 แอมิโลส

ภายในเมล็ดสตาร์ชประกอบด้วยพอลิเมอร์กลูแคน 2 ชนิดผสมกันคือ แอมิโลส (amylose) เป็นพอลิเมอร์สายยาวของ α -(1,4) กลูแคนและแอมิโลเพกทิน (amylopectin) เป็นสายแขนงที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่และมีน้ำหนักโมเลกุลสูงต่อกันด้วยพันธะ α -(1,4) เป็นสายตรงและมีพันธะ α -(1,6) เป็นสายแขนง แอมิโลสและแอมิโลเพกทินที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดสตาร์ชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันที่มีระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของแต่ละสาย ตำแหน่งที่อยู่ในเมล็ดสตาร์ชและสัดส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพกทิน เมล็ดสตาร์ชส่วนใหญ่จะมีแอมิโลสเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 20-39 และมีแอมิโลเพกทินประมาณร้อยละ 70-89 แต่สตาร์ชจากถั่ว (peas) และข้าวโพดบางสายพันธุ์มีแอมิโลสสูงร้อยละ 50-80 เรียกว่า amylomaize และมีข้าวโพดบางสายพันธุ์ที่เมล็ดสตาร์ชประกอบด้วยแอมิโลเพกทินร้อยละ 100 และไม่มีแอมิโลส

เลยเรียกว่า waxy maize ถ้าเป็นสตาล์ข้าวฟ่าง (millet) ที่ไม่มีแอมิโลสเลยเรียกว่า waxy millet (นิธิยา, 2545)

แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์สายตรง เกิดจากกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -(1,4) กลูโคซิดิก (glucosidic linkage) (Singh *et al.*, 2003) ดังภาพที่ 2 และอาจมีกิ่งแขนงบ้างเล็กน้อย จำนวนกิ่งแขนงมีกลูโคสประมาณ 2-11 หน่วยกลูโคส แตกต่างกันไปตามชนิดและแหล่งที่มาของสตาล์ (Donovan, 1979) โดยสายกิ่งแขนงต่อเชื่อมพันธะ α -(1,6) กลูโคซิดิก เนื่องจากมีสายกิ่งแขนงน้อยมาก จึงถือว่าเป็นโมเลกุลสายตรง (Phillips and Williams, 2000) โมเลกุลแอมิโลสมีขนาดเล็กกว่าแอมิโลเพกทินมาก มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 500,000 มีความยาวของสายโมเลกุลโดยเฉลี่ย 250-670 หน่วยกลูโคส เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นสายตรง จึงมักเรียงตัวกันในลักษณะผลึก (crystal) (Tester, 1997)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของแอมิโลส

ที่มา: Hosene (1996)

ปี 1992 Juliano ได้แบ่งสตาล์ออกเป็น 4 กลุ่มตามระดับแอมิโลสได้แก่ กลุ่มสตาล์ข้าวเหนียวมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 0-2 กลุ่มสตาล์ข้าวที่มีปริมาณแอมิโลสดำมาร้อยละ 5-12 กลุ่มสตาล์ที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลางร้อยละ 20-25 และกลุ่มสตาล์ข้าวที่มีปริมาณสูงร้อยละ 25-33 การที่สตาล์มีปริมาณแอมิโลสแตกต่างกันมาจากกิจกรรมของเอนไซม์ต่างๆที่ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์สตาล์ (Singh *et al.*, 2003) โมเลกุลแอมิโลสในสตาล์ซึ่งพืชสามารถอยู่ในรูปอสัณฐาน (amorphous form) ได้ 2 แบบ คือ แอมิโลสและไขมันอิสระ (lipid free amylose) (FAM) และรูปที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนแอมิโลสกับไขมัน (amylose-lipid-complex) (LAM) (Tester, 1997) แอมิโลสสามารถจับกับไอโอดีน โดยจะพันเป็นเกลียว (helical structure) รอบๆ

ไอโอดีนได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (amylose-iodine complex) มีสีน้ำเงิน สีที่เกิดขึ้นจะแปรผันตามความยาวของสายแอมิโลสและจำนวนเกลียว (helix turn) ของสายแอมิโลส (นิธิยา, 2545)

ตารางที่ 1 ปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชจากแหล่งต่างๆ

แหล่งของสตาร์ช	แอมิโลส (ร้อยละ)
ข้าวเจ้า	18
ข้าวเหนียว	1
ข้าวโพด	22
มันฝรั่ง	23
มันสำปะหลัง	16
เมล็ดขนุน	27.7 – 28.5
เมล็ดทุเรียน	25.2 – 29.0
เมล็ดมะม่วง	20.3 – 26.9
เมล็ดลำไย	26.0 – 27.7
เมล็ดเงาะ	26.4 – 27.0
เมล็ดเกาลัด	36.63

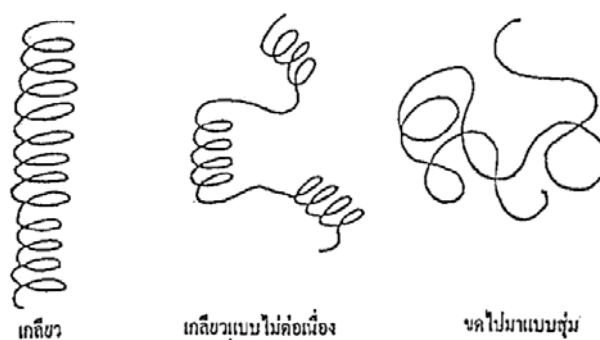
ที่มา: Belitz and Grosch (1986), Tongdang (2008) และ มณฑกานต์ (2549)

มีงานวิจัยหลากหลายที่วิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชเมล็ดขนุน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชเมล็ดขนุนจากงานวิจัยต่างๆ

ปริมาณแอมิโลส	คณะผู้วิจัย
27.70 – 28.50	Oates and Powell (1995)
32.05	Tulyathan (2002)
52.53	Makprasirt and Sajjaanatakul (2004)
24.40	Tongdang (2008)

โครงสร้างของแอมิโลสเมื่ออยู่ในสารละลายมีหลายรูปแบบ ดังภาพที่ 3 คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือ ม้วนอย่างไม่เจาะจง (random coil) ในสารละลายที่อุณหภูมิห้อง แอมิโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว แต่ในตัวทำละลายบางชนิดแอมิโลสจะอยู่ในลักษณะม้วนอย่างไม่เจาะจง นอกจากนี้ โครงสร้างของแอมิโลสยังขึ้นอยู่กับขนาดโมเลกุลด้วย แอมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 6,500-160,000 จะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่ (double helix) ส่วนแอมิโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยกว่า 6,500 หรือมากกว่า 160,000 จะมีโมเลกุลเป็นแบบไม่เจาะจงและอาจมีบางส่วนละลายได้ (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

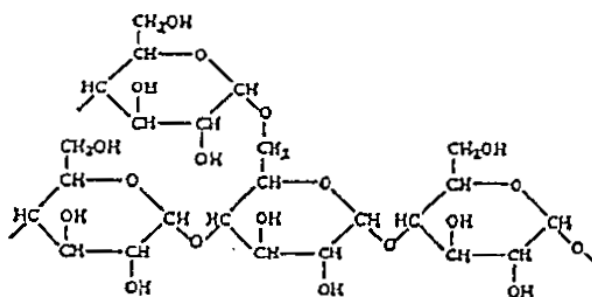


ภาพที่ 3 โครงสร้างของแอมิโลสในสารละลาย

ที่มา: Sanders (1996)

2.2.2 แอมิโลเพกทิน

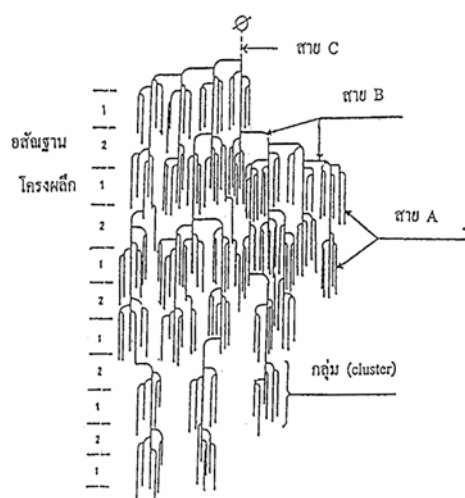
แอมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -(1,4) และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มีระดับขึ้นการเกิดพอลิเมอร์อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -(1,6) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 โครงสร้างของเอมิโลเพกทิน

ที่มา: Hosney (1996)

หน่วยกลูโคสที่มีพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -(1,6) มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในเอมิโลเพกทินทั้งหมด ขนาดโมเลกุลของเอมิโลเพกทินในแป้งแต่ละชนิดมีค่าประมาณ 2 ล้านหน่วย เอมิโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของเอมิโลส คือประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราการรีโทรเกรเดชันต่ำเนื่องจากเอมิโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งเอมิโลเพกทินทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีนได้สารประกอบเชิงซ้อนที่มีสีแดง (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของเอมิโลเพกทินประกอบด้วยสายโซ่ (chain) 3 ชนิด ดังภาพที่ 5 คือ สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียวไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า และสาย C (C-chain) เป็นสายแกนซึ่งประกอบด้วยหน่วยรีดิวิซิง 1 หมู่ ในเอมิโลเพกทินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วย C หนึ่งสายเท่านั้น (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2546)



ภาพที่ 5 ลักษณะโครงสร้างแอมิโลเพกทินที่ประกอบด้วยผลึกและส่วนอสัณฐาน

1= ส่วนผลึก, 2= ส่วนอสัณฐาน

ที่มา: Lineback (1996)

แอมิโลเพกทินถือว่ามีค่าความสำคัญมากกว่าแอมิโลสทั้งด้านโครงสร้าง หน้าที่ และการนำไปใช้ ดังนั้นเมื่อมีแอมิโลเพกทินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดสตาร์ชได้ ปริมาณของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของสตาร์ชแตกต่างกันไป (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546)

2.2.3 ไขมัน

สตาร์ชมีไขมันอยู่ทั้งในเม็ดสตาร์ชและบริเวณผิวด้านนอกของเม็ดสตาร์ช โดยไขมันที่อยู่บริเวณผิวด้านนอกของเม็ดสตาร์ชสามารถเกิดการออกซิเดชันทำให้เกิดกลิ่นเหม็นหืนที่เรียกว่า กลิ่นธัญพืช (cereal odor) (Singh *et al.*, 2003) ประเภทของไขมันส่วนใหญ่คือ ไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) กรดไขมันอิสระ (free fatty acid) กลูโคลิพิด (glucolipids) ฟอสโฟลิพิด (phospholipids) ไขมันสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลแอมิโลส (LAM) ซึ่งเกิดจากการที่โมเลกุลแอมิโลสพันเกลียวรอบไขมันประเภทสารประกอบมโนแอซิล (monoacyl) โดยบริเวณส่วนในของเกลียวเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) (Tester, 1997) สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้เกิดขึ้นในระหว่างเกิดเจลาทิไนเซชัน นอกจากนี้โมเลกุลแอมิโลสสามารถรวมตัวกับ

ไฮโดรเจนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกปริมาณแอมโมเนียที่มีในสสาร (Swinkels, 1985)

2.2.4 โปรตีน

แป้งจะมีปริมาณโปรตีนมากกว่าสสาร ภายในสสารมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบในปริมาณน้อย โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดสสาร ทำให้เกิดประจุพื้นผิวบริเวณเม็ดสสาร มีผลต่อการกระจายของเม็ดสสารในน้ำ ทำให้มีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลลาติไนซ์ที่เปลี่ยนแปลงไปและทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) ระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนแปลงไป โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาเหล่านี้จะเกิดขึ้นกับสสารจากธัญพืช เนื่องจากมีโปรตีนสูง (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546)

2.2.5 เถ้า

แป้งและสสารโดยทั่วไปมีเถ้าซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารอนินทรีย์ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียมและแคลเซียม สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้จากส่วนที่เหลือหรือเถ้าจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ปริมาณเถ้าในสสารมันฝรั่งจะสัมพันธ์กับหมู่ฟอสฟอรัสในสสาร สำหรับเถ้าในสสารจากธัญพืชจะสัมพันธ์กับปริมาณฟอสฟอรัส (Swinkels, 1985)

มีงานวิจัยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีต่างๆ ของสสารจากผลไม้ ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากผลไม้

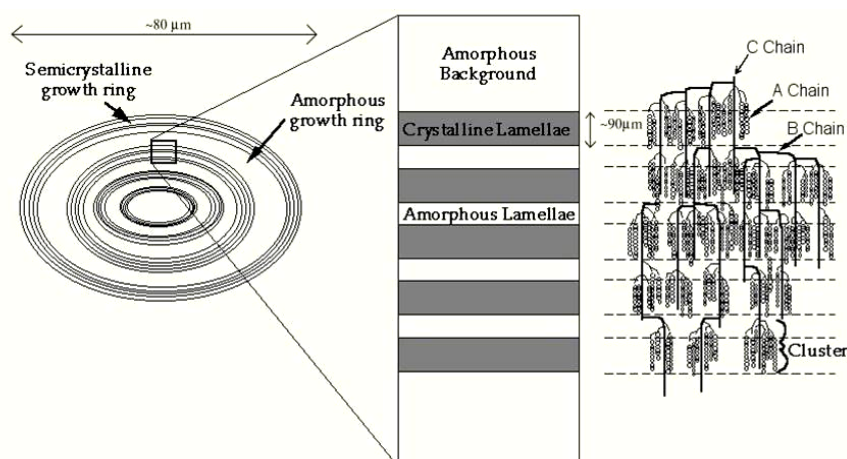
(หน่วย: ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

สตาร์ช	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
เมล็ดขนุน	11.66	0.10	0.02	0.29	-	-
เมล็ดทุเรียน	12.18	0.09	0.01	0.48	-	-
เมล็ดถั่วเขียว	11.94	0.09	0.04	0.34	-	-
เมล็ดเกาลัด	-	0.28	trace	trace	0.15	99.58

ที่มา: Tongdang (2008) และ มณฑกานต์ (2549)

2.3 โครงสร้างของเม็ดสตาร์ช

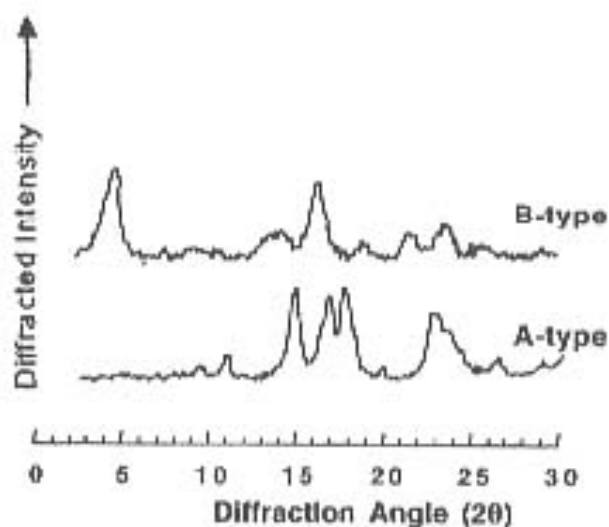
เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชอธิบายในรูปแบบของส่วนอสัณฐาน (amorphous region) และส่วนโครงสร้างผลึก (crystalline region) ที่เรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ ในแนวรัศมีของเม็ดสตาร์ช (Donovan, 1979) มีลักษณะเป็นวงอายุ (growth ring) ดังภาพที่ 6 ทุกวงอายุประกอบด้วยส่วนอสัณฐานและส่วนโครงสร้างผลึกสลับกัน (Vanderputte *et al.*, 2003) ในส่วนอสัณฐานเป็นส่วนที่ไม่มีความเป็นผลึก ประกอบด้วยจุดเชื่อมกิ่ง (branch point) ของโมเลกุลแอมิโลเพกทินและโมเลกุลแอมิโลส (Singh *et al.*, 2003) นอกจากนี้ Donovan (1979) รายงานว่าตำแหน่งของแอมิโลสในเม็ดสตาร์ชยังไม่ทราบอย่างแน่นอน แต่โมเลกุลแอมิโลสน่าจะเรียงตัวในแนวรัศมีในเม็ดสตาร์ช และมีบางส่วนที่เกิดโครงสร้างผลึกร่วมกับแอมิโลเพกทิน (co-crystallisation) ส่วนโครงสร้างผลึกของทั้งสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง (normal starch) และสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ (waxy starch) เกิดจากการที่กิ่งแขนงของโมเลกุลแอมิโลเพกทินพันกันเกิดเป็นเกลียวคู่ (double helices) ด้วยพันธะไฮโดรเจน ทำให้โครงสร้างผลึกมีความเสถียร (Tester, 1997) ความเป็นผลึกในเม็ดสตาร์ชเพิ่มมากขึ้นเมื่อโครงสร้างผลึกเกิดการรวมตัวกันได้มากขึ้น (Tester, 1997) ลักษณะโครงสร้างผลึกมี 3 แบบ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเป็นผลึกแบบ A (ธัญพืชต่างๆ) ถ้าเรียงตัวกันหลวมๆ จะเกิดผลึกแบบ B (พืชหัว) ถ้าเกิดการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (พืชตระกูลถั่ว) (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) Tulyathan *et al.* (2002) พบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีโครงสร้างผลึกแบบ A



ภาพที่ 6 โครงสร้างของเม็ดสตาร์ช

ที่มา: Kaletunc and Breslauer (2003)

วงอายุในเม็ดสตาร์ชสามารถศึกษาได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ เม็ดสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่ เช่น เม็ดสตาร์ชมันฝรั่ง สามารถเห็นวงอายุได้เมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัว เครื่องมือใช้ศึกษาวงอายุได้แก่ กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน (Light Microscope) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope: SEM) (Tester, 1997) ส่วนเครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณโครงสร้างผลึกในเม็ดสตาร์ชคือ เครื่องนิวเคลียร์แมกเนติกเรโซแนนซ์ (Nuclear Magnetic Resonance: NMR) ซึ่งหาค่าความเป็นผลึกในเม็ดสตาร์ช โดยการวัดอัตราส่วนระหว่างโครงสร้างผลึกและส่วน อัมมูฐาน เครื่องมือที่ใช้วัดระดับโครงสร้างผลึก และใช้จำแนกประเภทของสตาร์ชเป็นแบบ A B หรือ C คือ เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffraction: XRD) และเครื่องมือวัดพลังงานที่ใช้ในการสลายพันธะในเม็ดสตาร์ชคือเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter: DSC) รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แบบ A และ B จากการวิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ดิฟแฟรกโทมิเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แบบ A (สตาร์ชจากธัญพืช) และ B (สตาร์ชจากพืชหัว)

ที่มา: Buléon *et al.* (1998)

3.สมบัติของแป้งและสตาร์ช

3.1 สมบัติทางกายภาพ

3.1.2 ลักษณะของเม็ดสตาร์ช

รูปร่างของเม็ดสตาร์ชที่มาจากพืชแต่ละชนิดจะแตกต่างกันจึงใช้เป็นตัวชี้บ่งชนิดของสตาร์ชได้ เม็ดสตาร์ชมันฝรั่ง มีรูปร่างเป็นวงรีคล้ายไข่ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 15-100 ไมโครเมตร เม็ดสตาร์ชมันฝรั่งมีฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 0.06-0.1 เนื่องจากมีหมู่ฟอสเฟตเอสเทอร์อยู่บนโมเลกุลของเอมิโลเพกทินซึ่งทำให้ประจุลบจึงดูดน้ำฟองตัวง่าย สารละลายที่ได้มีลักษณะใส มีความหนืดสูงและเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ในอัตราที่ต่ำ เม็ดสตาร์ชข้าวโพดมีขนาดเล็ก มีรูปร่างทั้งกลมและเหลี่ยมรวมกัน เม็ดสตาร์ชข้าวโพดถึงจะมาจากแหล่งเดียวกันก็ตามแต่จะมีลักษณะรูปร่างหลายแบบผสมกันทั้งที่เป็นรูปกลมหรือรูปเหลี่ยม ส่วนเม็ดสตาร์ชข้าวสาลีมีรูปกลมแบน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางผันแปรอยู่ในช่วง 2-35 ไมโครเมตร สำหรับเม็ดสตาร์ชข้าวเจ้ามีขนาดค่อนข้างเล็กตรงกันข้ามกับเม็ดสตาร์ชมันฝรั่งซึ่งมี

ขนาดใหญ่มาก มีความหนาแน่นทำให้สุกง่าย ส่วนเมล็ดสตาร์ชมันสำปะหลังมีรูปร่างกลมปลายเมล็ดถูกตัดและมีขนาด 3-9 ไมโครเมตร ในเมล็ดสตาร์ชยังมีแร่ธาตุ ลิพิด โปรตีน เป็นองค์ประกอบอยู่บ้างเล็กน้อย (นิธิยา, 2545) สำหรับเมล็ดสตาร์ชจากผลไม้ได้แก่ เมล็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนมีรูปร่าง กลม รี ระฆังคว่ำ ส่วนเมล็ดสตาร์ชทุเรียนและลำไยมีรูปร่างทรงหลายเหลี่ยม เมล็ดสตาร์ชเมล็ดมะม่วงมีรูปร่างกลม รี สำหรับเมล็ดสตาร์ชเงาะมีรูปร่างกลม (Oates and Powell, 1995) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 รูปร่างและขนาดของเมล็ดสตาร์ชที่ได้จากแหล่งต่างๆ

แหล่งของสตาร์ช	ขนาด (ไมโครเมตร)	รูปร่าง
ข้าวเจ้า	3-8	ทรงหลายเหลี่ยม
ข้าวโพด	5-25	ทรงหลายเหลี่ยม
มันฝรั่ง	15-100	กลมรีคล้ายไข่
ข้าวสาลี	2-38	กลมแบนและ ทรงหลายเหลี่ยม
ข้าวฟ่าง	4-12	ทรงกลม และทรงหลายเหลี่ยม
มันสำปะหลัง	4-35	ทรงกลม และทรงหลายเหลี่ยม
เมล็ดขนุน	9.2-11	กลม รี ระฆังคว่ำ
เมล็ดทุเรียน	3-22	ทรงหลายเหลี่ยม กลม
เมล็ดมะม่วง	5-47.5	รี กลม
เมล็ดลำไย	2.5-46	ทรงหลายเหลี่ยม
เมล็ดเงาะ	2-46	กลม

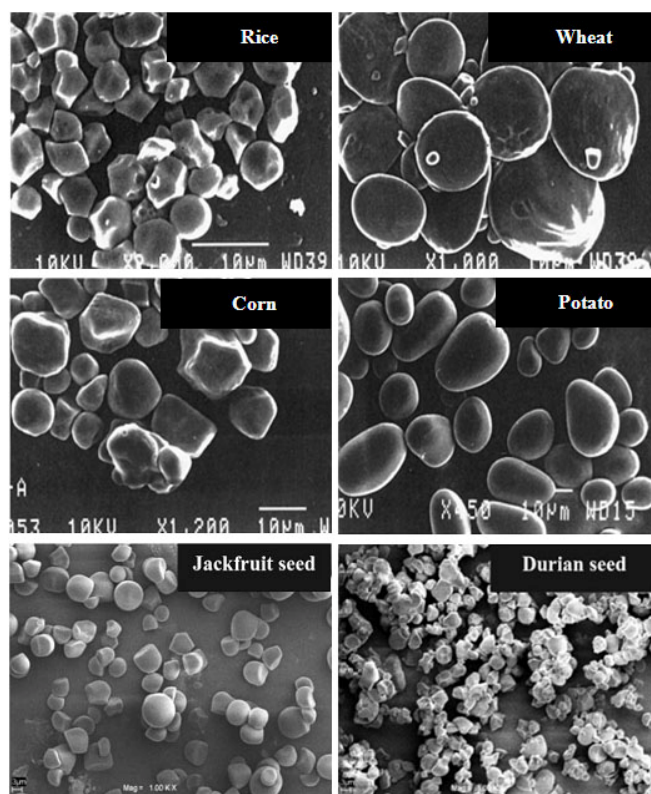
ที่มา: Blanshard (1987) และ Oates and Powell (1995)

มีงานวิจัยมากมายที่ทำการตรวจสอบขนาดและลักษณะเมล็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนซึ่งส่วนใหญ่เมล็ดสตาร์ชมีรูปร่างกลม รี ระฆังคว่ำ และมีขนาดใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 5 นอกจากนี้ยังพบว่าเมล็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนมีรูปร่างคล้ายกับเมล็ดสตาร์ชมันสำปะหลัง

ตารางที่ 5 ขนาดเม็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนที่ศึกษาในงานวิจัยต่างๆ

ขนาดเม็ดสตาร์ช (ไมโครเมตร)	แหล่งงานวิจัย
7-11	Bobbio <i>et al.</i> (1978)
4.2–48.0	Oates and Powell (1995)
6.8-8.8	Aromdee <i>et al.</i> (2004)
6-9	Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004)
0.05-17.18	Tongdang (2008)

การตรวจสอบลักษณะของเม็ดสตาร์ชโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วที่สุดที่สามารถตรวจสอบลักษณะต่างๆได้ เช่น รูปร่าง ขนาด การกระจายตัวของเม็ดสตาร์ชรวมทั้งสามารถตรวจสอบการปนเปื้อนของเม็ดสตาร์ชอื่นได้อีกด้วย การตรวจสอบลักษณะเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์สามารถทำได้ภายใต้แสงปกติ (normal light) และภายใต้แสงโพลาไรซ์ (polarized light) การใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM) สามารถตรวจสอบโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชได้อย่างละเอียด เนื่องจากมีกำลังขยายมากกว่าหลายร้อยเท่า และสามารถดูพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชซึ่งมีรอยแตกหรือรอยร้าว ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ลักษณะเม็ดสตาร์ชข้าว สาลี มันฝรั่ง ข้าวโพด เมล็ดขนุน เมล็ดทุเรียน จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนส่องกราด

ที่มา: Singh *et al.* (2003) และ Tongdang (2008)

3.2 คุณสมบัติทางเคมีเชิงกายภาพของแป้งและสตาร์ช

3.2.1 การพองตัวและความหนืด (Swelling and Viscosity)

สตาร์ชในสภาพธรรมชาติ (native starch) ไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาทิไนเซชันแต่สามารถพองตัวได้ประมาณร้อยละ 10-20 ในน้ำเย็นเนื่องจากโมเลกุลของน้ำสามารถแพร่และถูกดูดซึมเข้าไปในส่วนอณูฐานของเม็ดสตาร์ชได้ (Appelqvist and Debet, 1997) โดยเมื่อให้ความร้อนแก่สตาร์ชในระบบที่มีน้ำ เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัวและโมเลกุลสตาร์ชบางส่วนที่ละลายได้จะละลายออกมาอยู่นอกเม็ดสตาร์ช (Balagopalan *et al.*, 1998) การพองตัวของเม็ดสตาร์ชสามารถตรวจสอบได้หลายวิธีเช่น วิธีของ Schoch (1964) โดยหาการ

พองตัวของเม็ดสตาร์ชในรูปของค่ากำลังการพองตัว (swelling power, SP) ซึ่งได้จากปริมาตร หรือน้ำหนักของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำและค่าความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของสตาร์ชทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ นอกจากนี้วิธีของ Tester and Morrison (1990) แสดงในรูปของค่าแฟกเตอร์การพองตัว (swelling factor, SF) โดยเป็นวิธีที่วัดเฉพาะปริมาณน้ำที่เม็ดสตาร์ชดูดซับไว้ในระหว่างการพองตัวเท่านั้น ส่วนการหาในรูปค่ากำลังการพองตัวนั้นจะวัดรวมปริมาณน้ำที่แทรกอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ชภายหลังการพองตัวเข้าไปด้วย (Gunaratne and Hoover, 2002; Tester and Morrison, 1990) การพองตัวของเม็ดสตาร์ชขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและลักษณะโครงสร้างของโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชโดยมีปัจจัยที่ส่งผลคือ อัตราส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพกทิน น้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของโมเลกุล ระดับความเป็นกิ่ง การจัดเรียงตัวและความยาวของสายกิ่งในแอมิโลเพกทิน นอกจากนี้สิ่งเจือปนในเม็ดสตาร์ชที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตก็มีผลต่อการพองตัวเช่นเดียวกัน

การพองตัวของเม็ดสตาร์ชเป็นสมบัติของแอมิโลเพกทิน ขณะที่แอมิโลสทำหน้าที่เป็นสารที่ทำให้เจือจาง (diluent) ปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวได้แก่ องค์ประกอบภายในเม็ดสตาร์ชและโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช โดยองค์ประกอบภายในเม็ดสตาร์ชได้แก่ ปริมาณแอมิโลเพกทิน แอมิโลสและไขมันเป็นตัวยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช (Tester and Morrison, 1990) ไขมันช่วยลดการพองตัวและการละลายของสตาร์ชได้นานเท่ากับที่ไขมันสามารถจับกับโมเลกุลแอมิโลสเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Takahashi and Seib, 1988) ส่วนโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชได้แก่ สัดส่วนระหว่างส่วนอัดแน่นและส่วนโครงร่างผลึก ความยาวของสายโมเลกุล ปริมาณกิ่งแขนง รูปร่างโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุล (Tester, 1997) กำลังการพองตัว (swelling power) ขึ้นกับจำนวนหรือปริมาณของอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างสายโมเลกุลสตาร์ชในส่วนอัดแน่นและส่วนโครงร่างผลึก (Singh *et al.*, 2003) และชนิดของสตาร์ชซึ่งสตาร์ชจากธัญพืชมีกำลังการพองตัวต่ำเนื่องจากมีจำนวนพันธะสูงสุด ส่วนสตาร์ชจากส่วนรากหรือกลีบเลี้ยง เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง มีกำลังการพองตัวสูงกว่าสตาร์ชจากธัญพืชเพราะมีจำนวนพันธะน้อยกว่า และสตาร์ชจากส่วนหัวเช่น สตาร์ชมันฝรั่ง มีการพองตัวสูงเนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตยังทำให้สตาร์ชมันฝรั่งพองตัวสูงขึ้นอีก (Leach *et al.*, 1959) ดังตารางที่ 6 แสดงกำลังการพองตัว อุณหภูมิที่เกิดเจลลาติไนเซชันของสตาร์ชชนิดต่างๆ Tongdang (2008) พบว่า กำลังการพองตัวของสตาร์ชจากเมล็ดผลไม้มันซึ่งได้แก่สตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดทุเรียน มีการพองตัว 2 ขั้นตอน โดยสตาร์ชเมล็ดทุเรียนมีการพองตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิ 55-75 องศา

เซลเซียส และค่อยๆ พองตัวจนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ส่วนสตาร์ชเมล็ดขนุนจะค่อยๆ พองตัวที่อุณหภูมิ 55-75 องศาเซลเซียสและพองตัวอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิมากกว่า 75 องศาเซลเซียส จนถึงอุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวคือขนาดเม็ดสตาร์ช อัตราส่วนระหว่างแอมิโลสกับแอมิโลเพกทิน ขนาดโมเลกุลของแอมิโลเพกทินและส่วนประกอบอื่นๆ ในสตาร์ช

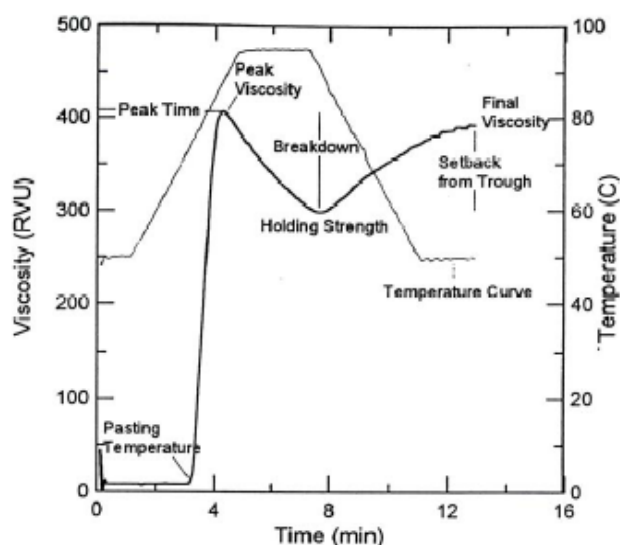
ตารางที่ 6 กำลังการพองตัว อุณหภูมิที่เกิดเจลในเซชันของสตาร์ชชนิดต่างๆ

สตาร์ช	กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส	อุณหภูมิที่เกิดเจลในเซชัน (°ซ)
มันฝรั่ง	> 1,000	56-69
ข้าวโพด	24	62-72
มันสำปะหลัง	71	66
ข้าวเจ้า	19	61-78
ข้าวสาลี	21	52-65
เมล็ดขนุน	23	86
เมล็ดทุเรียน	20	76
ถั่วเขียว	21	74

ที่มา: Leach *et al.* (1959); Oates and Powell (1995) และ Tongdang (2008)

เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายสตาร์ชในสภาวะที่มีน้ำเพียงพอและกวนตลอดเวลาจะเกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นให้แก่เม็ดสตาร์ชทำให้โครงสร้างผลึกในเม็ดสตาร์ชถูกทำลาย โมเลกุลน้ำเข้าไปเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแอมิโลเพกทินและแอมิโลสด้วยพันธะไฮโดรเจน เป็นสาเหตุให้เม็ดสตาร์ชพองตัว (Tester, 1997) เมื่อเม็ดสตาร์ชที่พองตัวจะเสียดสีกับเม็ดสตาร์ชข้างเคียงทำให้ความหนืดของเพสต์เริ่มเพิ่มขึ้น (Lund, 1984) เมื่อเม็ดสตาร์ชดูดน้ำเข้าไปเรื่อยๆ จะเกิดการพองตัวได้มากขึ้น เม็ดสตาร์ชสามารถพองตัวเพิ่มขึ้นได้หลายเท่าตัว จนกระทั่งถึงจุดความหนืดวิกฤต (critical pasting stage) จุดนี้โครงสร้างภายในเม็ดสตาร์ชไม่สามารถฟื้นกลับได้และความหนืดเริ่มเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และมีโมเลกุลสตาร์ชที่ละลายน้ำได้ซึมออกมาส่งผลให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น โมเลกุลแอมิโลสที่ซึมออกมาเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อความหนืด (Kokini *et al.*, 1992) เมื่อถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุดแรงยึดเกาะระหว่างสาย

โมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชอ่อนแอมากเกิดความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เมื่อเม็ดสตาร์ชแตกออกทำให้ความหนืดลดลง (breakdown) (Wang *et al.*, 2000) เมื่ออุณหภูมิในระบบลดต่ำลงพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลน้ำและโมเลกุลสตาร์ชมีปริมาณลดลงหรือถูกแทนที่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างสายโมเลกุลสตาร์ชแทนเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติ เมื่อเม็ดสตาร์ชของตัวฝังอยู่ในโครงร่างตาข่าย (Lii *et al.*, 1996) สายโมเลกุลสามารถเกิดอันตรกิริยา (interaction) กันอย่างต่อเนื่องโดยเฉพาะโมเลกุลสายตรง (แอมิโลส) เนื่องจากโมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ได้ดีและสามารถจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างผลึกที่มีความเป็นผลึกมากทำให้ค่าความหนืดเพิ่มขึ้นอีกครั้งทำให้ค่าเซตแบค (setback) มีค่าสูงขึ้น (Dendy and Dobraszczyk, 2001) เครื่องมือที่นิยมใช้วัดความหนืดของสตาร์ชคือเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบเร็ว (Rapid Visco Analyser: RVA) ในอุตสาหกรรมนิยมใช้เครื่องมือนี้ช่วยในการควบคุมกระบวนการผสม การให้ความร้อนและลดอุณหภูมิ โดยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็วเป็นเครื่องมือที่มีคุณสมบัติพิเศษ คือ สามารถให้ความร้อนและดึงความร้อนออกจากระบบได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถควบคุมอุณหภูมิให้มีความคงที่ได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ นอกจากนี้ยังเป็นเครื่องมือที่สามารถใช้ศึกษาการเกิดเจลาติไนเซชัน รีโทรเกรเดชันและผลของอุณหภูมิและระยะเวลาที่มีต่อสตาร์ช (Phillips and Williams, 2000) ตัวอย่างกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดแสดงดังภาพที่ 9 ซึ่งสามารถใช้กราฟอธิบายกำลังการพองตัวและค่าการละลาย (Takahashi and Seib, 1988) ความหนืดของสตาร์ชขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสตาร์ช สมบัติทางกายภาพและเคมีของเม็ดสตาร์ช เช่น ขนาดของเม็ดสตาร์ช การกระจายตัวขนาดของเม็ดสตาร์ช อัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน และปริมาณแร่ธาตุ (Singh *et al.*, 2003)



ภาพที่ 9 กราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืดจากเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว

ที่มา: Dendy and Dobraszczyk (2001)

3.2.2. เจลาตินในเซชัน (Gelatinization)

เมื่อนำสตาร์ชในระบบที่มีน้ำไปให้ความร้อน เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัวขึ้นเรื่อยๆตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจนเมื่อถึงช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชัน (gelatinization temperature) เม็ดสตาร์ชจะเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เกิดการสูญเสียการจัดเรียงโมเลกุล และความเป็นผลึกในโครงสร้างรวมทั้งลักษณะไบรีฟรินเจนซ์ (birefringence) ของเม็ดสตาร์ชจะหายไป สภาวะที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่าการเกิดเจลาตินในเซชัน (Bennion, 1980; James, 1999) แสดงดังภาพที่ 10 โดยช่วงการเกิดเจลาตินในเซชันจะแตกต่างกันขึ้นกับวิธีที่ใช้ในการวัด อัตราส่วนน้ำต่อสตาร์ช ชนิดของสตาร์ชและโครงสร้างระดับโมเลกุล (Gunaratne and Hoover, 2002; James, 1999) ซึ่งในปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้ในการศึกษาการเกิดเจลาตินในเซชันได้แก่ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (DSC) เพื่อหาค่าพลังงานเอนทัลปีและช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature, T_o) อุณหภูมิสูงสุด (peak temperature, T_p) และอุณหภูมิสิ้นสุดการเกิดเจลาตินในเซชัน (conclusion temperature, T_c) โดยใช้หลักการวิเคราะห์จากค่าพลังงานความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (James, 1999) ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC นอกจากจะขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ชแล้วยังขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำต่อสตาร์ชที่ใช้ในการทดลอง

(Appelqvist and Debet, 1997) ซึ่งโดยปกติควรมีปริมาณน้ำอยู่อย่างน้อยร้อยละ 60 เพื่อให้ได้ฟิสิกการเปลี่ยนแปลงความร้อนเพียงฟิสิกเดียวโดยไม่เกิดฟิสิกการ (Gonera and Cornillon, 2002) และสำหรับค่าพลังงานเอนทัลปีคือพลังงานที่ใช้ในการทำลายความเป็นผลึกในโครงสร้าง แต่ในปัจจุบันพบว่า น่าจะเป็นค่าพลังงานที่ใช้ในการทำลายการจัดเรียงตัวแบบเกลียวคู่ (double helixes) ภายในโครงสร้างมากกว่าโดยการสูญเสียความเป็นผลึกและการจัดเรียงตัวแบบเกลียวคู่ที่น่าจะเกิดขึ้นพร้อมๆกันมากกว่าจะเกิดการสูญเสียความเป็นผลึกก่อนซึ่งแสดงให้เห็นว่าแรงยึดเกาะกันภายในเม็ดสตาร์ชขึ้นกับระดับการจัดเรียงตัวแบบเกลียวคู่มากกว่าระดับความเป็นผลึกในโครงสร้าง (Appelqvist and Debet, 1997)

นอกจากนี้ยังใช้เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyser: RVA) วัดปริมาณการเกิดเจลลิตีในเซชันโดยอาศัยการเปลี่ยนแปลงความหนืดในระหว่างการเกิดเจลลิตีในเซชัน โดยการวัดแรงต้านของโมเลกุลสตาร์ชในสารละลาย (Kim *et al.*, 1995) เมื่อสารละลายสตาร์ชถูกให้ความร้อนและกวนตลอดเวลาด้วยความเร็วรอบ 30-150 รอบ/นาที แกรนูลเกิดการพองตัวมากขึ้นและเบียดเสียดกับเม็ดสตาร์ชข้างเคียงทำให้ความหนืดของเพสต์เพิ่มสูงขึ้น อุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชัน คือจุดเริ่มต้นที่มีความหนืด และจุดที่มีความหนืดสูงสุด นอกจากนี้ยังใช้วิธีวัดปริมาณแอมิโลสด้วยไอโอไดน์ เนื่องจากเมื่อสตาร์ชเกิดเจลลิตีในเซชัน โมเลกุลแอมิโลสจะแพร่ออกมาจากเม็ดสตาร์ช ดังนั้นปริมาณแอมิโลสที่แพร่ออกมาจึงสามารถใช้ออกการเกิดเจลลิตีในเซชัน (Lund, 1984) สำหรับเครื่องเอกซเรย์ ดิฟแฟรกชัน (X-Ray Diffraction) วัดปริมาณโครงร่างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชที่ถูกทำลายในระหว่างเกิดเจลลิตีในเซชัน (Maaruf *et al.*, 2001)



ภาพที่ 10 การเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ช

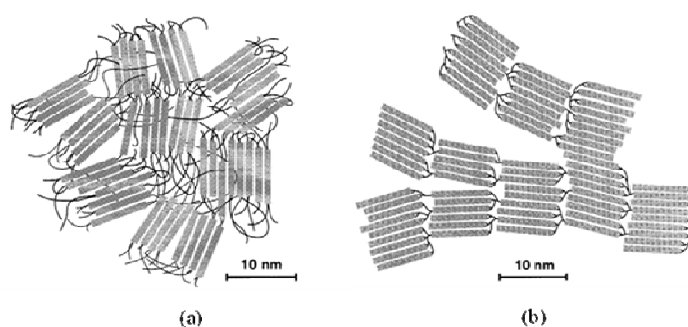
ที่มา: Murphy (2000)

Mukprasirt and Sujjaanantakul (2004) พบว่าอุณหภูมิการเกิดเจลตาทีในเซชันของแป้งเมล็ดขนุนจากการโม่แห้งและโม่เปียกมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) นอกจากนี้ Tongdang (2008) รายงานว่าอุณหภูมิการเกิดเจลตาทีในเซชันของสตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชเมล็ดทุเรียนเท่ากับ 81.32 และ 64.43 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งคาดว่าเมล็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนมีความแข็งแรงจึงต้องใช้อุณหภูมิในการเกิดเจลตาทีในเซชันสูง ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลตาทีในเซชันมีหลายปัจจัย เช่น ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ช ปริมาณแอมิโลส ความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ช ปริมาณโปรตีนและไขมัน (Hamaker and Griffin, 1993) โครงสร้างของโมเลกุลแอมิโลเพกทิน ได้แก่ความยาว น้ำหนักและความเป็นกิ่งก้านของโมเลกุล ปริมาณฟอสฟอรัส อัตราส่วนระหว่างแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน (Tester, 1997) วิธีสกัดสตาร์ช ความเข้มข้นของสตาร์ช วิธีที่ใช้ศึกษาการเกิดเจลตาทีในเซชัน (Kim *et al.*, 1995) สภาพในการปลูกและสภาพในการเก็บรักษา ชนิดของสตาร์ช เช่น แบบ A B หรือ C ขนาดของเม็ดสตาร์ช (Maaruf *et al.*, 2001) และปริมาณน้ำ (Donovan, 1979)

3.3.3 รีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

หลังสตาร์ชเกิดเจลตาทีในเซชัน และมีโมเลกุลอยู่กันอย่างอิสระ เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลงหรือเก็บรักษา โมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินที่แขวนลอยอยู่ไม่เสถียรและเมื่อทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น โมเลกุลจึงพยายามจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยการพันกันเป็นเกลียวคู่ (double – helix) สายเกลียวคู่สามารถรวมตัวกันจนเป็นโครงร่างผลึกสามมิติ ปรากฏการณ์นี้เรียกว่ารีโทรเกรเดชัน การเกิดรีโทรเกรเดชันแบ่งเป็น 2 กรณี กรณีแรกทำให้เจลสตาร์ชเย็นตัวอย่างรวดเร็ว โมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินสามารถรวมตัวเกิดเป็นโครงร่างสามมิติ ส่วนกรณีที่สองเจลสตาร์ชเย็นตัวลงอย่างช้าๆ โมเลกุลของแอมิโลสเหล่านี้จะรวมตัวกันทำให้เกิดความขุ่นขึ้นในสารละลายแล้วตกตะกอนแยกออกจากสารละลายอย่างช้าๆ (Deman, 1999) ทั้งโมเลกุลแอมิโลสและแอมิโลเพกทินสามารถทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันได้แต่ทั้งสองมีบทบาทในการเกิดรีโทรเกรเดชันต่างกัน โดยแอมิโลสเกิดรีโทรเกรเดชันได้อย่างรวดเร็วและเกิดในระยะแรกของการเก็บรักษา เนื่องจากโมเลกุลของแอมิโลสเป็นสายตรงจึงสามารถรวมตัวกันใหม่ได้อย่างรวดเร็วทำให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น ส่วนแอมิโลเพกทินมีความสำคัญต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันในระยะยาวซึ่งอาจใช้เวลาหลายวันหรือหลายสัปดาห์เนื่องจากแอมิโลเพกทินมีลักษณะเป็นกิ่งก้านทำให้เกิดการรวมตัวกันได้ยาก (Bennion, 1980)

โครงร่างผลึกของแอมิโลสรีโทรเกรดประกอบไปด้วยสายเกลียวคู่ทั้งที่ขนานและไม่ขนานกัน เนื่องจากโมเลกุลแอมิโลสสามารถเกิดเกลียวคู่ได้ทั้งระหว่างสายโมเลกุล (intermolecular) และภายในโมเลกุลเอง (intramolecular) เชื่อมต่อกันด้วยส่วนของออสชัน ส่วนโครงร่างผลึกของแอมิโลเพกทินรีโทรเกรด สายเกลียวคู่ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เกิดจากการพันกันของกิ่งภายในโมเลกุลเดียวกัน หรืออาจเกิดขึ้นจากการพันกันระหว่างสายกิ่งของโมเลกุลข้างเคียง มีทิศทางเรียงตัวในแนวนอน แสดงดังภาพที่ 11 รูปแบบการเปลี่ยนแปลงโครงร่างตาข่าย (network) ของแอมิโลส ระหว่างการเกิดรีโทรเกรดชันแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือแบบแรกเกิดขึ้นเนื่องจากแอมิโลสที่มีสายโมเลกุลยาว (น้ำหนักโมเลกุลสูง) สามารถพันกันเกิดเป็นโครงร่างตาข่ายตำแหน่งที่สายโมเลกุลพันกันเรียกว่า บริเวณรอยต่อ (junction zone) และเมื่อเวลานานสายโมเลกุลสามารถรวมตัวกันได้เรื่อยๆ ทำให้โครงร่างตาข่ายหนาขึ้น ส่วนแบบที่สองเกิดจากแอมิโลสสายสั้น (น้ำหนักโมเลกุลต่ำ) เกิดการพันและรวมตัวกันเป็นกลุ่มเล็กๆ ก่อน หลังจากนั้นกลุ่มของโมเลกุลสายสั้นเหล่านี้จะเคลื่อนที่ใกล้กันและจับตัวจนเกิดเป็นโครงร่างตาข่าย (Morris, 1990) และส่งผลต่อเจลสตาร์ชคือ ทำให้เจลมีความแข็งแรงมากขึ้นรวมทั้งเกิดการแยกเฟสของเจลทำให้โมเลกุลของน้ำแยกออกจากโครงสร้างเรียกว่า การเกิดการแยกของน้ำ (syneresis) (Biliaderis, 1992; Miles *et al.*, 1985; Morris, 1990) Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) วิเคราะห์ความหนืดโดยใช้เครื่อง RVA พบว่า แป้งเมล็ดขนุนมีค่าการคืนตัว (setback) น้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนซึ่งค่าการคืนตัวแสดงถึงการเกิดรีโทรเกรดชันนั้นคือสตาร์ชเมล็ดขนุนเกิดรีโทรเกรดชันง่ายกว่าแป้งเมล็ดขนุน



ภาพที่ 11 ผลึกรีโทรเกรด (a) แอมิโลสรีโทรเกรด (b) แอมิโลเพกทินรีโทรเกรด

ที่มา : Pataux *et al.* (2000)

ปี 2000 Karim และคณะได้แบ่งวิธีการศึกษาโรโทรเกรเดชันเป็น 2 วิธี คือ 1.วัดการเปลี่ยนแปลงที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (macroscopic techniques) เป็นเทคนิคที่ใช้ตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพที่เกิดในระหว่างโรโทรเกรเดชัน ได้แก่ การวัดเนื้อสัมผัสที่เปลี่ยนไปด้วยเครื่องวิเคราะห์เนื้อสัมผัสโดยวัดค่าความแข็ง (hardness) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเกิดโรโทรเกรเดชัน การวิเคราะห์สมบัติด้านความร้อน (thermal analysis) โดยใช้เครื่อง DSC วิเคราะห์ซึ่งพิคการดูดกลืนความร้อนมีลักษณะต่างจากการเกิดเจลในเซชันโดยจะมีลักษณะกว้างและเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่า วิธีวัดความขุ่นที่เพิ่มขึ้นด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วิธีวัดสารที่ที่ไม่สามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์ วิธีวัดน้ำที่แยกออกจากเจล เรียกว่า (syneresis) วิธีวัดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไอโอดีน 2.การตรวจสอบโครงสร้างแบบผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันเพื่อหา XRD-pattern ที่เปลี่ยนแปลงเมื่อเกิดโรโทรเกรเดชัน

4. การนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้ประโยชน์

Tulyathan *et al.* (2002) นำแป้งเมล็ดขนุนไปใช้ทดแทนแป้งสาลีในการทำขนมปังผลปรากฏว่าค่า specific volume ของขนมปังลดลงร้อยละ 51 ที่ระดับการใช้แป้งเมล็ดขนุนร้อยละ 5 กับแป้งสาลีร้อยละ 95 อมรรัตน์ (2546) ได้ประยุกต์ใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนเป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ซอสมะเขือเทศเปรียบเทียบกับสตาร์ชดัดแปรทางการค้า 2 ชนิด คือ Novation 2300 และ Purity 4 พบว่า ความหนืดของซอสมะเขือเทศที่ใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนร้อยละ 1.5, 2.0 และ 2.5 เมื่อทำการเก็บรักษานาน 6 สัปดาห์พบว่าไม่มีความแตกต่างกัน ($p>0.05$) และที่ระดับเดียวกันพบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนยังมีความหนืดสูงกว่าสตาร์ชดัดแปรทางการค้าทั้ง 2 ชนิด ตลอดการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 สัปดาห์ นอกจากนี้ อมรรัตน์ (2546) ยังใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนเป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์ไส้พายโดยเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชดัดแปร Colflo และ Novation พบว่าการใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนเป็นสารให้ความข้นหนืดในไส้พายชนิดวนิลลา มีเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ไม่แตกต่างจากการใช้สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชดัดแปร Colflo และ Novation ($p>0.05$) และในผลิตภัณฑ์ไส้พายชนิดมะนาวซึ่งมีค่าความเป็นกรดสูง มีเนื้อสัมผัสไม่แตกต่างจากสตาร์ชดัดแปร Colflo และ Novation ($p>0.05$) ซึ่งอาจบ่งชี้ได้ว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนซึ่งเป็นสตาร์ชจากธรรมชาติมีความคงตัวต่อสภาพที่เป็นกรดได้ดีเช่นเดียวกับสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปร

มลทินีและคณะ (2547) ทดลองผลิตวุ้นเส้นโดยใช้สตาร์ชเมล็ดขนุน 2 สายพันธุ์ คือ พันธุ์ทองประเสริฐและพันธุ์ทองสุกใจ โดยใช้ทดแทนสตาร์ชถั่วเขียวในปริมาณร้อยละ 25, 50, 75 และ

100 พบว่า สตาร์ชเมล็ดขนุนทั้ง 2 สายพันธุ์ที่ระดับทดแทนร้อยละ 25 สามารถผลิตวุ้นเส้นที่มีคุณภาพในด้านสี ค่าแรงดึงขาด ค่าความแน่นเนื้อ และคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสไม่แตกต่างจากวุ้นเส้นที่ผลิตจากสตาร์ชถั่วเขียว ($p>0.05$)

จากข้อมูลคุณสมบัติต่างๆของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนพบว่ามีความใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพด ซึ่งสตาร์ชข้าวโพดมีการนำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในซอสพริก ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในซอสพริกเพื่อความเป็นไปได้สำหรับการนำมาใช้แทนสตาร์ชข้าวโพดในซอสพริก

5. ซอสพริก

ซอสเป็นผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูปที่ใช้เป็นเครื่องจิ้มอาหารหรือใช้สำหรับปรุงแต่งรสชาติอาหารเพื่อทำให้เกิดรสชาติที่กลมกล่อมเป็นผลิตภัณฑ์อาหารที่ช่วยเสริมรส ทำให้ผู้บริโภคอยากบริโภคอาหารมากขึ้น ซอสที่บริโภคกันโดยทั่วไปคือ ซอสมะเขือเทศ ซอสพริก สำหรับผลิตภัณฑ์ซอสนั้น ลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้มาตรฐานควรข้นและหนืด วัตถุประสงค์ของอาหารที่สำคัญที่ใช้เพื่อช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ให้ข้นและหนืด ได้แก่ แป้ง (starch) ชนิดต่างๆ เช่น แป้งข้าวโพด จัดเป็นแป้งที่มีการใช้มากที่สุดในบรรดาแป้งจากธรรมชาติ แป้งสาลีมีการใช้ในผลิตภัณฑ์ซอสเช่นกันแต่มีการใช้น้อย แป้งข้าวเจ้า ให้ความหนืดได้โดยตรงจากแป้งข้าวโพดแต่ดีกว่าแป้งสาลี โดยแป้งข้าวเจ้าจะมีอุณหภูมิในการเกิดเจลที่ในเซชันสูงกว่าและเกิดเจลในระหว่างที่ทิ้งไว้ให้เย็น แต่มีข้อดีคือคงตัวในสภาวะที่มีกรดน้ำส้มสายชูด้วย สตาร์ชดัดแปรเป็นสตาร์ชที่นิยมใส่ในผลิตภัณฑ์ซอสเช่นกัน มีหลายชนิดทั้งที่ดัดแปรทางกายภาพและทางเคมี สตาร์ชดัดแปรที่มีการใช้กันมากคือสตาร์ชจากข้าวโพดและข้าวเหนียว เนื่องจากความสามารถให้ความหนืดและคงตัวดี ให้ความร้อนต่อไปนานๆ จะไม่มีผลต่อความหนืด ไม่เกิดเจลเมื่อทิ้งไว้ให้เย็น และเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ซอสเป็นเวลานานๆ ไม่ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของความหนืดและไม่ทำให้เกิด syneresis กัมที่ใส่ในผลิตภัณฑ์ซอสเพื่อทำให้ข้นและหนืด ได้แก่ กัมทรากาแคนท์ แชนแทนกัม โลคัสป็นกัม กัวร์กัม กัมอะราบิก คาราจีแนน อาการ์ – อาการ์ เป็นต้น คุณสมบัติของสารที่ช่วยให้หนืดและข้นที่เหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ซอส คือ ให้ความข้นหนืดแก่ผลิตภัณฑ์ได้ตามความต้องการ ให้ความคงตัวต่อความร้อนในสภาวะที่มีกรดน้ำส้มสายชู และให้ความคงตัวต่อกรดน้ำส้มสายชูเมื่อเก็บผลิตภัณฑ์ซอสไว้เป็นระยะเวลานาน นอกจากนี้ไม่ควรจะเกิดเจลหรือถ้ามีการเกิดเจลก็สามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีกล (ศิวาพร, 2535)

ซอสพริกเป็นผลิตภัณฑ์ซึ่งคนไทยนิยมบริโภคอย่างมากในตลาดระดับกลางจนถึงระดับล่าง โดยผู้บริโภคส่วนใหญ่จะนิยมรับประทานกันมากในร้านขายอาหารแบบตะวันตกหรืออาหารประเภทฟาสต์ฟู้ด (fast food) เช่น ไก่ทอด พิซซ่า แฮมเบอร์เกอร์ เป็นต้น ซอสพริกตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (Standard for Chili Sauce) (มอก.) เลขที่ 242-2533 ฉบับแก้ไขครั้งที่ 2 หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพริกผสมกระเทียม น้ำตาล น้ำส้มสายชู เกลือ และอาจมีผักผลไม้และเครื่องเทศผสมอยู่ด้วยหรือไม่ก็ได้ การเติมผักผลไม้บางชนิดลงไป เช่น มะเขือเทศ มะละกอ เพื่อเพิ่มความข้นของซอสโดยไม่ให้เผ็ดมากนัก ซอสพริกที่มีคุณภาพดีควรมีสีตามธรรมชาติ มีสีสม่ำเสมอ มีการไหลที่ดี มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติของซอส ไม่มีสิ่งแปลกปลอม ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่แยกตัวเมื่อตั้งทิ้งไว้ ซอสพริกแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ ซอสพริกล้วนกับซอสพริกผสม ซอสพริกล้วน หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่มีเฉพาะพริกกับส่วนประกอบอื่นๆ เช่น น้ำตาล น้ำส้มสายชู เกลือ ส่วนซอสพริกผสม หมายถึง ผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่มีผัก ผลไม้ เช่น มะเขือเทศ มะละกอ พริกทอง อย่างใดอย่างหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งอย่างขึ้นไปผสมอยู่

ปี 2551 มูลค่าตลาดเครื่องปรุงรสอาหารในประเทศมีขนาดใหญ่ประมาณ 17,000 ล้านบาท เมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมาเพิ่มขึ้นร้อยละ 5.0 และมูลค่าการส่งออกเครื่องปรุงรสของไทยในปีเดียวกันเพิ่มขึ้นเป็น 310 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ เมื่อเทียบกับปี 2550 แล้วเพิ่มขึ้นร้อยละ 33.0 โดยเครื่องปรุงรสสำคัญที่ไทยส่งออกคือ ซอสมีสัดส่วนการส่งออกร้อยละ 16.4 ของมูลค่าการส่งออกเครื่องปรุงรสอาหารทั้งหมด รองลงมาคือ ผงปรุงรสร้อยละ 12.3 เครื่องแกงสำเร็จรูปร้อยละ 11.5 และน้ำปลาร้อยละ 11.3 สำหรับเครื่องปรุงรสประเภทซอสนั้นยังแบ่งออกเป็นซอสพริก ซอสถั่วเหลือง และซอสมะเขือเทศ โดยที่การเติบโตของตลาดซอสพริกและซอสถั่วเหลืองมีการขยายอย่างต่อเนื่อง และในช่วง 5 เดือนแรกของปี 2551 นั้นมูลค่าการส่งออกเติบโตอย่างน่าสนใจ กล่าวคือ การส่งออกซอสพริกมีมูลค่าประมาณ 10.76 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อนแล้วเพิ่มขึ้นร้อยละ 32.7 ส่วนมูลค่าการส่งออกซอสถั่วเหลืองเท่ากับ 5.69 ล้านดอลลาร์สหรัฐฯ เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีก่อนแล้วเพิ่มขึ้นร้อยละ 50.6 สำหรับตลาดส่งออกที่สำคัญ 5 อันดับแรก คือ ญี่ปุ่นมีสัดส่วนตลาดร้อยละ 16.8 ของมูลค่าการส่งออกทั้งหมด รองลงมาคือ สหรัฐฯร้อยละ 15.1 ฟิลิปปินส์ร้อยละ 7.4 ออสเตรเลียร้อยละ 6.6 และกัมพูชาร้อยละ 4.6 ประเด็นที่น่าสนใจคือ ตลาดเครื่องปรุงรสอาหารนั้นกระจายตัวทั้งในประเทศตะวันตกและประเทศในแถบเอเชีย ทั้งนี้เนื่องจากอาหารไทยเป็นที่นิยมมากขึ้นในตลาดต่างประเทศ (ศูนย์วิจัยกสิกรไทย, 2551) และภายในปี 2551 ซอสพริกได้มีการส่งออกจำหน่ายต่างประเทศจำนวน 22,444,392 ตัน เป็นจำนวนเงิน 971 ล้านบาท (กรมศุลกากร , 2551ข)

คุณลักษณะของซอสพริกที่มีคุณภาพ ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พระราชบัญญัติ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมซอสพริก (Standard for Chilli Sauce) (มอก.) เลขที่ 242-2533 ฉบับแก้ไขครั้งที่ 2 ได้แก่

1. ลักษณะทั่วไป

1.1 ซอสพริกสีล้วน ต้องมีเฉพาะพริกและส่วนประกอบที่ระบุไว้ ยกเว้น ผัก ผลไม้

1.2 ซอสพริกผสม ต้องมีส่วนประกอบอยู่ด้วยและต้องไม่มีส่วนประกอบอื่นใดที่มีได้ระบุไว้

2. สี ลักษณะเนื้อ การปราศจากข้อบกพร่อง กลิ่นรส และความแน่นเนื้อ

2.1 สี (color)

ซอสพริกทุกชนิดต้องมีสีสดใสตามธรรมชาติของส่วนประกอบ

2.2 ลักษณะเนื้อ (consistency)

ซอสพริกทุกชนิดเมื่อดูตาเปล่าต้องมีเนื้อละเอียดสม่ำเสมอ ไม่มีชิ้นส่วนขนาดใหญ่ หรือหยาบปะปน

2.3 การปราศจากข้อบกพร่อง (absence of defects)

ซอสพริกทุกชนิดจะมีข้อบกพร่องได้เพียงเล็กน้อย เช่น มีจุดดำ หรือสะเก็ดดำ เมล็ดพริกที่เป็นส่วนประกอบ หรือชิ้นส่วนประกอบโดยไม่ทำให้สี ลักษณะและคุณภาพของซอสพริกเปลี่ยนไป

2.4 กลิ่นรส (flavor)

ซอสพริกทุกชนิดต้องมีกลิ่นรสที่ดี มีกลิ่นรสเฉพาะตามลักษณะของเครื่องปรุงของซอสพริกนั้น ไม่มีกลิ่นเหม็น หรือสิ่งแปลกปลอมที่น่ารังเกียจอื่น

2.5 ความแน่นเนื้อ

ซอสพริกสีล้วนต้องมีความแน่นเนื้อดี เมื่อเทลงภาชนะผิวราบ ผิวหน้าของซอสพริกต้องเรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีส่วนผสมที่เป็นน้ำใสแยกออกมา

ซอสพริกผสมต้องมีความแน่นเนื้อดี เมื่อเทลงภาชนะผิวราบ ผิวหน้าของซอสพริกต้องเรียบและเป็นเนื้อเดียวกันไม่ข้นหรือเหนียวเกินไป

นอกจากนี้ยังอาจเติมสารที่ทำให้คงตัว เพื่อป้องกันการแยกตัวของซอส สารที่ทำให้คงตัว ที่นิยมใช้ในการทำซอสพริก เช่น แป้งสาลี แป้งข้าวโพด เพคติน คาราจีแนน เป็นต้น สำหรับการ

เดิมีแป้ง (starch) ต่างๆ เพื่อป้องกันการแยกตัวของซอสพริกข้น (thick) จะใช้ร้อยละ 4-6 ส่วนซอสพริกชนิดใส (gravy) จะใช้ร้อยละ 1.0-2.5 (กึ่งกมลและวิมลศิริ, 2002)

คุณสมบัติทางเคมีของซอสพริก ได้แก่ ปริมาณกรดแอซิดิกอยู่ระหว่างร้อยละ 1.44-2.04 ปริมาณเกลืออยู่ระหว่างร้อยละ 4.0-6.34 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (total soluble solids) วัดโดยใช้รีแฟรคโตมิเตอร์อยู่ระหว่าง 22.0-38.5 องศาบริกซ์ และมี ค่าความเป็นกรดค่าที่ 3.0-3.7 (กึ่งกมลและวิมลศิริ, 2002) ซอสพริกอาศัยเครื่องปรุงต่างๆ ที่ใช้ เช่น เกลือ น้ำส้มสายชู น้ำตาล เครื่องเทศ เป็นเครื่องป้องกันการบูดเสีย เนื่องจากเมื่อปิดขวดแล้วจะบริโภคให้หมดทันทีไม่ได้ เพราะใช้บริโภคปริมาณน้อย กว่าบริโภคหมดต้องใช้เวลา การใช้เคมีภัณฑ์กันบูดบางครั้งก็มีความสำคัญเพราะซอสพวกนี้ถ้าจะใช้กรดในปริมาณสูงเพื่อการเก็บรักษาไม่ได้ เพราะจะทำให้มีรสเปรี้ยวเกินไป รสชาติไม่อร่อย ตามปกติการที่จะรักษาซอสไม่ให้เกิดการเค็ดฟูและมีเชื้อราขึ้นต้อง ใช้ปริมาณกรดที่ระเหยได้ (volatile acid) ในกรณีนี้คือกรดแอซิดิกซึ่งใช้ปริมาณร้อยละ 3 ผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่ดีควรจะต้องมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน ไม่มีการแยกตัวเกิดขึ้นหลังจากการผลิต เนื่องจากเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจของผู้บริโภค ดังนั้นผู้ผลิตจึงควรต้องระวังเรื่องนี้ให้มาก (นวลพรรณ, 2548)

การทำซอสปกติต้องใช้เครื่องปรุงหลายประเภท จึงมีการแยกตัวเกิดขึ้นง่ายมาก การแยกตัวเกิดจากสาเหตุต่างๆ กัน เช่น สาเหตุจากการที่ธรรมชาติของวัตถุดิบที่ใช้ทำซอสมีความหนืดน้อยแต่แรก หรือความหนืดนั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยทำให้เสื่อมสภาพลงจากการหุงต้มที่ไม่ถูกต้องหรือเกิดจากปฏิกิริยาทางเคมี เช่น ใช้ไฟแรงหุงต้มนาน ปฏิกิริยาของน้ำส้ม เป็นต้น ความแตกต่างน้ำหนักของส่วนประกอบ เช่น ส่วนประกอบชิ้นใหญ่ๆ จะแยกตัวได้ง่ายกว่าชิ้นเล็ก เนื่องจากความอยู่ตัวของซอสเป็นเรื่องที่สำคัญจึงมีวิธีการป้องกันการแยกตัวของซอสพริกทำได้หลายวิธี คือ การผ่านกรรมวิธี homogenization หรือ emulsification การลดขนาดส่วนผสมที่เป็นของแข็ง คือทำให้ละเอียดมากๆ โดยการบดและการกรอง ทำให้เย็นลงโดยเร็วหลังจากการต้ม มีการเติมสารกันการแยกตัวหรือฟิลเลอร์ เช่น แป้งมัน แป้งข้าวโพด แป้งสาลี เป็นต้น สารพวกยางไม้ (gum) เช่น กัมทรา กาแคนซ์ อินเดียนกัม เพคติน วุ้น เจลาติน สารพวกเซลลูโลส เป็นต้น (นวลพรรณ, 2548)

6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับซอสพริก

ละอองดาว และ กุลยา (2545) ทดลองใช้มิวซิเลจจากเมล็ดแมงลักเป็นสารช่วยให้คงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริก โดยใช้มิวซิเลจปริมาณร้อยละ 0.5 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) ในซอสพริก พบว่าเมื่อปริมาณของมิวซิเลจจากเมล็ดแมงลักเพิ่มขึ้น ซอสพริกจะมีความหนืดสูงขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ปริมาณของมิวซิเลจจากเมล็ดแมงลักที่เติมลงไปทุกระดับไม่มีผลต่อค่าความสว่าง (L^*) ของซอสพริก แต่มีผลทำให้ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) ลดลง ($p \leq 0.05$) ซอสพริกที่เติมมิวซิเลจจากเมล็ดแมงลักร้อยละ 0.3 ได้คะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสทุกด้านสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) เมื่อเก็บซอสพริกนาน 5 สัปดาห์ พบว่าความหนืดของซอสพริกไม่มีการเปลี่ยนแปลง จากการทำนายอายุการเก็บของซอสพริกพบว่าสามารถเก็บซอสพริกได้นาน 6 เดือนเมื่อเก็บที่อุณหภูมิห้องที่ 30 องศาเซลเซียส

กฤษฎา (2546) นำแป้งกล้วยมาผลิตซอสพริก โดยใช้แป้งกล้วยน้ำว่าที่มีระยะความแก่ 4 ระยะ คือร้อยละ 70, 80, 90, 100 และปริมาณแป้งกล้วยที่ใช้ในการผลิตซอสพริกเป็นร้อยละ 2, 4, 6, 8 จากการศึกษาพบว่าปริมาณแป้งกล้วยที่ใช้ในการผลิตซอสพริกเหมาะสมคือที่ระดับร้อยละ 4 และเมื่อนำมาใช้ในการผลิตซอสพริก โดยทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า ซอสพริกจากแป้งกล้วยน้ำว่าที่ระยะความแก่ร้อยละ 70, 80, 90, 100 เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค และเมื่อนำซอสพริกจากแป้งกล้วยมาเปรียบเทียบกับซอสพริกที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาด คือ ซอสพริกไฮน์ ซอสพริกโรซ่า และซอสพริกศรีราชา พบว่า ซอสพริกจากแป้งกล้วยมีองค์ประกอบทางเคมี ค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ความหนืด ความคงตัว และสี (ค่า L^* a^* b^*) มีค่าแตกต่างจากซอสพริกที่มีจำหน่ายทั่วไปตามท้องตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อทดสอบความชอบและการยอมรับของผู้บริโภค พบว่า คะแนนความชอบด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่น รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส ความสามารถในการเทออกจากขวด และการยอมรับโดยรวมไม่มีความแตกต่างจากซอสพริกศรีราชา ($p > 0.05$)

นวลพรรณ (2548) นำพิวริกล้วนน้ำว่ามาผลิตเป็นซอสพริก โดยนำพิวริกล้วนน้ำว่าบรรจุกระป๋องที่ผลิตโดยใช้อัตราส่วนกล้วยต่อน้ำเท่ากับ 90 ต่อ 10 ร่วมกับการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนที่ระดับ F_{212}^{18} เท่ากับ 1 และ 3 นาที ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสอยู่ในเกณฑ์สูง รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการเก็บรักษา 9 สัปดาห์น้อยที่สุด มาผลิตเป็นซอสพริกผสมโดยใช้ในปริมาณร้อยละ 25, 30, 35, 40 พบว่า เมื่อใช้พิวริกล้วนน้ำว่าบรรจุกระป๋อง

ในปริมาณที่มากขึ้น ซอสพริกจะมีค่าความหนืดความคงตัว ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด ค่าสีในด้านความสว่างและความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเป็นสีแดงจะลดลง ($p \leq 0.05$) และเมื่อทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัส พบว่า ซอสพริกที่ใช้พริกกล้วยน้ำว้าบรรจุกระป๋องในปริมาณร้อยละ 35 ได้รับคะแนนความชอบในด้านกลิ่น เนื้อสัมผัส ความสามารถในการเท และการยอมรับโดยรวมสูงที่สุด

มนทกานต์ (2549) ใช้แป้งและสตาร์ชเกล็ดเป็นสารให้ความข้นหนืดในซอสพริก เปรียบเทียบกับซอสพริกศรีราชาชนิดเผ็ดปานกลาง พบว่าการใช้แป้งและสตาร์ชเกล็ดที่มีความเข้มข้นร้อยละ 3 ได้ซอสพริกที่มีความหนืดไม่แตกต่างจากซอสพริกศรีราชาชนิดเผ็ดปานกลางอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

7. บทบาทของสารโพลีแซคคาไรด์ในอาหาร

สารโพลีแซคคาไรด์ในอาหารมีบทบาทที่สำคัญ 2 ประการ คือเป็นสารอาหารและเป็นสารปรุงแต่ง สารโพลีแซคคาไรด์ที่ใช้มักถูกสกัดออกมาก่อน อยู่ในรูปของสารแห้งและผงละเอียด การที่สารโพลีแซคคาไรด์มีคุณสมบัติหลายอย่างทำให้ใช้ในอาหารเป็นไปอย่างกว้างขวาง เช่น เป็นสารให้อาหารข้นหนืด เป็นสารอิมัลซิไฟเออร์ เป็นสารให้ความคงตัวในอาหาร เป็นสารช่วยให้อิมัลชันและโฟมอยู่ตัว ทำให้อาหารมีลักษณะเนื้อที่ดี ทำให้อาหารมีสีน้ำตาล เป็นต้น (ณรงค์, 2538)

7.1 การทำให้อาหารข้นหนืด

สารโพลีแซคคาไรด์ที่มีกิ่งก้าน โดยเฉพาะกิ่งก้านที่มีหลายลักษณะจะให้โซลที่ข้นหนืดและอยู่ตัว เนื่องจากโมเลกุลไม่สามารถเข้าใกล้กันและจับตัวกันเป็นเจลได้ โซลเป็นระบบคอลลอยด์ที่มีการกระจายของอนุภาคของแข็ง หรือกิ่งของแข็งในตัวกลางที่เป็นของเหลว การกระจายของอนุภาคในระบบโซลที่เสถียรนั้นขึ้นกับขนาด รูปร่าง แรงดึงดูดระหว่างผิว ความเข้มข้น ความหนาแน่นของอนุภาค และความหนืดของตัวกลาง โซลเป็นของเหลวที่มีความหนืด ซึ่งจะหนืดมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับรูปร่าง หรือโครงสร้างของอนุภาคคอลลอยด์ ถ้าอนุภาคเป็นโมเลกุลที่มีลักษณะยาว จะทำให้เกิดแรงดันเสียดทานระหว่างอนุภาคคอลลอยด์ และตัวกลางสูง ทำให้โซลมีความหนืดเพิ่มขึ้น โมเลกุลที่มีกิ่งก้านมากจะพองตัวได้น้อยกว่าโมเลกุลที่ไม่มีกิ่งก้านเมื่อนำหนักโมเลกุลเท่ากัน สำหรับสารโพลีแซคคาไรด์ที่เป็นแป้งความหนืดจะถึงจุดสูงสุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัว

มากที่สุด ความหนืดจะลดลงอีกครั้งหนึ่งเมื่อเม็ดแป้งแตกตัว สารโพลีแซคคาไรด์จะหลุดออกมา และกระจายตัวในน้ำ เมื่ออยู่ในน้ำสารโพลีแซคคาไรด์จะยึดตัวออกซึ่งทำได้ดีที่สุดเมื่อมีความเข้มข้นต่ำ เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นสูงขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับความเข้มข้น เนื่องจากความหนืดที่เพิ่มขึ้นส่วนหนึ่งเกิดจากปริมาณน้ำที่เป็นอิสระน้อยลง และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากโมเลกุลจับตัวกัน เกลือและน้ำตาลทำให้สารกลุ่มนี้ดูดน้ำได้น้อยลง เนื่องจากสารทั้งสองรวมตัวกับน้ำได้ดีจึงแย่งน้ำกัน ทำให้สารโพลีแซคคาไรด์จับตัวกับน้ำได้น้อยลงและหันไปจับตัวกันเองมากขึ้น ทำให้ความหนืดลดลง ส่วนกรดหรือด่างมีผลน้อยมากถ้าค่าความเป็นกรดต่างของอาหารอยู่ระหว่าง 3.0-10.0 คุณสมบัติของสารที่ช่วยให้หนืดและข้นที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ (สิวาพร, 2529) สารที่ช่วยให้หนืดและข้นที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ประเภทซอส ควรจะมีดังนี้

1. ให้ความหนืดแก่ผลิตภัณฑ์ได้ตามต้องการ
2. คงตัวต่อความร้อนในสถานะที่มีกรดน้ำส้มสายชูด้วย
3. คงตัวต่อกรดน้ำส้มสายชู แม้ว่าจะเก็บผลิตภัณฑ์ไว้เป็นระยะเวลานานๆ
4. ไม่ควรจะเกิดเจลหรือถ้ามีการเกิดเจล ควรสามารถแก้ไขได้ด้วยวิธีการและจะไม่เกิดอีก

เกิดอีก

7.1.1 สารให้ความข้นหนืดจากสตาร์ช

การใช้สตาร์ชเป็นส่วนผสมในอาหาร สตาร์ชไม่ว่าจะอยู่ในรูปธรรมชาติหรือในรูปที่มีการดัดแปรแล้ว จัดเป็นส่วนผสมในอาหารอีกชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรมอาหาร เนื่องจากสตาร์ชนั้น นอกจากจะเป็นแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่สำคัญแล้วยังพบว่ามีคุณสมบัติหลายประการที่มีประโยชน์ต่อผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ช่วยให้อาหารข้น ช่วยให้อาหารคงตัว ช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร นอกจากนั้น ยังมีส่วนช่วยให้กรรมวิธีการผลิตอาหารทำได้ง่ายและสะดวกขึ้นและราคาค่อนข้างถูก สตาร์ชส่วนใหญ่มักจะได้จากส่วนเมล็ดของพืช เช่น ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่างหรือข้าวสาลี บางชนิดอาจได้จากส่วนหัวหรือรากของพืช เช่น มันสำปะหลังและมันฝรั่ง เป็นต้น (สิวาพร, 2529) สตาร์ชเป็นองค์ประกอบส่วนที่สำคัญของแป้ง (flour) โดยทั่วไปแป้งจะมีสตาร์ชอยู่ประมาณร้อยละ 60-70 สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตที่พืชสร้างขึ้นและสะสมไว้ส่วนต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมล็ดและผลการใช้เนื่องจากการมีคุณสมบัติในการช่วยให้เกิดเพสต์ของสตาร์ช การใช้สตาร์ชหรือสตาร์ชดัดแปรเป็นส่วนผสมในอาหารนั้นส่วนใหญ่มักจะใช้เป็นตัวช่วยทำให้ข้น หรือช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อของอาหาร ซึ่งการเลือกใช้สตาร์ชชนิดใด

จะพิจารณาจากลักษณะเนื้อหรือคุณสมบัติทางการไหลที่ต้องการให้มีในผลิตภัณฑ์และรสชาติที่ต้องการด้วย สำหรับสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติ เช่น สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชข้าวฟ่าง สตาร์ชสาลี นั้น วัตถุประสงค์ใหญ่ มักจะใช้เป็นสารที่ช่วยทำให้ข้นหรือช่วยในการเกิดเจล แต่การใช้ค่อนข้างจำกัด เนื่องจากเจลที่เกิดขึ้นจะเกิดการแยกน้ำ หลังจากทิ้งไว้ระยะหนึ่ง ส่วนสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียวและสตาร์ชมันสำปะหลัง อาจใช้เป็นสารที่ช่วยทำให้ข้นและช่วยให้ส่วนประกอบของอาหารมีการแขวนลอยอย่างสม่ำเสมอ สำหรับสตาร์ชครอสตลิ่งก็มีการใช้มากในอุตสาหกรรมอาหาร โดยทำหน้าที่เป็นสารทำให้ข้นช่วยปรับปรุงลักษณะเนื้อของอาหารให้ดีขึ้น และดีกว่าสตาร์ชที่ได้จากธรรมชาติบางชนิด ยังมีการใช้สตาร์ชในอาหารกระป๋อง ได้แก่ อาหารเด็กอ่อน ซุป ซอส pie fillings, gravies, cream style corn เป็นต้น วัตถุประสงค์ในการใช้สตาร์ชในอุตสาหกรรมอาหารกระป๋องเพื่อช่วยเพิ่มความข้นของผลิตภัณฑ์และช่วยให้ส่วนประกอบของอาหารมีการแขวนลอยดีขึ้น

แป้งข้าวโพด (corn starch) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบอาหารในอุตสาหกรรมอาหารเป็นจำนวนมาก ส่วนใหญ่จะสั่งเข้าจากต่างประเทศเนื่องจากการผลิตภายในประเทศมีปริมาณไม่เพียงพอความต้องการของผู้บริโภค แป้งข้าวโพด หมายถึง แป้งที่ได้จากเมล็ดของข้าวโพด ที่มีชื่อวิทยาศาสตร์ ซีเมย์ซ (zea mays) ผ่านกรรมวิธีการบดเปียก (wet milling) แยกโปรตีนและไขมันออกแล้วอบแห้ง (อรพิน, 2533) มีการนำแป้งข้าวโพดมาใช้ในอาหารมากมายได้แก่ เป็นส่วนผสมในไส้ต้มซ่าประเภทต่างๆ ทำให้สามารถเก็บต้มซ่าไว้ในตู้เย็นได้นานๆ ผลิตภัณฑ์ซอสทำให้มีความข้นใสและดูเจาน่ารับประทาน หรือนำมาหมักเนื้อสัตว์เพื่อทำให้เนื้อนุ่มหยุ่น หรือจะใช้แป้งข้าวโพดทำอาหารประเภทซุบแป้งทอดเพื่อคงความกรอบได้นาน (กรมวิทยาศาสตร์วิทยาการ, 2544)

7.2 การทำหน้าที่เป็นสารให้ความคงตัว (stabilizer)

สารโพลีแซคคาไรด์ยังทำหน้าที่เป็นสารช่วยให้อยู่ตัว (stabilizer) คือทำหน้าที่มิให้อาหารเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพไปในทิศทางที่ไม่ต้องการ คือป้องกันการแยกตัวของน้ำ ป้องกันการแยกตัวของน้ำมัน ป้องกันการตกผลึก ป้องกันการตกตะกอนของอนุภาค และป้องกันการแตกตัวของโฟม หน้าที่เหล่านี้เกี่ยวข้องกับความสัมพันธ์ทั้งสี่ ความอยู่ตัวเกิดจากการทำหน้าที่ของสารโพลีแซคคาไรด์ 2 ประการคือทำให้ความหนืดของน้ำสูงขึ้น และทำหน้าที่เป็นสาร protective colloid เชื่อมตัวกระจายและน้ำเข้าด้วยกันโดยตัวกระจายจะถูกเคลือบด้วยสารโพลีแซค

คาร์โบไฮเดรต ทำให้มีคุณสมบัติเหมือนคอลลอยด์ซึ่งมีสัมพรรคภาพกับน้ำได้ดี ตัวกระจายจึงไม่ตกตะกอนบ่อยครั้งที่ใช้สาร โพลีแซคคาไรด์ร่วมกับสารช่วยเกาะติดเพื่อให้สารช่วยเกาะติดลดความตึงผิวที่หน้าสัมผัสให้ต่ำลง โดยเฉพาะจะทำให้โอกาสที่ผิวของอนุภาคถูกกำจัดออกไปได้ง่าย สารโพลีแซคคาไรด์จึงเกาะติดกับตัวกระจายได้ดีขึ้น (ณรงค์, 2538)

8. การวัดค่าความหนืด (viscosity) และความคงตัว (consistency)

ค่าความหนืดและความคงตัวของของไหล (fluid) วัดได้โดยวัดค่าแรงต้านการไหล (fluidity) เมื่อมีแรงเฉก (shear force) มาทำให้เกิดการไหลขึ้นเมื่อแรงต้านการไหลเท่ากับการไหล จะเกิดการคงตัวขึ้น เรียกแรงต้านการไหลนี้ว่าความหนืด (viscosity) สำหรับของไหลชนิด Newtonian และความคงตัวสำหรับการไหลประเภท Non-Newtonian ค่าความหนืดของของไหลประเภท Newtonian จะมีค่าคงที่เมื่อความดันและอุณหภูมิคงที่ ซึ่งต่างจากค่าความคงตัวของพวกของไหลชนิด Non-Newtonian ซึ่งจะให้ค่าแตกต่างกันตามคุณสมบัติของของไหลแต่ละชนิดคือ pseudo plastic materials ชนิด plastic materials และชนิด dilatant เป็นต้น การวัดค่าความหนืดและความคงตัวจึงมีวิธีวัดค่าแตกต่างกันตามพวกของไหล คือประเภท Newtonian และ Non-Newtonian อีกทั้งหน่วยการวัดค่าความหนืดของของไหลทั้งสองนี้ก็แตกต่างกันคือ

1. หน่วยวัดค่าของไหลประเภท Newtonian ค่าของแรงต้านการไหลของของไหล Newtonian เรียกว่า ความหนืด (viscosity of absolute viscosity) ซึ่งมีหน่วยการวัดค่าเรียกว่า "poise" ตามชื่อของนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส poiseuille ค่า 1 poise เท่ากับค่าแรงเฉก (shearing force) 1 dyne/ตารางเซนติเมตร ที่ทำให้เกิดอัตราเร็วของแรงเฉกขึ้น 1/60 วินาที ค่า 1 poise เท่ากับ 100 centipoises

2. หน่วยวัดค่าของไหลประเภท Non-Newtonian ค่าของแรงต้านการไหลของประเภท Non-Newtonian เรียกว่า consistency หรือความคงตัว อาจวัดค่าความคงตัวนี้ได้โดยวิธีคล้ายกับการวัดค่าความหนืด (viscosity) เรียกว่าการวัดค่า apparent viscosity ซึ่งเป็นการวัดค่าแรงต้านการไหลของของเหลวที่อัตราเร็วของแรงเฉกอันหนึ่ง ค่าของ apparent viscosity ของพวกของไหลประเภท Non-Newtonian นี้จะแตกต่างอัตราเร็วของแรงเฉก การวัดค่า apparent viscosity คือการวัดค่าความหนืดเกิดจากการต้านการไหลของของเหลวซึ่งเกิดขึ้นระหว่างชั้นของของไหลนั้นซึ่งเป็นประเภท Non-Newtonian fluid โดยมีอัตราเร็วของแรงเฉก ดังนั้นค่าของ apparent

viscosity ของของไหลประเภท Non-Newtonian จะแตกต่างกันไปตามความแตกต่างอัตราเร็วของแรงแยก หน่วยวัดค่าความคงตัว (apparent viscosity หรือ consistency) นี้จะแตกต่างกันเครื่องมือที่ใช้วัดค่าตัวอย่าง เช่น การวัดค่าความคงตัวด้วยเครื่องมือ Stormer Viscosimeter จะมีหน่วยวัดค่าเป็นระยะเวลา (วินาที) ที่แกนเครื่องวัดหมุนอยู่ในตัวอย่างที่นำมาวัดค่าเป็นจำนวน 100 รอบ ส่วนหน่วยวัดค่าความคงตัวของเครื่องมือ Bostwick Consistometer จะมีหน่วยเป็นระยะทางที่ตัวอย่างไหลไปในเวลา 30 วินาที ค่าความคงตัวเหล่านี้เป็นค่าในหน่วยของ apparent viscosity ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นค่าในหน่วยของ absolute viscosity ได้ด้วยตารางเปลี่ยนค่า (conversion chart) ซึ่งบริษัทผู้สร้างเครื่องมือวัดค่าจะต้องมีให้ (นฤดมและจินตนา, 2546)

มีเครื่องมือหลายชนิดสำหรับใช้วัดค่าความหนืดและความคงตัว ระบบการวัดค่าต่างๆจะคล้ายกันเป็นส่วนใหญ่ ระบบการวัดค่าความหนืดและความคงตัวจะดังนี้ (นฤดมและจินตนา, 2546)

1. การวัดความหนืดแบบโรเตชันนัล (rotational) โดยหมุนแกนเครื่องมือที่วัดค่าในตัวอย่างที่นำมาทดสอบ ระบบการวัดค่าความคงตัวด้วยค่าของการหมุนรอบตัวของที่หมุนหรือ กระบอกหมุนในตัวอย่างนี้เป็นระบบการวัดค่าที่ใช้กันมากในวงการอุตสาหกรรม เช่นเครื่องวัดค่าความคงตัว Brookfield Viscosimeter สามารถวัดความหนืดได้ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ การทำงานของเครื่องเกิดจากการหมุนของวัตถุทรงกระบอกหรือแผ่นจานในของเหลวด้วยอัตราเร็วคงที่ ค่าความหนืดของของเหลววัดได้จากค่าความต้านทานการหมุนของของเหลวที่อัตราเร็วคงที่ (กล้าณรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) ค่าที่วัดได้มีหน่วยความหนืดเป็นเซนติพอยส์ (centipoises) ค่าที่วัดได้จะเป็นค่า relative viscosity ซึ่งจะเปลี่ยนเป็นค่าในหน่วย absolute viscosity ด้วยการคำนวณเทียบค่า

2. วัดการแผ่กระจายและการไหลของตัวอย่าง (spreading and flowing) การแผ่กระจายหรือการไหลของตัวอย่างที่นำมาวัดค่าในระยะเวลาที่กำหนดใช้เป็นแบบของวิธีวัดค่าความคงตัว ซึ่งได้นำไปออกแบบเครื่องมือวัดค่าความคงตัวคือเครื่องมือ Bostwick Consistometer ใช้วัดการไหลของพวกของเหลวข้น เช่นพวกผลิตภัณฑ์มะเขือเทศ แยม และพวกผลไม้กวน (preserves) ฯลฯ เครื่องมือนี้วัดระยะเวลาที่ตัวอย่างไหลไปในระดับพื้นราบในระยะเวลาที่กำหนด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบ

- 1.1 เมล็ดขนุนพันธุ์ศรีบรรจง จากกลุ่มแม่บ้านแปรรูปขนุน จังหวัดราชบุรี เก็บตัวอย่างในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2550
- 1.2 สตาร์ข้าวโพดจากบริษัท เฟรนด์ชิพ คอร์นสตาร์ช จำกัด
- 1.3 สตาร์มันฝรั่งจากบริษัท Sing Long Foodstuff Trading Co., Ltd ประเทศมาเลเซีย
- 1.4 พริกชี้ฟ้าแดงจากตลาดอมรพันธุ์
- 1.5 น้ำตาลจากบริษัท น้ำตาลมิตรผล จำกัด
- 1.6 น้ำส้มสายชูยี่ห้อภูเขาทอง
- 1.7 เกลือยี่ห้อเกลือปรุงทิพย์
- 1.8 กระเทียมดองจากตลาดพระพุทธรบาท

2. อุปกรณ์และสารเคมี

- 2.1 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในผลิตแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุน
 - 2.1.1 เครื่องอบลมร้อนแบบถาด (Tray dryer)
 - 2.1.2 ตู้อบแบบลมร้อน (Hot air oven, Memmert รุ่น ULE500, Germany)
 - 2.1.3 เครื่องหมุนเหวี่ยงควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Refrigerated centrifuge, Sorvall RC-5-C plus)
 - 2.1.4 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge, MRC รุ่น CN-1050, Israel)
 - 2.1.5 เครื่องหั่นฝาน (Wasino, รุ่น TW09 ตัว U)
 - 2.1.6 เครื่องหั่นฝอย (Sakaya, รุ่นหัวชุด 8 นิ้ว)
 - 2.1.7 เครื่องบด (Hammer mill, Mikro-pulverizer, Model AP-S)
 - 2.1.8 ตะแกรงร่อน 80, 100, 200 เมช (Retsch)

2.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบคุณภาพ

- 2.2.1 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA3D, Newport Scientific Instrument & Engineering, Australia)
- 2.2.2 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน (Kjeldahl apparatus, Buchi)
- 2.2.3 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Tecator รุ่น Soxtec system HT)
- 2.2.4 เครื่องมือวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (Tecator fibertec system 1020 hot extractor)
- 2.2.5 เตาเผาอุณหภูมิสูง (Muffle Furnace, Gallenkamp รุ่น FSE-261-210D)
- 2.2.6 ตู้บ่มควบคุมอุณหภูมิต่ำ (Low temperature incubator, Memmert รุ่น CELSIUS 2000, Germany)
- 2.2.7 เครื่องคิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่ง แคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC, Pyris1 Perkin-Elmer, USA)
- 2.2.8 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Visco Analyzer, RVA3D, Newport Scientific Instrument & Engineering, Australia)
- 2.2.9 เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer, Thermo Electron Corporation รุ่น GENESYS™ 10, USA)
- 2.2.10 กล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน (Microscope, Leica รุ่น DME)
- 2.2.11 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ X-Ray Diffractometer (JEOL, JDX-3530, Japan)
- 2.2.12 เครื่องกวนที่สามารถควบคุมความเร็วรอบได้ (High torque stirrer, Ingenieurburo CAT, M.Zip รุ่น R50D, Germany)
- 2.2.13 เครื่องแช่เยือกแข็งแบบไครโอจีนิก (Cryogenic freezer) (รุ่น Mini Batch Freezer 1000L, Bangkok Industrial Gas Co., Ltd.)
- 2.2.14 สายเทอร์มोकัปเปิล (Thermocouple) และเครื่องบันทึกข้อมูล (Data-logger)
- 2.2.15 ตู้แช่เยือกแข็ง (Chest freezer, Sanyo รุ่น SF-C1495)
- 2.2.16 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, JEOL รุ่น JMS-5600LV, England)
- 2.2.17 เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH meter, Jenco)
- 2.2.18 เครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer รุ่น CM-3500d)

- 2.2.19 เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (Hand refractometer, Atago N-2E)
- 2.2.20 ตู้บ่ม (Incubator, Memmert รุ่น Modell 500)
- 2.2.21 เครื่องวัดความหนืด (Brookefield viscometer (Digital Rheometer Model DV-III)
- 2.2.22 พาราฟิล์ม (parafilm)
- 2.2.23 เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Scaltec รุ่น SPB31)
- 2.2.24 อุปกรณ์เครื่องแก้ว

3. สารเคมี

3.1 สารเคมีสำหรับผลิตแป้งและสกัดสารเคมีต้น

- 3.1.1 กรดซิตริก (Citric acid, Analytical grad, Ajax Finechem, Australia)
- 3.1.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, Analytical grade, Merck, Germany)

3.2 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์เอมิโลส

- 3.2.1 เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 (Ethanol, Analytical grade, Merck, Germany)
- 3.2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, Analytical grade, Merck, Germany)
- 3.2.3 กรดแอซีติก (Glacial acetic acid, Analytical grade, Merck, Germany)
- 3.2.4 แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (Sigma, USA) (Amylose from potato, Sigma, USA)
- 3.2.5 ไอโอดีน (Iodine, Carlo Erba Reagent, Italy)
- 3.2.6 โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide, Ajax Finechem, Australia)

3.3 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์โปรตีน

- 3.3.1 กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 95-97 (Sulfuric acid, Analytical grade,

Merck, Germany)

3.3.2 คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate, Analytical grade, Carlo Erba Reagent, Italy)

3.3.3 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide, Analytical grade, Merck, Germany)

3.3.4 กรดบอริก (Boric acid, Analytical grade, Merck, Germany)

3.3.5 โพแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate, Analytical grade, Carlo Erba Reagent, Italy)

3.3.6 กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid, Analytical grade, Merck, Germany)

3.3.7 เมทิลเรด (Methyl red, Ajax Finechem, Australia)

3.3.8 โบรโมคริสซอลกรีน (Bromocresol green, Ajax Finechem, Australia)

3.4 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์ไขมัน ได้แก่ ปิโตรเลียมอีเธอร์ (Petroleum Ether, Analytical grade, J.T. Baker, USA)

3.5 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์เส้นใย

3.5.1 กรดซัลฟิวริก 0.255 นอร์แมล

3.5.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.313 นอร์แมล

3.5.3 แอลกอฮอล์ร้อยละ 95

3.5.4 n-Octanal

3.6 สารเคมีสำหรับวิเคราะห์สมบัติการพองตัว ได้แก่ บลูเดกซ์แทรน (blue dextran)

3.7 สารเคมีสำหรับเตรียมตัวอย่างเจลสตาร์ชที่ผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งในการนำไปตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของเจลสตาร์ช ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์ความเข้มข้นร้อยละ 95 (Ethanol, Analytical grade, Merck, Germany)

วิธีการ

1. การเตรียมวัตถุดิบ

ผู้วิจัยทำการติดต่อขอรับเมล็ดขนุนพันธุ์ศรีบรรจงจากกลุ่มแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรที่จังหวัดราชบุรีและเก็บเมล็ดขนุนพันธุ์ศรีบรรจงในช่วงฤดูและแหล่งวัตถุดิบเดียวกัน แล้วนำมาเก็บไว้ในตู้แช่เยือกแข็ง -18 องศาเซลเซียส จนกว่าจะนำไปใช้

1.1 การผลิตแป้งเมล็ดขนุน คัดแปลงจากวิธีการของ Tulyuthan *et al.* (2002) และ Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004)

นำเมล็ดขนุนพันธุ์ศรีบรรจงมาล้างทำความสะอาด ผึ่งให้แห้ง ลอกเปลือกสีขาวออกนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปแช่ในกรดซิตริกร้อยละ 5 เป็นเวลา 2 นาที นำเมล็ดขนุนล้างน้ำสะอาด และลอกเยื่อสีน้ำตาลออก นำเมล็ดขนุนที่ลอกเยื่อสีน้ำตาลแล้วเข้าเครื่องหั่นฝานและหั่นฝอย อบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส จนกว่าจะมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 13 นำเมล็ดเข้าเครื่องบด (Hammer Mill) และร่อนผ่านตะแกรง 80 เมช เก็บในภาชนะที่ปิดสนิท คำนวณปริมาณร้อยละผลผลิตของแป้ง (% yield) เป็นน้ำหนักเปียก (wet basis) โดยเทียบกับน้ำหนักของเมล็ดขนุนเริ่มต้น

1.2 การผลิตสารละลายเมล็ดขนุน คัดแปลงจากวิธีการของ Bobbio *et al.* (1978) และคันสนีย์ (2548)

นำแป้งเมล็ดขนุนจากข้อ 1.1 มาสกัดสารละลาย โดยนำแป้งเมล็ดขนุนมาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 0.05 นอร์แมล โดยใช้อัตราส่วน 1:5 (แป้ง 1 : สารละลาย 5) กวนตลอดเวลาเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000 x g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เทส่วนของเหลวทิ้ง ขูดส่วนสีน้ำตาลด้านบนของส่วนที่ตกตะกอนออก แล้วนำมาผสมในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้อัตราส่วน 1:5 (แป้ง: สารละลาย) กวนตลอดเวลาต่อไปอีกเป็นเวลา 2 ชั่วโมง นำมาหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3,000 x g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เทส่วนของเหลวทิ้ง ขูดส่วน

สีน้ำตาลด้านบนของส่วนที่ตกตะกอนออก นำส่วนที่ตกตะกอนมาผสมกับน้ำกลั่นด้วยอัตราส่วน 1:2 (แป้ง : น้ำกลั่น) นำของเหลวที่ได้ไปผ่านตะแกรงขนาด 200 เมช โดยใช้ น้ำกลั่นล้างส่วนที่ไม่สามารถละลายได้ออกให้มากที่สุด ทิ้งให้ตกตะกอน 1 ชั่วโมง เทของเหลวด้านบนออก จากนั้นปรับให้มีค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 7.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 โมลาร์ นำของเหลวไปหมุนเหวี่ยงแยกน้ำด้วยความเร็วรอบ 3,000 x g ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที เทส่วนของเหลวทิ้ง ขูดส่วนสีน้ำตาลด้านบนของส่วนที่ตกตะกอนออก ทำซ้ำ 2-3 ครั้ง ได้เป็นสตาร์ชเปียก และนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแบบลมร้อนอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 12 ชั่วโมง ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 เมช เก็บในภาชนะปิดสนิท ที่อุณหภูมิห้อง สังเกตลักษณะสตาร์ชที่ผลิตได้และคำนวณปริมาณร้อยละผลผลิตของสตาร์ช (% yield) เป็นน้ำหนักเปียก (wet basis) โดยเทียบกับน้ำหนักของเมล็ดขนุนเริ่มต้น

2. เปรียบเทียบสมบัติของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนกับสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่ง

2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบ (ภาคผนวก ก)

- 2.1.1 ความชื้น ตามวิธีการของ AACC (2000)
- 2.1.2 ปริมาณแอมิโลส คัดแปลงจากวิธีของ Gunarate and Hoover (2002)
- 2.1.3 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีการของ AACC (2000)
- 2.1.4 ปริมาณไขมัน ตามวิธีการของ AACC (2000)
- 2.1.5 ปริมาณเถ้า ตามวิธีการของ AACC (2000)
- 2.1.6 ปริมาณเส้นใย ตามวิธีการของ AACC (2000)
- 2.1.7 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต = $100 - (\text{โปรตีน} + \text{ไขมัน} + \text{เถ้า} + \text{เส้นใย})$

2.2 การวิเคราะห์คุณสมบัติของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่ง

- 2.2.1 ตรวจสอบขนาดของเม็ดแป้งและสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่านที่กำลังขยาย 40x และตรวจสอบรูปร่างด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ภาคผนวก ก) วัดขนาดการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ชโดยใช้ digimazer program

2.2.2 ตรวจสอบค่าสีของแป้งและสตาร์ชด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer รุ่น CM-3500d) วัดในระบบ CIELab แสดงค่า L^* a^* และ b^* (ภาคผนวก ก)

2.2.3 ตรวจสอบโครงสร้างความเป็นผลึก

ด้วยการใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ (JEOL, JDX-3530, Japan) เพื่อหารูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffraction Pattern) และคำนวณร้อยละความเป็นผลึกโดยเปรียบเทียบ (% relative crystallinity) ตามวิธีของ Photiset and Charoenrein (2007) โดยกำหนดค่าความต่างศักย์ที่ 30 กิโลโวลต์ใช้กระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมป์และสแกนในช่วงมุม 2θ เท่ากับ 5-40 องศา (ภาคผนวก ก)

2.2.4 ตรวจสอบสมบัติด้านการพองตัว (Swelling properties) ดัดแปลงจากวิธีของ Schoch *et al.* (1964) และ Tester and Morrison (1990) (ภาคผนวก ก)

2.2.5 ตรวจสอบสมบัติด้านความหนืด (Pasting properties) ด้วยเครื่อง RVA ตามวิธีการของ AACC (2000) (ภาคผนวก ก) เพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความหนืดลดลง (breakdown) และค่าเซตแบค (setback)

2.2.6 ตรวจสอบสมบัติทางด้านความร้อน (Thermal properties) ด้วยเครื่อง DSC ดัดแปลงจากวิธีของ Thirathumthavorn and Charoenrein (2005)

ชั่งแป้งและสตาร์ชลงในถ้วยใส่ตัวอย่างสแตนเลส (stainless) และเติมน้ำกลั่นด้วยไซริงค์ (microsyringe) ให้มีอัตราส่วนแป้งหรือสตาร์ชต่อน้ำโดยน้ำหนักเท่ากับ 30:70 ซึ่งมีน้ำหนักรวมทั้งหมด 20 มิลลิกรัม ปิดฝาให้สนิท และวางตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์การเกิดเจลในเซชันด้วยเครื่อง DSC โดยใช้ถ้วยใส่ตัวอย่างสแตนเลสเปล่าเป็นตัวอย่างอ้างอิงและกำหนดอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่ 25 ถึง 140 องศาเซลเซียส โดยมีอัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียสต่อนาที จากนั้นนำถ้วยที่ใส่ตัวอย่างเก็บไว้ที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน เพื่อวิเคราะห์การเกิดรีโทรเกรเดชันด้วย DSC โดยให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 25 ถึง 140 องศาเซลเซียส และให้อัตราเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิเป็น 10

องศาเซลเซียสก่อนที่ วิเคราะห์การเกิดเจลในเซชันและรีโทรเกรเดชัน จากอุณหภูมิเริ่มต้น (onset temperature, T_o) อุณหภูมิสูงสุด (peak temperature, T_p) อุณหภูมิสุดท้าย (conclusion temperature, T_c) และพลังงานเอนทาลปี (enthalpy, ΔH)

2.2.7 ศึกษาคุณสมบัติทางด้านการคงตัวต่อการคืนรูปจากการแช่เยือกแข็ง (Freeze thaw stability)

2.2.7.1 การเตรียมตัวอย่างเจลแป็งและสตาร์ชต่างๆ คัดแปลงจากวิธีการของ อรวรรณ (2549) และ Zheng and Sosulski (1998)

ใช้แป็งและสตาร์ชแขวนลอยต่างๆ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 9 (น้ำหนักแห้ง) นำไปให้ความร้อนที่ 85 องศาเซลเซียส ส่วนสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่งให้ความร้อนที่ 80 องศาเซลเซียส และ 68 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เป็นเวลา 25 นาทีแล้วนำมาทำให้เย็นที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำไปนิ่งเป็นเวลา 9 นาที แล้วทิ้งให้เย็นไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2.2.7.2 การแช่เยือกแข็งและการคืนรูปจากเยือกแข็ง

นำเจลแป็งและสตาร์ชต่างๆ ที่เตรียมจากข้อ 2.2.7.1 ใส่ในเครื่องแช่เยือกแข็ง cryogenic freezer ที่ตั้งอุณหภูมิภายในเป็น -20 องศาเซลเซียส ลดอุณหภูมิจนกว่าตัวอย่างจะมีอุณหภูมิจึง -20 องศาเซลเซียส จากนั้นนำตัวอย่างมาเก็บไว้ที่ตู้แช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง ทำการคืนรูปเจลที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำเจลแป็งและสตาร์ชต่างๆ มาหมุนเหวี่ยงในเครื่องหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 100 x g เป็นเวลา 15 นาที คำนวณร้อยละการแยกของน้ำ ส่วนหลอดที่เหลือนำมาแช่เยือกแข็งต่อที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมงอีกครั้ง ทำการคืนรูปเจลแล้วนำตัวอย่างมาหมุนเหวี่ยงเพื่อหาร้อยละการแยกของน้ำโดยนับเป็นการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 2 และทำซ้ำเช่นเดิมจนครบรอบที่ 5 รายงานผลจากค่าเฉลี่ยการทดลองทั้งหมด 5 ซ้ำ

$$\text{ค่าร้อยละการแยกของน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักของน้ำที่ถูกเหวี่ยงแยกออกมา}}{\text{น้ำหนักของเจลเริ่มต้นก่อนการเหวี่ยงแยก}} \times 100$$

2.2.7.3 การตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาคของเจลแป็งและสตาร์ช

นำตัวอย่างเจลแป็งและสตาร์ช จากข้อ 2.2.7.2 ที่ผ่านการคืนรูปจากเยือกแข็งจำนวน 1, 3 และ 5 รอบ มาขจัดน้ำออกจากตัวอย่างด้วยการนำไปแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นร้อยละ 50, 70, 90 และเอทิลแอลกอฮอล์ส่วนที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงตามลำดับ แล้วนำชิ้นตัวอย่างไปทำแห้งด้วยเครื่องทำแห้งจุดวิกฤต (critical point dryer) จากนั้นนำไปตรวจสอบโครงสร้างระดับจุลภาค (microstructure) ด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

3. การนำแป็งและสตาร์ชเมล็ดขนุนเป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในซอสพริก

3.1 การผลิตซอสพริกโดยดัดแปลงสูตรและวิธีการจากมันหนา (2546)

ผลิตซอสพริกโดยใช้แป็งและสตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพดที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 1 ของน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด ซึ่งมีส่วนผสมและวิธีการผลิตดังนี้

ส่วนผสม	ร้อยละ (โดยน้ำหนัก)
แป็งและสตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพด	1
พริกชี้ฟ้าแดง	25
น้ำตาล	15
น้ำส้มสายชู	13
กระเทียมดอง	7
เกลือ	2
น้ำ	เติมให้ครบ 100

วิธีการผลิต

1. นำพริกเคี้ยวและล้างให้สะอาด
2. จากนั้นนำพริกและกระเทียมดองมาล้างที่อุณหภูมิน้ำเดือด 30 นาที
3. แกะกลีบกระเทียมดองและเม็ดพริกออกใส่น้ำส้มสายชูแล้วตีปั่นให้ละเอียด

4. กรองเอากากออก
5. นำไปให้ความร้อน เมื่ออุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เติมน้ำตาล เกลือ แป้งหรือสตาร์ช
6. ให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึง 91-93 องศาเซลเซียส แล้วดับไฟ
7. บรรจุขณะร้อนใส่ภาชนะที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว ปิดฝาให้สนิท ทำให้เย็น เก็บรักษา

3.2 วิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่เติมแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพดความเข้มข้นร้อยละ 1 ทำการทดลอง 2 ครั้ง รายงานผลจากค่าเฉลี่ยการทดลองทั้งหมด 2 ซ้ำ โดยมีผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่เติมแป้งและสตาร์ช (ซอสพริกควบคุม) เป็นตัวเปรียบเทียบคุณภาพต่างๆ ดังนี้

3.2.1 ตรวจสอบค่าสีของซอสพริกด้วยเครื่อง (Minolta Spectrophotometer รุ่น CM-3500d) วัดในระบบ CIELab แสดงค่า L^* a^* และ b^*

3.2.2 ตรวจสอบค่าความคงตัว (consistometer) ของซอสพริก คัดแปลงจากวิธีการของ Sahin and Ozdemir (2004) และ Bayod *et al.* (2008) วัดความคงตัวโดยใช้เครื่อง Bostwick Consistometer วัดระยะทางที่ซอสพริกไหลได้ (เซนติเมตร) ภายในระยะเวลา 30 วินาที

3.2.3 ตรวจสอบค่าความเป็นกรดค่า (pH) ด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter, Jenco)

3.2.4 ตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid) ด้วยเครื่องรีแฟรคโตมิเตอร์ (Hand refractometer, Atago N-2E)

3.2.5 ตรวจสอบความหนืด (viscosity) คัดแปลงจากวิธีการของ Sahin and Ozdemir (2004) โดยใช้เครื่อง Brookfield Viscometer (Digital Rheometer Model DV-III), Spindle no.3 ที่ความเร็วรอบ 30 rpm

3.2.6 ทดสอบการยอมรับโดยวิธีประเมินค่าทางประสาทสัมผัส โดยทดสอบชิมซอสพริกพร้อมกับไส้กรอกให้คะแนนความชอบแบบ Hedonic scale 9 point ในเรื่อง สี ความหนืด ความเป็นเนื้อเดียวกัน รสชาติและความชอบโดยรวม ในช่วงคะแนน 1 ถึง 9 ใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน วางแผนการชิมแบบ Random Complete Block Design (RCBD) และ

วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของการทดลอง แล้ววิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's Multiple range test ($P \leq 0.05$) ทำการทดลอง 2 ครั้ง รายงานผลจากค่าเฉลี่ยการทดลองทั้งหมด 2 ครั้ง

3.2.7 ทำการเก็บรักษาซอสพริกต่างๆที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 สัปดาห์ และวิเคราะห์ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ซอสพริก โดยมีผลิตภัณฑ์ซอสพริกที่ไม่เค็มแป้งและสตาร์ชเป็นตัวเปรียบเทียบคุณภาพต่างๆที่วิเคราะห์ตามข้อ 3.2.1 – 3.2.6 และวัดการแยกชั้น (sedimentation) ของน้ำกับซอสพริก คัดแปลงจากวิธีการของ Robinson *et al.* (1956) โดยบรรจุซอสพริกลงในกระบอกตวงใสขนาด 100 มิลลิลิตรปิดปากกระบอกตวงด้วยพาราฟิล์มและเก็บไว้ในตู้ป่น วัดระยะทางการแยกชั้นของน้ำกับเนื้อพริก (เซนติเมตร) ทุก 1 สัปดาห์

4. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

เปรียบเทียบสมบัติด้านต่างๆของแป้งและสตาร์ชโดยใช้แผนการทดลองแบบตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomize Design: CRD) ทำการวิเคราะห์ตัวอย่าง 2 ครั้ง ยกเว้นความชื้นและร้อยละการแยกของน้ำของเจลแป้งและสตาร์ชวิเคราะห์ตัวอย่าง 5 ครั้งสำหรับการเปรียบเทียบคุณสมบัติของซอสพริกชนิดต่างๆใช้แผนการทดลองแบบตามแผนการทดลองแบบบล็อกสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design: RCBD) นอกจากนี้วิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ด้วยโปรแกรม SPSS ถ้ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จะนำมาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple's Range Test (DMRT)

5. สถานที่ทดลอง

ห้องปฏิบัติการและอาคารแปรรูปภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

6. ระยะเวลาการทดลอง

ตั้งแต่เดือนธันวาคม 2550 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2552

7. แหล่งทุนสนับสนุน

สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (Kasetsart University Research and Development Institute)

ผลและวิจารณ์

จากการสำรวจสถานประกอบการแปรรูปขนุนในปี 2549 พบว่ามีการใช้ปริมาณขนุนในการแปรรูปที่แตกต่างกันขึ้นกับกำลังการผลิตของแต่ละแห่ง ปริมาณต่ำสุดคือ 10 ตันและสูงสุดคือ 240 ตัน และเมื่อคำนวณเป็นปริมาณเมล็ดขนุนที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปจะได้ตั้งแต่ 1,000 - 24,000 ก.ก.ต่อปี พันธุ์ขนุนที่ใช้กันมากคือ พันธุ์ทองสุใจ ทองประเสริฐและศรีบรรจง โดยมีการแปรรูปตลอดปีช่วงเวลาที่มีการผลิตมากคือเดือน ธันวาคม – พฤษภาคม เนื่องจากเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุใจและทองประเสริฐได้มีการนำมาใช้ในงานวิจัยอื่นๆแล้ว ดังนั้นผู้ทำการทดลองจึงนำพันธุ์ศรีบรรจงมาใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อให้มีข้อมูลมากขึ้นเกี่ยวกับคุณสมบัติของเมล็ดขนุนที่ใช้แปรรูปในประเทศไทย โดยเมล็ดขนุนที่ใช้ในการทดลองนี้ได้มาจากกลุ่มแม่บ้านทำการผลิตขนุนแปรรูปจังหวัดราชบุรี

1. องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดขนุน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดขนุนหลังแกะเปลือกสีน้ำตาล (ตารางที่ 7) พบว่าเมล็ดขนุนมีความชื้นเท่ากับร้อยละ 59.63 ปริมาณความชื้นของเมล็ดผลไม้จะอยู่ในช่วงร้อยละ 40-60 (Powell and Oates, 1994) คาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 88.07 ส่วนโปรตีนเส้นใย เถ้า และ ไขมันเท่ากับร้อยละ 5.92, 4.18, 1.57 และ 0.26 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ข้อมูลคุณค่าทางอาหารของขนุนพบว่า เมล็ดขนุนมีความชื้นร้อยละ 60.7 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 30.6 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 5.5 ปริมาณเส้นใยร้อยละ 1.6 ปริมาณไขมันเท่ากับร้อยละ 0.2 (นฤมล, 2550) Bobbio *et al.* (1978) วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดขนุนพบว่าเมล็ดขนุนมีความชื้นร้อยละ 61.5 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 25.1 ปริมาณโปรตีนเท่ากับร้อยละ 12.3 และปริมาณไขมันร้อยละ 0.5 ส่วน Aromdee *et al.* (2004) พบว่าเมล็ดขนุนมีปริมาณความชื้นร้อยละ 54.7 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 38.4 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 6.6 ปริมาณเส้นใยร้อยละ 1.5 ปริมาณไขมันร้อยละ 0.4

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดขนุนพันธุ์ศรีบริรจง

องค์ประกอบทางเคมี	(หน่วย: ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)
	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น **	59.63 $\pm$ 0.39
คาร์โบไฮเดรต*	88.07 $\pm$ 0.04
โปรตีน*	5.92 $\pm$ 0.15
เส้นใย*	4.18 $\pm$ 0.04
เถ้า*	1.57 $\pm$ 0.02
ไขมัน*	0.26 $\pm$ 0.02

หมายเหตุ ** - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. แป้งและสตาrchจากเมล็ดขนุน

2.1 ปริมาณผลผลิตของแป้งและสตาrchจากเมล็ดขนุน

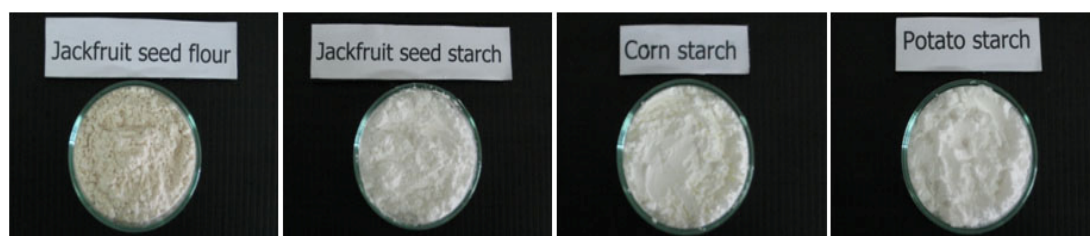
ตารางที่ 8 ลักษณะและร้อยละของปริมาณผลได้ของแป้งและสตาrchเมล็ดขนุนพันธุ์ศรีบริรจง

ตัวอย่าง	ร้อยละปริมาณผลผลิต (น้ำหนักเปียก)	ลักษณะเมื่อสังเกตด้วยตาเปล่า
แป้งเมล็ดขนุน	31.90	สีเหลืองออกน้ำตาล
สตาrchเมล็ดขนุน	10.55	สีขาว

หมายเหตุ ร้อยละของปริมาณผลผลิต คัดจากน้ำหนักของเมล็ดขนุนเริ่มต้น

จากการทดลองนี้เมื่อนำเมล็ดขนุนพันธุ์ศรีบริรจงมาผลิตแป้งพบว่าได้ปริมาณผลผลิตร้อยละ 31.90 (น้ำหนักเปียก) ซึ่งแป้งเมล็ดขนุนที่ได้มีสีเหลืองออกน้ำตาล (ภาพที่ 12) และ

เมื่อนำแป้งมาสกัดสตาร์ชเมล็ดขนุนได้ผลผลิตร้อยละ 10.55 (น้ำหนักเปียก) และสตาร์ชที่ได้มีสีขาว (ตารางที่ 8)



ภาพที่ 12 ลักษณะและสีของแป้งและสตาร์ช

ปริมาณผลผลิตของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนในงานวิจัยนี้สอดคล้องและแตกต่างกับผลของงานวิจัยคณะอื่นๆ ได้แก่ Bobbio *et al.* (1978) สกัดสตาร์ชจากเมล็ดขนุนพบว่าได้ผลผลิตอยู่ในช่วงร้อยละ 10 – 15 เทียบกับน้ำหนักของเมล็ดขนุนสด Oates and Powell (1995) สกัดสตาร์ชจากเมล็ดขนุนได้ปริมาณผลผลิตเท่ากับร้อยละ 12.7 – 15.4 นอกจากนี้ Tulyathan *et al.* (2002) ทำการผลิตแป้งจากเมล็ดขนุนพันธุ์ทองสุกใจได้ผลผลิตร้อยละ 36.4 ส่วน Tongdang (2008) สกัดสตาร์ชเมล็ดขนุนได้ปริมาณผลผลิตของเท่ากับร้อยละ 18.20 จากการที่ปริมาณร้อยละผลผลิตของแป้งและสตาร์ชจากเมล็ดขนุนในการทดลองเหล่านี้ได้ค่าปริมาณร้อยละผลผลิตแตกต่างจากผลการทดลองของคณะวิจัยอื่นๆอาจเนื่องมาจากวิธีการใช้ในการผลิตแป้งและสกัดสตาร์ช พันธุ์ของเมล็ดขนุน แหล่งเพาะปลูก

2.2 องค์ประกอบของแป้งและสตาร์ชจากเมล็ดขนุน

จากตารางที่ 9 ปริมาณความชื้นของแป้งเมล็ดขนุนเท่ากับร้อยละ 8.21 สตาร์ชเมล็ดขนุนมีความชื้นร้อยละ 9.59 ด้านปริมาณโปรตีนพบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 9.67 (น้ำหนักแห้ง) สตาร์ชเมล็ดขนุนมีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.09 (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งเป็นสตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์สูงคือมีโปรตีนน้อยกว่าร้อยละ 0.5 (Tester, 1997) เมื่อพิจารณาปริมาณไขมัน เถ้าและเส้นใยพบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีค่ามากกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งเมล็ดขนุนมีค่าน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนเนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีอื่น ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ปริมาณเส้นใย เถ้าและปริมาณไขมันมากกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน โดยปริมาณไขมันของสตาร์ชน้อยกว่าแป้งเมล็ดขนุนเนื่องมาจากในระหว่างการสกัด

สตาร์ชไขมันที่อยู่ในเมล็ดสตาร์ชสามารถเคลื่อนที่ออกมานอกบริเวณเมล็ดสตาร์ชทำให้ถูกกำจัดออกมาซึ่งเป็นผลทำให้สตาร์ชมีไขมันน้อยกว่าแป้ง (Mukprasirt and Sajjaanatakul, 2004)

เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชทั้ง 3 ชนิด (ตารางที่ 9) พบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีปริมาณไขมันใกล้เคียงสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่งและมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนปริมาณเถ้า ปริมาณเส้นใย และปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพดมากกว่าสตาร์ชมันฝรั่งคือ ปริมาณเถ้าเท่ากับร้อยละ 0.04, 0.08 และ 0.27 ตามลำดับ ซึ่งปริมาณเส้นใยกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่ามากกว่าสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่ง โดยปริมาณเส้นใยเท่ากับร้อยละ 0.19, 0.16 และ 0.13 ($p>0.05$) ตามลำดับ ปริมาณคาร์โบไฮเดรตเท่ากับร้อยละ 99.65, 99.52 และ 99.46 ตามลำดับซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) สำหรับปริมาณโปรตีนที่วิเคราะห์ได้ของสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าน้อยกว่าสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชข้าวโพดแต่สตาร์ชทั้งสามมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนปริมาณความชื้นพบว่าสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่งมีความชื้นร้อยละ 11.74 และ 15.54 ตามลำดับ

แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างเล็กน้อยจากงานวิจัยอื่น (ตารางที่ 10 และ 11) อาจเป็นเพราะพันธุ์ แหล่งเพาะปลูก วิธีการผลิตแป้งและสกัดสตาร์ชที่ต่างกัน

ตารางที่ 9 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งและสตาร์ช

(หน่วย: ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

ตัวอย่าง	ความชื้น**	โปรตีน*	ไขมัน*	เถ้า*	เส้นใย*	คาร์โบไฮเดรต*
แป้งเมล็ดขนุน	8.21 d $\pm$ 0.27	9.67 a $\pm$ 0.37	0.78 a $\pm$ 0.06	1.96 a $\pm$ 0.01	3.16 a $\pm$ 0.06	84.43 b $\pm$ 0.06
สตาร์ชเมล็ดขนุน	9.59 c $\pm$ 0.10	0.09 b $\pm$ 0.03	0.03 b $\pm$ 0.01	0.04 c $\pm$ 0.04	0.19 b $\pm$ 0.01	99.65 a $\pm$ 0.01
สตาร์ชข้าวโพด	11.74 b $\pm$ 0.14	0.22 b $\pm$ 0.00	0.02 b $\pm$ 0.01	0.08 c $\pm$ 0.00	0.16 b $\pm$ 0.10	99.52 a $\pm$ 0.10
สตาร์ชมันฝรั่ง	15.54 a $\pm$ 0.08	0.12 b $\pm$ 0.07	0.02 b $\pm$ 0.01	0.27 b $\pm$ 0.00	0.13 b $\pm$ 0.09	99.46 a $\pm$ 0.09

หมายเหตุ ** - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

* - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 10 องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุนจากงานวิจัยต่างๆ

คณะผู้วิจัย	องค์ประกอบทางเคมีของแป้งเมล็ดขนุน (ร้อยละ)					
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
Singh <i>et al.</i> (1991)	5.10	17.20	2.20	3.60	3.06	74
Tulyathan <i>et al.</i> (2002)	8.57	11.17	0.99	3.92	1.67	82.25
Mukprasirt and Sujjaanantakul (2004)	6.34	11.83	2.19	3.74	-	-
งานวิจัยนี้	8.21	9.67	0.78	1.96	2.91	76.48

ตารางที่ 11 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเมล็ดขนุนจากงานวิจัยต่างๆ

คณะผู้วิจัย	องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเมล็ดขนุน (ร้อยละ)					
	ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เถ้า	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
Bobbio <i>et al.</i> (1978)	13.00	0.32	0.21	0.22	-	-
Mukprasirt and Sujjaanantakul (2004)	9.94	0.81	0.90	0.17	-	-
Tongdang (2008)	11.66	0.10	0.02	0.29	-	-
งานวิจัยนี้	9.59	0.09	0.03	0.04	0.17	90.08

จากการวิเคราะห์หาปริมาณแอมิโลสของแป้งและสตาร์ช ดังตารางที่ 12 แป้งและสตาร์ชที่วิเคราะห์ในงานวิจัยนี้มีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วง 24.30- 32.14 (น้ำหนักแห้ง) ($p \leq 0.05$) โดยสตาร์ชเมล็ดขนุนมีปริมาณแอมิโลสมากที่สุดคือร้อยละ 32.14 (น้ำหนักแห้ง) จากผลการทดลองนี้ถือว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชมันฝรั่ง แป้งเมล็ดขนุนจัดอยู่ในกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสสูง ส่วนสตาร์ชข้าวโพดมีปริมาณแอมิโลสน้อยที่สุดอยู่ร้อยละ 24.30 จัดว่าสตาร์ชข้าวโพดอยู่ในกลุ่มที่มีปริมาณแอมิโลสปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมิโลสของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนพบว่า

สตาร์ชเมล็ดขนุนมีปริมาณแอมิโลสมากกว่าแป้งเมล็ดขนุน ซึ่งคาดว่าในแป้งมีปริมาณโปรตีนและไขมันเป็นองค์ประกอบมากกว่าสตาร์ชส่งผลให้ปริมาณแอมิโลสที่คำนวณได้มีค่าน้อยลง

Tulyathan *et al.* (2002) วิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชเมล็ดขนุนพบว่าปริมาณแอมิโลสร้อยละ 32.05 (น้ำหนักแห้ง) Bobbio *et al.* (1978) พบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 28.10 ส่วน Mukprasirt and Sajjaanatakul (2004) พบว่าแป้งเมล็ดขนุนจากการโม่แห้งมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 36.67 และปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชเมล็ดขนุนเท่ากับร้อยละ 52.53 นอกจากนี้ Kaur *et al.* (2007) พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีปริมาณแอมิโลสอยู่ร้อยละ 19.15 – 28.24 ส่วน Singh *et al.* (2004) พบว่าสตาร์ชข้าวโพดมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 22.2 สาเหตุที่ทำให้ปริมาณแอมิโลสมีค่าแตกต่างจากงานวิจัยอื่น อาจเป็นเพราะสภาวะในการปลูก วิธีการผลิตแป้งและสตาร์ช และวิธีวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสที่แตกต่างกัน (Kim *et al.*, 1995) ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้วิธีวัดแอมิโลสโดยดัดแปลงจากวิธีการของ Gunaratne and Hoover (2002)

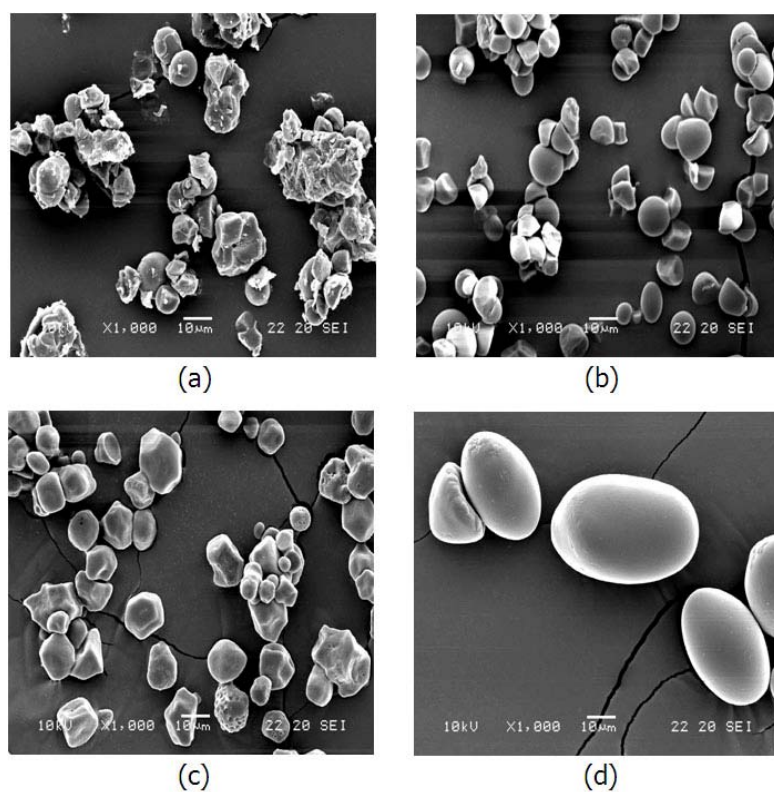
ตารางที่ 12 ปริมาณแอมิโลสของแป้งและสตาร์ชต่างๆ

ตัวอย่าง	ปริมาณแอมิโลสร้อยละ (น้ำหนักแห้ง)
แป้งเมล็ดขนุน	27.73 ab $\pm$ 0.93
สตาร์ชเมล็ดขนุน	32.14 a $\pm$ 2.84
สตาร์ชข้าวโพด	24.30 b $\pm$ 1.10
สตาร์ชมันฝรั่ง	28.08 ab $\pm$ 0.30

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. สมบัติของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุน

3.1 รูปร่างและขนาดเม็ดสตาร์ช



ภาพที่ 13 ลักษณะและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบแสงส่องกราดที่กำลังขยาย 1000x (a) เม็ดสตาร์ชในแป้งเมล็ดขนุน (b) สตาร์ชเมล็ดขนุน (c) สตาร์ชข้าวโพด (d) สตาร์ชมันฝรั่ง

ภาพที่ 13 จากการตรวจสอบลักษณะและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเม็ดสตาร์ชในแป้งเมล็ดขนุนมีองค์ประกอบอื่นๆปะปนอยู่ซึ่งส่วนมากเป็นโปรตีนที่เชื่อมระหว่างเม็ดสตาร์ชทำให้เม็ดสตาร์ชในแป้งจับกลุ่มกันเป็นก้อน (Deepa *et al.*, 2008) ส่วนเม็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนมีลักษณะผิวเรียบและอยู่อย่างอิสระ มีเกาะกลุ่มกันน้อยและไม่มีส่วนประกอบที่ติดบนพื้นผิวเม็ดสตาร์ช ซึ่งเป็นการยืนยันถึงประสิทธิภาพที่ดีของวิธีการสกัดสตาร์ชที่ทำให้สตาร์ชที่ได้มีองค์ประกอบอื่นๆเหลือน้อย นอกจากนี้ความสมบูรณ์ของเม็ดสตาร์ชยังแสดงถึงความแข็งแรงของเม็ดสตาร์ชที่ทนต่อกระบวนการสกัด และเม็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนมี

ลักษณะกลม เหลี่ยม รี ระฆังคว่ำ ซึ่งเหมือนกับการทดลองของ Bobbio *et al.* (1978), Oates and Powell (1995), Tongdang (2008) และ Tulyathan *et al.* (2002) ส่วนเมื่อดาวเคราะห์ขาวโพลมีลักษณะกลม รูปร่างหลายเหลี่ยม ส่วนเมื่อดาวเคราะห์มันฝรั่งมีรูปร่างรีคล้ายไข่และมีขนาดใหญ่ จากตารางที่ 13 พบว่า เมื่อดาวเคราะห์เมล็ดขนุนมีขนาดใกล้เคียงกับเมื่อดาวเคราะห์ขาวโพลซึ่งเป็นดาวเคราะห์ที่ได้จากธัญพืช (13.7 ไมโครเมตร) แต่มีขนาดเล็กกว่าเมื่อดาวเคราะห์มันฝรั่ง (30.5 ไมโครเมตร) ซึ่งเป็นดาวเคราะห์ที่ได้จากพืชหัว จากการนับด้วยโปรแกรม digimizer พบว่าเมื่อดาวเคราะห์ในแป้งและดาวเคราะห์เมล็ดขนุนในการทดลองนี้มีขนาดระหว่าง 3.81 - 14.44 และ 3.30 - 14.63 ไมโครเมตร ตามลำดับ

ผลการวัดขนาดเมื่อดาวเคราะห์นี้ได้ใกล้เคียงกับผู้วิจัยคนอื่น เช่น Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) พบว่าเมื่อดาวเคราะห์เมล็ดขนุนมีขนาดระหว่าง 6-9 ไมโครเมตร Bobbio *et al.* (1978) พบว่าเมื่อดาวเคราะห์เมล็ดขนุนมีขนาดอยู่ระหว่าง 7 - 11 ไมโครเมตร Oates and Powell (1995) รายงานว่าเมื่อดาวเคราะห์เมล็ดขนุนมีขนาดอยู่ระหว่าง 4.2 - 48.0 ไมโครเมตร ส่วน Aromdee *et al.* (2004) พบว่าเมื่อดาวเคราะห์เมล็ดขนุนมีขนาดอยู่ระหว่าง 6.8 - 8.8 ไมโครเมตร Tongdang (2008) พบว่าเมื่อดาวเคราะห์เมล็ดขนุนมีขนาดอยู่ระหว่าง 0.05 - 17.18 ไมโครเมตร นอกจากนี้ Chang *et al.* (2006) พบว่าเมื่อดาวเคราะห์ขาวโพลมีขนาดเฉลี่ย 13.9 ไมโครเมตร ส่วน Singh *et al.* (2004) พบว่าเมื่อดาวเคราะห์มันฝรั่งมีขนาดระหว่าง 32.4 - 42.0 ไมโครเมตร ซึ่งแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์

ตารางที่ 13 ขนาดเฉลี่ยของเมื่อดาวเคราะห์

ตัวอย่าง	ขนาดเฉลี่ย (ไมโครเมตร)
ดาวเคราะห์เมล็ดขนุน	9.95 c $\pm$ 2.38
ดาวเคราะห์ขาวโพล	13.70 b $\pm$ 3.75
ดาวเคราะห์มันฝรั่ง	30.45 a $\pm$ 11.16

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวัดขนาด 300 เม็ด $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.2 คำสี

จากการสังเกตด้วยสายตาของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชมันฝรั่ง พบว่า แป้งเมล็ดขนุนมีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเหลืองเข้ม สตาร์ชเมล็ดขนุนมีสีขาว สตาร์ชข้าวโพดมีสีเหลืองอ่อน ส่วนสตาร์ชมันฝรั่งมีลักษณะเป็นผงหยาบและมีสีขาว ดังภาพที่ 12

เมื่อทำการวัดสีโดยใช้เครื่องวัดสี Minolta 3500d ซึ่งแสดงผลเป็นค่า L^* a^* b^* โดยค่า L^* เป็นค่าที่ใช้แสดงความสว่าง ค่า a^* เป็นค่าที่ใช้แสดงสีแดงหรือสีเขียว (+ หมายถึงสีแดง, - หมายถึงสีเขียว) ค่า b^* เป็นค่าที่ใช้แสดงสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (+ หมายถึงสีเหลือง, - หมายถึงสีน้ำเงิน) ดังแสดงในตารางที่ 12 พบว่าสตาร์ชข้าวโพดมีค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุดและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เท่ากับ 94.87 รองลงมาคือสตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชมันฝรั่ง และแป้งเมล็ดขนุนมีค่าความสว่างเท่ากับ 94.52, 93.72 และ 86.87 ตามลำดับ ค่าความสว่างของสีจะมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างแป้งกับสตาร์ชเนื่องจากการสกัดสตาร์ชจากแป้งจะเป็นการคัดแยกองค์ประกอบอื่น ๆ เช่น โปรตีน ไขมัน เถ้า ออกไป นอกจากนี้ในกระบวนการสกัดสตาร์ชยังมีการกำจัดองค์ประกอบสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจากกระบวนการใช้ความร้อน (อบแห้ง) หรือสารสีน้ำตาลที่ไม่ผ่านการกรองในกระบวนการสกัดสตาร์ช ทำให้ได้สารประกอบคาร์โบไฮเดรตที่มีความบริสุทธิ์มากขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชและแป้ง (ไพลาภา, 2550)

ค่าความเป็นสีเขียว - แดง โดยหากเป็นค่าลบ ($-a^*$) แสดงความเป็นสีเขียว และหากเป็นค่าบวก ($+a^*$) แสดงถึงความเป็นสีแดง จากตารางที่ 14 พบว่า แป้งเมล็ดขนุนมีค่าความเป็นสีแดง เท่ากับ +1.07 นอกจากนี้สตาร์ชข้าวโพดมีค่าความเป็นสีเขียวเท่ากับ -0.99 มีค่าน้อยที่สุดและมีค่าแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชมันฝรั่งมีค่าความเป็นสีเขียวเท่ากับ -0.16 และ -0.10 ตามลำดับ

ส่วนค่าความเป็นน้ำเงิน - สีเหลือง (b^*) โดยหากเป็นค่าลบ ($-b^*$) แสดงความเป็นสีน้ำเงินส่วนค่าบวก ($+b^*$) ซึ่งแสดงถึงความเป็นเหลือง จากตารางที่ 14 พบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุด ($+b^*$) เท่ากับ 10.79 และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชเมล็ดขนุน เท่ากับ 5.44, 2.80 และ 1.75 ตามลำดับ

เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ของการวัดสี (L^* , a^* และ b^*) มาคำนวณเป็นค่าดัชนีความขาวของตัวอย่างพบว่าค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชทุกตัวอย่างมีค่าสูงกว่าแป้งซึ่งสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าดัชนีความขาวมากที่สุดเท่ากับ 94.25 และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) รองลงมาคือ สตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชข้าวโพดและแป้งเมล็ดขนุนเท่ากับ 93.13, 92.46 และ 82.97 ตามลำดับ ดัชนีความขาวเป็นเกณฑ์หนึ่งในการวัดความบริสุทธิ์ของสตาร์ชที่ทำการสกัด โดยสตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์จะต้องมีค่าดัชนีความขาวสูง และปริมาณโปรตีนต่ำ (Lumdubwong and Seib, 2000) จากตารางที่ 9 และ 14 พบว่า สตาร์ชมีปริมาณโปรตีนต่ำ และมีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าแป้ง

ตารางที่ 14 ค่าสีของแป้งและสตาร์ช

ตัวอย่าง	ค่าสี			
	L^*	a^*	b^*	whiteness
แป้งเมล็ดขนุน	86.87 d $\pm$ 0.01	1.07 a $\pm$ 0.00	10.79 a $\pm$ 0.02	82.97 d $\pm$ 0.15
สตาร์ชเมล็ดขนุน	94.52 b $\pm$ 0.16	-0.16 c $\pm$ 0.03	1.75 d $\pm$ 0.04	94.25 a $\pm$ 0.86
สตาร์ชข้าวโพด	94.87 a $\pm$ 0.04	-0.99 d $\pm$ 0.02	5.44 b $\pm$ 0.05	92.46 c $\pm$ 0.33
สตาร์ชมันฝรั่ง	93.72 c $\pm$ 0.01	-0.10 b $\pm$ 0.01	2.80 c $\pm$ 0.02	93.13 b $\pm$ 0.15

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

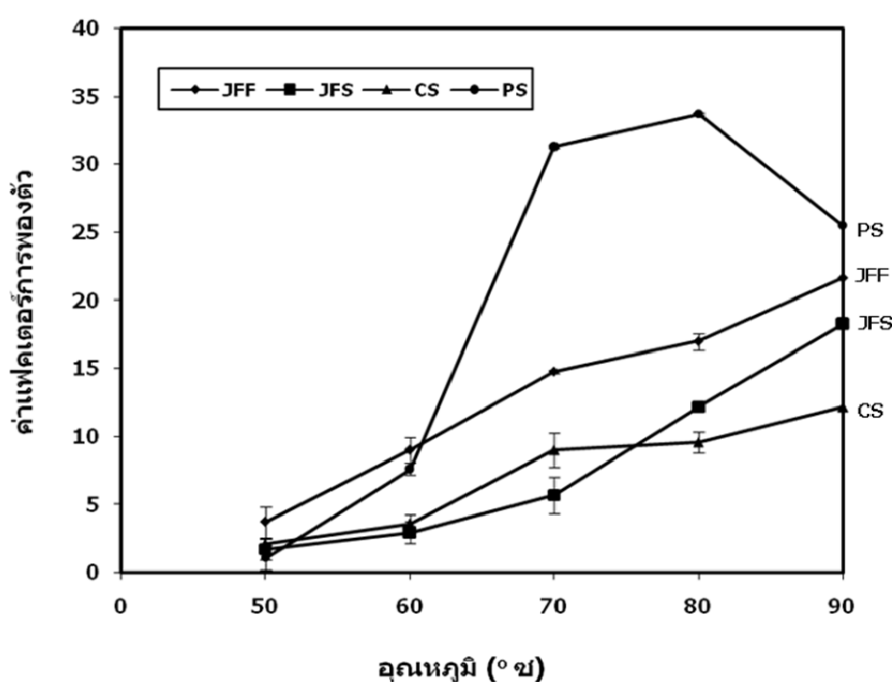
- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.3 การพองตัวของแป้งและสตาร์ช

สตาร์ชโดยทั่วไป จะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาตินไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ชที่อยู่ใกล้ๆกันเชื่อมต่อกันอยู่ (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) เมื่อมีการให้ความร้อน และมีปริมาณน้ำมากเกินไป พันธะที่ยึดเหนี่ยวจะอ่อนแอลงส่งผลให้โมเลกุลของน้ำแพร่เข้าไปในเม็ดสตาร์ช เกิดการพองตัว และการละลาย ทำให้สมบัติต่างๆที่มีอยู่ของสตาร์ชชนิดนั้นๆเปลี่ยนไป เช่น การเปลี่ยนแปลงความหนืดหรือเกิดกระบวนการเจลาตินไนเซชัน ซึ่งเป็นผลมาจากโครงสร้างผลึกและแรงยึดเหนี่ยวภายในโมเลกุลของสตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลง (Phillips and Williams, 2000) การศึกษาการพองตัวของแป้ง

และสตาร์ชมีประโยชน์ทำให้ทราบสมบัติการพองตัวที่เปลี่ยนไปของเจลาตินในสตาร์ช ซึ่งเป็นคุณสมบัติในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ เพราะมีส่วนเกี่ยวข้องในการจับกับน้ำ (water holding capacity) และสมบัติการไหล (rheological properties)

สตาร์ชแต่ละชนิด มีรูปแบบการพองตัวและการละลายที่ต่างกัน ขึ้นอยู่กับแรงยึดเหนี่ยวของพันธะภายในโมเลกุล ความแข็งแรงของโครงร่างผลึกและองค์ประกอบภายในที่ส่งผลต่อแรงยึดเหนี่ยวของพันธะ กำลังการพองตัวของแป้งและสตาร์ช แสดงเป็นน้ำหนักของแป้งหรือสตาร์ชที่เพิ่มขึ้น เมื่อเม็ดสตาร์ชมีการดูดน้ำและเกิดพองตัวได้อย่างอิสระที่อุณหภูมิที่กำหนด ค่าแฟกเตอร์การพองตัวของแป้งและสตาร์ชที่อุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 14 และตารางภาคผนวกที่ ข1



ภาพที่ 14 การพองตัวที่ระดับอุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ของแป้งและสตาร์ช (JFF:แป้งเมล็ดขนุน, JFS:สตาร์ชเมล็ดขนุน, CS:สตาร์ชข้าวโพด, PS:สตาร์ชมันฝรั่ง)

จากภาพที่ 14 แสดงค่าแฟกเตอร์การพองตัวของแป้งและสตาร์ชมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สตาร์ชมันฝรั่งมีค่าการพองตัวมากที่สุด รองลงมาคือ แป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพด ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พบว่าค่าแฟกเตอร์การพองตัวของแป้งเมล็ด

ขุ่นมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 3.71 ขณะที่สสารเมล็ดขุ่น สสารข้าวโพดและสสารมันฝรั่ง มีค่าแฟคเตอร์การพองตัวเท่ากับ 1.73, 2.14 และ 1.07 ตามลำดับ ($p>0.05$) เมื่อเพิ่มเป็น 60 องศาเซลเซียส แป้งเมล็ดขุ่นมีค่าแฟคเตอร์การพองตัวมากที่สุดเท่ากับ 8.98 ขณะที่กลุ่มของสสารพบว่า สสารมันฝรั่งมีค่าแฟคเตอร์การพองตัว (7.60) ซึ่งมากกว่าสสารข้าวโพด (3.63) และสสารเมล็ดขุ่น (2.96) ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าแป้งเมล็ดขุ่นมีค่าแฟคเตอร์การพองตัวเท่ากับ 14.74 ซึ่งมีค่ามากกว่าสสารเมล็ดขุ่น ($p\leq 0.05$) แป้งเมล็ดขุ่นมีค่าแฟคเตอร์การพองตัวที่มากกว่าสสารเมล็ดขุ่นน่าจะเกิดจากแป้งเมล็ดขุ่นมีปริมาณเส้นใยมากกว่าสสารเมล็ดขุ่นซึ่งเส้นใยคูลน้ำได้ทำให้แป้งเมล็ดขุ่นมีการพองตัวมากกว่าสสารเมล็ดขุ่น เมื่อเปรียบเทียบกลุ่มสสารพบว่า สสารมันฝรั่งมีค่าแฟคเตอร์การพองตัวมากที่สุดเท่ากับ 31.14 รองลงมาคือ สสารข้าวโพดและสสารเมล็ดขุ่นมีค่าเท่ากับ 9.00 และ 5.67 ตามลำดับ ($p\leq 0.05$) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบค่าแฟคเตอร์การพองตัวของแป้งและสสารเมล็ดขุ่นพบว่าแป้งเมล็ดขุ่นมีค่าเท่ากับ 16.96 ซึ่งมากกว่าสสารเมล็ดขุ่น ($p\leq 0.05$) พิจารณาในกลุ่มสสารพบว่าสสารมันฝรั่งมีค่าแฟคเตอร์การพองตัวมากที่สุดเท่ากับ 33.68 และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) จากสสารเมล็ดขุ่นและสสารข้าวโพดซึ่งมีค่าแฟคเตอร์การพองตัวเท่ากับ 12.17 และ 9.58 ตามลำดับ และทุกตัวอย่างมีค่าแฟคเตอร์การพองตัวเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียส พบว่าแป้งเมล็ดขุ่นมีค่าแฟคเตอร์การพองตัวมากกว่าสสารเมล็ดขุ่นซึ่งมีค่าเท่ากับ 21.61 แต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ขณะที่กลุ่มสสารพบว่าสสารมันฝรั่งมีค่าแฟคเตอร์การพองตัวมากที่สุดเท่ากับ 25.51 รองลงมาคือ สสารเมล็ดขุ่นและสสารข้าวโพดเท่ากับ 18.28 และ 12.17 ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) นอกจากนี้ทุกตัวอย่างยกเว้นสสารมันฝรั่งมีค่าแฟคเตอร์การพองตัวเพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งคล้ายกับผลการทดลองของ Li and Yeh (2001) พบว่าสสารมันฝรั่งมีค่าการพองตัวมากที่สุดประมาณ 80 องศาเซลเซียสและหลังจากนั้นการพองตัวเริ่มลดลงอาจเป็นเพราะเมล็ดสสารมันฝรั่งมีพันธะภายในเมล็ดสสารของเมล็ดสสารมันฝรั่งอ่อนแอทำให้เมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นเมล็ดสสารแตกออกได้ง่ายการพองตัวจึงลดลง

เปรียบเทียบค่าแฟคเตอร์การพองตัวในกลุ่มสสารพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น สสารมันฝรั่งมีค่าแฟคเตอร์การพองตัวมากที่สุด รองลงมาคือสสารเมล็ดขุ่นและสสารข้าวโพด สาเหตุที่สสารมันฝรั่งมีการพองตัวได้เร็วและมากขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเนื่องจากมีโครงสร้างผลึกที่อ่อนแอทำให้สามารถพองตัวได้อย่างอิสระและมีหมู่ฟอสเฟตทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น

(Kokoni *et al.*, 1992; กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) แต่สตาร์ชข้าวโพดมีการพองตัวน้อยที่สุดเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเนื่องจากเป็นคุณสมบัติของสตาร์ชจากธัญพืชที่พบว่าเม็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงทำให้พองตัวยากกว่าสตาร์ชจากส่วนหัวและราก (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) สาเหตุที่ทำให้สตาร์ชมีกำลังการพองตัวต่างกัน เนื่องมาจากความอ่อนแอของโครงสร้างภายใน (weak internal organization) ผลจากประจุลบของกลุ่มฟอสเฟตในเม็ดสตาร์ชและโครงสร้างโมเลกุลเอมิโลเพกทินแตกต่างกัน (Takahashi and Seib, 1988; Sodhi and Singh, 2003)

เปรียบเทียบระหว่างค่าแฟกเตอร์การพองตัวของแป้งเมล็ดขนุนกับสตาร์ชเมล็ดขนุนทุกอุณหภูมิพบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีค่ามากกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน โดยขัดแย้งกับทฤษฎีที่ว่าแป้งมีการพองตัวน้อยกว่าสตาร์ชซึ่งโปรตีนและไขมันจะยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช (Chung *et al.*, 2003; Toe *et al.*, 2000) ดังนั้น ผู้วิจัยจึงทำการทดลองหาค่าการพองตัวโดยดัดแปลงจากวิธีของ Schoch *et al.* (1964) ซึ่งวิธีนี้ไม่สามารถวัดค่าการพองตัวของสตาร์ชมันฝรั่งที่อุณหภูมิสูงได้ เนื่องจากสตาร์ชมันฝรั่งกลายเป็นเจลทำให้ไม่สามารถนำส่วนใดมาวัดค่าการพองตัวได้ ดังนั้นจึงแสดงค่าการพองตัวเฉพาะแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพด จากตารางที่ 15 พบว่าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียส แป้งเมล็ดขนุนมีค่าการพองตัวสูงกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน ($p \leq 0.05$) ซึ่งมีแนวโน้มเช่นเดียวกับภาพที่ 14 สันนิษฐานว่าเนื่องจากปริมาณเส้นใยในแป้งเมล็ดขนุนจะคุดน้ำมากทำให้มีค่าการพองตัวสูงกว่าสตาร์ชแต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียส แป้งมีค่าการพองตัวน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน ($p \leq 0.05$) การพองตัวของแป้งเกิดจากการอ้วนน้ำของโปรตีนและสตาร์ช เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นโปรตีนถูกทำลายจึงสูญเสียคุณสมบัติอ้วนน้ำทำให้การพองตัวของแป้งลดลง ส่วนการพองตัวของสตาร์ชเกิดจากการอ้วนน้ำเป็นส่วนใหญ่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นทำให้พันธะโมเลกุลภายในสตาร์ชถูกทำลายจึงเกิดการอ้วนน้ำมากขึ้น (ทัศนีย์ และ อรอนงค์, 2530) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) พบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีค่าการพองตัวน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส นอกจากนี้สตาร์ชข้าวโพดมีกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแต่มีค่าน้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ($p \leq 0.05$) เนื่องจากความแข็งแรงของพันธะภายในเม็ดสตาร์ชข้าวโพดซึ่งจากการวัดค่าระดับความเป็นผลึกพบว่าสตาร์ชข้าวโพดมีค่าระดับความเป็นผลึกมากที่สุด

ตารางที่ 15 กำลังการพองตัวของแป้งและสตาร์ชที่อุณหภูมิต่างๆ

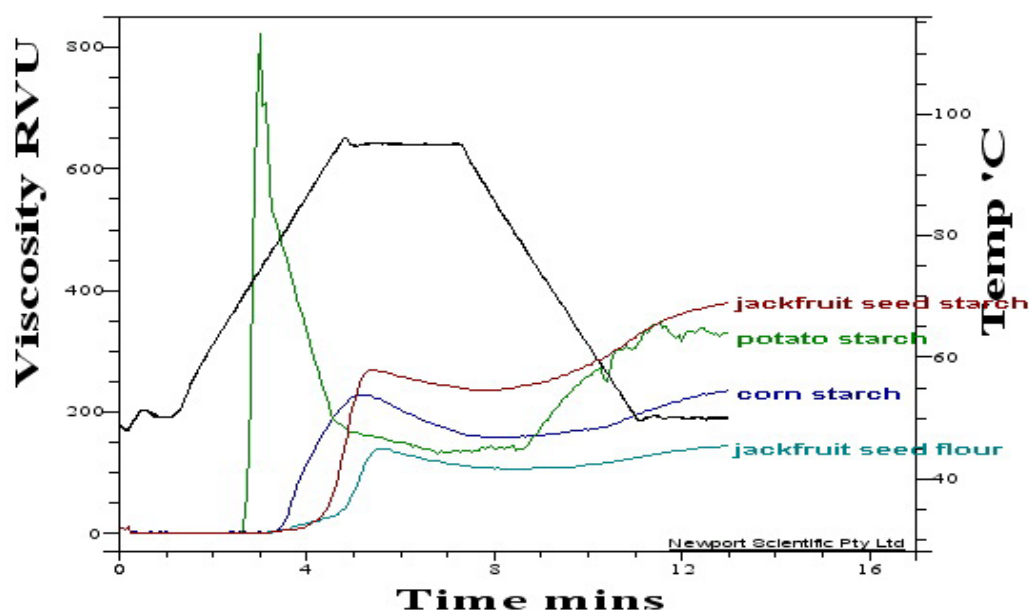
ตัวอย่าง	กำลังการพองตัว (Swelling power)		
	60°ซ	70°ซ	90°ซ
แป้งเมล็ดขนุน	9.93 a $\pm$ 2.29	14.41 a $\pm$ 0.54	18.08 b $\pm$ 0.43
สตาร์ชเมล็ดขนุน	4.71 b $\pm$ 0.24	6.67 c $\pm$ 0.33	20.48 a $\pm$ 1.12
สตาร์ชข้าวโพด	4.52 b $\pm$ 0.88	12.06 b $\pm$ 0.84	14.44 c $\pm$ 0.15

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.4 สมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืด

ค่าความหนืดของสตาร์ชมีความสัมพันธ์กับกำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ช คือ สตาร์ชที่มีกำลังการพองตัวมากจะให้ความหนืดสูงและสามารถใช้ในการพองตัวของเม็ดสตาร์ช อธิบายการเปลี่ยนแปลงความหนืดที่เกิดขึ้นได้จากเครื่อง Rapid Viscosity Analysis (RVA) ซึ่งแสดงผลเป็นกราฟการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด ค่าความหนืดสูงสุด ค่าความหนืดลดลง ค่าความหนืดสุดท้ายและเซตแบคเมื่อเม็ดสตาร์ชได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำและพองตัวขยายใหญ่ น้ำบริเวณรอบๆเม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดความหนืดขึ้น อุณหภูมิที่กราฟเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีก รวมทั้งมีการกวนต่อเนื่องจะทำให้โครงสร้างภายในแตกออก ความหนืดลดลง ต่อมาเมื่อลดอุณหภูมิลงทำให้เจลาตินไนซ์สตาร์ชเกิดรีโทรเกรเดชัน ความหนืดเพิ่มขึ้นอีกซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลเอมิโลสที่หลุดออกจากเม็ดสตาร์ช (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)



ภาพที่ 15 กราฟการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและสตาร์ชจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว

จากภาพที่ 15 และตารางภาคผนวกที่ ข2 พบว่าช่วงแรกของการให้ความร้อนแป้งและสตาร์ชไม่มีความหนืดเพิ่มขึ้น เนื่องจากเป็นช่วงที่เมล็ดสตาร์ชเริ่มดูดน้ำ (Phillips and Williams, 2000) และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 70 - 90 องศาเซลเซียส ความหนืดของแป้งและสตาร์ชเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดสตาร์ชพองตัวได้มากขึ้นและมีส่วนที่ละลายออกมานอกเมล็ดสตาร์ชมากขึ้น อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ขณะที่ในกลุ่มสตาร์ชพบว่า สตาร์ชมันฝรั่งมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดต่ำที่สุดคือ 69.43 องศาเซลเซียสซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) กับสตาร์ชข้าวโพด (77.60 องศาเซลเซียส) และสตาร์ชเมล็ดขนุน (81.58 องศาเซลเซียส) สตาร์ชเมล็ดขนุนมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงที่สุดเนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสสูงทำให้เกิดการพองตัวได้น้อยและเมล็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนทนต่อความร้อนและแรงเฉือน (Bobbio *et al.*, 1978) จึงต้องใช้อุณหภูมิสูงกว่าสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชข้าวโพดซึ่งมีปริมาณแอมิโลสน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน นอกจากนี้สตาร์ชข้าวโพดมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงกว่าสตาร์ชมันฝรั่งเนื่องจากสตาร์ชจากส่วนหัว (tuber) มีหมู่ฟอสเฟตทำให้เกิดการพองตัวสูงและเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าสตาร์ชจากธัญพืช (กล้านรงค์ และ เกื้อกูล, 2546) สาเหตุที่ทำให้สตาร์ชต่างชนิดกันมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดต่างกัน เนื่องจากเมล็ดสตาร์ชมีการพองตัวและการดูดน้ำที่ต่างกัน (Phillips and Williams, 2000)

ค่าความหนืดสูงสุด (Peak viscosity) เป็นค่าที่ใช้บอกความสามารถการพองตัวของอิสระของเม็ดสตาร์ชก่อนที่เม็ดสตาร์ชจะแตกออก (Singh *et al.*, 2004) เปรียบเทียบแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนพบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีค่าความหนืดสูงสุดน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนและมีค่าแตกต่างทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับ Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) พบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีค่าความหนืดสูงสุดน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน ซึ่งน่าจะเป็นผลจากปริมาณโปรตีนที่แตกต่างกันซึ่งแป้งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสตาร์ชทำให้สตาร์ชมีความหนืดสูงกว่าแป้งเนื่องจากพันธะไดซัลไฟด์ถูกทำลายด้วยสารละลายเบสในระหว่างการสกัดสตาร์ช ทำให้จำนวนโปรตีนที่รวมตัวกับเม็ดสตาร์ชลดลงสตาร์ชจึงมีค่าความหนืดสูงกว่าแป้ง (Sodhi and Singh, 2003) นอกจากนี้ปริมาณไขมันน่าจะมีผลต่อค่าความหนืดสูงสุดเช่นกันซึ่งไขมันจะไปจับกับเอมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนทำให้ยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ชจึงมีความหนืดลดลง (Chung *et al.*, 2003) เปรียบเทียบในกลุ่มสตาร์ชพบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีค่าความหนืดสูงสุดมากที่สุด รองลงมาได้แก่ สตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพด ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับค่าแฟกเตอร์การพองตัวที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส สตาร์ชมันฝรั่งมีค่าความหนืดสูงสุดมากที่สุดขณะที่สตาร์ชข้าวโพดมีความหนืดสูงสุดต่ำที่สุด เนื่องจากเม็ดสตาร์ชข้าวโพดมีกำลังการพองตัวอยู่ในระดับปานกลาง (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) และมีความแข็งแรงของพันธะภายในเม็ดสตาร์ชมากโดยดูได้จากค่าระดับความเป็นผลึก

ค่าความหนืดลดลง (breakdown) เป็นค่าบอกความทนต่อแรงเฉือนของเม็ดสตาร์ช ขึ้นอยู่กับอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ช ซึ่งทำให้เม็ดสตาร์ชที่พองตัวทนต่อแรงเฉือน โมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ชที่น่าจะมีผลโดยตรงต่อค่าความหนืดลดลงของตัวอย่างคือปริมาณเอมิโลสที่แพร่ออกมานอกเม็ดสตาร์ชและขึ้นอยู่กับความสามารถในการพองตัวของเม็ดสตาร์ชชนิดนั้นๆ ตัวอย่างที่มีค่าความหนืดลดลงสูงแสดงถึงความสามารถที่ทนต่อแรงกวนต่ำ เปรียบเทียบแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนพบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีค่าความหนืดลดลงต่ำกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนแต่มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ซึ่งน่าจะเป็นผลมาจากองค์ประกอบอื่นๆ เช่น โปรตีนและไขมันที่มีความแตกต่างกันโดยแป้งจะมีปริมาณโปรตีนและไขมันมากกว่าสตาร์ชทำให้การพองตัวในเม็ดสตาร์ชของแป้งน้อยลงทำให้เม็ดสตาร์ชสามารถคงรูปร่างได้ในปริมาณที่มากกว่าส่งผลให้มีความต้านทานต่อแรงกวนได้มากกว่า (ไพลักษณ์, 2550) ตัวอย่างที่มีปริมาณไขมันสูงกว่าจะมีค่าความหนืดลดลงต่ำกว่า (Mota *et al.*, 2000) เปรียบเทียบในกลุ่มสตาร์ชพบว่า สตาร์ชมันฝรั่งมีค่าความหนืดลดลงมากที่สุด รองมาคือ สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชเมล็ดขนุน ตามลำดับ และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สตาร์ชมันฝรั่งมีค่าความหนืด

ลดลงสูงที่สุดแสดงว่ามีความต้านทานต่อแรงเฉือนได้ต่ำที่สุดเนื่องจากสสารไขมันฝรั่งมีการพองตัวมากทำให้แรงยึดของพันธะภายในโมเลกุลของเม็ดสสารไขมันฝรั่งอ่อนแอทำให้เม็ดสสารทนต่อแรงกวนได้น้อย ส่วนสสารเมล็ดขนุนมีค่าความหนืดลดลงน้อยที่สุดแสดงว่ามีความคงทนต่อแรงเฉือนมากเนื่องจากสสารเมล็ดขนุนมีปริมาณแอมิโลสสูงสุด (ร้อยละ 32.14) ซึ่งมีความแข็งแรงและไม่ถูกทำลายด้วยความร้อนและแรงเฉือนได้ง่ายในขณะที่เม็ดสสารที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำกว่าจะมีแนวโน้มถูกทำลายได้ง่ายกว่าขณะที่มีการพองตัว (Lii *et al.*, 1996) ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหนืดลดลงของตัวอย่าง คือ ปริมาณแอมิโลส ความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวของพันธะในโมเลกุลของเม็ดสสาร และองค์ประกอบทางเคมีต่างๆ

ค่าความหนืดสุดท้ายเกิดขึ้นจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลแอมิโลสที่แพร่ออกมาจากเม็ดสสาร (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) เปรียบเทียบระหว่างแป้งและสสารเมล็ดขนุนพบว่าความหนืดสุดท้ายของแป้งเมล็ดขนุนมีค่าต่ำกว่าสสารเมล็ดขนุนและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แป้งเมล็ดขนุนมีค่าความหนืดสุดท้ายต่ำเนื่องจากมีปริมาณโปรตีนและไขมันมากกว่าสสารเมล็ดขนุนซึ่งโปรตีนและไขมันจะขัดขวางการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลแอมิโลสซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) พบว่าค่าความหนืดสุดท้ายของสสารเมล็ดขนุนมีค่ามากกว่าแป้งเมล็ดขนุน ไขมันสามารถยับยั้งการแพร่ของโมเลกุลแอมิโลสออกนอกเม็ดสสาร (Takashi and Seib, 1988; Siswoyo and Morita, 2003) เปรียบเทียบในกลุ่มสสารพบว่า สสารเมล็ดขนุนมีค่าความหนืดสุดท้ายมากที่สุด รองลงมาได้แก่ สสารไขมันฝรั่ง สสารข้าวโพด ($p \leq 0.05$) ตามลำดับ น่าจะเป็นผลจากปริมาณแอมิโลสสูง จึงเกิดรีโทรเกรเดชันทำให้ค่าความหนืดสูง สสารข้าวโพดมีค่าความหนืดสุดท้ายน้อยที่สุดในกลุ่มสสารซึ่งคาดว่าเป็นผลจากการที่สสารข้าวโพดมีปริมาณโปรตีน (ร้อยละ 0.22) มากกว่าสสารเมล็ดขนุนและสสารไขมันฝรั่งปริมาณ โดยโปรตีนน่าจะมีผลต่อการยับยั้งการจัดเรียงตัวกันใหม่ของแอมิโลส นอกจากนี้ Chung *et al.* (2003) พบว่าการสกัดไขมันออกจากสสารมีผลทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหนืดสุดท้าย คือ ปริมาณแอมิโลส ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน

ค่าเซตแบคเป็นค่าที่แสดงแนวโน้มการเกิดรีโทรเกรเดชันของตัวอย่าง เปรียบเทียบแป้งและสสารเมล็ดขนุนพบว่า สสารเมล็ดขนุนมีค่าเซตแบคมากกว่าแป้งเมล็ดขนุนและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) น่าจะเป็นผลจากปริมาณโปรตีนและไขมันซึ่งแป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณโปรตีนและไขมันมากกว่าสสารเมล็ดขนุน โดยโปรตีนและไขมันจะยับยั้งการ

รวมตัวกันใหม่ของแอมิโลสที่หลุดจากเม็ดสตาร์ชนอกจากนี้สตาร์ชเมล็ดขนุนยังมีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าแป้งเมล็ดขนุนทำให้มีค่าเซตแบคสูงกว่าแป้งเมล็ดขนุน ศันสนีย์ (2548) พบว่าการสกัดไขมันออกมีผลทำให้ค่าเซตแบคสูงขึ้นซึ่งน่าจะเป็นเพราะการสกัดไขมันทำให้มีสายโมเลกุลแอมิโลสอิสระที่สามารถพันกันเป็นเกลียวคู่ได้มากขึ้นและอาจเป็นไปได้ว่าสตาร์ชที่ผ่านการสกัดไขมันออกน่าจะมีโมเลกุลแอมิโลสที่แพร่ออกมานอกเม็ดสตาร์ชมากกว่าสตาร์ชดั้งเดิม (Chung *et al.*, 2003) ขณะที่ในกลุ่มสตาร์ชพบว่าสตาร์ชมันฝรั่ง มีค่าเซตแบคสูงที่สุด รองมาได้แก่ สตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพด ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) สตาร์ชมันฝรั่งมีปริมาณแอมิโลสน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนแต่มีค่าเซตแบคสูงกว่าน่าจะเป็นผลจากสตาร์ชมันฝรั่งมีการพองตัวสูงทำให้ปริมาณแอมิโลสหลุดออกมาจากเม็ดสตาร์ชได้มากทำให้เกิดการกลับมาเรียงตัวกันใหม่ได้มาก แต่สตาร์ชมันฝรั่งมีค่าเซตแบคสูงซึ่งไม่ได้หมายความว่าเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี (Pomeranz, 1985) นอกจากนี้สตาร์ชข้าวโพดมีปริมาณแอมิโลสน้อยทำให้มีค่าเซตแบคน้อยและสตาร์ชข้าวโพดมีการพองตัวน้อยทำให้แอมิโลสหลุดออกมานอกเม็ดสตาร์ชน้อยจึงเกิดการรวมตัวกันใหม่ของแอมิโลสน้อย

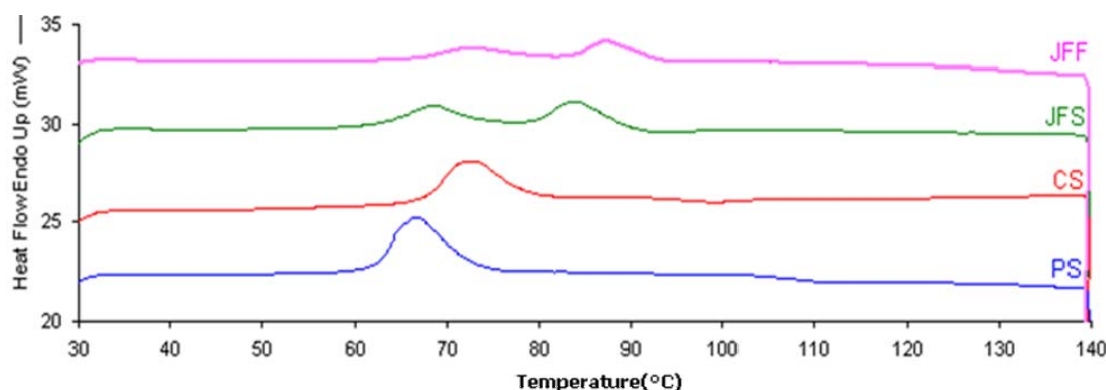
จากการเปลี่ยนแปลงความหนืดด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid Viscosity Analysis or RVA) พบว่าข้อมูลการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนซึ่งได้จากเมล็ดผลไม้ (Oates and Powell, 1995; Tongdang, 2008) มีค่าคล้ายกับสตาร์ชข้าวโพดมากกว่าสตาร์ชมันฝรั่งโดยสตาร์ชข้าวโพดซึ่งเป็นสตาร์ชได้จากพืชธัญพืชส่วนสตาร์ชมันฝรั่งเป็นสตาร์ชที่ได้จากพืชหัวซึ่งมีคุณสมบัติการพองตัวและความหนืดสูงกว่าสตาร์ชจากธัญพืช (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)

3.5 สมบัติเชิงความร้อน

วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC ค่าที่ได้คือค่าอุณหภูมิเริ่มการเกิดเจลในซังของแป้งและสตาร์ช (onset temperature : $T_{o_{gel}}$) อุณหภูมิที่เกิดเจลในซังสูงสุด (peak temperature: $T_{p_{gel}}$) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลในซัง (conclusion temperature : $T_{c_{gel}}$) และพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลในซังในเม็ดสตาร์ช (enthalpy : ΔH_{gel})

3.5.1 เจลาทีโนเซชัน

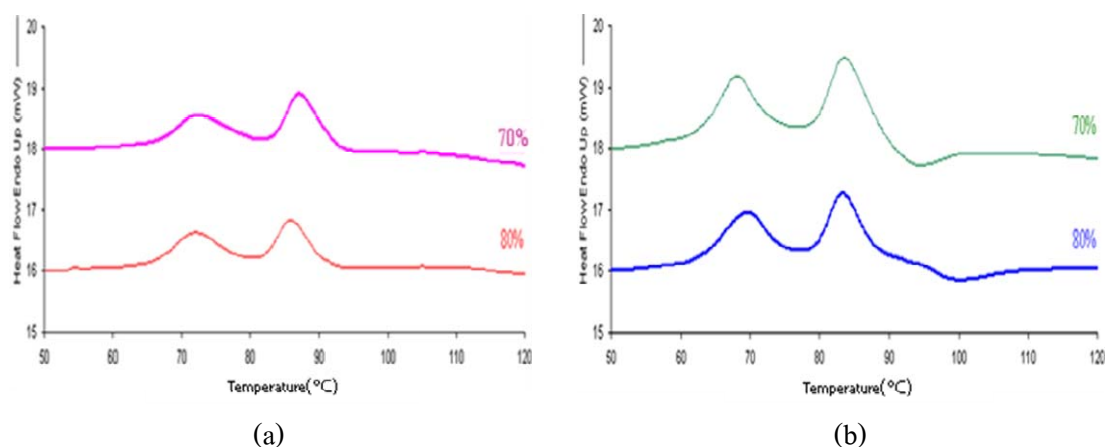
จากการทดลองใช้เครื่อง DSC ดังแสดงภาพที่ 16 และตารางที่ 16 แสดงค่าการดูดกลืนความร้อนของแป้งและสตาร์ช



ภาพที่ 16 กราฟการดูดกลืนความร้อนสลายโครงสร้างผลึกของเจลาทีโนเซชันของแป้งและสตาร์ชวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (JFF:แป้งเมล็ดขนุน, JFS:สตาร์ชเมล็ดขนุน, CS:สตาร์ชข้าวโพด, PS: สตาร์ชมันฝรั่ง)

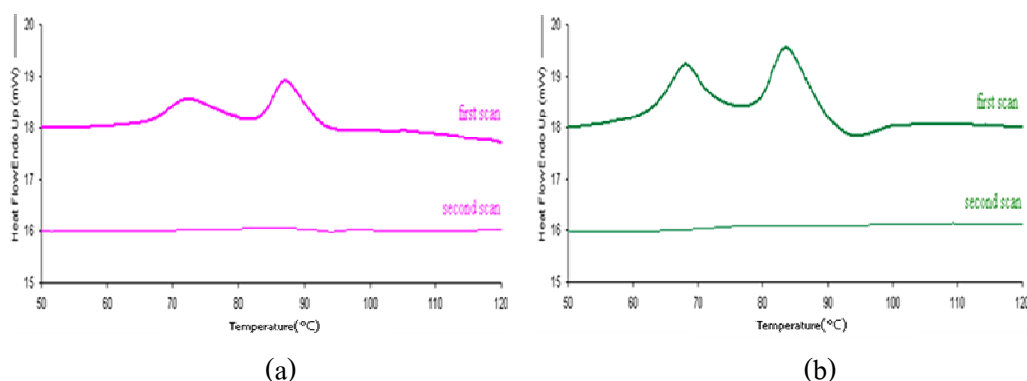
จากภาพที่ 16 พบว่าสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่งเกิดพิกเจลาทีโนเซชันเป็นพิกเดียว (single endotherm peak) เนื่องจากปริมาณน้ำมีเพียงพอในการเกิดเจลาทีโนเซชัน (Lund, 1984; Morris, 1990; Kaletunc and Brestauer, 2003; Tester and Morrison, 1990) ส่วนแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีพิกของการเกิดเจลาทีโนเซชันเป็นสองพิก (two endotherm peaks) ซึ่งผู้วิจัยสันนิษฐานว่าอาจเกิดจาก (1) ปริมาณน้ำมีไม่เพียงพอสำหรับการเกิดเจลาทีโนเซชันสำหรับแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุน (Biliaderis, 1990) (2) อาจเกิดจากมีกลุ่มประชากรสองกลุ่มที่ต่างกันด้านขนาด ด้านรูปร่าง (Yuan *et al.*, 1993) หรือความเสถียรของเม็ดสตาร์ชต่อความร้อนไม่เท่ากัน (Liu, 2005) หรือ (3) พิกที่สองอาจเป็นพิกของแอมิโลสกับไขมันที่มารวมกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Berland *et al.*, 2003) ผู้วิจัยได้ทำการพิสูจน์การเกิดพิกทั้งสองของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุน โดยตั้งสมมติฐานว่าอาจเกิดจากปริมาณน้ำที่ใช้ (ร้อยละ 70) ไม่เพียงพอต่อการเกิดเจลาทีโนเซชันเนื่องจากปริมาณน้ำมีผลต่อการเกิดพิกสลายโครงสร้างผลึก Biliaderis (1990) กล่าวว่าเมื่อปริมาณน้ำมากกว่าร้อยละ 60 เกิดพิกการเกิดเจลาทีโนเซชันเป็นพิกเดียว แต่ถ้าใช้ปริมาณน้ำน้อยกว่าร้อยละ 60 เกิดเป็นสองพิก ผู้วิจัยจึงเพิ่มปริมาณน้ำเป็นร้อยละ 80 พบว่าปริมาณ

น้ำไม่มีผลต่อการเกิดฟิสิกเจลาติไนซ์ของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนเพราะยังคงพบฟิสิกที่สองเหมือนเดิม (ภาพที่ 17)



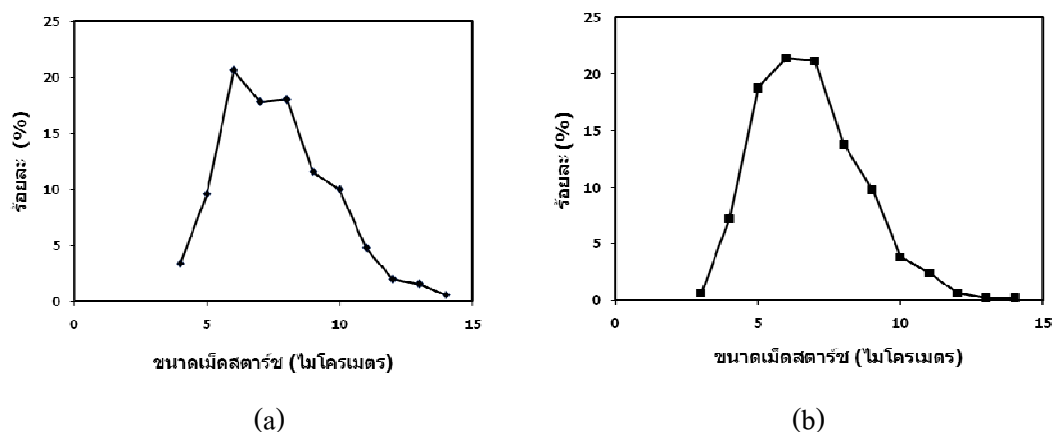
ภาพที่ 17 กราฟการดูดกลืนความร้อนของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนที่ปริมาณน้ำร้อยละ 70 และ 80 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (a) แป้งเมล็ดขนุน (b) สตาร์ชเมล็ดขนุน

มีงานวิจัยที่ศึกษาการเกิดเจลาติไนซ์ของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนซึ่งให้ผลที่แตกต่างและคล้ายกับผลการทดลองนี้คือ Mukprasirt and Sajjanantakul (2004) พบว่าแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีฟิสิกสลายโครงสร้างผลึกเพียงฟิสิกเดียว ขณะที่ Oates and Powell (1995) พบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีสองฟิสิก ซึ่งผู้วิจัยกลุ่มนี้กล่าวว่าฟิสิกแรกเป็นฟิสิกเกิดจากเจลาติไนซ์ในเซชันที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ส่วนฟิสิกที่สองเป็นฟิสิกเกิดจากการสลายโครงสร้างผลึกของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส Berland *et al.* (2003) ให้ความร้อนซ้ำอีกครั้งแก่น้ำแป้งสาลี (second heating scan) พบว่าหลังให้ความร้อนครั้งแรกยังคงพบฟิสิกที่สองซึ่งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับการให้ความร้อนครั้งแรก (first heating scan) แสดงว่าฟิสิกที่สองของแป้งสาลีเป็นฟิสิกของไขมันกับแอมิโลสรวมตัวกันเป็นสารประกอบเชิงซ้อน แต่จากการทดลองนี้พบว่าฟิสิกที่สองไม่ใช่ฟิสิกที่เกิดจากการสลายโครงสร้างผลึกของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน เนื่องจากสแกนซ้ำ (second scan) พบว่า second scan ไม่พบฟิสิกที่สองซึ่งต่างจากการให้ความร้อนครั้งแรก (first scan) ที่เกิดฟิสิกที่สอง (ภาพที่ 18) ดังนั้นจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าฟิสิกที่สองไม่ได้เกิดจากการสลายโครงสร้างผลึกของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันแต่อย่างใด นอกจากนี้โดยทั่วไปฟิสิกที่เกิดจากการสลายโครงสร้างผลึกของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันจะพบที่อุณหภูมิในช่วง 100-120 องศาเซลเซียส (Liu, 2005)



ภาพที่ 18 กราฟการดูดกลืนความร้อนและสสารผสมลิคซุนนุโดยให้ความร้อน 2 ครั้ง ด้วย ปริมาณน้ำร้อยละ 70 วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (a) แป้งเมล็ดขนุน (b) สตาร์ชเมล็ดขนุน

การเกิดฟิคที่สองของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนในการทดลองนี้ไม่ได้เกิดจาก ปริมาณน้ำและการรวมตัวกันระหว่างแอมิโลสกับไขมัน ผู้วิจัยจึงวัดการกระจายตัวของเม็ด สตาร์ชของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนซึ่งพบว่ามีการกระจายสองขนาด คือ แป้งเมล็ดขนุนมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 6 และ 8 ไมโครเมตร ส่วนสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6 และ 7 ไมโครเมตร ดังภาพที่ 19 Yuan *et al.* (1993) กล่าวว่า การเกิดฟิคเจลาทีไนซ์สองฟิคอาจเกิดจากเม็ดสตาร์ชมีประชากรสอง ชนิด นอกจากนี้ Liu (2005) พบว่าฟิคเจลาทีไนซ์สองฟิคเกิดจากการสลายโครงร่างผลึกสองชนิด คือ ชนิดแรกเม็ดสตาร์ชที่มีความเสถียรน้อยโครงร่างผลึกสลายที่อุณหภูมิต่ำส่วนเม็ดสตาร์ชที่ยังไม่ สลายโครงร่างผลึกจะดูดน้ำมากขึ้นและเกิดการสลายโครงร่างผลึกที่อุณหภูมิสูงขึ้นจึงพบสองฟิค สำหรับฟิคการเกิดเจลาทีไนซ์ของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนในการทดลองนี้น่าจะเกิดจากมี ประชากรสองกลุ่มที่เกิดเจลาทีไนซ์เป็นสองช่วงซึ่งทำให้เกิดสองฟิค นอกจากนี้แป้งและสตาร์ช เมล็ดขนุนเกิดฟิคมีลักษณะกว้างซึ่งแสดงว่าเม็ดสตาร์ชมีความหลากหลายไม่เป็นอย่างเดียวกัน (homogeneity)



ภาพที่ 19 การกระจายขนาดของเม็ดสตาร์ชของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนจำนวน 500 แกรนูล

(a) แป้งเมล็ดขนุน (b) สตาร์ชเมล็ดขนุน

จากตารางที่ 16 แสดงค่าดังนี้ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลาทีไนซ์ (To_{Gel}) อุณหภูมิที่ เกิดเจลลาทีไนซ์สูงสุด (Tp_{Gel}) อุณหภูมิสุดท้ายของการเกิดเจลลาทีไนเซชัน (Tc_{Gel}) และพลังงานที่ใช้ ในการเกิดเจลลาทีไนซ์ (ΔH_{Gel}) ซึ่งใช้ปริมาณน้ำที่มากพอคือร้อยละ 70 โดยพิจารณาการเกิด เจลลาทีไนเซชันพิกแรกพบค่า To_{Gel} ของแป้งและสตาร์ชอยู่ในช่วง 63 ถึง 68 องศาเซลเซียส เปรียบเทียบแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนพบว่าแป้งมีค่า To_{Gel} มากกว่าสตาร์ชและมีค่าแตกต่างกัน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากปริมาณโปรตีนและไขมันของเม็ดสตาร์ชของแป้งยับยั้ง การเกิดเจลลาทีไนซ์โดยโปรตีนแย่งจับกับน้ำและไขมันขัดขวางไม่ให้น้ำเข้าไปในเม็ดสตาร์ชของ แป้งจึงต้องใช้อุณหภูมิสูงในการเกิดเจลลาทีไนซ์มากกว่าสตาร์ช (Toe *et al.*, 2000) ซึ่งการทดลองนี้ สอดคล้องกับผลของ Mukprasirt and Sajjaanantakul (2004) พบว่าค่า To_{Gel} ของแป้งเมล็ดขนุนมีค่า มากกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน เมื่อพิจารณาในกลุ่มสตาร์ชพบว่าสตาร์ชข้าวโพดมีค่า To_{Gel} มากที่สุด เท่ากับ 67.75 องศาเซลเซียส รองลงมาคือ สตาร์ชเมล็ดขนุน และสตาร์ชมันฝรั่ง ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) สตาร์ชข้าวโพดมีค่า To_{Gel} มากที่สุดอาจเป็นเพราะโครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชข้าวโพดมีส่วน โครงสร้างผลึกที่แข็งแรงมากเนื่องจากมีค่าความเป็นผลึกมากที่สุดดูได้จากการวัดระดับการเป็นผลึก ทำให้ต้องใช้อุณหภูมิสูงในการเกิดเจลลาทีไนเซชัน ส่วนสตาร์ชมันฝรั่งมีค่า To_{Gel} น้อยที่สุดเท่ากับ 62.46 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของค่าความหนืดจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA โดยสตาร์ชมันฝรั่งมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืดต่ำที่สุด (pasting temperature) และ สตาร์ชมันฝรั่งเกิดการพองตัวเร็วจึงใช้อุณหภูมิเร็วในการเกิดเจลลาทีไนเซชัน การที่สตาร์ชมีอุณหภูมิ เกิดเจลลาทีไนเซชันแตกต่างกันน่าจะมาจากการมีโครงสร้างผลึกและโครงสร้างโมเลกุล

แอมิโลเพกทินที่แตกต่างกัน (Perera and Hoover, 1997) นอกจากนี้ฟิสิกส์ที่สองพบว่าค่า To_{Gel} ของแป้งเมล็ดขนุนมีค่ามากกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนซึ่งสอดคล้องกับฟิสิกส์แรก

ค่า Tp_{Gel} และ Tc_{Gel} ของแป้งและสตาร์ชอยู่ในช่วง 66.48 ถึง 72.64 และ 73 ถึง 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยพบว่า Tp_{Gel} , Tc_{Gel} ของแป้งและสตาร์ชซึ่งทั้ง 4 ตัวอย่างมีแนวโน้มคล้ายคลึงกับค่า To_{Gel} โดยสตาร์ชข้าวโพดมีค่า Tp_{Gel} และ Tc_{Gel} มากที่สุด รองลงมาคือแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชมันฝรั่ง ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) แป้งเมล็ดขนุนมีค่า Tp_{Gel} และ Tc_{Gel} มากกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน ($p \leq 0.05$) ส่วนสตาร์ชข้าวโพดต้องใช้อุณหภูมิสูงในการเกิดเจลลิตในเซชันเพราะเมล็ดสตาร์ชข้าวโพดมีโครงสร้างผลึกที่แข็งแรง (Singh *et al.*, 2003) นอกจากนี้พบว่าค่า Tp_{Gel} , Tc_{Gel} ของฟิสิกส์ที่สองของแป้งเมล็ดขนุนมีค่ามากกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนซึ่งสอดคล้องกับฟิสิกส์แรก ดังนั้น ปัจจัยที่มีผลต่อค่า Tp_{Gel} และ Tc_{Gel} คือ ความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของตัวอย่างแต่ละชนิด เช่น ปริมาณและสัดส่วนของแอมิโลส แอมิโลเพกทิน โครงสร้างความเป็นผลึก

ค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตในเซชัน (enthalpy, ΔH_{Gel}) เป็นค่าที่ใช้บอกถึงปริมาณ หรือคุณภาพของผลึก ปริมาณเกลียวคู่ของแอมิโลเพกทิน และเป็นพลังงานรวมที่ใช้ในการทำลายพันธะไฮโดรเจน และแรงแวนเดอร์วาลส์ (Tester 1997; Singh *et al.*, 2003) จากผลการทดลองนี้พบว่าฟิสิกส์ที่สองของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนเป็นฟิสิกส์จากการเกิดเจลลิตในเซชันซึ่งไม่ใช่ฟิสิกส์ที่เกิดจากการสลายสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันดังนั้นจึงรวมค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตในเซชันของทั้งสองฟิสิกส์ในแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุน ค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตในเซชันของแป้งและสตาร์ชอยู่ระหว่าง 8.95 ถึง 19.24 จูลต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) เปรียบเทียบแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนพบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตในเซชันน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนเนื่องจากแป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณไขมันมากกว่าซึ่งไขมันสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลสสามารถขัดขวางความเป็นโครงสร้างผลึกของเมล็ดสตาร์ช ทำให้โครงสร้างผลึกของเมล็ดสตาร์ชมีความแข็งแรงน้อยลงส่งผลให้ค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึกน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน นอกจากนี้แป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนส่งผลให้แป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณสตาร์ชน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนทำให้ใช้พลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน เมื่อพิจารณาในกลุ่มสตาร์ชพบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีค่าพลังงานเอนทาลปีมากที่สุดเท่ากับ 19.24 จูล/กรัม (น้ำหนักแห้ง) รองลงมาได้แก่ สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชเมล็ดขนุน ซึ่งมีค่าพลังงานเอนทาลปี เท่ากับ 15.76, 14.29 จูล/กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) สตาร์ชมันฝรั่งมีค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตในเซชันสูงเนื่องจากเมล็ดสตาร์ชมันฝรั่งมีขนาดใหญ่ซึ่งมีผลต่อค่าพลังงาน

ในการเกิดเจลไทไนซ์ (Singh and Singh, 2003) ซึ่ง Tang *et al.* (2000) พบว่าค่าพลังงานในการเกิดเจลไทไนซ์จะมากขึ้นตามขนาดเม็ดสตาร์ช ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลไทไนซ์ซึ่งแสดงถึงความแข็งแรงของพันธะภายในโมเลกุลของตัวอย่าง คือปริมาณแอมิโลส ลักษณะการจัดเรียงตัวของผลึก ขนาดเม็ดสตาร์ช รวมถึงการเกิดอันตรกิริยากับองค์ประกอบอื่น ๆ ในแป้งและสตาร์ช (Hoover and Senanayake, 1996)

เมื่อเปรียบเทียบช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลไทไนซ์ และค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลไทไนซ์ของตัวอย่าง เปรียบเทียบแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุน พบว่าแป้งเมล็ดขนุนมีค่า To_{Gel} , Tp_{Gel} และ Tc_{Gel} สูงกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน แต่มีค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลไทไนซ์ต่ำกว่า เนื่องจากปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนต่างกัน แป้งจะมีทั้งสตาร์ช และองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ ในขณะที่สตาร์ชจะมีองค์ประกอบหลักเป็นแอมิโลส และแอมิโลเพกทิน จึงทำให้ปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทินในแป้งมีน้อยกว่าในตัวอย่างสตาร์ชที่มีน้ำหนักเท่ากัน นอกจากนี้องค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน และปริมาณฟอสฟอรัสที่สามารถขัดขวางความเป็นโครงร่างผลึก หรือส่วนที่เป็นโครงร่างผลึกของโมเลกุลสตาร์ชได้ ซึ่งโปรตีนสามารถสร้างพันธะไดซัลไฟด์กับโมเลกุลของสตาร์ชทำให้โครงร่างความเป็นผลึกของเม็ดสตาร์ชของแป้งลดลง (Hamaker and Griffin, 1993) ส่วนไขมันจะเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลของแอมิโลสดังนั้นจึงทำให้ตัวอย่างแป้งใช้พลังงานในการเกิดเจลไทไนซ์น้อยกว่าสตาร์ชทำให้ค่าพลังงานที่ใช้ต่ำกว่าสตาร์ช นอกจากนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งเมล็ดขนุนน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนส่งผลให้แป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณสตาร์ชน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนทำให้ใช้พลังงานในการสลายโครงร่างผลึกน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน

ตารางที่ 16 ค่า $T_{o\text{Gel}}$, $T_{p\text{Gel}}$, $T_{c\text{Gel}}$, ΔH_{Gel} ของแป้งและสตาร์ชต่างๆ

ตัวอย่าง	$T_{o\text{Gel}}$ ($^{\circ}\text{C}$) Onset temperature		
	Peak 1	Peak 2	
แป้งเมล็ดขนุน	$66.85 \text{ b} \pm 0.07$	83.64 ± 0.20	
สตาร์ชเมล็ดขนุน	$63.06 \text{ c} \pm 0.32$	79.57 ± 0.11	
สตาร์ชข้าวโพด	$67.98 \text{ a} \pm 0.15$	ไม่พบ	
สตาร์ชมันฝรั่ง	$62.31 \text{ d} \pm 0.23$	ไม่พบ	
	$T_{p\text{Gel}}$ ($^{\circ}\text{C}$) Peak temperature		
แป้งเมล็ดขนุน	$72.15 \text{ a} \pm 0.35$	87.24 ± 0.24	
สตาร์ชเมล็ดขนุน	$68.41 \text{ b} \pm 0.00$	83.74 ± 0.00	
สตาร์ชข้าวโพด	$72.64 \text{ a} \pm 0.10$	ไม่พบ	
สตาร์ชมันฝรั่ง	$66.48 \text{ c} \pm 0.13$	ไม่พบ	
	$T_{c\text{Gel}}$ ($^{\circ}\text{C}$) Conclusion temperature		
แป้งเมล็ดขนุน	$79.12 \text{ a} \pm 0.30$	92.46 ± 0.40	
สตาร์ชเมล็ดขนุน	$73.29 \text{ b} \pm 0.46$	90.23 ± 0.05	
สตาร์ชข้าวโพด	$79.16 \text{ a} \pm 0.08$	ไม่พบ	
สตาร์ชมันฝรั่ง	$72.90 \text{ b} \pm 0.04$	ไม่พบ	
	ΔH_{Gel} (dry basis) J/g Enthalpy		ΔH_{Gel} รวม (dry basis) J/g Enthalpy
แป้งเมล็ดขนุน	$4.05 \text{ d} \pm 0.08$	4.90 ± 0.15	8.95
สตาร์ชเมล็ดขนุน	$5.87 \text{ c} \pm 0.47$	8.44 ± 0.20	14.31
สตาร์ชข้าวโพด	$15.76 \text{ b} \pm 1.20$	ไม่พบ	15.76
สตาร์ชมันฝรั่ง	$19.24 \text{ a} \pm 0.02$	ไม่พบ	19.24

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

3.5.2 รีโทรเกรเดชัน

ศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันโดยวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC โดยนำแป้งและสตาร์ชที่ผ่านการเจลาติไนเซชันด้วยเครื่อง DSC มาเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน เพื่อวัดค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายโครงสร้างผลึก ($\Delta H_{\text{Retro-AP}}$) ค่าอุณหภูมิเริ่มต้นในการสลายโครงสร้างผลึก ($T_{o\text{Retro-AP}}$) อุณหภูมิสูงสุดในการสลายโครงสร้างผลึก ($T_{p\text{Retro-AP}}$) อุณหภูมิสุดท้ายในการสลายโครงสร้างผลึก ($T_{c\text{Retro-AP}}$) การสลายโครงสร้างผลึกที่เกิดจากรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินมีลักษณะและช่วงอุณหภูมิเกิดพิคแตกต่างจากการดูกลั่นความร้อนการเกิดเจลาติไนเซชัน โดยพบว่าพิคที่เกิดจากการสลายโครงสร้างผลึกจากรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกทินมีลักษณะกว้างกว่าพิคจากการสลายโครงสร้างผลึกในเจลาติไนเซชัน อาจเป็นเพราะผลึกที่เกิดขึ้นใหม่มีลักษณะขนาดความสมบูรณ์ ความแข็งแรงแตกต่างกัน จึงทำให้พิคมีลักษณะกว้างมากขึ้น (Hoover and Senanayake, 1996) นอกจากนี้ยังเกิดที่อุณหภูมิต่ำกว่าเนื่องจากผลึกที่เกิดขึ้นใหม่มีการเรียงตัวของโมเลกุลเป็นระเบียบน้อยกว่าเดิมทำให้ความเป็นผลึกลดลง ไม่แข็งแรง มีความเป็นเสถียรลดลงทำให้สลายตัวที่อุณหภูมิต่ำกว่า (Sodhi and Singh, 2003)

จากตารางที่ 17 พบว่า เมื่อเปรียบเทียบระหว่างแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนพบว่า ค่า $T_{o\text{Retro-AP}}$ ของแป้งเมล็ดขนุนมีค่าเท่ากับ 44.46 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน (43.96 องศาเซลเซียส) และมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เปรียบเทียบในกลุ่มสตาร์ชพบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่า $T_{o\text{Retro-AP}}$ ซึ่งเท่ากับ 43.96 องศาเซลเซียส รองลงมาคือสตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชข้าวโพดเท่ากับ 42.90, 41.47 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า $T_{p\text{Retro-AP}}$ และ ค่า $T_{c\text{Retro-AP}}$ ของแป้งและสตาร์ชอยู่ในช่วง 52 ถึง 58 องศาเซลเซียส และ 64 ถึง 74 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีค่า $T_{p\text{Retro-AP}}$ มากที่สุดเท่ากับ 57.83 องศาเซลเซียส และมีค่า $T_{c\text{Retro-AP}}$ เท่ากับ 73.38 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เปรียบเทียบในกลุ่มสตาร์ชพบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีค่า $T_{p\text{Retro-AP}}$, $T_{c\text{Retro-AP}}$ มากกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพด ตามลำดับ ซึ่งแต่ละค่าในกลุ่มสตาร์ชมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สำหรับค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกเมื่อเปรียบเทียบแป้งกับสตาร์ชเมล็ดขนุน แป้งเมล็ดขนุนมีค่าพลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน ($p \leq 0.05$) เนื่องจากปริมาณไขมันของแป้งเมล็ดขนุนจะขัดขวางการเรียงตัวกันใหม่ของแอมิโลเพกทินทำให้ต้องใช้พลังงานในการสลายโครงสร้างผลึกต่ำกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน สอดคล้อง

กับ Toe *et al.* (2000) ที่พบว่าเจลสตาร์ชสามารถเกิดรีโทรเกรเดชันแอมิโลเพกทินได้มากกว่า เจลแป้ง น่าจะเป็นเพราะองค์ประกอบภายในเจลแป้งซึ่งได้แก่โปรตีนและไขมันจะช่วยชะลอการ รวมตัวกันของแอมิโลเพกทิน เจลสตาร์ชสามารถเกิดรีโทรเกรดได้มากกว่าเจลแป้งโดยกรดไขมัน อิสระในแป้งทำให้เกิดรีโทรเกรเดชันได้ลดลง เนื่องจากกรดไขมันอิสระดังกล่าวเกิดเป็นสาร ประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและไขมัน และไปขัดขวางการจัดเรียงโมเลกุลใหม่ของสาย แอมิโลเพกทิน ทำให้มีการใช้พลังงานในการสลายโครงร่างผลึกต่ำแสดงว่าเกิดรีโทรเกรเดชันต่ำ ด้วยนั่นเอง (Jane *et al.*, 1992; Singh *et al.*, 2003) นอกจากนี้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตของแป้งเมล็ด ขนุนน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนทำให้แป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณสตาร์ชน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน ส่งผลให้มีปริมาณแอมิโลเพกทินในเจลแป้งเมล็ดขนุนจัดเรียงตัวกันใหม่ได้น้อยกว่าเจลสตาร์ช เมล็ดขนุนซึ่งทำให้เจลแป้งเมล็ดขนุนใช้พลังงานในการสลายโครงร่างผลึกน้อยกว่าสตาร์ชเมล็ด ขนุน เปรียบเทียบในกลุ่มสตาร์ชพบว่าสตาร์ชมันฝรั่งมีค่ามากที่สุดเท่ากับ 11.30 จูล/กรัม (น้ำหนักแห้ง) รองลงมาได้แก่ สตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าเท่ากับ 7.75 และ 7.14 จูล/กรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ซึ่งสตาร์ชมันฝรั่งมีความยาวของสายแอมิโลเพกทินมากกว่า สตาร์ชข้าวโพด (Hizukari, 1986; Chung and Liu, 2009) ดังนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกร เดชันของแป้งและสตาร์ชได้แก่ ปริมาณไขมัน ปริมาณแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน ความแข็งแรง ของโครงร่างผลึกเมล็ดสตาร์ช ความยาวของสายโมเลกุลแอมิโลเพกทิน

ตารางที่ 17 ค่า $T_{o\text{Retro-AP}}$, $T_{p\text{Retro-AP}}$, $T_{c\text{Retro-AP}}$, $\Delta H_{\text{Retro-AP}}$ ของแป้งและสตาร์ชต่างๆ

ตัวอย่าง	$T_{o\text{Retro-AP}}$ ($^{\circ}\text{C}$) Onset temperature
แป้งเมล็ดขนุน	$44.46\text{a} \pm 0.53$
สตาร์ชเมล็ดขนุน	$43.96\text{ b} \pm 0.00$
สตาร์ชข้าวโพด	$41.47\text{ d} \pm 0.72$
สตาร์ชมันฝรั่ง	$42.90\text{ bc} \pm 0.97$
	$T_{p\text{Retro-AP}}$ ($^{\circ}\text{C}$) Peak temperature
แป้งเมล็ดขนุน	$56.58\text{ a} \pm 1.89$
สตาร์ชเมล็ดขนุน	$55.72\text{ ab} \pm 1.42$
สตาร์ชข้าวโพด	$52.80\text{ b} \pm 1.09$
สตาร์ชมันฝรั่ง	$57.83\text{ b} \pm 0.13$
	$T_{c\text{Retro-AP}}$ ($^{\circ}\text{C}$) Conclusion temperature
แป้งเมล็ดขนุน	$67.80\text{ c} \pm 1.02$
สตาร์ชเมล็ดขนุน	$69.89\text{ b} \pm 0.02$
สตาร์ชข้าวโพด	$64.64\text{ d} \pm 1.05$
สตาร์ชมันฝรั่ง	$73.38\text{ a} \pm 1.06$
	$\Delta H_{\text{Retro-AP}}$ (dry basis) J/g Enthalpy
แป้งเมล็ดขนุน	$3.82\text{ c} \pm 0.35$
สตาร์ชเมล็ดขนุน	$7.14\text{ b} \pm 0.33$
สตาร์ชข้าวโพด	$7.75\text{ b} \pm 0.52$
สตาร์ชมันฝรั่ง	$11.30\text{ a} \pm 0.51$

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

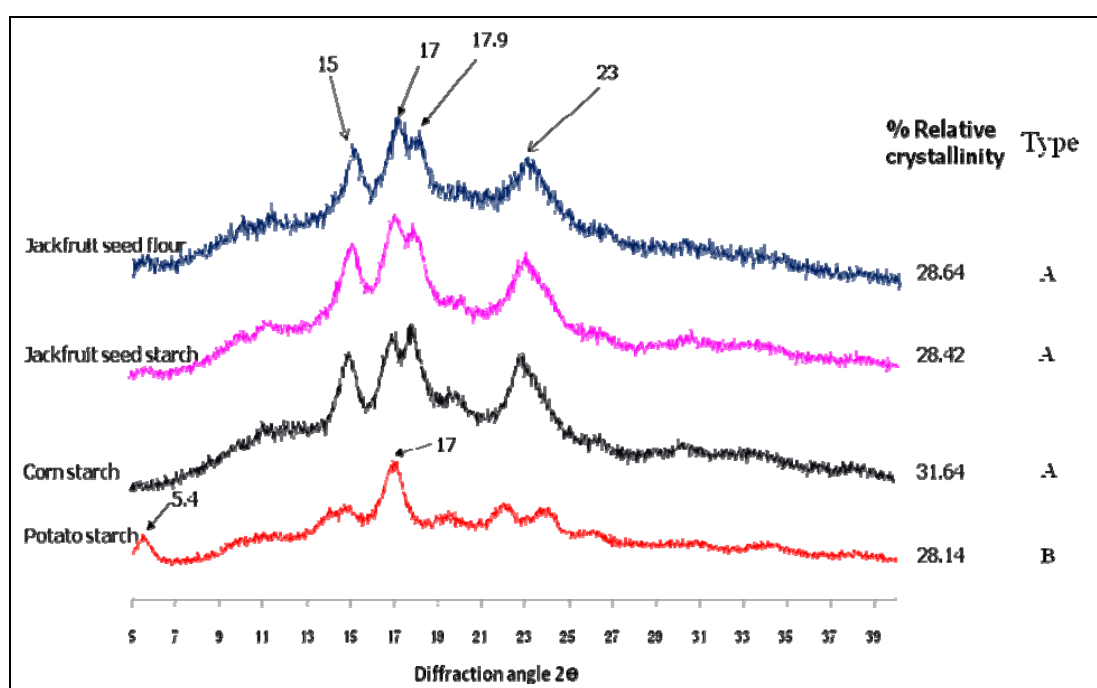
3.6 โครงสร้างผลึกของแป้งและสตาร์ชด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชมันฝรั่ง ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) โดยคำนวณเป็นค่าร้อยละของระดับความเป็นผลึก (% degree of crystallinity) จากสัดส่วนของพื้นที่บริเวณได้ฟิคส่วนบนต่อพื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัมที่วัดได้ พบว่าสตาร์ชข้าวโพดมีค่าระดับความเป็นผลึกสูงที่สุดคือร้อยละ 31.64 รองลงมาคือแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชมันฝรั่งซึ่งมีค่าระดับความเป็นผลึกร้อยละ 28.64, 28.42 และ 28.14 ตามลำดับ (ภาพที่ 20) เนื่องจากสตาร์ชข้าวโพดมีปริมาณแอมิโลสปานกลางร้อยละ 24.30 และมีปริมาณแอมิโลเพกทินสูงกว่าแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพด ซึ่งโดยปกติโมเลกุลของแอมิโลเพกทินเป็นส่วนที่ทำให้เกิดโครงสร้างในส่วนผลึกของเม็ดสตาร์ชจากการที่โมเลกุลสายสั้นๆของแอมิโลเพกทินซึ่งมีระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (degree of polymerization) เท่ากับ 15 หรือ 18 สามารถเกิดเป็นเกลียวคู่ได้ (Buléon *et al.*, 1998) ดังนั้นสตาร์ชข้าวโพดจึงมีความเป็นผลึกมากกว่าแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชมันฝรั่ง เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสต่ำที่สุดจึงมีปริมาณแอมิโลเพกทินสูงที่สุดจึงทำให้ค่าระดับความเป็นผลึกที่วัดได้มีค่ามากที่สุด

กล้านรงค์ และ เกื้อกูล (2546) กล่าวว่า เม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (semi-crystalline) โดยโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในเม็ดสตาร์ชเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystallite) และส่วนอสัณฐาน (amorphous หรือ gel phase) ส่วนสายโซ่สั้นของแอมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ (double helices) บางส่วนเกิดโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดสตาร์ชจะประกอบด้วยโมเลกุลของแอมิโลสและสายโซ่ยาวของแอมิโลเพกทิน เม็ดสตาร์ชจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (สตาร์ชจากธัญพืชต่างๆ) ถ้าเรียงตัวกันหลวมๆจะเกิดผลึกแบบ B (สตาร์ชจากพืชหัว) ถ้าเกิดการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันจัดเป็นผลึกแบบ C (สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว) สตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกต่างกัน จะให้รูปแบบของการหักเหรังสีเอกซ์เรย์ (X-ray diffraction) ต่างกัน สตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A จะให้ฟิคที่ 17 และ 17.9 องศา 2θ แต่ไม่มีฟิคที่ 5.6 องศา 2θ ได้แก่สตาร์ชจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด จะมีลักษณะผลึกแบบ A ส่วนสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B จะให้ฟิคที่ 5.6 และ 17 องศา 2θ แต่ไม่มีฟิคที่ 17.9 องศา 2θ ได้แก่สตาร์ชจากพืชหัว เช่น มันฝรั่ง สำหรับสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ C จะให้ลักษณะร่วมกันระหว่างผลึกแบบ A และ B กล่าวคือ จะมีฟิคที่ 5.6 และ 17.9 องศา 2θ

ตัวอย่างเช่น สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว สตาร์ชบางชนิดอาจให้ลักษณะของผลึกได้มากกว่า 1 ชนิด เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง ซึ่งสามารถตรวจพบลักษณะผลึกทั้งแบบ A และ C (Rickard *et al.*, 1991)

จากภาพที่ 20 พบว่าโครงสร้างผลึกของแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพดจะปรากฏพีกหลักที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 15 องศา จำนวน 1 พีก ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 17-18 องศา จำนวน 2 พีกเชื่อมต่อกันและตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 23 องศา จำนวน 1 พีก ซึ่งเป็นรูปแบบของโครงสร้างผลึกแบบ A และเป็นแบบที่พบมากในสตาร์ชจากธัญพืช (Buléon *et al.*, 1998) ส่วนโครงสร้างผลึกของสตาร์ชมันฝรั่งจะปรากฏพีกหลักที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 5-6 องศา จำนวน 1 พีก ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 17 องศา จำนวน 1 พีก โดยไม่พบพีกที่ตำแหน่ง 2θ เท่ากับ 17.9 องศา ซึ่งเป็นรูปแบบของโครงสร้างผลึกแบบ B และเป็นแบบที่พบมากในสตาร์ชจากพืชหัว Tulyathan *et al.* (2002) ศึกษาโครงสร้างผลึกของสตาร์ชเมล็ดขนุนด้วยเครื่อง X-ray powder diffraction พบว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีโครงสร้างผลึกแบบ A ซึ่งปรากฏพีกโครงสร้างผลึกแบบ A เช่นกัน นอกจากนี้ Lim *et al.* (2001) พบว่าสตาร์ชข้าวโพดและมันฝรั่ง มีโครงสร้างผลึกแบบ A และ B ตามลำดับ

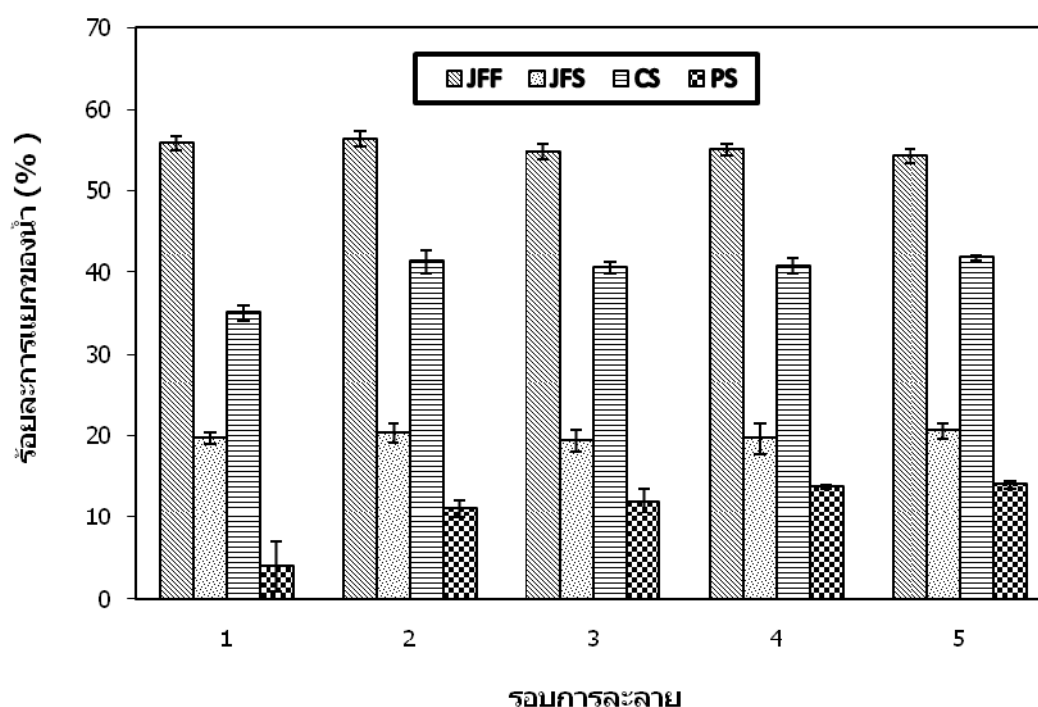


ภาพที่ 20 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ร้อยละและชนิดความเป็นผลึก ตำแหน่งพีกที่พบของแป้งและสตาร์ช

3.7 สมบัติความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้งและสตาร์ช

3.7.1 ร้อยละการแยกของน้ำ

ทดลองสมบัติความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งของเจลแป้งและสตาร์ช ด้วยวิธี freeze thaw cycle process (Biliaderis, 1998) จากนั้นหาค่าร้อยละการแยกของน้ำด้วยวิธีการหมุนเหวี่ยง (centrifugation method)



ภาพที่ 21 ร้อยละการแยกของน้ำจากการแช่เยือกแข็งและการละลาย 5 รอบของเจลแป้งและสตาร์ช (JFF: แป้งเมล็ดขนุน, JFS: สตาร์ชเมล็ดขนุน, CS: สตาร์ชข้าวโพด, PS: สตาร์ชมันฝรั่ง)

จากภาพที่ 21 และตารางภาคผนวกที่ ข3 แสดงค่าความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการทำละลายของเจลแป้งและสตาร์ชต่างๆที่ความเข้มข้นร้อยละ 9 พบว่าร้อยละการแยกของน้ำของเจลแป้งและสตาร์ชต่างๆจากรอบที่ 1 ถึง 5 มีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยรอบที่ 1 ถึง 5 เจลแป้งเมล็ดขนุนมีค่าร้อยละการแยกของน้ำมากที่สุด รองมาคือ เจลสตาร์ชข้าวโพด เจลสตาร์ชเมล็ดขนุน เจลสตาร์ชมันฝรั่ง ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) โดยแนวโน้มร้อยละ

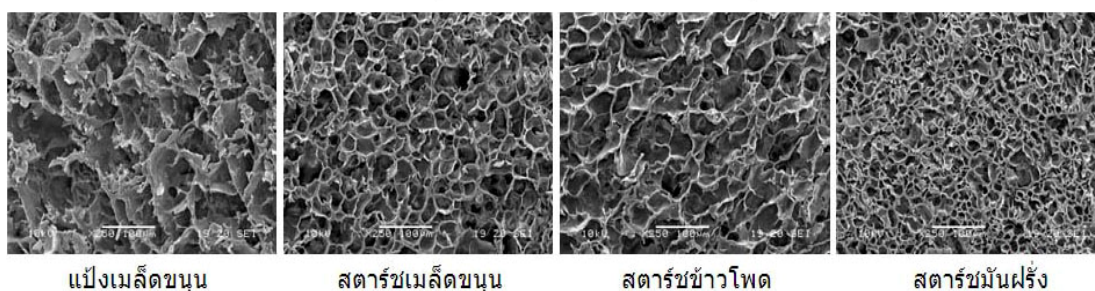
การแยกของน้ำรอบที่ 1 ถึง 5 ของเจลแป้งเมล็ดขนุน เจลสตาร์ชเมล็ดขนุน เจลสตาร์ชข้าวโพด มีค่าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง จากการที่เจลแป้งเมล็ดขนุนมีค่าการแยกของน้ำมากกว่าเจลสตาร์ชเมล็ดขนุน อาจเป็นเพราะแป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณโปรตีนและไขมันสูงกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนส่งผลให้แป้งเมล็ดขนุนอุ้มน้ำได้น้อยจึงเกิดการแยกน้ำมากกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนเมื่อถูกเหวี่ยงซึ่งสอดคล้องกับผลของอมรรัตน์ (2544) พบว่าเจลแป้งเมล็ดขนุนมีค่าร้อยละการแยกของน้ำมากกว่าสตาร์ชเมล็ดขนุน เมื่อพิจารณาในกลุ่มเจลสตาร์ชพบว่าเจลสตาร์ชข้าวโพดมีค่าการแยกของน้ำมากกว่าเจลสตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชมันฝรั่ง ตามลำดับ ($p \leq 0.05$) คาดว่าสตาร์ชข้าวโพดมีโครงสร้างของแอมิโลเพกทินเป็นกึ่งน้อยมากจึงกักเก็บโมเลกุลน้ำได้ไม่ดีส่งผลให้ปริมาณน้ำที่ถูกเหวี่ยงออกมามากกว่าและสตาร์ชข้าวโพดยังมีคุณสมบัติที่มีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งต่ำซึ่งเป็นคุณสมบัติสตาร์ชจากธัญพืช อรพิน (2533) กล่าวว่าการศึกษาของสตาร์ชจากธัญพืช เช่น ข้าวโพด จะเกิดเร็วกว่าสตาร์ชจากพืชหัว ราก เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง โดยผู้วิจัยหลายท่าน พบว่าสตาร์ชข้าวโพดมีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายต่ำและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ (Ahamed *et al.*, 1996; Pal *et al.*, 2002) นอกจากนี้สตาร์ชมันฝรั่งมีค่าร้อยละการแยกของน้ำต่ำที่สุด อาจเป็นเพราะสตาร์ชมันฝรั่งมีหมู่ฟอสเฟตซึ่งมีประจุลบทำให้เจลมีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดี (Pomeranz, 1985)

ปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวต่อการละลายและการแช่เยือกแข็งคือ อันตรกิริยาของสายแอมิโลเพกทินกับแอมิโลสที่ละลายออกมานอกเมล็ดสตาร์ชก่อให้เกิดบริเวณรอยต่อหรือที่เรียกว่า junction zone ทำให้โมเลกุลมีโครงสร้างที่อุ้มน้ำไว้ได้และเมื่อลดอุณหภูมิลงโครงสร้างจะจัดเรียงตัวเป็นระเบียบมากขึ้น และหนาแน่นมากขึ้น ทำให้โมเลกุลน้ำอิสระที่อยู่ในเมล็ดสตาร์ชถูกบีบออกมานอกโครงสร้าง ทำให้มีปริมาณน้ำที่ถูกเหวี่ยงออกมา (syneresis) (Perera and Hoover, 1999) เจลแป้งมีความคงตัวต่อการละลายจากการแช่เยือกแข็งน้อยกว่าเจลสตาร์ชเนื่องจากมีองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ เช่น โปรตีน ไขมัน อาจทำให้เจลที่ได้มีโครงสร้างไม่แข็งแรง เป็นผลให้อุ้มน้ำได้ไม่ดี เมื่อผ่านการแช่เยือกแข็งและการละลาย โครงสร้างของเจลถูกทำลายได้ง่ายขึ้น น้ำจึงออกจากเจลได้มากขึ้น (อมรรัตน์, 2544) ดังภาพที่ 22 จะพบว่าเจลแป้งเมล็ดขนุนมีโครงสร้างรูพรุนขนาดใหญ่ที่สุด ทำให้มีการแยกของน้ำ (syneresis) ออกมามากที่สุด จากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายต่ำจึงไม่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์แช่เยือกแข็ง

3.7.2 โครงสร้างของเจลแป็งและสตาร์ชจากการแช่เยือกแข็งและการละลาย

นอกจากร้อยละการแยกของน้ำในงานวิจัยนี้ยังได้ตรวจสอบโครงสร้างของเจลต่างๆ (ภาพที่ 22) พบว่าการแช่เยือกแข็งและการละลายรอบที่ 1 ถึง 5 โครงสร้างของเจลแป็งเมล็ดขนุน เจลสตาร์ชเมล็ดขนุน เจลสตาร์ชข้าวโพดไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง คือเกิดลักษณะรูพรุนใหญ่ตั้งแต่รอบที่ 1 ซึ่งสัมพันธ์กับค่าร้อยละการแยกของน้ำพบว่าเจลแป็งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุน และสตาร์ชข้าวโพดมีค่าร้อยละการแยกของน้ำรอบที่ 1 ถึง 5 มีค่าไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง ส่วนสตาร์ชมันฝรั่งนั้นพบโครงสร้างของเจลรอบที่ 1 เกิดรูพรุนขนาดเล็กและรอบที่ 5 พบรูพรุนขนาดใหญ่ขึ้นแต่ยังพบรูพรุนขนาดเล็กปะปนอยู่บ้างซึ่งแสดงว่าโครงสร้างของเจลสตาร์ชมันฝรั่งเกิดความเสียหายน้อยกว่าเจลแป็งและสตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพด โดยโครงสร้างของเจลจากการแช่เยือกแข็งและการทำละลายจะมีความสัมพันธ์กับค่าร้อยละการแยกของน้ำซึ่งพบว่ารอบที่ 1 ถึง 5 ของเจลสตาร์ชมันฝรั่งมีค่าน้อยที่สุดน่าจะเป็นผลจากการที่สตาร์ชมันฝรั่งมีหมู่ฟอสเฟตซึ่งมีประจุลบทำให้เจลมีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดี Charoenrein *et al.* (2008) กล่าวว่า การเกิดรูพรุนของเจลที่ผ่านการแช่เยือกแข็งและการทำละลายซึ่งเรียกว่า sponge-like structure มีลักษณะคล้ายฟองน้ำเป็นผลมาจากการแช่เยือกแข็งและการละลายหลายรอบ ส่งผลให้ matrix รอบรูพรุนมีความแข็งแรงขึ้น

ภาพเจลแป้งและสตา์ชต่างๆจากการแช่เยือกแข็งและการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1



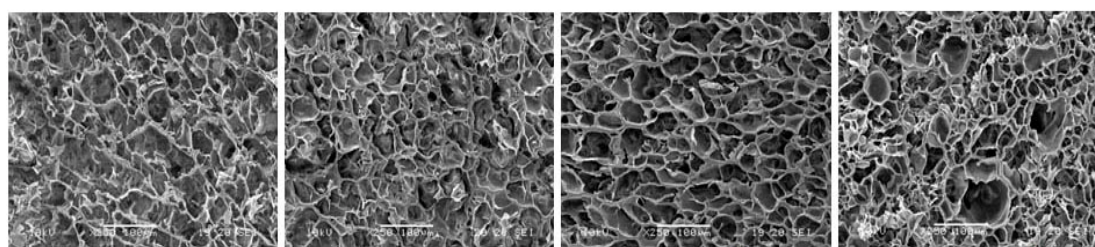
แป้งเมล็ดขนุน

สตาร์ชเมล็ดขนุน

สตาร์ชข้าวโพด

สตาร์ชมันฝรั่ง

ภาพเจลแป้งและสตา์ชต่างๆจากการแช่เยือกแข็งและการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 5



แป้งเมล็ดขนุน

สตาร์ชเมล็ดขนุน

สตาร์ชข้าวโพด

สตาร์ชมันฝรั่ง

ภาพที่ 22 โครงสร้างเจลของแป้งและสตา์ชจากการแช่เยือกแข็งและการคืนรูปจากเยือกแข็งรอบที่ 1 และ 5

จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุนกับสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่งพบว่าส่วนใหญ่แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนจะมีคุณสมบัติต่างๆได้แก่ องค์ประกอบทางเคมี ขนาดเม็ดสตาร์ช ค่าการพองตัวและการเปลี่ยนแปลงความหนืด พลังงานที่ในการเกิดเจลที่ในเซชันและการสลายโครงสร้างผลึกค่อนข้างใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพดมากกว่าสตาร์ชมันฝรั่ง นอกจากนี้แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีโครงสร้างผลึกแบบเดียวกับสตาร์ชข้าวโพด จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งต่ำ เนื่องจากมีค่าร้อยละการแยกของน้ำมากจึงไม่เหมาะที่จะนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง แต่เหมาะสำหรับนำมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวซึ่งดูจากค่าการพองตัว การเปลี่ยนแปลงความหนืดซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพดซึ่งส่วนใหญ่จะนำสตาร์ชข้าวโพดมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในซอสพริก ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในซอสพริก เพื่อความเป็นไปได้สำหรับการนำมาใช้แทนสตาร์ชข้าวโพดในซอสพริก

4. การนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนใช้ในผลิตภัณฑ์ซอสพริก

การทดลองนี้ทำการเตรียมซอสพริกโดยเติมแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพดที่ความเข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนัก/น้ำหนัก) เป็นสารให้ความข้นหนืดและเพิ่มความคงตัว โดยมีซอสพริกที่ไม่เติมสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวเป็นตัวอย่างควบคุม (control)

4.1 ตรวจสอบคุณสมบัติทางเคมี กายภาพและการยอมรับทางประสาทสัมผัสของซอสพริก

4.1.1 คุณสมบัติทางเคมีของซอสพริก

จากการตรวจสอบคุณสมบัติทางด้านเคมีของซอสพริกได้แก่ค่าความเป็นกรดต่าง (pH) และปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด (total soluble solid) โดยค่าความเป็นกรดต่างแสดงตารางที่ 18 พบว่าก่อนเก็บรักษาค่าความเป็นกรดต่างของซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าอยู่ระหว่าง 3.58 – 3.62 ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และมีค่าเป็นไปตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนดคือค่าความเป็นกรดต่างของซอสพริกควรอยู่ในช่วง 3.0 – 3.7 (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมสารให้ความข้นหนืดและความคงตัว ได้แก่ แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพดไม่มีผลต่อค่าความเป็นกรดต่างเมื่อเก็บรักษาซอสพริกที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของซอสพริกอยู่ในช่วง 3.46 – 3.51 ซึ่งมีค่าลดลงจากก่อนเก็บรักษาคาดว่าเกิดจากการย่อยสลายสารประกอบเพกทินจากเอนไซม์ที่สำคัญ 2 ชนิดคือ เอนไซม์เพกทินเมทิลเอสเทอร์สะไฮโดรไลซ์พันธะเมทิลเอสเทอร์ของเพกทินได้เป็นกรดเพกติก ส่วนเอนไซม์พอลิกลีอกูโรเนสจะไฮโดรไลซ์พันธะแอลฟา 1,4-ไกลโคไซด์ระหว่างหน่วยย่อยของกรดแอนไฮโดรกลีคูโรนิกได้เป็นกรดเพกติกเช่นกัน (นิธิยา, 2545) ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดของซอสพริกเพิ่มขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดต่างของซอสพริกหลังเก็บรักษายังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน นอกจากนี้ซอสพริกแต่ละตัวอย่างมีค่าความเป็นกรดต่างไม่แตกต่างจากสภาวะก่อนเก็บรักษา ($p > 0.05$)

ตารางที่ 18 ค่าความเป็นกรดต่างของซอสพริก 4 ตัวอย่างก่อนและหลังเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)	
	ก่อนเก็บรักษา	หลังเก็บรักษา
ซอสพริกควบคุม	3.59 aA $\pm$ 0.03	3.49 aA $\pm$ 0.13
ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน	3.62 aB $\pm$ 0.04	3.51 aB $\pm$ 0.18
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุน	3.61 aC $\pm$ 0.05	3.46 aC $\pm$ 0.18
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด	3.58 aD $\pm$ 0.02	3.46 aD $\pm$ 0.18

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- อักษรตัวใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวนอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่าง (ตารางที่ 19) มีค่าอยู่ระหว่าง 23.00 – 23.55 องศาบริกซ์ ($p > 0.05$) ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดคือปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของซอสพริกควรอยู่ในช่วง 22.0 – 38.5 องศาบริกซ์ (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2533) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมสารให้ความข้นหนืดและความคงตัว ได้แก่ แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพดไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของซอสพริก เมื่อเก็บรักษาซอสพริกที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่า ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของซอสพริกแต่ละตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างจากสภาวะก่อนเก็บรักษา ($p > 0.05$) นอกจากนี้การเปลี่ยนแปลงหลังเก็บรักษาของซอสพริกซึ่งปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 19 ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมดของซอสพริก 4 ตัวอย่างก่อนและหลังเก็บรักษา

ตัวอย่าง	ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด total soluble solid (°Brix)	
	ก่อนเก็บรักษา	หลังเก็บรักษา
ซอสพริกควบคุม	23.05 aA $\pm$ 0.07	22.80 bA $\pm$ 0.28
ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน	23.55 aB $\pm$ 0.50	23.15 abB $\pm$ 0.21
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุน	23.00 aC $\pm$ 0.28	23.23 abC $\pm$ 0.39
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด	23.10 aD $\pm$ 0.28	23.65 aD $\pm$ 0.21

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- อักษรตัวใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวนอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.1.2 คุณสมบัติทางกายภาพของซอสพริก

จากการทดสอบค่าสีของซอสพริก (ตารางที่ 20) วัดโดยเครื่อง Minolta 3500d ค่า L* แสดงถึงความสว่างของซอสพริก พบว่า ซอสพริกก่อนเก็บรักษามีค่า L* อยู่ในช่วง 32.65 – 33.56 ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า a* แสดงถึงค่าความเป็นสีแดง (+a*) และค่าความเป็นสีเขียว (-a*) พบว่า ซอสพริกมีค่า a* อยู่ในช่วงสีแดง (+37.05) – (+38.35) ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) นอกจากนี้ค่า b* แสดงถึงค่าความเป็นสีเหลือง (+b*) และค่าความเป็นสีน้ำเงิน (-b*) พบว่าซอสพริกมีค่า b* มีแนวโน้มเป็นสีเหลืองและมีค่าอยู่ในช่วง (+47.07) – (+47.70) ซึ่งซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่า b* ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) จากการสังเกตด้วยสายตาสังเกตพบว่าซอสพริกทุกตัวอย่างมีสีแดงออกส้ม (ภาพผนวกที่ ข3 และ ข4) หลังจากการเก็บรักษาซอสพริกที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 สัปดาห์นำซอสพริกมาวัดค่าสีพบว่า ค่า L* ของซอสพริกมีค่าอยู่ในช่วง 31.59 – 33.35 ($p \leq 0.05$) ส่วนค่า a* อยู่ในช่วง 37.40 – 39.67 ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ค่า b* มีค่าอยู่ในช่วง 45.09 – 47.38 ($p > 0.05$) เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าสีของซอสพริกก่อนและหลังเก็บรักษาพบว่าซอสพริกแต่ละตัวอย่างมีค่า L* ลดลงเล็กน้อยส่วน a* มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากสภาวะก่อนเก็บรักษาซึ่งคาดว่าน่าจะเกิดจากปฏิกิริยาสีน้ำตาลแบบเมลลาร์ด (Maillard reaction) เนื่องจากเกิด oxidative degradation ของกรดแอสคอร์บิกที่มีอยู่ในเนื้อพริกและทำปฏิกิริยากับสารประกอบคาร์บอนิลผ่านเข้าทางแอลดอลคอนเดนเซชันหรือทำปฏิกิริยากับหมู่อะมิโนเกิดเป็นสารสีน้ำตาลได้

(นิธิยา, 2545) ทั้งค่า L^* , a^* และ b^* ของซอสพริกแต่ละตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจากสภาวะก่อนเก็บรักษา ($p>0.05$)

ตารางที่ 20 ค่าสีของซอสพริก 4 ตัวอย่างก่อนและหลังเก็บรักษา

ค่าสีของ ซอส พริก	ระยะเวลา เก็บรักษา (วัน)	ซอสพริกควบคุม	ซอสพริกที่เติม แป้งเมล็ดขนุน	ซอสพริกที่เติม สตาร์ชเมล็ดขนุน	ซอสพริกที่เติม สตาร์ชข้าวโพด
L^*	0	32.65 aA $\pm$ 0.26	33.56 aB $\pm$ 1.03	33.29 aC $\pm$ 0.39	32.74 abD $\pm$ 0.10
	30	31.59 aA $\pm$ 0.46	33.35 aB $\pm$ 0.88	33.28 aC $\pm$ 0.13	32.65 aD $\pm$ 0.26
a^*	0	37.05 aE $\pm$ 0.72	38.35 aF $\pm$ 0.01	38.09 aG $\pm$ 0.21	38.00 aH $\pm$ 0.11
	30	37.40 bE $\pm$ 0.64	39.67 aF $\pm$ 1.05	38.59 abG $\pm$ 0.28	38.34 abH $\pm$ 0.63
b^*	0	47.21 aI $\pm$ 0.01	47.70 aJ $\pm$ 1.41	47.68 aK $\pm$ 0.92	47.07 aL $\pm$ 0.36
	30	45.17 aI $\pm$ 0.42	46.03 aJ $\pm$ 1.60	47.38 aK $\pm$ 1.86	45.09 aL $\pm$ 0.04

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวนอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- อักษรตัวใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ค่าความหนืดวัดจากการเครื่อง Brookfield Viscometer (ตารางที่ 21) พบว่าซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่างก่อนเก็บรักษามีค่าความหนืดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$) โดยซอสพริกควบคุมมีค่าความหนืดต่ำที่สุดคือ 765.5 เซนติพอยส์ ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีความหนืดสูงที่สุด เท่ากับ 1,660 เซนติพอยส์ รองลงมาคือ ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด (1,453 เซนติพอยส์) และแป้งเมล็ดขนุน (1,347 เซนติพอยส์) แสดงว่าการเติมแป้งและสตาร์ชมีผลต่อความหนืดของซอสพริกเนื่องจากแป้งและสตาร์ชเมื่อผสมกับน้ำและได้รับความร้อนจะเกิดการพองตัวทำให้ข้นหนืด เปรียบเทียบซอสพริกที่เติมแป้งและสตาร์ชพบว่าซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าความหนืดมากกว่าซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพดและซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน ตามลำดับ ($p\leq 0.05$) ซึ่งสอดคล้องจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องความหนืด (RVA) พบว่าค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือสตาร์ชข้าวโพดและแป้งเมล็ดขนุนตามลำดับ และค่าความหนืดสุดท้ายพบว่า สตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่ามากที่สุดซึ่งหมายความว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนยังคงมี

ความหนืดมากที่สุดหลังจากผ่านกระบวนการแปรรูปของผลิตภัณฑ์แล้ว นอกจากนี้จากการทดลองในช่วงต้นจะเห็นได้ว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าความคงทนต่อแรงเฉือนและความร้อนดีซึ่งคาดว่าระหว่างการให้ความร้อนและกวนระหว่างผลิตซอสพริกเม็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนยังคงสภาพได้ค่อนข้างสมบูรณ์กว่าเม็ดสตาร์ชของแป้งเมล็ดขนุนและข้าวโพด ส่งผลให้ความหนืดของซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่ามากที่สุด จากการทดสอบความหนืดของซอสพริกหลังเก็บรักษาพบว่าซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าความหนืดมากที่สุดรองลงมาคือ ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุนและซอสพริกควบคุมมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ซอสพริกแต่ละตัวอย่างมีค่าความหนืดเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากสภาวะก่อนเก็บรักษา ($p > 0.05$)

ตารางที่ 21 ค่าความหนืดของซอสพริก 4 ตัวอย่างก่อนและหลังเก็บรักษา วัดโดย

Brookfield Viscometer

ตัวอย่าง	ค่าความหนืด (เซนติพอยส์)	
	ก่อนเก็บรักษา	หลังเก็บรักษา
ซอสพริกควบคุม	756.50 dA $\pm$ 23.33	710.50 dA + 13.44
ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน	1,347.00 cB $\pm$ 28.28	1,321.50 cB + 16.26
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุน	1,660.00 aC $\pm$ 32.58	1,665.00 aC + 21.21
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด	1,453.00 bD $\pm$ 28.28	1,418.50 bD + 12.02

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวดิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- อักษรตัวใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวนอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การวัดค่าความคงตัวของซอสพริกโดยใช้ Bostwick Consistometer ดังแสดงในภาพผนวกที่ ข5 โดยวัดระยะทางการไหลของซอสพริกเป็นเวลา 30 วินาที พบว่าซอสพริกควบคุมมีค่าความคงตัวน้อยที่สุดโดยซอสพริกควบคุมมีระยะทางการไหลมากที่สุด (ตารางที่ 22) ส่วนซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพดมีระยะทางการไหลใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีระยะทางการไหลน้อยที่สุดซึ่งหมายถึงมีค่าความคงตัวมากที่สุด โดยค่าความคงตัวของซอสพริกทุกตัวอย่างพบว่าก่อนเก็บรักษาซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันทางสถิติ

($p \leq 0.05$) ซึ่งซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าความคงตัวมากที่สุดเท่ากับ 12.94 เซนติเมตร รองลงมาคือ ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพดเท่ากับ 14.92 เซนติเมตร และ 15.23 เซนติเมตร ตามลำดับ และซอสพริกควบคุมจะมีค่าความคงตัวน้อยที่สุดเท่ากับ 19.10 เซนติเมตร สอดคล้องกับการวัดความหนืดด้วย Brookfield Viscometer ซึ่งถ้าซอสพริกมีค่าความคงตัวมาก หมายถึงมีความหนืดมาก หลังจากเก็บรักษาพบว่าซอสพริกทุกตัวอย่างมีค่าความคงตัวลดลงและมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยซอสพริกควบคุมมีค่าความคงตัวน้อยที่สุดเท่ากับ 21.07 เซนติเมตร รองลงมาคือ ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน (16.95 เซนติเมตร) ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด (15.43 เซนติเมตร) และสตาร์ชเมล็ดขนุน (12.99 เซนติเมตร) ตามลำดับ ซอสพริกแต่ละตัวอย่างมีค่าความคงตัวไม่แตกต่างจากสภาวะก่อนเก็บรักษา ($p > 0.05$)

การที่ซอสพริกส่วนใหญ่มีความหนืดและความคงตัวลดลงเมื่อทำการเก็บรักษา เนื่องจากซอสพริกมีค่าความเป็นกรดสูงทำให้เกิดการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ เช่น แป้งหรือเพกทิน ในระหว่างเก็บรักษา แต่ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าความหนืดและความคงตัวเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดแสดงว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีความคงทนต่อกรด

ตารางที่ 22 ค่าความคงตัวของซอส 4 ตัวอย่างพริกก่อนและหลังเก็บรักษาวัดโดย

Bostwick Consistometer

ตัวอย่าง	ค่าความคงตัว (เซนติเมตร/30 วินาที)	
	ก่อนเก็บรักษา	หลังเก็บรักษา
ซอสพริกควบคุม	19.10 aA $\pm$ 0.16	21.07 aA + 0.01
ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน	14.92 bB $\pm$ 0.47	16.95 bB + 0.59
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุน	12.94 cC $\pm$ 0.95	12.99 dC + 0.59
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด	15.23 bD $\pm$ 0.02	15.43 cD + 1.04

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- อักษรตัวใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวนอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

จากภาพที่ 23 แสดงลักษณะปรากฏของซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่าง เมื่อทำการเก็บรักษาตลอด 4 สัปดาห์ พบว่าซอสพริกควบคุมเริ่มเกิดการแยกชั้นและแยกชั้นมากที่สุดเมื่อเก็บไว้นานซึ่งแสดงว่ามีความคงตัวน้อยที่สุด ส่วนซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุนกับซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพดมีการแยกชั้นใกล้เคียงกัน สำหรับซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนเกิดการแยกชั้นน้อยที่สุด ซึ่งแสดงว่าซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีความคงตัวดีที่สุด และมีความคงทนต่อสภาพความเป็นกรดมากกว่าแป้งเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพด



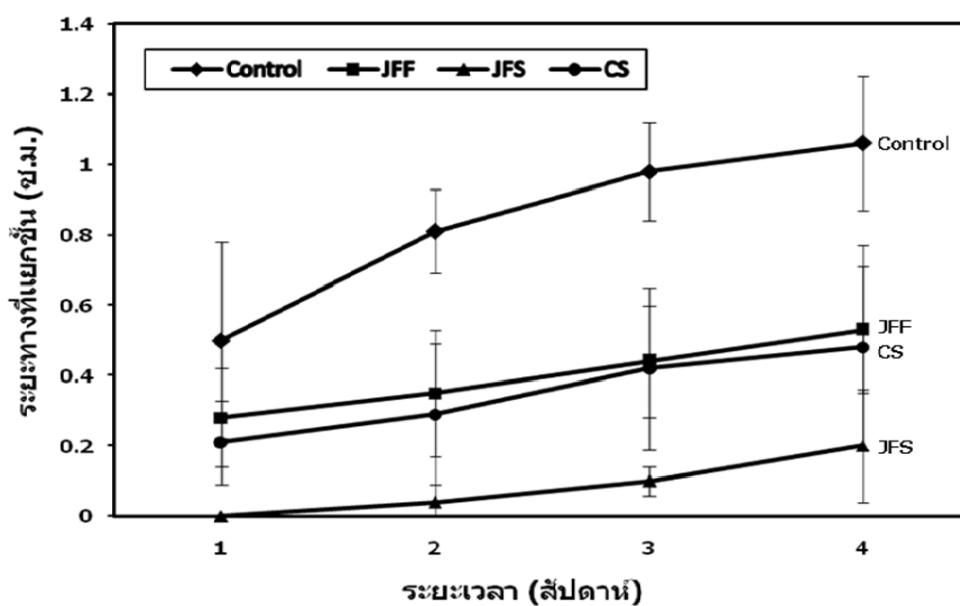
ภาพที่ 23 ลักษณะปรากฏของซอสพริก 4 ตัวอย่างในขวดก่อนและเก็บรักษาที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ก)ซอสพริกควบคุม (ข)ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน (ค) ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุน (ง)ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด

จากภาพที่ 24 และตารางภาคผนวกที่ ข4 แสดงค่าการแยกชั้นของซอสพริกที่บรรจุในกระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร วัดระยะทางการแยกชั้น (ซม.) ทุกสัปดาห์เป็นเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า ซอสพริกทุกตัวอย่างยกเว้นซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนเริ่มแยกชั้นตั้งแต่สัปดาห์แรกโดยซอสพริกควบคุมมีค่าการแยกชั้นมากที่สุดซึ่งมีระยะทางการแยกเท่ากับ 0.50

เซนติเมตร ส่วนซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุนและซอสพริกที่เดิมสตาร์ชข้าวโพดมีค่าการแยกชั้นใกล้เคียงกันโดยมีระยะทางเท่ากับ 0.28 และ 0.21 ตามลำดับ ($p \leq 0.05$)

หลังจากเก็บรักษาตั้งแต่สัปดาห์ที่ 2 ถึงสัปดาห์ที่ 4 พบว่าซอสพริกทุกตัวอย่างมีการแยกชั้นมากขึ้นโดยซอสพริกควบคุมมีระยะทางการแยกชั้นอยู่ในช่วง 0.81 – 1.06 เซนติเมตรซึ่งมีค่าการแยกชั้นมากที่สุด รองลงคือซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุนมีระยะทางการแยกชั้นอยู่ในช่วง 0.35 – 0.53 เซนติเมตร และมีระยะทางการแยกชั้นใกล้เคียงกับซอสพริกที่เดิมสตาร์ชข้าวโพดซึ่งอยู่ในช่วง 0.29 – 0.48 เซนติเมตร นอกจากนี้ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชเมล็ดขนุนค่าการแยกชั้นน้อยที่สุดมีระยะทางเท่ากับ 0.04 - 0.20 เซนติเมตร ($p \leq 0.05$) จะสังเกตว่าซอสพริกควบคุมมีระยะทางการแยกชั้นมากกว่าซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพดประมาณ 2 เท่าตลอดทุกสัปดาห์ นอกจากนี้แสดงให้เห็นว่าการเติมสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวมีความสำคัญต่อซอสพริกซึ่งส่งผลให้เกิดการแยกชั้นน้อยกว่าซอสพริกควบคุม โดยเฉพาะสตาร์ชเมล็ดขนุนเกิดการแยกชั้นน้อยที่สุด (ตารางภาคผนวกที่ ข4 และ ภาคผนวกที่ ข6) ซึ่งการแยกชั้นของซอสพริกเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการตัดสินใจซื้อของผู้บริโภค เปรียบเทียบระยะการแยกชั้นของซอสพริกควบคุม ซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุน ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชข้าวโพดมีความแตกต่างทางสถิติตั้งแต่สัปดาห์แรกถึงสัปดาห์ที่สี่ ($p \leq 0.05$) ส่วนซอสพริกที่เดิมสตาร์ชเมล็ดขนุนไม่มีความแตกต่างทางสถิติของการแยกชั้นตลอด 4 สัปดาห์ ($p > 0.05$) จากผลการทดลองการเก็บรักษาแสดงให้เห็นว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนมีความทนต่อการกระดเพราะฉะนั้นสตาร์ชเมล็ดขนุนเหมาะกับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีความเป็นกรด

จากผลการทดลองนี้พบว่าซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพดเริ่มแยกชั้นตั้งแต่สัปดาห์แรก และถึงแม้ว่าซอสพริกที่เดิมสตาร์ชเมล็ดขนุนจะแยกชั้นช้ากว่าซอสพริกตัวอย่างอื่นแต่ยังถือว่าเกิดการแยกชั้นเร็วกว่าซอสพริกตามท้องตลาดซึ่งจากข้อมูลพบว่าโดยปกติอายุการเก็บรักษาของซอสพริกมีระยะเวลา 12 เดือนที่อุณหภูมิห้อง (Handcock, 2008) และถ้าทำการเร่งอายุการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 35-40 องศาเซลเซียสซึ่งถือว่าเป็นการเร่งอายุการเก็บรักษาประมาณ 4 เท่าส่งผลให้เกิดการแยกชั้นของน้ำ (Ellis and Man, 2000) ดังนั้นตามทฤษฎีแล้วซอสพริกน่าจะเกิดการแยกชั้นหลังจากเดือนที่ 3 ของการเก็บรักษาในสภาวะเร่ง การแยกชั้นของซอสพริกในการทดลองนี้เกิดเร็วกว่าซอสพริกตามท้องตลาดซึ่งอาจเกิดจากวิธีการผลิตในห้องทดลองยังทำได้ไม่ดีเท่ากับระดับอุตสาหกรรม นอกจากนี้ความเข้มข้นร้อยละ 1 ของสตาร์ชเมล็ดขนุนยังไม่เพียงพอต่อความคงตัวในซอสพริกเท่าที่ควร



ภาพที่ 24 ค่าการแยกชั้นของซอสพริก 4 ตัวอย่างเก็บรักษาที่ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (Control: ซอสพริกควบคุม, JFF: ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน JFS: ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุน, CS: ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด)

4.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซอสพริก

4.2.1 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซอสพริกก่อนเก็บรักษา

จากการการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซอสพริกทางด้าน สี รสชาติ ความหนืด ความเป็นเนื้อเดียวกัน และความชอบโดยรวมโดยใช้ผู้ทดสอบชิมที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยใช้คะแนนระดับ 1-9 แสดงผลในตารางที่ 23 พบว่า ค่าสีของซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่างได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.02 – 6.84 ซึ่งหมายถึง ผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านสีในระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนได้รับคะแนนความชอบด้านสีมากที่สุดเท่ากับ 6.84 รองลงมาคือ ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพดและแป้งเมล็ดขนุนได้รับคะแนนเท่ากับ 6.47 และ 6.39 ตามลำดับ และมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) ส่วนซอสพริกควบคุมได้รับคะแนนความชอบด้านสีน้อยที่สุดเท่ากับ 6.02 ($p \leq 0.05$) คะแนนความชอบด้านรสชาติของทุกตัวอย่างได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 4.88 – 6.39 หมายถึงผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านรสชาติในระดับเฉยๆถึงชอบเล็กน้อย ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพดได้รับคะแนนความชอบด้านรสชาติ

มากที่สุดเท่ากับ 6.39 รองลงมาคือ ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุน ซอสพริกควมคุมและซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุนมีค่าเท่ากับ 6.25, 5.64 และ 4.88 ตามลำดับ ซึ่งผู้ทดสอบชิมให้ความเห็นว่าซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุนมีรสชาติเหม็นหืนจึงให้คะแนนความชอบด้านรสชาติที่น้อยที่สุด สำหรับซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนกับสตาร์ชข้าวโพดมีค่าคะแนนความชอบด้านรสชาติใกล้เคียงกัน ด้านคะแนนความชอบด้านความหนืดของทุกตัวอย่างได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 4.85 – 7.07 หมายถึงผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านความหนืดในระดับเฉยถึงปานกลาง ซึ่งซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนได้รับคะแนนความชอบด้านความหนืดมากที่สุดเท่ากับ 7.07 รองลงมาคือ ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุนและซอสพริกควมคุมมีคะแนนเท่ากับ 6.74, 6.17 และ 4.85 ตามลำดับ โดยผู้ทดสอบชิมให้ความเห็นว่าซอสพริกควมคุมไม่มีความหนืดเลย ซึ่งซอสพริกที่เติมแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนกับสตาร์ชข้าวโพดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ส่วนคะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกันมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 5.80 – 6.67 หมายถึงผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกันในระดับเล็กน้อยถึงปานกลาง ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีคะแนนด้านความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุดเท่ากับ 6.67 รองลงมาคือ ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด ซอสพริกควมคุมและซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุนมีค่าเท่ากับ 6.59, 5.90 และ 5.80 ตามลำดับ ซึ่งซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพดมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับความชอบโดยรวมมีค่าคะแนนอยู่ในช่วง 5.34 – 6.82 หมายถึงผู้ทดสอบชิมมีความชอบด้านความชอบโดยรวมในระดับเฉยถึงมากที่สุด ซึ่งซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมีคะแนนมากที่สุดเท่ากับ 6.82 รองลงมาคือ ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด ซอสพริกควมคุมและซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุนมีค่าเท่ากับ 6.63, 5.67 และ 5.34 ตามลำดับ ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ดังนั้นจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซอสพริกพบว่าคะแนนความชอบด้านต่างๆของซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนกับสตาร์ชข้าวโพดมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าสตาร์ชเมล็ดขนุนสามารถใช้แทนสตาร์ชข้าวโพดในซอสพริกได้โดยเป็นที่ยอมรับของผู้ทดสอบ ในการทดลองนี้ผู้ทดลองไม่ได้นำซอสพริกจากท้องตลาดมาศึกษาเปรียบเทียบ

ตารางที่ 23 คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่างก่อนเก็บรักษา

ตัวอย่าง	คุณภาพ				
	สี	รสชาติ	ความหนืด	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความชอบโดยรวม
ซอสพริกควบคุม	6.02 b $\pm$ 0.12	5.64 b $\pm$ 0.13	4.85 b $\pm$ 0.31	5.90 bc $\pm$ 0.12	5.67 b $\pm$ 0.05
ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน	6.39 ab $\pm$ 0.12	4.88 c $\pm$ 0.31	6.17 a $\pm$ 0.14	5.80 c $\pm$ 0.38	5.34 b $\pm$ 0.19
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุน	6.84 a $\pm$ 0.09	6.25 ab $\pm$ 0.07	7.07 a $\pm$ 0.02	6.67 a $\pm$ 0.14	6.82 a $\pm$ 0.02
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด	6.47 ab $\pm$ 0.24	6.39 a $\pm$ 0.02	6.74 a $\pm$ 0.38	6.59 ab $\pm$ 0.02	6.63 a $\pm$ 0.11

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.2 การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซอสพริกหลังเก็บรักษา

หลังจากเก็บรักษาซอสพริกเป็นเวลา 4 สัปดาห์และนำมาประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยสายตาโดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยใช้คะแนนระดับ 1-9 (ตารางที่ 24) พบว่า ความชอบด้านสีของซอสพริกได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 6.18 – 6.83 หมายถึง ผู้ทดสอบชอบในระดับเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชข้าวโพดได้รับคะแนนความชอบด้านสีมากที่สุดเท่ากับ 6.83 รองลงมาคือ ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชเมล็ดขนุน ซอสพริกควบคุมและซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุนมีคะแนนเท่ากับ 6.68, 6.38 และ 6.18 ตามลำดับ ซึ่งซอสพริกควบคุม ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชเมล็ดขนุนและข้าวโพดมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนด้านความหนืดได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 4.75 – 6.56 หมายถึง ผู้ทดสอบชอบในระดับเฉยๆถึงชอบปานกลาง ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชเมล็ดขนุนได้รับคะแนนความชอบด้านความหนืดมากที่สุดเท่ากับ 6.56 รองลงมาคือ ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชข้าวโพด ซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุนและซอสพริกควบคุมได้รับคะแนนเท่ากับ 6.37, 6.34 และ 4.75 ตามลำดับ และซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ด้านความเป็นเนื้อเดียวกันได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 4.00 – 6.93 หมายถึง ผู้ทดสอบชอบในระดับไม่ชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชเมล็ดขนุนได้รับคะแนนความชอบด้านความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุดเท่ากับ 6.93 รองลงมาคือ ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชข้าวโพด ซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุนและซอสพริกควบคุมได้รับคะแนนเท่ากับ 5.73, 5.13 และ 4.00 ตามลำดับ และซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$) ความชอบโดยรวมได้รับคะแนนอยู่ในช่วง 4.85- 6.90 หมายถึง ผู้ทดสอบชอบในระดับเฉยๆถึงชอบปานกลาง ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชเมล็ดขนุนได้รับคะแนนความชอบโดยรวมมากที่สุดเท่ากับ 6.90 รองลงมาคือ ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชข้าวโพด ซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุนและซอสพริกควบคุมได้รับคะแนนเท่ากับ 6.44, 6.15 และ 4.85 ตามลำดับ ซึ่งซอสพริกที่เดิมแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p>0.05$)

ผู้ทดสอบส่วนใหญ่ชอบซอสพริกที่เดิมสตาร์ชเมล็ดขนุนมากที่สุดไม่ว่าจะเป็นด้านความหนืด ความเป็นเนื้อเดียวกันและความชอบโดยรวมรองลงมาคือ ซอสพริกที่เดิมสตาร์ชข้าวโพด ซอสพริกที่เดิมแป้งเมล็ดขนุนและซอสพริกควบคุม ดังนั้นการเติมสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในซอสพริกโดยเฉพาะสตาร์ชเมล็ดขนุนทำให้คุณภาพของซอสพริกเป็นที่ยอมรับ

ของผู้ทดสอบมากกว่าซอสพริกทั้ง 3 ตัวอย่างซึ่งด้านความหนืดและความเป็นเนื้อเดียวกันเป็นปัจจัยสำคัญต่อการยอมรับของผู้ทดสอบ

ตารางที่ 24 คะแนนการทดสอบการยอมรับทางประสาทสัมผัสของซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่างหลังเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37° ซ เป็นเวลา 4 สัปดาห์

ตัวอย่าง	คุณภาพ			
	สี	ความหนืด	ความเป็นเนื้อเดียวกัน	ความชอบโดยรวม
ซอสพริกควบคุม	6.38 ab $\pm$ 0.12	4.75 b $\pm$ 0.16	4.00 b $\pm$ 0.28	4.85 b $\pm$ 0.16
ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน	6.18 b $\pm$ 0.31	6.34 a $\pm$ 0.46	5.13 ab $\pm$ 0.94	6.15 ab $\pm$ 0.85
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุน	6.68 ab $\pm$ 0.07	6.55 a $\pm$ 0.21	6.93 a $\pm$ 0.57	6.90 a $\pm$ 0.14
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด	6.83 a $\pm$ 0.24	6.37 a $\pm$ 0.14	5.73 ab $\pm$ 0.66	6.44 a $\pm$ 0.34

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. จากการนำเมล็ดขนุนพันธุ์ศรีบรรจงมาผลิตเป็นแป้งพบว่าผลได้ (% yield) ซึ่งคิดเป็นร้อยละของน้ำหนักของเมล็ดขนุนเริ่มต้น คือร้อยละ 31.90 (น้ำหนักเปียก) แป้งเมล็ดขนุนที่ได้มีสีเหลืองออกน้ำตาล และเมื่อนำแป้งมาทำการสกัดสารหุ้มเมล็ดขนุนได้ผลิตร้อยละ 10.55 (น้ำหนักเปียก) สารหุ้มที่ได้มีสีขาว

2. วิเคราะห์องค์ประกอบของแป้งและสารหุ้มพบว่า ปริมาณความชื้นของแป้งและสารหุ้มเมล็ดขนุนเท่ากับ 8.21 และ 9.59 ตามลำดับ ซึ่งมีปริมาณความชื้นน้อยกว่าสารหุ้มข้าวโพดและสารหุ้มมันฝรั่ง นอกจากนี้ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยของแป้งเมล็ดขนุนมีปริมาณมากกว่าตัวอย่างอื่นเนื่องจากภายในแป้งยังมีองค์ประกอบเหล่านี้มากกว่าสารหุ้มเพราะสารหุ้มมีการสกัดเอาองค์ประกอบอื่นออก นอกจากนี้แป้งเมล็ดขนุน สารหุ้มเมล็ดขนุน สารหุ้มมันฝรั่งมีปริมาณแอมิโลสเท่ากับร้อยละ 27.73, 32.14, 28.08 (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มมีปริมาณแอมิโลสสูง ส่วนสารหุ้มข้าวโพดมีปริมาณแอมิโลสเท่ากับร้อยละ 24.30 (น้ำหนักแห้ง) ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มมีปริมาณแอมิโลสปานกลาง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณแอมิโลสของแป้งและสารหุ้มเมล็ดขนุนพบว่า สารหุ้มเมล็ดขนุนมีปริมาณแอมิโลสมากกว่าแป้งเมล็ดขนุนเนื่องจากในแป้งมีไขมันมากกว่าสารหุ้มซึ่งไขมันสามารถจับกับโมเลกุลแอมิโลสเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโมเลกุลแอมิโลสกับไขมันทำให้แอมิโลสจับกับไอโอดีนน้อยลงปริมาณแอมิโลสที่คำนวณได้จึงมีค่าน้อยลง

3. เม็ดสารหุ้มในแป้งเมล็ดขนุนมีขนาดระหว่าง 3.81-14.44 ไมโครเมตร เม็ดสารหุ้มเมล็ดขนุนมีขนาดเล็กเท่ากับ 9.95 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดสารหุ้มข้าวโพดซึ่งมีขนาดเล็กเท่ากับ 13.70 ไมโครเมตร ส่วนเม็ดสารหุ้มมันฝรั่งมีขนาดเล็กเท่ากับ 30.45 ไมโครเมตร ซึ่งมีขนาดเม็ดสารหุ้มใหญ่ที่สุด รูปร่างของเม็ดสารหุ้มเมล็ดขนุนมีลักษณะคล้ายระฆังคว่ำ กลม เม็ดสารหุ้มข้าวโพดมีรูปร่างหลายเหลี่ยม ส่วนเม็ดสารหุ้มมันฝรั่งมีรูปร่างรีคล้ายไข่ไก่ นอกจากนี้ค่าสีของแป้งและสารหุ้มพบว่า สารหุ้มข้าวโพดมีค่าความสว่าง (L^*) มากที่สุดเท่ากับ 94.87 แป้งเมล็ดขนุนมีค่าความเป็นสีเหลืองมากที่สุดเท่ากับ 10.79 ค่าดัชนีความขาวของสารหุ้มสูงกว่าแป้งซึ่งสารหุ้มเมล็ดขนุนมีค่าดัชนีความขาวมากที่สุดเท่ากับ 94.25 รองลงมาคือ สารหุ้มมันฝรั่ง สารหุ้มข้าวโพดและแป้งเมล็ดขนุนเท่ากับ 93.13, 92.46 และ 82.97 ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($p \leq 0.05$) โดยดัชนีความขาวเป็นเกณฑ์หนึ่งในการวัดความบริสุทธิ์ของสตาร์ชที่ทำการสกัด โดยสตาร์ชที่มีความบริสุทธิ์จะต้องมีค่าดัชนีความขาวสูง และปริมาณโปรตีนต่ำ ซึ่งพบว่า สตาร์ชมีปริมาณโปรตีนต่ำ และมีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าแป้ง

4. การพองตัวของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนคล้ายกับสตาร์ชข้าวโพดซึ่งเมล็ดสตาร์ชพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ขณะที่สตาร์ชมันฝรั่งมีค่าการพองตัวสูงมากโดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียสเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 90 องศาเซลเซียสการพองตัวของเมล็ดสตาร์ชมันฝรั่งลดลง สตาร์ชมันฝรั่งเป็นสตาร์ชจากพืชหัวซึ่งมีคุณสมบัติในการพองตัวมาก การเปลี่ยนแปลงความหนืดพบว่า แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพด อุณหภูมิเริ่มเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชมันฝรั่งมีค่าต่ำที่สุด ขณะที่ค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชมันฝรั่งมีค่ามากที่สุดซึ่งสัมพันธ์กับค่าการพองตัว ค่าเซตแบคของสตาร์ชมันฝรั่งมีค่ามากที่สุดแต่ไม่ได้หมายความว่าสตาร์ชมันฝรั่งเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี (Pomeranz, 1985) นอกจากนี้พบว่า สตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าความหนืดสุดท้ายมากที่สุดซึ่งเหมาะกับการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการความหนืดหลังผ่านกระบวนการแปรรูป

5. สตาร์ชข้าวโพดมีค่า To_{Gel} มากที่สุดซึ่งหมายถึงต้องใช้อุณหภูมิสูงในการเกิดเจลลิตีในเซชันมากที่สุดเนื่องจากสตาร์ชข้าวโพดมีโครงสร้างผลึกที่แข็งแรงจึงต้องใช้อุณหภูมิสูงในการสลายโครงสร้างผลึก นอกจากนี้แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตีในเซชันน้อยกว่าสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่ง ซึ่งสตาร์ชมันฝรั่งมีค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตีในเซชันมากที่สุดโดยค่าพลังงานในการเกิดเจลลิตีในเซชันมากขึ้นตามขนาดเมล็ดสตาร์ช (Tang *et al.*, 2000)

6. แป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ A ซึ่งเหมือนกับสตาร์ชข้าวโพด ส่วนสตาร์ชมันฝรั่งมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ B โดยทั่วไปสตาร์ชจากธัญพืชมีโครงสร้างผลึกแบบ A และสตาร์ชจากพืชหัว รากมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ B ซึ่งมีความแข็งแรงน้อยกว่าแบบ A เพราะเรียงตัวแบบหลวม นอกจากนี้ความเป็นผลึกสตาร์ชข้าวโพดมีค่ามากกว่าแป้งเมล็ดขนุนสตาร์ชเมล็ดขนุนสตาร์ชมันฝรั่ง เพราะทั้ง 3 ชนิดนี้มีปริมาณแอมิโลสสูงกว่า ดังนั้นจึงมีปริมาณแอมิโลเพกทินต่ำกว่าสตาร์ชข้าวโพด จึงทำให้ค่าระดับความเป็นผลึกที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าด้วย

7. เจลแป็งเมล็ดขนุนมีค่าความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายน้ำน้อยที่สุดโดยมีค่าร้อยละการแยกของน้ำมากที่สุด รองลงมาคือ เจลสตาร์ชข้าวโพด เจลสตาร์ชเมล็ดขนุน เจลสตาร์ชมันฝรั่ง ตามลำดับ ซึ่งค่าความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของเจลซึ่งพบว่าโครงสร้างของเจลแป็งมีรูพรุนขนาดใหญ่ที่สุดซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกันตั้งแต่รอบที่ 1 ถึง 5 และร้อยละการแยกของน้ำของรอบที่ 1 จนถึงรอบที่ 5 มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งอาจเป็นเพราะเจลแป็งเมล็ดขนุนมีการแยกน้ำสูงตั้งแต่เริ่มต้น ส่วนเจลสตาร์ชมันฝรั่งมีรูพรุนขนาดเล็กแต่รอบที่ 5 มีขนาดใหญ่ขึ้น เจลสตาร์ชมันฝรั่งมีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายดีที่สุดอาจเนื่องจากมีประจุลบของหมู่ฟอสเฟตทำให้เกิดความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งดี ส่วนแป็งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมีความคงทนต่อการแช่เยือกแข็งและการละลายต่ำจึงไม่เหมาะนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารแช่เยือกแข็ง

8. จากการเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของแป็งและสตาร์ชเมล็ดขนุนกับสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่ง พบว่าคุณสมบัติต่างๆของแป็งและสตาร์ชเมล็ดขนุนซึ่งได้แก่การพองตัว การเปลี่ยนแปลงความหนืด คุณสมบัติทางด้านความร้อน มีค่าใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพดมากกว่าสตาร์ชมันฝรั่ง และโครงสร้างความเป็นผลึกเป็นแบบเดียวกับสตาร์ชข้าวโพด

9. จากการนำแป็งและสตาร์ชเมล็ดขนุนมาใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดและความคงตัวในซอสพริกและวิเคราะห์คุณสมบัติต่างๆของซอสพริกเพื่อดูความเป็นไปได้สำหรับนำมาทดแทนสตาร์ชข้าวโพดในซอสพริกโดยมีซอสพริกที่ไม่เติมแป็งและสตาร์ชเป็นตัวควบคุม (Control) พบว่าค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และค่าสีของซอสพริกทุกตัวอย่างมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนให้ค่าความคงตัวมากที่สุด ขณะที่ซอสพริกที่เติมแป็งเมล็ดขนุนมีค่าความคงตัวใกล้เคียงกับซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด นอกจากนี้การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของซอสพริกพบว่าผู้ทดสอบชิมส่วนใหญ่ชอบซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนมากที่สุด เมื่อทำการเก็บรักษาซอสพริกเป็นเวลา 4 สัปดาห์พบว่าค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด และค่าสีของซอสพริกทุกชนิดมีค่าเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยแต่ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนยังคงมีค่าความข้นมากที่สุดและมีค่าความคงตัวไม่แตกต่างจากสภาวะก่อนเก็บรักษาค่า ($p > 0.05$) นอกจากนี้ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนเกิดการแยกชั้นน้อยที่สุดซึ่งพบว่า การแยกชั้นของซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุนในสัปดาห์ที่ 4 ยังมีค่าน้อยกว่าการแยกชั้นของซอสพริกควบคุม ซอสพริกที่เติมแป็งเมล็ดขนุน

ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพดในสัปดาห์ที่ 1 ดังนั้น สตาร์ชเมล็ดขนุนมีความเหมาะสมเป็นสารให้ความข้นหนืดมากกว่าแป้งเมล็ดขนุนและสตาร์ชข้าวโพด

ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาการนำสตาร์ชเมล็ดขนุนมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ต้องการความหนืดและความคงตัวเช่น ซอสหอยนางรม ไข่พาย ไข่ครีม ไข่สังขยา เป็นต้น
2. ควรมีการศึกษาการสกัดสตาร์ชจากเมล็ดผลไม้เช่น เมล็ดทุเรียน เมล็ดมะม่วง เมล็ดเงาะ เมล็ดลำไย เมล็ดลิ้นจี่ เมล็ดน้อยหน่า เป็นต้น เพื่อเป็นแหล่งใหม่ของสตาร์ช และสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับสิ่งเหลือทิ้งเพราะเมล็ดผลไม้เหล่านี้ส่วนใหญ่มักจะทิ้งซึ่งไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์แต่อย่างใด
3. ควรศึกษาพันธุ์ต่างๆของเมล็ดขนุนเพื่อทราบถึงคุณสมบัติต่างๆว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด
4. จากการศึกษาคุณสมบัติของแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนพบว่ารูปร่างของเม็ดสตาร์ชเมล็ดขนุนคล้ายเม็ดสตาร์ชมันสำปะหลัง จึงควรมีการเปรียบเทียบการใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์อาหารที่ใช้สตาร์ชมันสำปะหลังเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำแป้งและสตาร์ชเมล็ดขนุนใช้ทดแทนสตาร์ชมันสำปะหลัง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กิ่งกมล ลีลาจารุวรรณ และ วิมลศิริ ตักลาส. 2002. ชอสพริก. วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยรังสิต. 6(1): 29-37.

กฤษณา จินกักดี. 2546. การศึกษาการผลิตชอสพริกจากแป้งกล้วย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ.

กรมวิทยาศาสตร์วิทยาการ. 2544. เคล็ดลับการปรุงอาหารอร่อย. สำนักพิมพ์ จันทร์ฟอง. กรุงเทพฯ

กรมศุลกากร . 2551ก. สถิติการนำเข้า-ส่งออก (สตาร์ชข้าวโพด). แหล่งที่มา:

<http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticResult2550.jsp?page=2&statType=import&month=12&year=2008&productCodeCheck=Y&productCode=11081200000&countryCheck=null&country=>, 20 กุมภาพันธ์ 2552

_____. 2551ข. สถิติการนำเข้า-ส่งออก (ชอสพริก). แหล่งที่มา:

<http://www.customs.go.th/Statistic/StatisticResult2550.jsp?page=13&statType=export&month=12&year=2008&productCodeCheck=Y&productCode=21039010000&countryCheck=null&country=>, 20 กุมภาพันธ์ 2552

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2550. สถิติเปรียบเทียบการเพาะปลูกไม้ผลรวมทั่วประเทศ แหล่งที่มา:

http://production.doae.go.th/estimate/reportP3/reportP3_display.php, 20 กุมภาพันธ์ 2551.

ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร. 2528. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทฟอร์แมทพรีนติ้ง จำกัด, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ พรกิจประสาน และ อรณรงค์ นัยวิกุล. 2530. การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของแป้งและสตาร์ชลูกเดี๋ย. ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย). 21: 371-377.

นิธิยา รัตนานนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ.

นพรัตน์ บำรุงรักษ์. 2536. พืชหลักปักชำได้. สำนักพิมพ์ปรีรามิด, กรุงเทพฯ.

นวลพรรณ หุ่มเรืองวงษ์. 2548. การผลิตพริกกล้วยน้ำว้าบรรจุกระป๋องและการนำไปใช้ประโยชน์ในการผลิตซอสพริกผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

นฤดม บุญ-หลง และ จินตนา อุปติสสกุล. 2546. ลักษณะเนื้อสัมผัสของอาหาร.

แหล่งที่มา: http://www.tws.ac.th/thoenwit/Library/charpa/www.charpa.co.th/bulletin/food_texture.html, 27 มิถุนายน 2552.

นฤจิต แว่วศรีผ่อง. 2529. การปลูกขนุน. บริษัท พิมพ์สวย จำกัด, กรุงเทพฯ.

นฤมล มานีพพาน. 2550. การเพาะปลูกและขยายพันธุ์ขนุน. สำนักพิมพ์ ส่งเสริมอาชีพธุรกิจเพชรกะรัต, กรุงเทพฯ.

พนอจิต ัญญมมงคลพงศ์. 2531. การแยกแอมิโลสออกจากแป้งข้าวเจ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ไพลาภา นุ่มสังข์. 2550. คุณสมบัติของแป้งและสตาร์ชจากกล้วยดิบเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มติชน. 2550. FoSTAT ชูน้ำมันรำข้าวเกาะเทรนด์อาหารสุขภาพ. แหล่งที่มา:

http://www.maticchon.co.th/prachachat/prachachat_detail.php?s_tag=02inv02030950&day=2007-09-03§ionid=0203, 15 มีนาคม 2552.

มัทนา ร่มรักษ์. 2546. การแปรรูปมะนาวและพริกสู่ระดับอุตสาหกรรม. สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (อัคราณา)

_____, พะยอม อัครวิบูลย์กุล, เนตรนภิส วัฒนสุชาติ และ นงนุช กันทานนท์. 2550. ผลิตภัณฑ์จากขนุน. สถาบันคั่นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ร่วมกับกรมส่งเสริมการเกษตร. กรุงเทพฯ.(อัคราณา)

มนทกานต์ เบญจพลกร. 2549. สมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งและสตาร์ชจากเกล็ดน่าน *Sterculia monosperma* Vent. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มลฑิณี ตั้งวิทยานุกูล, ดารารัตน์ นาคละอ, พัทธ์ชัย ไชยแสง และ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. 2547. การใช้สตาร์ชเมล็ดขนุนในการผลิตวุ้นเส้น. แหล่งที่มา:
http://www.irpus.or.th/project_files/2547_2006-08-03_FS0045-47.pdf, 19 มิถุนายน 2551.

รุ่งทิวา วันสุขศรี. 2543. การสกัดโปรตีนในปลายข้าวหอมมะลิเพื่อทำแป้งข้าวเจ้าบริสุทธิ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ละอองดาว และ กุลยา ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์. 2545. การใช้มิวซิเลจแห้งจากเมล็ดแมงลักเป็นสารช่วยให้คงตัวในผลิตภัณฑ์ซอสพริกและมายองเนส. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 7(1): 17-24.

ศยามล เนตรประภา. 2544. การพัฒนาเครื่องดัดข้าวหอมมะลิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ศิวาพร ศิวเวช. 2529. วัตถุดิบอาหาร. เล่ม 2. ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

_____. 2535. วัตถุดิบอาหารในผลิตภัณฑ์อาหาร. โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

ศักดิ์สิทธิ์ ศรีวิชัย. 2545. **ขนุน**. สำนักพิมพ์ฐานเกษตรกรรม. กรุงเทพฯ

คันสนีย์ อุดมระติ. 2548. การเกิดเจลลาทีในเซชันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าว 4 พันธุ์.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยกสิกรรมไทย. 2551. เครื่องปรุงรสอาหารปี'51: มูลค่า 1.7 หมื่นล้านบาท...ที่ยังเติบโตต่อเนื่อง
แหล่งที่มา: <http://www.kasikornthairesearch.com>. 20 มิถุนายน 2552.

สำนักงานกระทรวงอุตสาหกรรม. 2533. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมซอสพริก**. มอก. 2542-
2533 (ฉบับแก้ไขครั้งที่ 2 มอก. 242-2520)

อมรรัตน์ มุขประเสริฐ. 2544. รายงานการวิจัยศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของแป้งจากเมล็ดขนุน.
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ

_____. 2546. รายงานการวิจัยศึกษาสมบัติของสตาร์ชจากเมล็ดขนุนและการ
นำไปใช้เป็นสารให้ความข้นหนืดในผลิตภัณฑ์อาหาร. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ, กรุงเทพฯ

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

อรรธรณ ตติรัตน์. 2549. ผลของการแช่เยือกแข็งและคอนยัคกลูโคแมนเนนต่อความคงตัวของเจล
สตาร์ชข้าวแช่เยือกแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

A.A.C.C. 2000. **Approved Methods of American Association of Cereal Chemists**. 10th ed.,
American Association of Cereal chemists, St. Paul, MN.

Ahamed, N. T., R. S. Singhal, P. R. Kulkatni and M. Pal. 1996. Physicochemical and functional
properties of *Chenopodium quinoa* starch. **Carbohydr Polym.** 31: 99-103.

- Appelqvist, A.M. and M.R.M. Debet. 1997. Starch-biopolymer interaction-a review. **Food Rev. Int.** 13(2): 163-224.
- Aromdee, C., W. Khunkitti, A. Aromdee, P Chitropas and S Vorarat. 2004. Some physicochemical properties of jackfruit seed starch powder and gel. pp 265-272. *In* Tomasik, P., V. P. Yurvev and E. Bertoft. **Starch progress in structure studies modifications and application**. Polish society of food technologists; Malolska Branch.
- Balogopalan, C., G. Padmaja, S.K. Nanda and S.N. Moorthy. 1998. **Cassava in Food, Feed and Industry**. CRC Press, Inc., Florida.
- Bayod, E., E.P. Willers and E. Tornberg. 2008. Rheological and structural characterization of tomato paste and its influence on the quality of ketchup. **LWT-Food Sci Technol.** 41: 1281-1300
- Belitz, H.D. and W. Grosch. 1986. **Food Chemistry** (translated from German). Springer Verlag, Newyork.
- Bennoin, M. 1980. **The Science of Food**. John Wiley & son, New York.
- Berland, S., P. Relken and B. Launay. 2003. Calorimetric and rheological properties of wheat flour suspensions and doughs effects of wheat types and milling procedure. **J. ThermAnal Calorim.** 71: 311-320.
- Biliaderis, C.G. 1990. Thermal Analysis of Food Carbohydrates, pp. 168-220. *In* V.R. Harwalkar and Ma, C.Y, ed. **Thermal Analysis of Foods**. Elsevier Science Publishers LTD.
- _____. 1998. Structure and phase transitions of starch polymers, pp. 57-168. *In* R.H. Walter, ed. **Polysaccharide Association Structure in Food**. Marcel Dekker, INC., New York.

- Biliaderis, G.C. 1992. Structure and phase transition of starch in food system. **Food Tech.** 46: 98-109.
- Blanshard, J.M.V. 1987. Starch granule structure and function: A physicochemical Approach, pp 16-54. *In* T. Galliard, eds. **Starch: Properties and Potential**. John Wiley & Sons, Chichester.
- Bobbio, F.O., A. A. EI-Dash., P. A. Bobbio and L. R. Rodrigues. 1978. Isolation and characterization of the physio-chemiscal properties of the starch of jackfruit seeds (*Artocarpus heterophyllus*). **Cereal Chem.** 55: 505-511.
- Buléon, A., P. Colonna, V. Planchot and S. Ball. 1998. Mini review: Starch granules: Structure and biosynthesis. **Int. J. Biol. Macromol.** 23: 85-112.
- Chang, Y.H., J.H. Lin and S.Y. Chang. 2006. Physicochemical properties of waxy and normal corn starches treated in different anhydrous alcohols with hydrochloric acid. **Food Hydrocolloid.** 20: 332-339.
- Charoenrein, S., O. Tatirat and J. Muadklay. 2008. Use of centrifugation-filtration for determination of syneresis in freeze-thaw starch gels. **Carbohydr polym.** 73: 143-147.
- Cheetam, N.W.H. and L. Tao. 1998. Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-rat powder diffraction study. **Carbohydr polym** 36: 277-284.
- Chung, H.J., H.Y. Jeong and S.T. Lim. 2003. Effects of acid hydrolysis and defatting on crystallinity and pasting properties of freeze-thawed high amylose corn starch. **Carbohydr polym.** 54: 449-455.
- _____. and Q. Liu. 2009. Impact of molecular structure of amylopectin and amylose on amylose chain association during cooling. **Carbohydr polym.** 77: 807-815.

- Deepa, G., V. Singh and K.A. Naidu. 2008. Nutrient composition and physicochemical properties of Indian medicinal rice-Njanara. **Food Chem.** 106: 165-171.
- Deman, M.J. 1999. **Principle of Food Chemistry**. Aspen Publication, Maryland.
- Dendy, A.V. and B.J. Dobraszczyk. 2001. **Cereals and Cereal Products**. Aspen publishers, Inc., Maryland, USA.
- Donovan, W.J. 1979. Phase transition of the starch – water system. **Biopolymers**. 18: 263-275.
- Ellis, M.J. and C.M.D., Man. 2000. The methodology of shelf life determination, pp 23-33. *In* Man., C.M.D. and A.J., Adrian, 2nd eds. **Shelf Life Evaluation of Foods**. Aspen publishers, Inc., Maryland.
- Gonera, A., P. Cornillon. 2002. Gelatinization of Starch/gum/Sugar Systems studied by using DSC, NMR, and CSIM. **Starch/Stärke**. 54: 508-516.
- Gunaratne, A. and R. Hoover. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. **Carbohydr Polym.** 49: 425-437.
- Hamaker, R.B. and V.K. Griffin. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. **Cereal Chem.** 70: 377-380.
- Handcock, D. 2008. **Shelf life data for long term food storage**. แหล่งที่มา
<http://www.freedomspheonix-com/Feature-Article.html?Info=0040099>, 8 สิงหาคม 2551.
- Hizukuri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectins and its significance. **Carbohydr Res.** 147: 342-347.

- Hoover, R. F. and S.P.J. N. Senanayake. 1996. Composition and physicochemical properties of oat starches. **Food Res. Int.** 29: 15-26.
- Hoseney, R.C. 1996. Interaction of Starch and Water. *In* **AACC Short Course on Starch : Structure, Properties and Food Uses**. 27-29 August, Bangkok. 47p.
- James, W.R. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists**. Chapter: starch. Eagan Press, Minnesota. 117-151 p.
- Jane, J., L. Shen, J. Chen, S. Lim, T Kasemsuwan and W.K. Nip. 1992. Physical and Chemical studies of taro starches and flours. **Cereal Chem.** 69: 528-235.
- Juliano, B.O. 1992. Structure, chemistry, and function of the rice grain and its fractions. **Cereal Foods World.** 37: 772-774.
- Kaletunc, G. and K.J. Breslauer. 2003. **Characterization of Cereals and Flour**. Mascel Dekker, Inc., New York. 523p.
- Karim, A.A., M.H. Norziah and C.C. Seow. 2000. Methods for the study of starch retrogradation. **Food Chem.** 71: 9-36.
- Kaur, A., N. Singh, R. Ezekiel and H.S. Guraya. 2007. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivar grown at different locations. **Food Chem.** 10: 643-651
- Kaur, L., N. Singh, and N. S. Sodhi, 2002. Some properties of potato and their starches: Morphological, thermal and rheological properties of starches. **Food Chem.** 79: 177–181.

- Kim, S.Y., D.P. Wiesenborn, P.H. Orr and L.A. Grant. 1995. Screening potato starch for novel properties using Differential Scanning Calorimetry. **J. Food Sci.** 60: 1060-1065.
- Kokini, L.J., L. Shiuh and L.L. Chedid. 1992. Effect of starch structure on starch rheological properties. **Food Tech.** 46: 124-139.
- Kumar, S., A.B. Singh, A.B. Abidi, R.G Upadhyay and A. Singh. 1988. Proximate composition of jack fruit seeds. **J. Food Sci. Technol.** 25(5): 208-209.
- Leach, H.W., L.D. Mccowen and T.J. Schoch. 1959. Structure of Starch Granule I. Swelling and Solubility Patterns of Various Starches. **Cereal Chem.** 36: 534-544.
- Li, J.Y. and A.Yeh. 2001. Relationship between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starches. **J. Food Eng.** 50: 141-148.
- Lii, Y.C., M.L. Tsai and K.H. Seng. 1996. Effects of amylose content on the rheological properties of rice starch. **Cereal Chem.** 73: 415-420.
- Lim, S.T., E.H. Chang and H.J. Chang. 2001. Thermal transition characteristics of heat-moisture treated corn and potato starches. **Carbohydr Polym.** 46: 107-115.
- Lineback, D.R. 1996. **Structure Starch-Degrading Enzymes**. AACC Short Course on Starch : Structure, Properties and Food Uses. 27-29 August, Bangkok. 44p.
- Liu, Q. 2005. Understanding Starches and Their Role in Foods, pp 309-355. *In* Steve WC (ed): **Food Carbohydrates Chemistry, Physical Properties, and Applications**. CRC press.
- Lumdubwong, N. and P.A. Seib. 2000. Rice starch isolation by alkaline protease digestion of wet-mill rice flour. **J. Cereal Sci.** 31: 63-74.

- Lund, D. 1984. Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. **Food Sci Nutr.** 20: 249-273.
- Maaruf, G.A., Y.B. Che-Man, B.A. Asbi, A.H. Junainah and J.F.Kennedy. 2001. Effect of water content on the gelayinization temperature of sago starch. **Carbohyd polym.** 46: 331-337.
- Medcalf, S.L. and D.B. Lund. 1985. Factor affecting water uptake milled rice. **J. Food Sci.** 50(6): 1676-1684.
- Miles, M.J., V.J. morris, P.D. Orford and S.G. Sim. 1985. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. **Carbohyd Res.** 135: 257-269.
- Morris, J.V. 1990. Starch gelation and retrogradation. **J Tends and Sci.** 2-6.
- Mota, R.V., F.M.D. Lajolo, C. Ciacco and B.R. Cordenunsi. 2000. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. **Starch/Stärke.** 52(2-3): 63-68.
- Mukherjee, B.D., M.A. Hossain, M. Nurul Haque, M.M. Ahad, M. Rahman and N.A. Khan. 1960. Cereal and foods – starches in common food items and their properties. **Pak. J. Biol. Agric. Sci.** 3: 41-46.
- Mukprasit, A. and K. Sajjaanantakul. 2004. Physico-chemical properties of flour and starch from jackfruit seeds (*Artarpus heterophyllus* Lam.) compared with modified starches. **Int. J. Food Sci Tech.** 39: 271-276.
- Murphy, P. 2000. Starch, pp. 41- 65. In G.O. Phillips, and P.A. Williams, eds. **Handbook of Hydrocolloids.** Woodhead Publishing, New York.

- Oates, C.G. and A.D Powell. 1995. Bioavailability of carbohydrate material stored in tropical fruit seeds. **Food Chem.** 56: 405-414.
- Pal, J., R.S. Singhal and P.R. Kulkarni. 2002. Physicochemical properties of hydroxypropyl derivative from corn amaranth starch. **Carbohydr Polym.** 48: 49-53.
- Perera, C. and R. Hoover. 1997. The effect of hydroxypropylation on the structure and physicochemical properties of native, defatted and heat-moisture treated potato starches. **Food Res. Int.** 30: 235-243
- Phillips, O.G. and P.A. Williams. 2000. **Handbook of Hydrocolloids.** Woodhead Publishish Limited, New York.
- Pomeranz, Y. 1985. **Functional properties of food components.** Academic press Inc.
- Photiset, S. and S., Charoenrein. 2007. Morphology and physicochemical changes in rice flour during rice paper production. **Food Res Int.** 40: 266-272.
- Powell, A.D. and C.G. Oates. 1994. Seed waste of the juicing and canning industries-a missed opportunity. *In Trends in Biotechnilogy Meeting the Challengers of the 21st Century UPM, Serdang, Malaysia.*
- Putaux, L.J., A. Bulon and Chanzy. 2000. Network formation in dilute amylose and amylopectin studied by TEM. **Macromolecular.** 30: 6416-6422.
- Rickard, J.E., M. Asaoka and J.M.V. Blanshard. 1991. Review-the physicochemical properties of cassava starch. **Trop Sci.** 31: 189-207.
- Robinson, W.B., L.B. Kimball., J.R. Ransford., J.C. Moyera and D.B. Hand. 1956. Factors Influencing the degree of settling in tomato juice. **Food Tech.** 10(2): 10-112.

- Sahin, H. and F. Ozdemir. 2004. Effect of some hydrocolloids on the rheological properties of different formulated ketchups. **Food Hydrocolloid**. 18: 1015-1022.
- Sanders, J.P.M. 1996. Starch Manufacturing in the World. *In* **Advanced Post–Academic Course on Tapioca Starch Technology**. 22-26 January, Asian Institute of Technology, Bangkok. 27p.
- Schoch, T.J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches, pp.106-108. *In* R.L. Whistler, R.J. Smith and J.N. BeMiller, eds. **Methods in Carbohydrates Chemistry**, Vol. IV, Academic Press, New York. **Food Chem.** 77: 58-63.
- Singh, A., S. Kumar and I. Singh. 1991. Functional properties of jack fruit seed flour. **Lebensm – Will u Technol.** 24: 373-4.
- Singh, J. and N., Singh 2003. Studies on the morphological and rheological properties of granular cold water soluble corn and potato starches. **Food Hydrocolloid**. 17: 63-72.
- Singh, N., D. Chawla and J. Singh. 2004. Influence of acetic anhydride on physicochemical, morphological and thermal properties of corn and potato starch. **Food Chem.** 86: 601-608.
- Singh, N., J. Singh, L. Kaur, N.S. Sodhi and B.S. Gill. 2003. Morphological , thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chem.** 81: 219-231.
- Siswoyo, A.T. and N. Morita. 2003. Physicochemical studies of defatted wheat starch complexed with mono and dicyl-sn-glycerophosphatidyl choline of vary fatty acid chain lengths. **Food Res. Int.** 36: 729-732.

- Sodhi, S.N. and N. Singh. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. **Food Chem.** 80: 99-108.
- Swinkels, J.J.M. 1985. **Starch Conversion Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Takahashi, S. and P.A. Seib. 1988. Paste and gel properties of prime corn and wheat starches with and without native lipids. **Cereal Chem.** 65: 474-483.
- Tang, H., H. Ando., K. Watanabe., Y. Takeda and T. Mitsunaga. 2000. Some physicochemical properties of small, medium, and large granule starches in fractions of waxy barley grain. **Cereal Chem.** 77: 27-31.
- Tester, F.R. and W.R. Morrison. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches I Effects of amylopectin, amylase, and lipids. **Cereal Chem.** 67: 551-557.
- _____. 1997. Starch: the polysaccharide fraction, pp 163 – 147. *In* P.L. Frazies, A.M. Donald and P. Richmond, eds. **Starch Structure and Functionality**. The Royal Society of Chemistry, U.K.
- Thirathumthavorn, D. and S. Charoenrein. 2005. Thermal and pasting properties of acid-treated rice starches. **Starch/Starke.** 57: 217-222.
- Toe, H.C., A.Abd. Karim., P.B. Cheah, M.H. Norziah and C.C. Seow. 2000. On the role protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. **Food Chem.** 60: 229-236.
- Tongdang, T. 2008. Some properties of starch extracted from three thai aromatic fruit seeds. **Starch/Stärke.** 60: 199-207.

- Tulyathan, V., K. Tananuwong, P. Songjinda and N. Jaiboon. 2002. Some physicochemical properties of jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) seed flour and starch. **Science Asia**. 28: 37-41.
- Vandeputte, E.G., R. Vermeulen, J. Geeroms and J.A. Delcour. 2003. Rice starch III structure aspects provide insight in amylopectin retrogradation property and gel texture. **J. Cereal Sci.** 38: 61-68.
- Wang, H.H., D.W. Sun, Q. Zeng and Y. Lu. 2000. Effect of pH, corn starch and phosphates on the pasting properties of rice flour. **J. Food Eng.** 46: 133-138.
- Winton, A.L. and K.B. Winton. 1935. Vegetables, legumes and Fruit and fruits. pp 315. *In* **The structure and composition of foods**. John Wiley & Sons, New York.
- Yuan, R. C., D. B. Thomson and C. D. Boyer. 1993. Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches from three wx-containing genotype in two inbred lines. **Cereal Chem.** 70: 81-89.
- Zheng, G.H. and F.W. Sosulski 1998. Determination of water separation from cooked starch and flour pastes after refrigeration and freeze-thaw. **J. Food Sci.** 63: 134-139.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ห้องค้ำประกอบและสมบัติของวัสดุค้ำ

การวิเคราะห์องค์ประกอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของแป้งและสตาร์ช

1. การหาปริมาณความชื้น (AACC, 2000) Method44-15A

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

1.1.2 ภาชนะใส่ตัวอย่าง (moisture can) ทำด้วยอลูมิเนียม

1.1.3 เดซิกเคเตอร์ (desiccator)

1.2 วิธีการวิเคราะห์

อบภาชนะใส่ตัวอย่างพร้อมฝา ในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง นำมาใส่ในเดซิกเคเตอร์ทิ้งไว้ให้เย็นลง แล้วนำไปชั่งน้ำหนักที่แน่นอนชั่งตัวอย่างในภาชนะใส่ตัวอย่างให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2-3 กรัม นำไปใส่ในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงโดยเปิดฝาภาชนะไว้ เมื่อครบเวลาแล้วนำออกจากตู้อบ ปิดฝาภาชนะและนำมาใส่ในเดซิกเคเตอร์ทันที ทิ้งไว้ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง (ปกติ 45-60 นาที) แล้วจึงนำไปชั่ง คำนวณปริมาณความชื้นจากน้ำหนักที่หายไปโดยที่ A เป็น น้ำหนักที่หายไป (กรัม) และ B เป็นน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)

$$\text{ร้อยละของความชื้น} = (A/B) \times 100$$

2. การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส (ดัดแปลงจากวิธีการของ Gunaratne and Hoover, 2002)

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 ขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

2.1.2 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer, Thermo Electron Corporation รุ่น GENESYS TM10, USA)

2.1.3 เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง

2.1.4 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ

2.2 สารเคมี

2.2.1 เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) ความเข้มข้นร้อยละ 95

2.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้น 1 นอร์แมล เตรียมโดยชั่ง NaOH น้ก 40 กรัม ละลายในน้ำกลั่นประมาณ 800 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร

2.2.3 กรดแอซิกกลั่น (glacial acetic acid) ความเข้มข้น 1 นอร์แมล เตรียมโดยตวงกรดแอซิกกลั่นปริมาตร 60 มิลลิลิตร ใส่ลงในน้ำกลั่น แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 1 ลิตร

2.2.4 แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (pure potato amylose) ของ Sigma, USA

2.2.5 แอมิโลเพกทินบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (pure potato amylopectin) ของ Sigma, USA

2.2.6 สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยชั่งไอโอดีน (I₂) 0.2 กรัมและโปแตสเซียมไอโอ-ไดด์ (KI) 2.0 กรัม ผสมสารทั้งสองเข้ากันแล้วละลายในน้ำกลั่น จากนั้นปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ควรเก็บสารละลายนี้ไว้ในขวดสีชา

2.3 วิธีการวิเคราะห์

2.3.1 ชั่งตัวอย่างแป้งและสตาร์ช 0.1000 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในขวด (flask) ขนาด 50 มิลลิลิตร

2.3.2 เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 1 มิลลิลิตร เขย่าเบา ๆ เพื่อเกลี่ยสตาร์ชให้กระจายออก ระวังอย่าให้สตาร์ชขึ้นมากเกาะตามผนังขวด

2.3.3 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์แมลจำนวน 9 มิลลิลิตร

2.3.4 นำแป้งและสตาร์ชซัสเพนชันไปให้ความร้อนในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เย็น

2.3.5 ถ่ายแป้งและสตาร์ชซัสเพนชันลงในขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 มิลลิลิตรและผสมให้เข้ากัน

2.3.6 ผสมแป้งและสารละลายฟอสเฟตเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตรลงในขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร

2.3.7 เติมกรดแอสซิติคความเข้มข้น 1 นอร์มัลจำนวน 1 มิลลิลิตร และสารละลาย ไอโอดีนจำนวน 2 มิลลิลิตร

2.3.8 เติมน้ำกลั่นเพื่อปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที

2.3.9 ทำแบลнк (blank) โดยนำขวดกำหนดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรมาเติม กรดแอสซิติคความเข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 2 มิลลิลิตร และเติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 มิลลิลิตร

2.3.10 วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความ ยาวคลื่น 620 นาโนเมตร (nm) โดยปรับค่า ของแบลнкเป็น 0

2.3.11 นำค่าการดูดกลืนแสงไปคำนวณหาค่าปริมาณแอมิโลสโดยนำไปเทียบกับ กราฟมาตรฐาน

2.4 การเขียนกราฟมาตรฐาน (standard curve)

2.4.1 ชั่งแอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่งจำนวน 0.0400 กรัมใส่ในขวดกำหนดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตรแล้วปรับปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร (เป็นขวดที่ 1) และดำเนินการเช่นเดียวกับ ข้อ 2.3.2-2.3.5 เพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานและชั่งแอมิโลเพกทินบริสุทธิ์จากมันฝรั่งจำนวน 0.0400 กรัมใส่ในขวดปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร (เป็นขวดที่ 2)

2.4.2 ทำแบลнк (blank) โดยการเปิดสารละลายมาตรฐานจากขวดที่ 2 ปริมาตร 5 มิลลิลิตรและ ใส่ในขวดกำหนดปริมาตร 100 มิลลิลิตร เติมกรดแอสซิติกล้วนความเข้มข้น 1 นอร์มัล จำนวน 2 มิลลิลิตร เติมสารละลายไอโอดีน 2.0 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำ กลั่น เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโตร โฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยใช้แบลнкปรับค่าให้เป็นศูนย์

2.4.3 เปิดสารละลายมาตรฐานจากขวดที่ 1 ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิลิตร ใส่ ในขวดกำหนดปริมาตร 100 มิลลิลิตร และเปิดสารละลายมาตรฐานจากขวดที่ 2 ปริมาตร 4, 3, 2, 1 และ 0 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติมกรดแอสซิติกล้วนล้วนความเข้มข้น 1 นอร์มัลปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตรลงในขวดแก้วที่มีสารละลายมาตรฐานตามลำดับ เติมสารละลายไอโอดีน 2.0 มิลลิลิตรและปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที

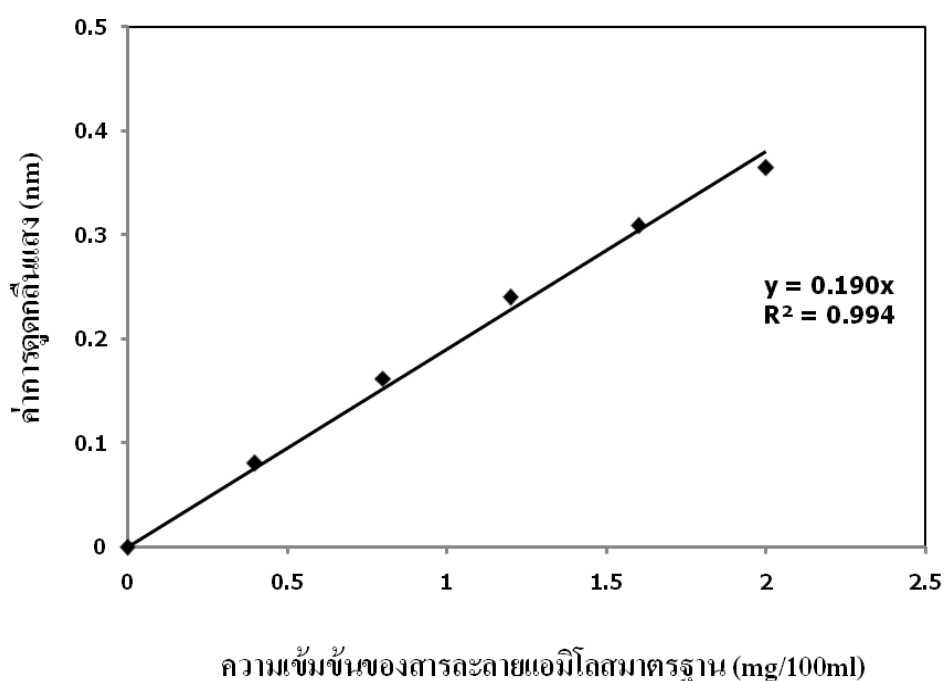
2.4.4 วัดค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร

2.4.5 เขียนกราฟระหว่างค่าความเข้มข้นของสารละลายเอมิโลมาตรฐาน (แกน x) และค่า

2.5 วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณเอมิโลส} = \frac{\text{ความเข้มข้นที่อ่านได้จากสารละลายเอมิโลมาตรฐาน} \times 10}{5 \times \text{น้ำหนักสารแห้ง (กรัม)}}$$

กราฟมาตรฐานของเอมิโลสบริสุทธิ



ภาพผนวกที่ ก1 ปริมาณเอมิโลสและค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐาน

3. การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AACC, 2000) Method 46-12

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.1 เครื่องย่อยสลาย Buchi
- 3.1.2 หลอด Kjeldahl สำหรับย่อย
- 3.1.3 เครื่องกลั่นอัตโนมัติ Buchi

3.2 สารเคมี

- 3.2.1 กรดซัลฟิวริกความเข้มข้นร้อยละ 95
- 3.2.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35
- 3.2.3 สารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4
- 3.2.4 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์แมล
- 3.2.5 คอปเปอร์ซัลเฟต
- 3.2.6 โพแทสเซียมซัลเฟต
- 3.2.7 อินดิเคเตอร์ผสมระหว่างเมทิลเรดและโบรโมครีซอลกรีน

3.3 วิธีการวิเคราะห์

- 3.3.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงไปในหลอดย่อย ระวังอย่าให้ติดข้างหลอด
- 3.3.2 ใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งประกอบด้วยโพแทสเซียมซัลเฟต 10 กรัมและคอปเปอร์ซัลเฟต 0.5 รวมทั้งเม็ดลูกแก้วกันเดือด (glass bead) 2 เม็ด และเติมกรดซัลฟิวริกประมาณ 20-25 มิลลิลิตร
- 3.3.3 นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องย่อยจนกระทั่งได้สารละลายสีเขียวใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่น 60-75 มิลลิลิตร (หรือเติมเป็น 3 เท่าของกรด)
- 3.3.4 นำหลอดย่อยต่อเข้ากับชุดเครื่องกลั่น แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 จนสารละลายในหลอดย่อยเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล

3.3.5 รองรับสิ่งก่ด้นด้วยขวด (flask) ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 25 มิลลิลิตร โดยก่ด้นประมาณ 5 นาที

3.3.6 นำไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 นอร์แมล จนกระทั่งได้สารละลายสีเทา (จุดยุติ) บันทึกปริมาณกรดที่ใช้แล้วนำไปคำนวณหาร้อยละของไนโตรเจน (ให้ทำแบบล่งก่ควบล่งไปด้วย โดยไม่มีตัวอย่างในหลอดย่อย)

3.4 วิธีกำรคำนวณ

$$\text{ร้อยละของปริมาณไนโตรเจน} = \frac{(S-B) \times N \times 1.401}{W}$$

$$\text{ร้อยละของโปรตีน} = \text{ร้อยละของปริมาณไนโตรเจน} \times 6.25$$

เมื่อ S หมายถึง ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง

B หมายถึง ปริมาตรสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานที่ใช้ไทเทรตกับแบบล่ง

N หมายถึง ความเข้มข้นเป็นนอร์แมลของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน

W หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

4. กำรวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AACC, 2000) Method 30-25

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

4.1.1 เครื่องมือวิเคราะห์ไขมัน (Soxtec System HT2; 1045 Etraction unit)

4.1.2 เครื่องทำความเย็น

4.1.3 extraction cup

4.1.4 thimble

4.1.5 เดซิเคเตอร์ (desicator)

4.2 สารเคมีปิโตรเลียมอีเทอร์ที่มีจุดเดือดในช่วง 40- 60 องศาเซลเซียส

4.3 วิธีการวิเคราะห์

4.3.1 อบ extraction cup และทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ ชั่งน้ำหนักไว้ (W₁)

4.3.2 ชั่งตัวอย่างประมาณ 2 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ลงบนกระดาษกรองและห่อให้มิดชิด บันทึกน้ำหนักตัวอย่างที่แน่นอน (W₂) แล้วนำมาใส่ลงใน thimble

4.3.3 นำ thimble ใส่ใน extraction unit แล้วเติมปิโตรเลียมอีเทอร์ปริมาตร 45 มิลลิลิตร ลงใน extraction cup

4.3.4 นำ extraction cup เข้าไปในเครื่องวิเคราะห์ไขมัน ทำการสกัดเป็นเวลา 20 นาที และทำการชะล้างเป็นเวลา 45 นาที นำ extraction cup ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที เพื่อระเหยตัวทำละลายออกไป ทิ้ง extraction cup ให้เย็นในเดซิเคเตอร์ และนำไปชั่งน้ำหนัก (W₃)

4.4 วิธีการคำนวณ

$$\text{ร้อยละปริมาณไขมัน} = \frac{(W_3 - W_1) \times 100}{W_2}$$

เมื่อ W₁ หมายถึง น้ำหนัก extraction cup หน่วยเป็นกรัม

W₂ หมายถึง น้ำหนักตัวอย่างที่วิเคราะห์ หน่วยเป็นกรัม

W₃ หมายถึง น้ำหนัก extraction cup และไขมันที่สกัดได้ หน่วยเป็นกรัม

5. การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า (AACC, 2000) Method 08-01

5.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

5.1.1 เตา muffle furnace

5.1.2 เตาไฟฟ้าให้ความร้อนแบบแผ่นราบ

5.1.3 เป้า (crucible)

5.1.4 เดซิเคเตอร์

5.2 วิธีการวิเคราะห์

5.2.1 เเผาใบในเตา muffle furnace ที่ 500°C ให้เย็นในเครื่องเคาะและชั่งน้ำหนัก

5.2.2 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างประมาณ 5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่ลงในภาชนะแล้วนำไปเผาด้วยไฟอ่อน ๆ จนหมดควัน

5.2.3 นำไปเผาในเตา muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียสจนกว่าได้เถ้าเป็นสีขาวหรือสีเทา

5.2.4 นำเถ้าออกมาใส่ในเครื่องเคาะ ที่ 500°C ให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

5.3 วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณเถ้า (ร้อยละของน้ำหนัก)} = \frac{(W_2 - W_0) \times 100}{(W_1 - W_0)}$$

เมื่อ W_0 หมายถึง น้ำหนักของใบ หน่วยเป็นกรัม

W_1 หมายถึง น้ำหนักของใบและตัวอย่างก่อนเผา หน่วยเป็นกรัม

W_2 หมายถึง น้ำหนักของใบและตัวอย่างหลังจากเผาจนได้น้ำหนักคงที่ หน่วยเป็นกรัม

6. การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย (AACC, 2000)

6.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

6.1.1 Hot extraction unit

6.1.2 Hot air oven

6.1.3 Muffle furnace

6.1.4 Crucible ขนาดของ filter ประมาณ 40-90 ไมโครเมตร

6.2 สารเคมี

6.2.1 กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.255 นอร์มัล

6.2.2 โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.313 นอร์แมล

6.2.3 n-Octanol

6.2.4 เอทานอลร้อยละ 95

6.3 วิธีการวิเคราะห์

6.3.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 0.5-3 กรัม (น้ำหนักแห้ง)

6.3.2 เติมกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.255 นอร์แมล ปริมาณ 200 มิลลิลิตร ลงในคอลัมน์ เพื่อทำการสกัดเป็นเวลา 30 นาที

6.3.3 หยด anti-forming (n-Octanol) 2-3 หยดลงในคอลัมน์

6.3.4 ทำการดูดสารละลายออกจากคอลัมน์และเปิดก๊อกน้ำเพื่อให้เกิด vacuum suction จนกรดซัลฟิวริกหมดจากคอลัมน์

6.3.5 เติมน้ำเดือด (น้ำกลั่น) เพื่อล้างกรดให้หมดตามขั้นตอนที่ 6.3.4

6.3.6 เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.313 นอร์แมลปริมาณ 200 มิลลิลิตร เพื่อทำการสกัดเป็นเวลา 30 นาที

6.3.7 ทำการ vacuum suction จนโซเดียมไฮดรอกไซด์หมดจากคอลัมน์

6.3.8 เติมเอทานอลร้อยละ 95 ปริมาณ 10 มิลลิลิตร เพื่อล้างโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้หมด

6.3.9 นำ crucible พร้อมตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วยกรดและเบสแล้วไปอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็นใน desicator แล้วชั่ง ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง จนน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม น้ำหนักที่ได้คือ $W_1 = (\text{น.น. crucible} + \text{กาก}) \text{ g}$

6.3.10 นำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 ± 20 องศาเซลเซียส นาน 30 นาทีปล่อยให้เย็นใน desicator แล้วชั่ง ทำซ้ำอีกจนน้ำหนักต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม น้ำหนักที่ได้คือ $W_2 = (\text{น.น. crucible} + \text{เถ้า}) \text{ g}$

6.4 วิธีการคำนวณ

$$\text{ปริมาณเส้นใยร้อยละของตัวอย่าง} = \frac{100 (W_1 - W_2)}{W}$$

เมื่อ $W =$ น้ำหนักตัวอย่าง

$W_1 =$ น้ำหนัก crucible + กาก

$W_2 =$ น้ำหนัก crucible + เถ้า

การวิเคราะห์สมบัติของแป้งและสตาร์ช

1. การตรวจสอบรูปร่างและขนาดของเม็ดสตาร์ชข้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสงส่องผ่าน

1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1.1 กล้องจุลทรรศน์ต้อกับอุปกรณ์คอมพิวเตอร์

1.1.2 Stage micrometer

1.2 วิธีการตรวจสอบ

1.2.1 เตรียมสไลด์ตัวอย่างแป้งและสตาร์ชต่างๆ โดยเตรียมแป้งและสตาร์ช ชั่งเพนชั้นความเข้มข้นร้อยละ 8 แล้วหยดแป้งและสตาร์ชชั่งเพนชั้นลงบนแผ่นสไลด์แล้วปิดด้วย กระจกปิดสไลด์ จากนั้นนำไปตรวจสอบรูปร่างและขนาดของเม็ดสตาร์ชด้วยกำลังขยาย 40 เท่า

1.2.2 วัดขนาดของเม็ดสตาร์ชจากภาพในจอคอมพิวเตอร์จำนวน 300 เม็ด แล้วหา ขนาดของเม็ดสตาร์ชโดยนำ stage microscope (stage microscope มีเส้นตรงความยาว 1 มิลลิเมตร แบ่งสเกลออกเป็น 100 ส่วน แต่ละส่วนจึงมีความยาว 0.01 มิลลิเมตร) มาวางแทนที่สไลด์ตัวอย่าง (กำลังขยายเดิม) แล้ววัดขนาดของส่วนย่อย 1 ส่วนว่ามีขนาดเท่าใด โดยจากกำลังขยาย 40 เท่า วัด ได้ 1 ส่วนย่อยมีขนาด 1 เซนติเมตร ดังนั้นถ้าเม็ดสตาร์ชวัดจากภาพขนาด 2 เซนติเมตร แสดงว่า มีขนาดจริงเท่ากับ $(2 \times 0.01/1) \times 1000$ มีหน่วยเป็นไมครอน

2. การตรวจสอบลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

2.1.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (JEOL, JSM-5600LV, England)

2.1.2 แท่ง aluminium stub ที่ติดกาวสองหน้าชนิดบาง

2.1.3 เครื่องเคลือบทอง (Ion-coater IB-2)

2.2 วิธีการวิเคราะห์

2.2.1 นำแป้งและสตาร์ชตัวอย่างที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว มาวางกระจายบนเทปกาวสองหน้าที่ยึดอยู่บนแท่ง aluminium stub

2.2.2 นำแท่ง aluminium stub ที่ติดแป้งและสตาร์ชตัวอย่างแล้วเข้าเครื่องเคลือบทองเพื่อเคลือบทองลงที่ผิวของแป้งและสตาร์ชตัวอย่าง สำหรับช่วยในการนำประจุอิเล็กตรอน

2.2.3 วางแท่ง aluminium stub ที่ผ่านการเคลือบทองแล้วลงในช่องสำหรับใส่แท่ง aluminium stub ภายในตัวกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

2.2.4 ตรวจสอบลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน โดยควบคุมสภาวะการทดลองที่ค่าอัตราเร่งของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ 10 กิโลโวลต์ และใช้กำลังขยายที่ 1,000 และ 5,000 เท่า

2.2.5 คัดเลือกอนุภาคเม็ดสตาร์ชบริเวณที่ต้องการบันทึกภาพ ปรับโฟกัสให้ชัดแล้วจึงบันทึกภาพลงบนแผ่นซีดี

2.3 สถานที่วิเคราะห์

หน่วยงานกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน ฝ่ายเครื่องมือวิทยาศาสตร์กลาง สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

3. การวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของอนุภาคแป้งและสตาร์ช

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องเอกซเรย์ ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ (X-ray diffractometer, JEOL, JDX-3530, Japan)

3.2 วิธีการวิเคราะห์

3.2.1 นำแป้งและสตาร์ชจำนวนประมาณ 5 กรัมใส่ลงใน Petri dish แล้วนำไปเก็บไว้ในภาชนะปิดที่ภายในมีสารละลายโปแตสเซียมซัลเฟตที่อิ่มตัวบรรจุอยู่ ($A_w = 0.973$) เป็นเวลา 4 วัน เพื่อให้ตัวอย่างแป้งและสตาร์ชที่จะนำไปวิเคราะห์มีปริมาณความชื้นใกล้เคียงกัน (ร้อยละ 9-20)

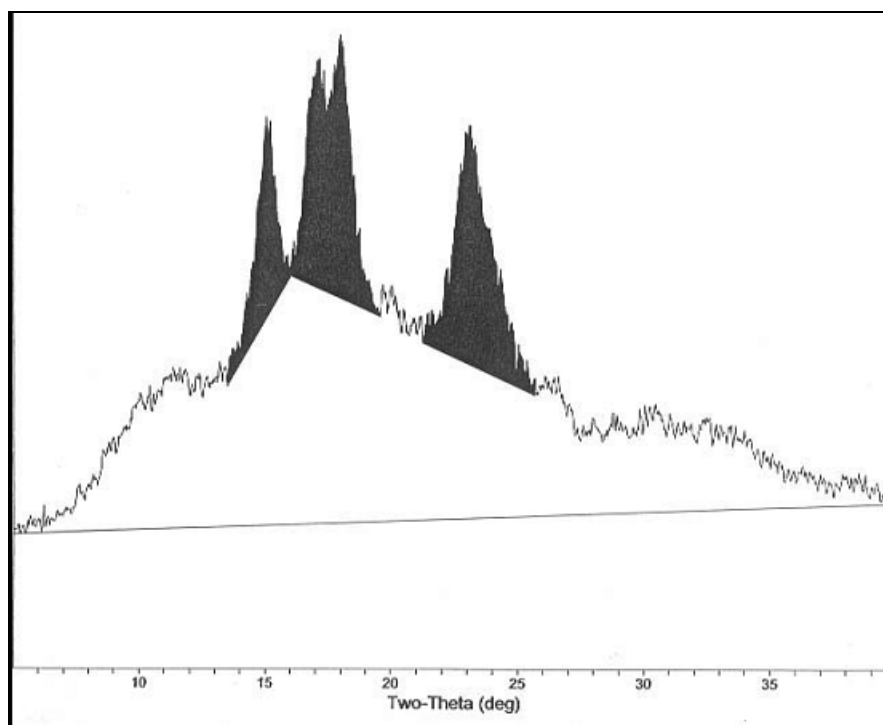
3.2.2 บรรจุแป้งและสตาร์ชที่ปรับความชื้นแล้วลงในอุปกรณ์สำหรับบรรจุตัวอย่าง โดยต้องเกลี่ยผิวหน้าของตัวอย่างให้เรียบ

3.2.3 วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของอนุภาคแป้งและสตาร์ชด้วยเครื่องเอกซเรย์ ดิฟแฟรคโทมิเตอร์ โดยกำหนดสภาวะการทดสอบคือ ใช้ Target เป็นทองแดง (Cu) ความต่างศักย์ไฟฟ้า 30 กิโลโวลต์ ใช้กระแสไฟฟ้า 40 มิลลิแอมแปร์ เริ่มสแกนที่มุมหักเหช่วง 5.00 ถึง 40.00 องศา 2θ ด้วยอัตราเร็ว 0.02 องศา 2θ ต่อวินาที

3.2.4 บันทึกรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่ได้ และคำนวณค่าร้อยละของความเป็นผลึกโดยเปรียบเทียบ (Relative crystallinity) โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Cheetam and Tao (1998) ซึ่งมีวิธีการคำนวณ ดังนี้

$$\text{ค่าร้อยละความเป็นผลึก} = \frac{\text{พื้นที่ใต้พีค (A)} \times 100}{\text{พื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัม (B)}}$$

โดยพื้นที่ใต้พีค (A) เป็นพื้นที่สีดำ และพื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัม (B) คำนวณโดยใช้โปรแกรมภายในเครื่อง ดังแสดงในภาพผนวกที่ ก2



ภาพผนวกที่ ก2 ลักษณะสเปกตรัมที่วัดได้, พื้นที่ใต้พีค (A) และพื้นที่ทั้งหมดของสเปกตรัม

4. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืด (AACC, 2000)

4.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid visco analyzer, RVA3D, Newport Scientific Instruments & Engineering, Australia)

4.2 วิธีการวิเคราะห์

4.2.1 ตัวอย่างแป้งและสตาร์ชที่ใช้วิเคราะห์ต้องผ่านการบดจนมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าหรือเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตร แล้วจึงนำไปหาความชื้นตามวิธี AACC (2000) ก่อนการวิเคราะห์

4.2.2 ชั่งแป้งหรือสตาร์ชจำนวน 3 กรัมใส่ลงในอุปกรณ์ชั่งน้ำหนัก และตวงน้ำปริมาตร 25.0 มิลลิลิตร (+ 0.1 มิลลิลิตร) ใส่ในถ้วยทรงกระบอก (คำนวณที่ความชื้นร้อยละ 12) แต่

ถ้าตัวอย่างเป้งมีความชื้นไม่เท่ากับร้อยละ 12 สามารถคำนวณปริมาณน้ำและเป้งที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามสูตร

$$\text{สำหรับปริมาณเป้งหรือสตาρχ} \quad S = \frac{88 \times 3.0}{100 - M}$$

$$\text{สำหรับปริมาณน้ำ} \quad W = 25 + (3.0 - S)$$

โดย S = น้ำหนักตัวอย่างที่ปรับค่าแล้ว

W = น้ำหนักน้ำที่ปรับค่าแล้ว

M = ปริมาณความชื้นที่แท้จริงของตัวอย่าง (ร้อยละ)

4.2.3 ใส่เป้งหรือสตาρχบนผิวหน้าของน้ำในถ้วยทรงกระบอก ใช้ใบพายเขย่าตัวอย่างในถ้วยทรงกระบอกขึ้นลง 10 ครั้ง แต่ถ้าเป้งหรือสตาρχยังคงอยู่บนผิวหน้าหรือติดบนใบพาย ให้เขย่าตัวอย่างซ้ำอีกครั้ง

4.2.4 ใส่ใบพายในถ้วยทรงกระบอกและสวมใบพายเข้ากับที่ยึดโดยให้ใบพายอยู่กึ่งกลางถ้วย แล้วเริ่มต้นการวิเคราะห์โดยกดมอเตอร์ของเครื่องมือลง และมีสิ่งที่ต้องระวังคืออย่าผสมเป้งหรือสตาρχกับน้ำนานกว่า 1 นาทีก่อนการวิเคราะห์ ซึ่งสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับเป้งมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและเวลาดังนี้

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระยะเวลา (นาที:วินาที)
50.0 (อุณหภูมิเริ่มต้น)	
50.0	1:00
95.0	4:45
95.0	7:15
50.0	11:06
สิ้นสุดการทดสอบ	12:30

สำหรับความเร็วรอบเริ่มต้นที่ใช้คือ 960 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 10 วินาที แล้วจึงใช้ความเร็วรอบ 160 รอบต่อนาทีจนกระทั่งตลอดการทดสอบ

3.2.5 บันทึกอุณหภูมิที่เริ่มเกิดความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุดขณะร้อน (peak viscosity) ความหนืดต่ำสุด (trough) ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ค่าความหนืดลดลง (breakdown) เป็นความแตกต่างระหว่างค่าความหนืดสูงสุดและต่ำสุด และค่าเซตแบค (setback) เป็นความแตกต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายและความหนืดต่ำสุด

5. วิเคราะห์คุณสมบัติการพองตัว (Swelling properties)

5.1 คัดแปลงจากวิธีของ Tester and Morrison (1990)

ชั่งแป้งหรือสตาร์ช 100 มิลลิกรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งเทลงในหลอดที่มีฝาเกลียวปิดขนาด 10 มิลลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจำนวน 5 มิลลิตร นำหลอดที่ปิดฝาแล้วไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 30 นาที โดยกำหนดอุณหภูมิเป็น 50, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเขย่าทุกๆ 5 นาที จากนั้นนำหลอดมาทำให้เย็นตัวลงอย่างรวดเร็วในอ่างน้ำแข็งจนอุณหภูมิถึง 20 องศาเซลเซียส เติมน้ำละลายบลูเด็กซ์แทรน (blue dextran) เข้มข้น 5 มิลลิกรัม/มิลลิตร จำนวน 1 มิลลิตร และผสมให้เข้ากัน นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1,800 xg เป็นเวลา 15 นาที ดูดส่วนใสมาวัดค่าการดูดกลืนแสงของหลอดที่มีตัวอย่างเป็น A_S และหลอดที่ไม่มีตัวอย่างตัวอย่างแป้งหรือสตาร์ชเป็น A_R ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่มีความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร นำค่าที่วัดได้มาคำนวณหาค่าแฟกเตอร์การพองตัว (swelling factor, SF)

$$SF = 1 + ((7,000/W) (A_S - A_R)) / A_S$$

5.2 คัดแปลงจากวิธีของ Schoch *et al.* (1964)

ชั่งแป้งหรือสตาร์ช 100 มิลลิกรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่งเทลงในหลอดที่มีฝาเกลียวปิดขนาด 10 มิลลิตร แล้วเติมน้ำกลั่นจำนวน 5 มิลลิตร นำหลอดที่ปิดฝาแล้วไปวางในอ่างควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 30 นาที โดยกำหนดอุณหภูมิเป็น 50, 60, 70, 80, 90 องศาเซลเซียส พร้อมทั้งเขย่าทุกๆ 5 นาที นำไปหมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1,800 xg เป็นเวลา 15 นาที ดูดส่วนใสด้านบนออกใส่ can อลูมิเนียมที่แห้ง และชั่งน้ำหนักแล้วนำส่วนใสไปอบที่อุณหภูมิ 130 องศา

เซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงทิ้งไว้เย็นใน desiccators 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักคำนวณหาค่าการละลายและการฟองตัวของตัวอย่าง จากสมการ

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ละลาย} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}$$

$$\text{กำลังการฟองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

6. ตรวจสอบค่าสีของแป้งและสตาร์ช

ตรวจสอบค่าสีของแป้งและสตาร์ชด้วยเครื่องวัดสี (Minolta Spectrophotometer รุ่น CM-3500d) วัดในระบบ CIELab แสดงค่า L^* a^* และ b^*

L^* คือ ความสว่างของสี มีค่า 0-100 ($L^*=0$ คือ สีดำ $L^*=100$ คือ สีขาว)

a^* คือ ค่าความเป็นสีเขียว-แดง (ค่า $-a^*$ หมายถึง สีเขียว ค่า $+a^*$ หมายถึง สีแดง)

b^* คือ ค่าความเป็นสีน้ำเงิน-เหลือง (ค่า $-b$ หมายถึง สีน้ำเงิน ค่า $+b$ หมายถึง สีเหลือง)

นำค่าที่ได้มาคำนวณหาดัชนีความขาว (Whiteness index: WI) ดังนี้

$$\text{ค่าดัชนีความขาว (White index)} = 100 - \sqrt{(100-L^*)^2 + (a^*)^2 + (b^*)^2}$$

ภาคผนวก ข

ข้อมูลประกอบผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ข1 ค่าแฟกเตอร์การพองตัวที่ระดับอุณหภูมิ 50, 60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส ของแป้งและสตาร์ช

ตัวอย่าง	แฟกเตอร์การพองตัว (swelling factor)				
	50 ^o ซ	60 ^o ซ	70 ^o ซ	80 ^o ซ	90 ^o ซ
แป้งเมล็ดขนุน	3.71 aE $\pm$ 0.06	8.98 aD $\pm$ 1.12	14.74 bC $\pm$ 0.95	16.96 bB $\pm$ 0.14	21.61 bA $\pm$ 0.60
สตาร์ชเมล็ดขนุน	1.73 bD $\pm$ 0.57	2.96 bD $\pm$ 0.78	5.67 cC $\pm$ 0.79	12.17 cB $\pm$ 1.36	18.28 bA $\pm$ 0.10
สตาร์ชข้าวโพด	2.14 abC $\pm$ 0.95	3.63 bC $\pm$ 0.33	9.00 cB $\pm$ 0.61	9.58 cB $\pm$ 1.24	12.17 cA $\pm$ 0.75
สตาร์ชมันฝรั่ง	1.07 bE $\pm$ 0.33	7.60 aD $\pm$ 0.90	31.14 aB $\pm$ 0.44	33.68 aA $\pm$ 0.15	25.51 aC $\pm$ 0.10

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวดิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

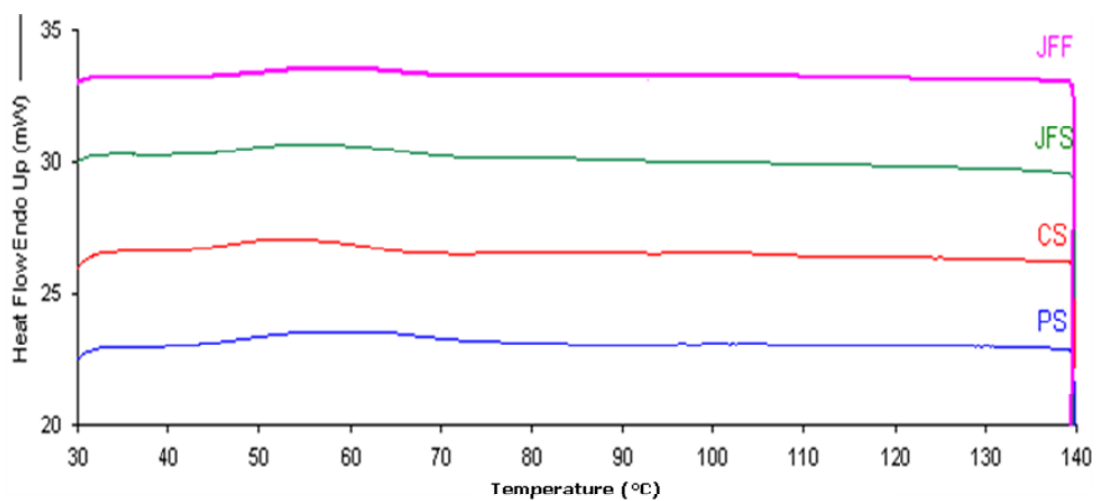
- อักษรตัวใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวนอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางผนวกที่ ข2 อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อน ความร้อนสูงสุด ความร้อนลดลง ความร้อนสุดท้าย และเซตแบคของแป้งและสตาร์ช

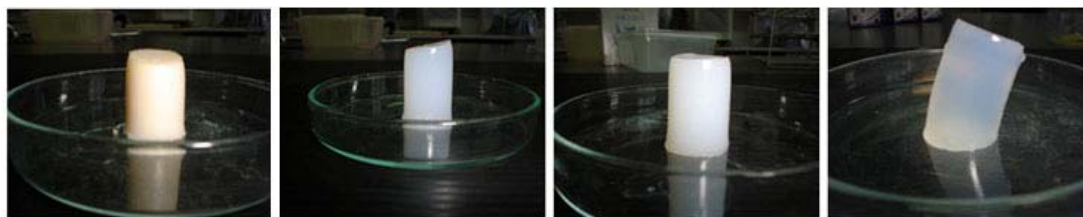
ตัวอย่าง	ความร้อน (RVU)				
	อุณหภูมิที่เริ่มเกิดความร้อน (°ซ)	ค่าความร้อนสูงสุด	ความร้อนลดลง	ความร้อนสุดท้าย	เซตแบค
แป้งเมล็ดขนุน	79.53 a $\pm$ 2.79	139.17 d $\pm$ 0.23	32.04 c $\pm$ 0.41	142.42 d $\pm$ 1.77	35.30 d $\pm$ 1.59
สตาร์ชเมล็ดขนุน	81.58 a $\pm$ 1.24	255.58 b $\pm$ 0.24	39.67 c $\pm$ 1.65	364.13 a $\pm$ 1.47	148.21 b $\pm$ 3.36
สตาร์ชข้าวโพด	77.60 a $\pm$ 0.00	223.88 c $\pm$ 5.83	66.25 b $\pm$ 4.95	228.88 c $\pm$ 8.42	71.25 c $\pm$ 7.54
สตาร์ชมันฝรั่ง	69.43 b $\pm$ 0.04	831.05 a $\pm$ 14.67	695.30 a $\pm$ 8.66	335.30 b $\pm$ 8.31	199.55 a $\pm$ 2.30

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวตั้งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพผนวกที่ ข1 กราฟการดูดกลืนความร้อนสลายโครงสร้างพอลิเอทิลีนเทฟลอนรีโพรเกรดของ
แป้งและสตาร์ชวิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC (JFF:แป้งเมล็ดขนุน, JFS:สตาร์ชเมล็ด
ขนุน, CS:สตาร์ชข้าวโพด, PSสตาร์ชมันฝรั่ง)



แท่งเมล็ดขนุน

สตาร์ชเมล็ดขนุน

สตาร์ชข้าวโพด

สตาร์ชมันฝรั่ง

ภาพผนวกที่ ข2 เจลแท่งเมล็ดขนุน สตาร์ชเมล็ดขนุน สตาร์ชข้าวโพด สตาร์ชมันฝรั่งที่ความเข้มข้นร้อยละ 9

ตารางผนวกที่ ข3 ค่าร้อยละการแยกของน้ำหลังการคั้นรูปจากการแช่เยือกแข็งในรอบการแช่เยือกแข็งและการทำละลายที่ 1 – 5
ของเจลแป็งและสตาร์ช

ตัวอย่าง	ค่าร้อยละการแยกของน้ำหลังการคั้นรูปจากการแช่เยือกแข็งในรอบการแช่เยือกแข็งและการทำละลายที่ 1 – 5				
	รอบที่ 1	รอบที่ 2	รอบที่ 3	รอบที่ 4	รอบที่ 5
เจลแป็งเมล็ดขนุน	55.86 aAB $\pm$ 0.87	56.35 aA $\pm$ 0.86	54.78 aBC $\pm$ 0.91	55.05 aBC $\pm$ 0.73	54.24 aC $\pm$ 0.82
เจลสตาร์ชเมล็ดขนุน	19.66 cA $\pm$ 0.72	20.27 cA $\pm$ 1.21	19.38 cA $\pm$ 1.37	19.63 cA $\pm$ 0.86	20.56 cA $\pm$ 0.90
เจลสตาร์ชข้าวโพด	35.04 bB $\pm$ 0.98	41.31 bA $\pm$ 1.53	40.55 bA $\pm$ 0.77	40.78 bA $\pm$ 0.93	41.74 bA $\pm$ 0.34
เจลสตาร์ชมันฝรั่ง	3.94 dC $\pm$ 3.06	11.06 dB $\pm$ 1.12	11.98 dAB $\pm$ 1.47	13.73 dA $\pm$ 0.19	14.05 dA $\pm$ 0.46

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 5 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวดิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- อักษรตัวใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวนอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพผนวกที่ ข3 สีของซอสพริก 4 ตัวอย่างบรรจุในขวด



ภาพผนวกที่ ข4 สีของซอสพริก 4 ตัวอย่างบรรจุในถ้วย



Control



Jackfruit seed flour

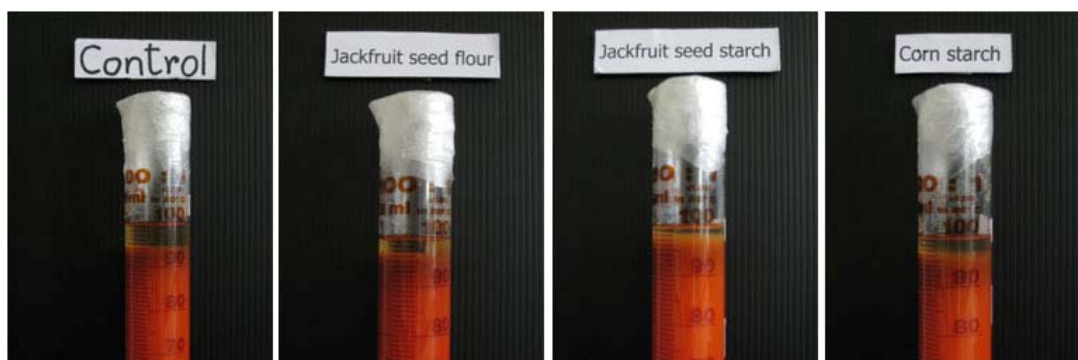


Jackfruit seed starch



Corn starch

ภาพผนวกที่ ข5 การทดสอบความคงตัวของซอสพริกทั้ง 4 ตัวอย่างด้วย Bostwick consistometer
 (Control: ซอสพริกควบคุม, Jackfruit seed flour: ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน,
 Jackfruit seed starch : ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุน, Corn starch : ซอสพริกที่
 เติมสตาร์ชข้าวโพด)



ภาพผนวกที่ ข6 การแยกชั้นของซอสพริก 4 ตัวอย่างบรรจุในกระบอกตวงหลังจากเก็บรักษาที่
 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ตารางผนวกที่ ๗4 ค่าการแยกชั้นของซอสพริก 4 ตัวอย่างเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 สัปดาห์

ตัวอย่าง	ค่าการแยกชั้นของซอสพริก (เซนติเมตร)			
	1	2	3	4
ซอสพริกควบคุม	0.50 aC $\pm$ 0.28	0.81 aAB $\pm$ 0.12	0.98 aAB $\pm$ 0.14	1.06 aA $\pm$ 0.19
ซอสพริกที่เติมแป้งเมล็ดขนุน	0.28 abA $\pm$ 0.14	0.35 bA $\pm$ 0.18	0.44 bA $\pm$ 0.16	0.53 abA $\pm$ 0.18
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชเมล็ดขนุน	0.00 aC $\pm$ 0.00	0.04 bA $\pm$ 0.05	0.10 bA $\pm$ 0.04	0.20 bA $\pm$ 0.16
ซอสพริกที่เติมสตาร์ชข้าวโพด	0.21 abA $\pm$ 0.12	0.29 bA $\pm$ 0.20	0.42 bA $\pm$ 0.23	0.48 abA $\pm$ 0.29

หมายเหตุ - ค่าเฉลี่ยจากการวิเคราะห์ 2 ซ้ำ $\pm$ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

- อักษรตัวเล็กแสดงความแตกต่างตามแนวดิ่งที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95
- อักษรตัวใหญ่แสดงความแตกต่างตามแนวนอนที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ภาคผนวก ค
แบบทดสอบผลิตภัณฑ์ซอสพริก

แบบทดสอบผลิตภัณฑ์ซอสพริก (ก่อนเก็บรักษา)

ชื่อผู้ทดสอบ _____

ผลิตภัณฑ์ ซอสพริก _____ วันที่ _____

กรุณาชิมผลิตภัณฑ์ซอสพริกจากซ้ายไปขวาและประเมินคุณภาพลักษณะต่างๆแล้วให้คะแนนตามความชอบที่มี
ต่อผลิตภัณฑ์ซอสพริกตามคำอธิบายคะแนนข้างล่างนี้ กรุณาบ้วนปากก่อนชิมแต่ละตัวอย่างทุกตัวอย่าง

- | | | |
|-------------------|--------------|------------------|
| 1. ไม่ชอบมากพิเศษ | 2. ไม่ชอบมาก | 3. ไม่ชอบปานกลาง |
| 4. ไม่ชอบเล็กน้อย | 5. เฉยๆ | 6. ชอบเล็กน้อย |
| 7. ชอบปานกลาง | 8. ชอบมาก | 9. ชอบมากพิเศษ |

รหัสดัตัวอย่าง				
คุณภาพ				
สี				
ความหนืด				
ความเป็นเนื้อเดียวกัน				
รสชาติโดยรวม				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ _____

แบบทดสอบผลิตภัณฑ์ซอสพริก (หลังเก็บรักษา)

ชื่อผู้ทดสอบ _____

ผลิตภัณฑ์ ซอสพริก _____ วันที่ _____

กรุณาพิจารณาผลิตภัณฑ์ซอสพริกจากซ้ายไปขวาและประเมินคุณภาพลักษณะต่างๆแล้วให้คะแนนตามความชอบที่มีต่อผลิตภัณฑ์ซอสพริกตามคำอธิบายคะแนนข้างล่างนี้

- | | | |
|-------------------|--------------|------------------|
| 1. ไม่ชอบมากพิเศษ | 2. ไม่ชอบมาก | 3. ไม่ชอบปานกลาง |
| 4. ไม่ชอบเล็กน้อย | 5. เฉยๆ | 6. ชอบเล็กน้อย |
| 7. ชอบปานกลาง | 8. ชอบมาก | 9. ชอบมากพิเศษ |

รหัสตัวอย่าง คุณภาพ				
สี				
ความหนืด				
ความเป็นเนื้อเดียวกัน				
ความชอบโดยรวม				

ข้อเสนอแนะ _____

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวเกษกัญญา เร่งสุทธิ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 20 เมษายน 2527
สถานที่เกิด	สระบุรี
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ชีววิทยา) ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2548)
ผลงานทางวิชาการ	1. Rengsutthi, K. And Charoenrein, S. 2008. Thermal properties and morphology of flour and starch extracted from jackfruit seeds (<i>Artocarpus heterophyllus</i>). The 34 th Congress of Science and Technology Thailand (STT 34), October 31- November 2, 2008, Bangkok, Thailand. (Poster presentation) 2. Rengsutthi, K. And Charoenrein, S. 2007. Influence of temperature on degree of gelatinization and morphology of rice starch granules with different amylose content. International Symposium of Properties of Water (ISOPOW) X, 2-7 September 2007 Bangkok, Thailand. (Poster presentation)
รางวัลทางวิชาการ	รางวัลชมเชยจากการประกวดนวัตกรรม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี 2552 เรื่อง สารเพิ่มความคง ตัวในซอสพริกจากเมล็ดขนุนที่เหลือจากอุตสาหกรรม แปรรูป (KU Stabilizer)
ประสบการณ์งานวิจัย	ผู้ช่วยวิจัยในโครงการการพัฒนาผลิตภัณฑ์มูลค่าเพิ่มจาก เมล็ดขนุน ทุนอุดหนุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา แห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์พ.ศ. 2550 - 2551