



วิทยานิพนธ์

ผลของแซนแทนกัมและกัวร์กัมต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าว

**EFFECT OF XANTHAN GUM AND GUAR GUM ON
PHYSICAL PROPERTIES OF RICE STARCHES**

นางสาวยุพินทรา ชันติวัฒนะกุล

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

ปริญญา

พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร

พัฒนาผลิตภัณฑ์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของแซนแทนกัมและกัวร์กัมต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าว

Effect of Xanthan Gum and Guar Gum on Physical Properties of Rice Starches

นามผู้วิจัย นางสาวยุพินทรา ชันติวัฒนกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

Yongman Marnah

(รองศาสตราจารย์รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, D.Agr.)

กรรมการ

ชินฉัตร เกษม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นันทวัน เทอดไทย, Ph.D.)

กรรมการ

Sumrit

(อาจารย์สุนนรัตน์ ชื่นพุดิ, พ.บ.ม.)

หัวหน้าภาควิชา

KS KKS

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อนุวัตร แจ่มชัด, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

KS Oranun

(รองศาสตราจารย์วินัย อางคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 4 เดือน ๖ พ.ศ. 50

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของแซนแทนกัมและกัวร์กัมต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าว

Effect of Xanthan Gum and Guar Gum on Physical Properties of Rice Starches

โดย

นางสาวยุพินทรา ชันติวัฒนกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร)

พ.ศ. 2550

ยุพินทรา ชันติวัฒนะกุล 2550: ผลของแซนแทนกัมและกัวร์กัมต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าว
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (พัฒนาผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเกษตร) สาขาพัฒนาผลิตภัณฑ์
อุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ ปรชชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์
รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต, D.Agr. 111 หน้า

ผลของแซนแทนกัม และกัวร์กัมต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชข้าว 4 พันธุ์ที่มีปริมาณ
อะไมโลสแตกต่างกัน คือข้าวเหนียวพันธุ์กข 6, ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 ผลจาก
การศึกษาในสตาร์ชข้าวความเข้มข้น 1 % พบว่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชลดลง และปริมาณ amylose
leaching ของสตาร์ชเพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชเพิ่มขึ้น สำหรับสตาร์ชข้าวที่เติมไฮโดรคอลลอยด์
พบว่ากำลังการพองตัว และปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชข้าวลดลง เมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัม
และกัวร์กัมเพิ่มขึ้น โดยแซนแทนกัมให้ผลการลดลงของค่ากำลังการพองตัว และปริมาณ amylose leaching
มากกว่ากัวร์กัม จากการวิเคราะห์ RVA pasting properties ของสตาร์ชข้าวความเข้มข้น 8% พบว่าความหนืด
สูงสุด และ breakdown ของสตาร์ชข้าวลดลง แต่ความหนืดสุดท้าย และ setback เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณอะไมโลส
ของสตาร์ชเพิ่มขึ้น ผลของความเข้มข้นและชนิดของไฮโดรคอลลอยด์ต่อ RVA pasting properties ของสตาร์ช
ข้าว ให้ผลแตกต่างกันขึ้นกับลักษณะ โครงสร้างของไฮโดรคอลลอยด์และปริมาณอะไมโลสในระบบที่ศึกษา
โดยความสัมพันธ์ระหว่าง โครงสร้างและหน้าที่ของสตาร์ชและไฮโดรคอลลอยด์มีบทบาทสำคัญต่อสมบัติ
ทางด้านความหนืดของระบบ ความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลายของเพสต์ความเข้มข้น 5% ที่มีและไม่มี
ไฮโดรคอลลอยด์ โดยศึกษาจากวงจรการแช่แข็งและละลาย พบว่าเพสต์ที่ไม่มีไฮโดรคอลลอยด์ สตาร์ชที่มี
ปริมาณอะไมโลสสูงมีปริมาณน้ำที่แยกออกจากเพสต์สูง เมื่อเติมแซนแทนกัมและกัวร์กัมพบว่าปริมาณน้ำที่แยก
ออกจากเพสต์ลดลง โดยปริมาณน้ำที่แยกออกจากเพสต์ที่เติมแซนแทนกัมต่ำกว่าเพสต์ที่เติมกัวร์กัม จาก
การศึกษาเจล ของสตาร์ชและเจลของสตาร์ช/ไฮโดรคอลลอยด์ (อัตราส่วนผสม 9.75/0.25) ที่ความเข้มข้นรวม
20% ที่อุณหภูมิ 5 และ 20 °C เป็นเวลา 7 วัน ด้วยการวิเคราะห์ texture profile analysis (TPA) พบว่าปริมาณ
อะไมโลส และไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองชนิดให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน ระยะเวลาการเก็บเจลที่นาน
และอุณหภูมิการเก็บที่ต่ำ เพิ่มอัตราปริมาตรของเจลจากสตาร์ชข้าว การเติมซูโครสความเข้มข้น 20% ใน
สตาร์ชเจล ทำให้ ความยืดหยุ่นของสตาร์ชเจลจากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 สำหรับการศึกษาใน
ผลิตภัณฑ์โมเดลจากข้าวที่ใช้แป้งข้าวทางการค้า ซึ่งมีปริมาณอะไมโลส 27% พบว่าการเติมแซนแทนกัมทำให้
ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงลดลง จากการทดสอบด้วยวิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่เพื่อหาความชอบของผลิตภัณฑ์
โมเดลจากข้าวที่มีและไม่มีแซนแทนกัม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน พบว่าผู้ทดสอบ 21
คนเลือกผลิตภัณฑ์ที่เติมแซนแทนกัม 0.5% ผลการศึกษาครั้งนี้สามารถนำไปศึกษาสมบัติด้านความคงตัวต่อการ
แช่แข็งและละลาย เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แช่แข็งจากข้าว

พ.ญ.ยุพินทรา ชันติวัฒนะกุล

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

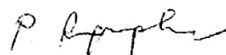
29 / 05 / 2550

Yupintra Khuntiwattanakul 2007: Effect of Xanthan Gum and Guar Gum on Physical Properties of Rice Starches. Master of Science (Agro-Industrial Product Development), Major Field: Agro-Industrial Product Development, Department of Product Development. Thesis Advisor: Associate Professor Rungnaphar Pongsawatmanit, D.Agr. 111 pages.

Effects of xanthan gum and guar gum on physical properties of rice starches were studied. Four rice varieties (RD6, PTT1, SPB60 and CNT1) with different amylose contents were investigated. Swelling power decreased and amylose leaching increased with increasing amylose content in 1% rice starch dispersions. For rice starch/hydrocolloid mixtures, swelling power and amylose leaching decreased with increasing both xanthan and guar gum concentrations. Xanthan gum exhibited higher influence on those properties than guar gum. The RVA pasting properties were determined using 8% rice starch dispersions without hydrocolloids. The peak viscosity and breakdown of rice starches decreased but final viscosity and setback increased with increasing amylose content. Effect of concentrations and types of hydrocolloids on RVA pasting properties of rice starch was different depending on the structures of hydrocolloids and amylose content in the studied systems. Structure-function relationship between rice starches and hydrocolloids played an important role on pasting process. The freeze-thaw stability of 5% rice starch pastes with and without hydrocolloids was investigated using repeated freeze-thaw treatment. For the starch pastes without hydrocolloids, the higher amylose contents exhibited higher water separation. The addition of xanthan or guar gums decreased the water loss from the pastes. Water separations in the rice pastes containing xanthan gum were lower than those containing guar gum. At higher concentration of 20% rice starch gel and starch/hydrocolloid mixtures (mixing ratios 9.75/0.25), the effects of storage temperature (5 and 20 °C) and time (7 days) were evaluated using texture profile analysis (TPA). The effect of amylose contents and both hydrocolloids showed the different gel texture parameters. The longer time and lower temperature enhanced the retrogradation of rice starch gel. Addition of 20% sucrose in rice starch gels increased the elasticity of starch gels of SPB60 and CNT1. In studied model of rice products using commercial rice flour with 27% amylose content, addition of xanthan gum decreased gel hardness. The paired preference test of the rice product models with and without xanthan gum was also conducted using 30 untrained panels. Twenty-one panels selected rice product model containing 0.5% xanthan gum. The results in this study could be applied to study on freeze-thaw stability and development of frozen rice product.

Yupintra Khuntiwattanakul

Student's signature



Thesis Advisor's signature

29 / 05 / 2007

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต ประธานกรรมการที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์ ศศ.ดร. นันทวัน เทอดไทย กรรมการสาขาวิชาเอก อาจารย์สุมนรัตน์ ชื่นพุฒิ กรรมการ
สาขาวิชารอง ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาในระหว่างดำเนินการวิจัยและตรวจแก้วิทยานิพนธ์จนสำเร็จ
ลุล่วง และขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.กล้าณรงค์ ศรีรอด ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้คำแนะนำ
เพิ่มเติมทำให้วิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ทุนอุดหนุนและส่งเสริม
วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอก ประจำปีการศึกษา 2548 ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ และ
ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ อุตสาหกรรมเกษตร ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา รวมทั้งผู้มีพระคุณที่มีได้เอ่ยนามไว้ ณ ที่นี้ทุก
ท่าน สำหรับความรัก ความห่วงใย ความเข้าใจ และกำลังใจที่มีให้มาตลอดจนสำเร็จการศึกษา และ
สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบส่วนที่ดีของวิทยานิพนธ์ให้แก่ครูบาอาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน หาก
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความผิดพลาดประการใด ข้าพเจ้าขออภัยและขอน้อมรับไว้แต่เพียงผู้เดียว

ยุพินทรา ชันดีวัฒนกุล

พฤษภาคม 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	48
สรุปและข้อเสนอแนะ	96
สรุป	96
ข้อเสนอแนะ	97
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	98
ภาคผนวก	105
ภาคผนวก ก แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส	106
ภาคผนวก ข Apparent viscosity ที่ shear rate ต่าง ๆ ของไฮโดรคอลลอยด์	109
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	111

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การแบ่งข้าวเจ้าตามปริมาณอะไมโลส	5
2	ชนิดข้าว และปริมาณอะไมโลสในข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย	5
3	ขนาดและรูปร่างแกรนูลของสตาร์ชจากธัญพืช	8
4	กัม (ไฮโดรคอลลอยด์) ที่ได้จากแหล่งต่างๆ	21
5	สูตรของขนมจากแป้งข้าวที่มีและไม่มีแทนแทนกัม	45
6	องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ	48
7	องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวเจ้าตราช้างสามเศียร	92
8	คะแนนเฉลี่ยความชอบของขนมจากแป้งข้าวที่มีและไม่มีแทนแทนกัม	95
9	ผลการทดสอบแบบ paired preference ของขนมจากแป้งข้าวที่มีและไม่มีแทนแทนกัม	95

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	Scanning electron micrographs ของสตาร์ชข้าวเจ้า (bar = 10 ไมโครเมตร)	8
2	โครงสร้างของอะไมโลส	9
3	ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของแกรนูลสตาร์ชที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็น amorphous และ crystalline ของอะไมโลเพกติน	10
4	โครงสร้างผลึกแบบ A- และ B-type	12
5	สมบัติทางด้านความหนืด (pasting properties) ของสตาร์ช; การเปลี่ยนแปลงแกรนูลสตาร์ชระหว่างกระบวนการเจลาติไนเซชัน (a) ¹ , pasting curves จากเครื่อง RVA (b) ²	14
6	โครงสร้างของแป้งที่เกิดรีโทรกราเดชัน	18
7	กราฟที่ได้จากการทำ Texture Profile Analysis	19
8	ลักษณะโครงสร้างของกัวร์กัม	25
9	ลักษณะโครงสร้างของแซนแทนกัม	26
10	แผนภาพแสดงการเตรียมตัวอย่าง rice starch จากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ	36
11	แผนภาพแสดงการเตรียมขนมจากแป้งข้าวที่มีและไม่มีแซนแทนกัม	46
12	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัว (a) และความสามารถในการละลาย (b) กับปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (ข้าวกข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าวความเข้มข้นร้อยละ 1	50
13	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัว (a) และความสามารถในการละลาย (b) กับเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1	51
14	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัว (a) และความสามารถในการละลาย (b) กับเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
15	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัว (a) และความสามารถในการละลาย (b) กับ เข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 กับไฮโดร คอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1	52
16	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัว (a) และความสามารถในการละลาย (b) กับ เข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 กับไฮโดร คอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1	53
17	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ amylose leaching และปริมาณอะไมโลสของ สตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (ข้าวกข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และ ชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าวความเข้มข้นร้อยละ 1	54
18	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ amylose leaching และความเข้มข้นของไฮโดร คอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และ แซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1	55
19	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ amylose leaching และความเข้มข้นของไฮโดร คอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และ แซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1	55
20	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ amylose leaching และความเข้มข้นของไฮโดร คอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1	56

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ amylose leaching และความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1	56
22	ค่าความหนืดสูงสุด และปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (ข้าว กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าว ความเข้มข้นร้อยละ 8 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	58
23	ค่าความหนืดสูงสุดของสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเหนียว กข 6 (a), สตาร์ชข้าว ปทุมธานี 1 (b), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (c) และสตาร์ชข้าวชัยนาท 1 (d) กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 8 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5 และ 9.25/0.75 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	60
24	ค่า breakdown และปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าว ความเข้มข้นร้อยละ 8 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	62
25	ค่า breakdown ของสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเหนียว กข 6 (a), สตาร์ชข้าว ปทุมธานี 1 (b), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (c) และสตาร์ชข้าวชัยนาท 1 (d) กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 8 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5 และ 9.25/0.75 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	64
26	ค่าความหนืดสุดท้าย และปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (ข้าว กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าว ความเข้มข้นร้อยละ 8 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	65

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ค่าความหนืดสุดท้ายของสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเหนียว กข 6 (a), สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (b), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (c) และสตาร์ชข้าวชัยนาท 1 (d) กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 8 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5 และ 9.25/0.75 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	67
28	ค่า setback และปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าวความเข้มข้นร้อยละ 8 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	68
29	ค่า setback ของสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเหนียว กข 6 (a), สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (b), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (c) และสตาร์ชข้าวชัยนาท 1 (d) กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 8 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5 และ 9.25/0.75 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA	71
30	เปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจากเจลของสตาร์ชข้าว 5% (w/w) ที่จำนวนรอบการแช่แข็งและละลายต่างๆ	73
31	เปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจาก 5% (w/w) เจลของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 ที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 (a), 9/1 (b) และ 8.5/1.5 (c) ที่จำนวนรอบการแช่แข็งและละลายต่างๆ	76
32	เปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจาก 5% (w/w) เจลของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 (a), 9/1 (b) และ 8.5/1.5 (c) ที่จำนวนรอบการแช่แข็งและละลายต่างๆ	77
33	เปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจาก 5 % (w/w) เจลของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 (a), 9/1 (b) และ 8.5/1.5 (c) ที่จำนวนรอบการแช่แข็งและละลายต่างๆ	78

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
34	เปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจาก 5 % (w/w) เจลของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 ที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 (a), 9/1 (b) และ 8.5/1.5 (c) ที่จำนวนรอบการแช่แข็งและละลายต่างๆ	79
35	ค่าความแข็งของเจลสตาร์ชจากข้าวเจ้าที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม ความเข้มข้นรวมร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 หลังจากเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 4 และ 7 วัน สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (a), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (b) และสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (c)	82
36	ค่า cohesiveness ของเจลสตาร์ชจากข้าวเจ้าที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม ความเข้มข้นรวมร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 หลังจากเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 4 และ 7 วัน สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (a), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (b) และสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (c)	84
37	ค่า springiness ของเจลสตาร์ชจากข้าวเจ้าที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม ความเข้มข้นรวมร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 หลังจากเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 4 และ 7 วัน สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (a), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (b) และสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (c)	86
38	ค่า Young's modulus ของเจลสตาร์ชจากข้าวเจ้าที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม ความเข้มข้นรวมร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 หลังจากเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 4 และ 7 วัน สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (a), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (b) และสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (c)	88
39	ค่าความแข็งของสตาร์ชเจลจากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 (a) และชัยนาท 1 (b) ที่มีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวต่อแซนแทนกัม 10/0 และ 9.75/0.25 ของความเข้มข้นร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่มีและไม่มีซูโครสร้อยละ 20	90
40	ค่า cohesiveness ของสตาร์ชเจลจากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 (a) และชัยนาท 1 (b) ที่มีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวต่อแซนแทนกัม 10/0 และ 9.75/0.25 ของความเข้มข้นร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่มีและไม่มีซูโครสร้อยละ 20	90

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
41	ค่า springiness ของสตาร์ชเจดจากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 (a) และชัณนาท 1 (b) ที่มีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวต่อแซนแทนกัม 10/0 และ 9.75/0.25 ของความเข้มข้นร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่มีและไม่มีซูโครสร้อยละ 20	91
42	ค่า Young's modulus ของสตาร์ชเจดจากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 (a) และชัณนาท 1 (b) ที่มีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวต่อแซนแทนกัม 10/0 และ 9.75/0.25 ของความเข้มข้นร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่มีและไม่มีซูโครสร้อยละ 20	91
43	ผลของแซนแทนกัมต่อค่าความแข็ง(a), cohesiveness (b) และ springiness index (c) ของเจดขนมจากแป้งข้าวที่เติมแซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 โดยส่วนผสมของแป้งและกัมรวมร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่เติมซูโครสร้อยละ 20	93
44	ค่า Young's modulus ของเจดขนมจากแป้งข้าวที่เติมแซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 โดยส่วนผสมของแป้งและกัมรวมร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่เติมซูโครสร้อยละ 20	93
ภาพผนวกที่		
ข1	Apparent viscosity ที่ shear rate ต่าง ๆ ของไฮโดรคอลลอยด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส	110

ผลของแซนแทนกัมและกัวร์กัมต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าว

Effect of Xanthan Gum and Guar Gum on Physical Properties of Rice Starches

คำนำ

องค์ประกอบหลักของข้าวคือคาร์โบไฮเดรตในกลุ่มสตาร์ช แป้งข้าวจึงใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร อย่างไรก็ตามผลิตภัณฑ์อาหารไม่คงตัวมีการเปลี่ยนแปลงคุณภาพจากปฏิกิริยาต่างๆ โดยเฉพาะการเกิดรีโทรกราเดชัน (retrogradation) และเกิดการแยกตัวของน้ำ (syneresis) ในระหว่างการเก็บรักษา

พอลิแซ็กคาไรด์ในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์เป็นพวก functional ingredients ที่จัดได้ว่าเป็น food additives ที่มักใช้ในการปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัส การขนถ่าย (handling) และความคงตัว (Imeson, 1999) ระหว่างการเจลาติไนเซชัน สตาร์ชแกรนูลเกิดการพองตัว และสารบางส่วนละลายออกจากสตาร์ชแกรนูล ส่วนมากคืออะไมโลส ส่วนอะไมโลเพกตินยังพองตัวอยู่ในสตาร์ชแกรนูล เมื่อเติมไฮโดรคอลลอยด์ความหนืดในระบบเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำอิสระที่ใช้ในพองตัวของสตาร์ชลดลง ทำให้กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ช ลดลง หลังการเกิดเจลาติไนเซชันเมื่อเย็นตัว อะไมโลสเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นร่างแหสามมิติ เรียกว่าการเกิดรีโทรกราเดชัน ระยะเวลาการเก็บที่เพิ่มขึ้นทำให้การจัดเรียงตัวของโครงสร้างแน่นมากขึ้น โมเลกุลอิสระของน้ำที่อยู่ภายในถูกบีบออกมานอกเจล (syneresis) การเติมไฮโดรคอลลอยด์ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและสามารถควบคุมการเคลื่อนของน้ำ ลดการเกิดรีโทรกราเดชัน ดังนั้นจึงมีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ในสตาร์ช เพื่อปรับปรุงและควบคุมลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์อาหาร ไฮโดรคอลลอยด์ที่นำมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่ ได้แก่ แซนแทนกัม อัลจีเนต และกัวร์กัม เพื่อลดผลการเกิดรีโทรกราเดชันระหว่างการแช่แข็งและการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์ในสภาวะแช่แข็ง การใช้สารเหล่านี้เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของผลึกน้ำแข็ง (Kruger *et al.*, 2003, รุ่นนภา, 2547)

การเติมกัวร์กัมและคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในสตาร์ชข้าว และการเติมไซโคลลูแคนในแป้งมันสำปะหลัง มีผลต่อการเพิ่มค่าความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายของสตาร์ช (Paungprayong and Pongsawatmanit, 2004; Temsiripong, 2005) แซนแทนกัมและไซโคลลูแคน

เพิ่มความคงตัวในการแช่แข็งและละลายของแป้งมันสำปะหลัง (Srijunthongsiri and Pongsawatmanit, 2006; Tamsiripong, 2005)

อย่างไรก็ตามงานวิจัยเกี่ยวกับพอลิแซ็กคาไรด์ในกลุ่มไฮโดรคอลลอยด์ผสมกับสตาร์ชข้าว (mixed biopolymers) ยังมีน้อย เมื่อเทคโนโลยีการผลิตอาหารที่หลากหลายมากขึ้น รวมทั้งการผลิตอาหารให้มีรูปแบบต่างๆ จึงจำเป็นต้องทราบว่าไฮโดรคอลลอยด์ชนิดใดมีสมบัติอย่างไร เพื่อใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ หรือปรับปรุงให้คุณภาพของอาหารมีความคงตัวตลอดอายุการเก็บ

การเติมไฮโดรคอลลอยด์จึงเป็นทางเลือกหนึ่งเพื่อปรับปรุงลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมจากแป้งข้าว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาชนิดและความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าว ที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน และศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากข้าวที่เป็นโมเดล

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดและปริมาณของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชข้าว
2. เพื่อศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของสตาร์ชข้าว
3. เพื่อศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ที่เลือกต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โมเดลจากข้าว

การตรวจเอกสาร

1. ข้าว

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจอันดับหนึ่งของประเทศไทย มีการปลูกกระจายทั่วไปใน ทุกภาคของประเทศไทย โดยข้าวพันธุ์ต่างๆ ในประเทศไทยมีประมาณ 59 พันธุ์ ซึ่งมีปริมาณอะไมโลสตั้งแต่ร้อยละ 0 - 35 (เอกสงวน, 2544) จากผลผลิตที่ได้นำไปส่งออกในรูปของข้าว 7.3 ล้านตัน และส่งออกในรูปของผลิตภัณฑ์จากข้าว ได้แก่ แป้งข้าว เส้นหมี่หรือเส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมปังกรอบ เป็นต้น ซึ่งมีมูลค่า 5.7 พันล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2547) ส่วนที่เหลือจากการส่งออกนำมาใช้บริโภคภายในประเทศและใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ

1.1 การจำแนกชนิดของข้าว

ข้าวเจ้าที่จำหน่ายมีหลายประเภทและมีลักษณะข้าวสุกแตกต่างกันไป ตั้งแต่ข้าวสุกที่นุ่มเหนียวจนถึงข้าวที่สุกร่วนแข็ง ทั้งนี้เนื่องจากในเมล็ดข้าวสารมีองค์ประกอบและสัดส่วนของอะไมโลส และอะไมโลเพกตินแตกต่างกัน

การจัดกลุ่มตามปริมาณอะไมโลส สามารถใช้บ่งชี้คุณภาพของข้าวได้ อัตราส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีสมบัติการหุงต้มและรับประทานต่างกัน ข้าวอะไมโลสต่ำเมื่อข้าวจะคูดน้ำและขยายตัวได้น้อยกว่าข้าวเจ้าหรือข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ข้าวอะไมโลสต่ำที่สุดจะเหนียวและนุ่ม ข้าวอะไมโลสสูงเมื่อข้าวจะคูดน้ำและขยายปริมาตรในระหว่างการหุงต้มได้มากกว่าข้าวอะไมโลสต่ำ ทำให้ข้าวสุกแข็งและร่วน โดยสามารถจำแนกข้าวตามปริมาณอะไมโลสที่เป็นองค์ประกอบได้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การแบ่งข้าวเจ้าตามปริมาณอะไมโลส

ประเภทข้าว	อะไมโลส (ร้อยละ)	คุณภาพข้าวสุก
ข้าวอะไมโลสต่ำมาก (very low)	5.1 - 12.0	นุ่ม - เหนียว
ข้าวอะไมโลสต่ำ (low)	12.1 - 20.0	นุ่ม - เหนียว
ข้าวอะไมโลสปานกลาง (intermediate)	20.1 - 25.0	ร่วน
ข้าวอะไมโลสสูง (high)	25.0 ขึ้นไป	ร่วน - แข็ง

ที่มา: อรอนงค์ (2547)

สำหรับพันธุ์ข้าวที่ปลูกในประเทศไทยสามารถแบ่งกลุ่มได้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชนิดข้าว และปริมาณอะไมโลสในข้าวพันธุ์ต่างๆ ที่ปลูกในประเทศไทย

ชนิดของข้าว	Amylose content (%)	พันธุ์ข้าวในประเทศไทย
ข้าวเหนียว	0 - 2	กข 2, กข 4, กข 6, กข 8, กข 10, สันป่าตอง, เหมยหนอง 62 เอ็ม, หางยี 71, นางฉลอง, ชิวแม่จัน, เขี้ยววง
ข้าวเจ้า	10 - 19 (ต่ำ)	กข 15, กข 21, ขาวดอกมะลิ 105, ปทุมธานี 1, ดอกพะยอม, ข้าวเจ้าหอมสุวรรณบุรี, คลองหลวง, พิษณุโลก 60 - 1, พิษณุโลก 1
	20 - 25 (กลาง)	กข 7, กข 17, กข 25, สุพรรณบุรี 2, สุพรรณบุรี 60, แก้วรวง 88, นางมลเอส - 4, ขาวปากหม้อ 148, หันตรา 60
	26 - 35 (สูง)	กข 1, กข 3, กข 5, กข 9, กข 11, กข 13, กข 19, กข 23, กข 27, ชัยนาท 1, เหลืองประทิว 123, สุพรรณบุรี 1, สุพรรณบุรี 90, น้ำสะกวย 19, พวงไร่ 2, นางพญา 132, เฝือกน้ำ 43, ตะเภาแก้ว 161, เล็บมือนาง 111, ปิ่นแก้ว 56, กุ้มืองหลวง, เหลืองใหญ่, แก่นจันทร์, ปทุมธานี 60, ชุมแพ 60, ปราจีนบุรี 1, พัทลุง 60, ขาวตาแห้ง 17, ลูกแดงปัตตานี, พิษณุโลก 60 - 2, เลี้ยวพัทลุง

ที่มา: เอกสงวน (2544) และพัชรา (2547)

1.2 ฟลาวร์ข้าว (rice flour) และสตาร์ชข้าว (rice starch)

คำศัพท์ 2 คำที่นิยมใช้กัน คือ ฟลาวร์และสตาร์ช โดย Winton (1906) ได้ให้คำนิยามของฟลาวร์ข้าว (rice flour) และสตาร์ชข้าว (rice starch) ไว้ดังนี้

ฟลาวร์ข้าวหรือแป้งข้าว (rice flour) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากการนำเอาข้าวที่ได้จากการสีมาบด ดังนั้นส่วนประกอบของฟลาวร์จึงประกอบด้วยสารอาหารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบเดิมทั้งหมด คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย และแร่ธาตุ เป็นต้น

สตาร์ชข้าว (rice starch) หมายถึง ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาฟลาวร์ข้าวมาผ่านกระบวนการเพื่อกำจัดส่วนของโปรตีนและไขมันที่อยู่ร่วมกับสตาร์ชออกไป ในฟลาวร์ข้าวจะมีโปรตีนประมาณ 4.5-15.9% ไขมันในข้าวมีปริมาณน้อยกว่าโปรตีนมาก ดังนั้นการสกัดสตาร์ชข้าวส่วนใหญ่จะใช้เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการแยกโปรตีนเป็นหลัก โปรตีนของข้าวส่วนมากละลายในด่างได้ ดังนั้นเทคนิคการแช่ข้าวในด่าง (alkaline steeping) เป็นวิธีที่ใช้ทั่วไปสำหรับอุตสาหกรรมและการวิจัยในการผลิต (Bao and Bergman, 2004)

ในการผลิตแป้งข้าวเจ้าในประเทศไทยนั้น ถึงแม้จะเป็นการไม่เปียก แต่โปรตีนและสิ่งแปลกปลอมส่วนใหญ่ยังคงติดอยู่กับแป้ง ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จึงเป็นประเภทฟลาวร์ และนิยมใช้ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง ทั้งนี้เพราะเมื่อนำไปประกอบอาหาร เช่น นำไปทอดจะให้ความกรอบแข็ง หรือนำไปนึ่งเมื่อเย็นลงจะเกิดฟิล์ม ส่วนการผลิตสตาร์ชคือ การสกัดเอาโปรตีนและสิ่งแปลกปลอมในแป้งออกจนเกือบหมด ปัจจุบันในประเทศไทยเริ่มมีการผลิตสตาร์ชข้าวกันบ้างแล้ว กระบวนการผลิตเริ่มจากนำข้าวเปลือกมาล้างทำความสะอาด แยกสิ่งปลอมปนออก แช่ในสารละลายด่างพร้อมกับการกวนช้า ๆ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อแยกโปรตีนที่ติดอยู่กับแป้งออก ปล่อยให้ข้าวตกตะกอน แยกส่วนใสที่มีโปรตีนออก ทำซ้ำขั้นตอนนี้จนกระทั่งเมล็ดข้าวนิ่ม แล้วนำเมล็ดข้าวมาบดเปียกด้วยสารละลายด่าง ล้างน้ำ และเหวี่ยงแยกโปรตีนส่วนที่ติดอยู่ในสารแขวนลอยออก นำมาผ่านไฮโดรไซโคลอน กำจัดน้ำ แล้วทำให้แห้ง จะได้ผลิตภัณฑ์เป็นสตาร์ชข้าวเจ้า (rice starch) ส่วนการผลิตฟลาวร์ข้าวเจ้า (rice flour) มีกระบวนการผลิตเหมือนสตาร์ช แต่ใช้น้ำในการทดแทนการใช้สารละลายด่าง (กัลฉัตรรงค์ และ เกื้อกูล, 2546)

รุ่งทิวา (2543) ได้ศึกษาการเตรียมสตาร์ชข้าวเจ้า (rice starch) ด้วยวิธีการสกัดโดยใช้ต่าง ชนิดของสารละลายที่ให้ประสิทธิภาพในการสกัดดีที่สุดคือสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.45 ให้ประสิทธิภาพในการสกัดโปรตีนออกร้อยละ 81.83 โดยมีร้อยละโปรตีนที่เหลืออยู่ในสตาร์ชข้าวเท่ากับ 1.25

สิริลักษณ์ (2548) เตรียมสตาร์ชข้าวด้วยวิธีการสกัดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.40 จะมีโปรตีนเหลืออยู่ร้อยละ 0.24-0.36

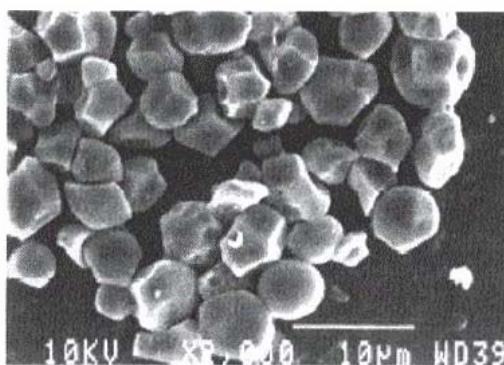
1.3 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ช

สตาร์ช ถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อใช้เป็นสารยึดเกาะ ทำให้เกิดเจล และสารให้เกิดความข้นหนืด (Whistler and BeMiller, 1999) สตาร์ชจากข้าวที่ผ่านการเจลาติไนเซชันแล้วจะมีรสชาติอ่อน มีความเรียบเนียน ความมัน และมีความสามารถในการแพร่กระจาย ซึ่งสมบัติเหล่านี้เหมาะกับการใช้เป็นวัตถุดิบในการทำสตาร์ชได้ดี โดยสตาร์ชจากข้าวไม่ก่อให้เกิดการแพ้ แกรนูลของสตาร์ชจากข้าวมีผิวเรียบ มีรูปทรงหลายเหลี่ยม (polygonal) และขนาดเล็กมากที่สุด ในสตาร์ชจากเมล็ดธัญพืช (ตารางที่ 3) โดยมีขนาดของแกรนูลอยู่ในช่วงระหว่าง 3 – 8 ไมโครเมตร (ภาพที่ 1) เมื่อเปรียบเทียบจะพบว่าสตาร์ชข้าวมีขนาดใกล้เคียงกับ fat globules ที่ผ่านการโฮโมจีไนส์แล้ว (Bao and Bergman, 2004)

ตารางที่ 3 ขนาดและรูปร่างแกรนูลของสตาร์ชจากธัญพืช

แหล่งที่มาของสตาร์ช	ขนาดของแกรนูล (ไมโครเมตร)	รูปร่างของแกรนูล
ข้าวโพด	5 – 25	กลมแบนมีหลายเหลี่ยม
ข้าวสาลี	2 – 38	กลมค่อนข้างรี
ข้าวโอ๊ต	5 – 15	กลม
ข้าวบาร์เลย์	2 – 5	กลมคล้ายไข่
ข้าวฟ่าง	4 – 24	กลมแบนมีหลายเหลี่ยม
ข้าวไรน์	12 – 40	กลมค่อนข้างรี
ข้าวเจ้า	3 – 8	หลายเหลี่ยม

ที่มา: ดัดแปลงจาก Liu (2005)

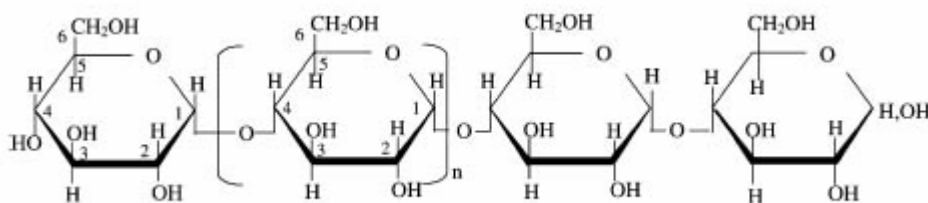


ภาพที่ 1 Scanning electron micrographs ของสตาร์ชข้าวเจ้า (bar =10 ไมโครเมตร)

ที่มา: Bao and Bergman (2004)

1.3.1 อะไมโลส

อะไมโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage (ภาพที่ 2) น้ำหนักโมเลกุลของอะไมโลส ประมาณ 10^6 ดาลตัน (Whistler and BeMiller, 1999)



ภาพที่ 2 โครงสร้างของอะไมโลส

ที่มา: Juliano (1972)

อะไมโลสไม่ละลายน้ำ เนื่องจากโมเลกุลของอะไมโลสเป็นสายยาวจึงสามารถ จับคู่กับอะไมโลสอีกโมเลกุลหนึ่ง เป็นสายยาวคู่ขนานเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน

อะไมโลสสามารถรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน เช่น กรดไขมัน surfactant และสารละลายที่มีขั้ว (polar agent) อะไมโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีน ให้สารสีน้ำเงิน ในการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสในสตาร์ช อาศัยสมบัติดังกล่าว และวัดค่าสีที่เกิดขึ้นโดยวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 nm (Cui, 2005) เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก ปริมาณอะไมโลสในการทดลองจะรายงานเป็น amylose equivalent (db)

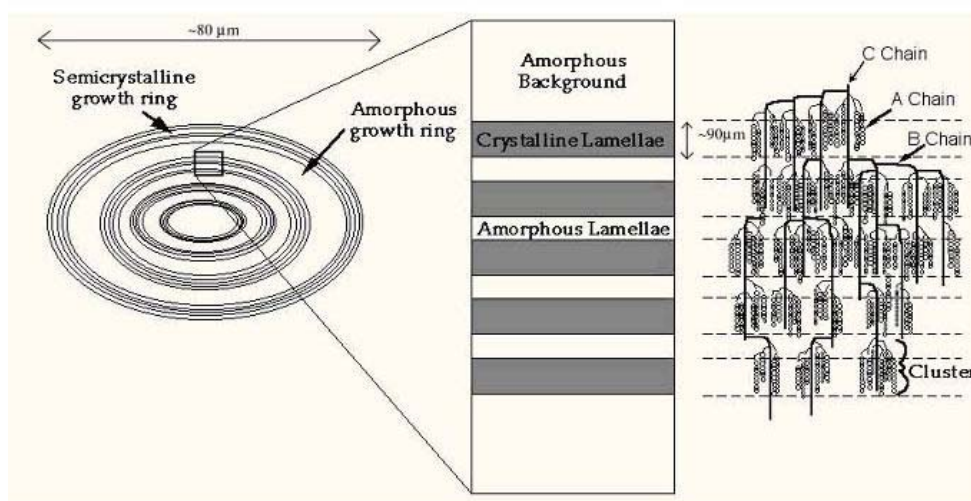
1.3.2 อะไมโลเพกติน

อะไมโลเพกตินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งก้านที่เป็นกลูโคสสายสั้น มี DP อยู่ในช่วง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6-glucosidic linkage มีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของปริมาณหน่วยกลูโคสในอะไมโลเพกติน ทั้งหมด ความยาวของสายกิ่งของอะไมโลเพกตินมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นผลึก

ของสตาร์ช ซึ่งความยาวของกิ่งจะมีผลต่อการเกิดเจลลาติโนเซชัน รีโทรกราเดชัน และสมบัติการเกิดเพสต์ของสตาร์ช (Jane *et al.*, 1999) ในสตาร์ชข้าวพบว่าอะไมโลเพกตินสายสั้น (DP 6 – 9) เพิ่มกำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวที่อุณหภูมิ 55 และ 65 องศาเซลเซียส และลดการเกิดรีโทรกราเดชันของอะไมโลเพกติน แต่อะไมโลเพกตินสายยาว (DP 12 – 22) กลับให้ผลตรงกันข้าม เนื่องจากสายโซ่ที่สั้น (DP < 12) นั้นความยาวของกิ่งไม่พอจึงไม่สามารถการเกิดโครงสร้างแบบเกลียวคู่ระหว่างการเกิดรีโทรกราเดชัน และการเกิดรีโทรกราเดชันส่วนใหญ่จะเกิดจากโครงสร้างผลึกใหม่ของอะไมโลสและอะไมโลเพกตินสายยาว (Vandeputte *et al.*, 2003a, 2003b)

เนื่องจากอะไมโลเพกตินมีลักษณะโครงสร้างที่เป็นกิ่ง ประกอบด้วยสาย (chain) 3 ชนิด (ภาพที่ 3) คือ

- (1) สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)
- (2) สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า โครงสร้างอะไมโลเพกตินประกอบด้วยสาย A และ B ในอัตราส่วน 1:1
- (3) สาย C (C-chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ ในอะไมโลเพกตินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น (กล้านรงค์ และ เกื้อกุล, 2546)



ภาพที่ 3 ไดอะแกรมแสดงโครงสร้างของแกรนูลสตาร์ชที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็น amorphous และ crystalline ของอะไมโลเพกติน

ที่มา: Jenkins and Donald (1995)

1.3.3 องค์ประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตในสตาร์ช

สตาร์ชโดยทั่วไปจะมีองค์ประกอบที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตประมาณ 0.5 – 2% โดยจะมีปริมาณโปรตีนประมาณ 0.05-0.5%, ปริมาณไขมันประมาณ 0.1-1.7% และเถ้าประมาณ 0.1-0.3% (Cui, 2005)

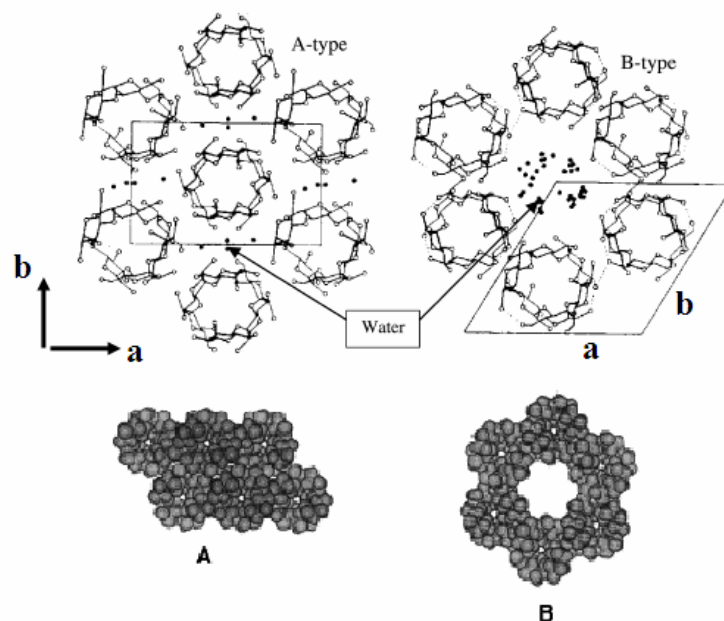
1.4 โครงสร้างผลึกและส่วนอสัณฐานภายในแกรนูลของสตาร์ช

สตาร์ชมีโครงสร้างเป็น semi-crystalline มีส่วนที่เป็นผลึก (crystallite) ส่วนอสัณฐาน (amorphous) ส่วนที่เป็นชั้นผลึกนี้เกิดจากแอมิโลเพกทินแต่ละโมเลกุลในหลายๆ ไมเซล (micelles) เชื่อมต่อกันเป็นร่างแหสามมิติด้วยพันธะไฮโดรเจน (กลั่นรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

สามารถใช้จำแนกสตาร์ชตามโครงสร้างผลึก โดย X-ray diffraction pattern โดยสามารถจำแนกสตาร์ชได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

- 1) A-type พบในสตาร์ชจากธัญพืช เช่น สตาร์ชจากข้าว ข้าวโพด ข้าวสาลี มีโครงสร้างแบบ monoclinic unit cell ($a = 2.124 \text{ nm}$, $b = 1.172 \text{ nm}$, $c = 1.069 \text{ nm}$ และ $\gamma = 123.5^\circ$) มีโมเลกุลของน้ำ 8 โมเลกุลต่อเซลล์
- 2) B-type พบในสตาร์ชจากพืชหัว เช่น สตาร์ชจากมันฝรั่ง สตาร์ชจากข้าวโพด ที่มีปริมาณแอมิโลสสูง และพบในสตาร์ชที่เกิดรีโทรกราเดชัน มีโครงสร้างแบบ hexagonal unit cell ($a = b = 1.85 \text{ nm}$, $c = 1.04 \text{ nm}$) มีน้ำ 36 โมเลกุลต่อเซลล์
- 3) C-type มีลักษณะโครงสร้างผสมระหว่าง A-type และ B-type พบในสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว สตาร์ชจากมันสำปะหลัง

โครงสร้างผลึกของ A และ B type จัดเรียงโครงสร้างเป็นแบบเกลียวสองชั้นของ glucose residues โดย 1 เซลล์จะประกอบด้วย 12 glucose residues (ภาพที่ 4) จากการจัดเรียงโครงสร้างพบว่า A-type มีโครงสร้างหนาแน่นกว่า B type จึงสามารถจับโครงสร้างกับโมเลกุลของน้ำได้น้อยกว่า (Zobel and Stephen, 1995)



ภาพที่ 4 โครงสร้างผลึกแบบ A- และ B-type

ที่มา: Cui (2005)

นอกจาก A, B และ C type แล้ว บางครั้งยังปรากฏลักษณะ V-type ซึ่งแสดงถึงโครงสร้างผลึกที่ซับซ้อนที่เกิดจากการจับกันของแอมิโลสและแอลกอฮอล์ที่เป็นเส้นตรง ไอโอดีน หรือกรดไขมัน ลักษณะ V-type นี้จะพบในสตาร์ชที่มีปริมาณแอมิโลสมากกว่าหรือเท่ากับร้อยละ 40 เช่น ในสตาร์ชข้าวโพดที่มีการดัดแปลงพันธุกรรม (Eliasson, 1996)

1.5 สมบัติพื้นฐานของสตาร์ช

1.5.1 กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลาย (swelling power และ water solubility index)

เมื่อเติมน้ำลงในแป้งและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องแป้งจะดูดซับน้ำ ปริมาณน้ำที่ถูกดูดซับจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ โดยแป้งดิบจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลาติไนซ์ เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลที่อยู่ใกล้ ๆ กัน หรือ water bridges และสามารถพองตัวในน้ำเย็นได้เล็กน้อย ซึ่งเป็นการพองตัวในลักษณะผันกลับได้ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารผสมน้ำแป้งเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งจะเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย และความหนืดเพิ่มขึ้น (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546; Whistler and BeMiller, 1999)

Li and Yeh (2001) ได้ทำการศึกษา กำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายของฟลาวร์และสตาร์ชจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อสมบัติดังกล่าว คือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นกำลังการพองตัวและความสามารถในการละลายจะมีค่าสูงขึ้น

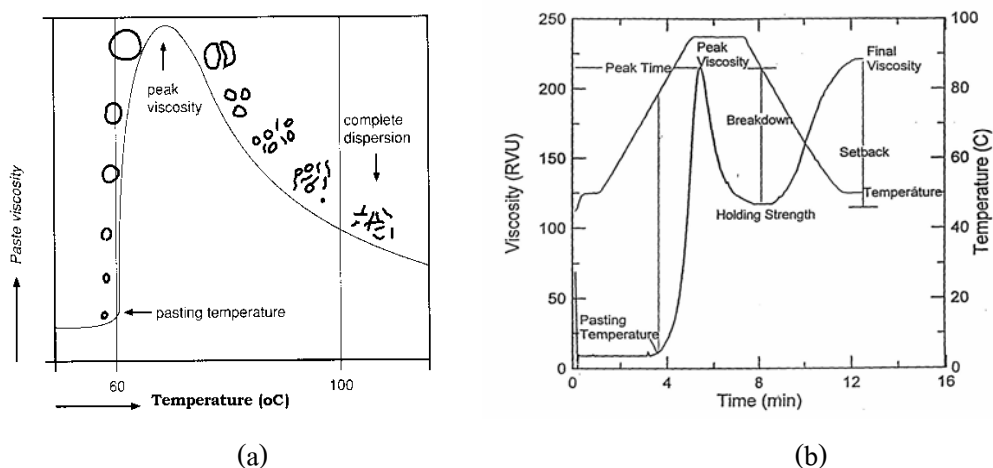
Sasaki and Matsuki (1998) กล่าวว่า สมบัติของสตาร์ชมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้าย เช่น ความขาวขุ่นในผลิตภัณฑ์เส้นก๋วยเตี๋ยว เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนและมีน้ำเพิ่มขึ้น สตาร์ชแกรนูลจะมีการพองตัวและเพิ่มปริมาตรมากขึ้น

1.5.2 ปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ช

ระหว่างที่มีการให้ความร้อนในเวลาเดียวกันที่มีการดูดซับของน้ำ มีวัตถุประสงค์ให้ออกมาจากแกรนูลของสตาร์ช สิ่งที่จะออกมาคือโมโนสเป็นส่วนมาก และอาจจะมียะโมโนเพกตินขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ช และสภาวะการ leaching (Tester and Morrison, 1990)

1.5.3 สมบัติด้าน pasting (pasting properties)

เมื่อให้ความร้อนกับสารแขวนลอยแป้งอย่างต่อเนื่อง จะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อถึงอุณหภูมิวิกฤติ เม็ดแป้งคูดน้ำไว้ในปริมาณมาก และพองตัวหลายเท่าจากขนาดของเม็ดแป้งเดิมอย่างรวดเร็วจนเกิดการพองตัวแบบไม่ผันกลับ เรียกว่าเจลาติไนเซชัน ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางรีโอโลยีของสารแขวนลอยแป้ง สารแขวนลอยจะเริ่มข้น มีความหนืดมากขึ้น ดังภาพที่ 5 (a) เมื่ออุณหภูมิของสารแขวนลอยสูงกว่าอุณหภูมิเจลาติไนเซชัน เม็ดแป้งจะพองอย่างมากทำให้สารแขวนลอยมีความหนืดมากขึ้นขณะกวน (shearing) ซึ่งสามารถวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงความหนืดที่เกิดขึ้นได้ด้วยเครื่อง Rapid ViscoAnalyser (RVA) แสดงผลเป็น pasting curve ดังภาพที่ 5 (b) สำหรับค่าความหนืดที่วิเคราะห์ได้มีหน่วยเป็น RVU ซึ่งค่าความหนืด 1 RVU เท่ากับ 12 cP (Newport Scientific, 1995)



ภาพที่ 5 สมบัติทางด้านความหนืด (pasting properties) ของสตาร์ช; การเปลี่ยนแปลงแกรนูลสตาร์ช ระหว่างกระบวนการเจลาติไนเซชัน (a)¹, pasting curves จากเครื่อง RVA (b)²

ที่มา: ¹ Whistler and BeMiller (1999)

² Newport Scientific (1995)

อุณหภูมิที่ทำให้ค่าความหนืดมีการเพิ่มขึ้นอย่างมาก เรียกว่า pasting temperature สำหรับค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นค่าที่ใช้บอกถึงความสามารถในการจับน้ำของแป้งหรือส่วนผสม และบอกถึงความหนืดที่ต้องใช้ในการผสมหรือกวนให้ความร้อน โดย peak viscosity เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไป รวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้โครงสร้างภายในแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสที่มีขนาดเล็กจะกระจายตัวออกจากเม็ดแป้ง ความหนืดของสารละลายแป้งจะลดต่ำลง เมื่อระบบลดอุณหภูมิจาก 95 องศาเซลเซียสเป็น 50 องศาเซลเซียส จะมีการจัดเรียงตัวใหม่ระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์เกิดขึ้น โดยโมเลกุลอะไมโลสจะเกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างแหสามมิติขึ้น โมเลกุลอะไมโลสที่ออกมาจากเม็ดแป้งที่อยู่ใกล้กันจะเข้ามาเรียงตัวและเกาะเกี่ยวกันเอง เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสทำให้ได้ลักษณะโครงสร้างใหม่ที่เกิดเป็นเจล ความหนืดของแป้งจะเพิ่มขึ้นจนได้ระดับหนึ่งเรียกว่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) ส่วนค่า setback เป็นค่าความหนืดที่เพิ่มขึ้นเมื่อให้ระบบเย็นลง ซึ่งคำนวณจากผลต่างของค่าความหนืดต่ำสุดและความหนืดสุดท้าย ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการรีโทรกราเดชัน หรือกระบวนการที่มีการจัดระเบียบใหม่ของโมเลกุล ค่า setback จึงมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ต่างๆ (Newport Scientific, 1995)

Weerapong *et al.* (2004) ศึกษาสมบัติทางด้านความหนืดด้วย RVA จากข้าวที่ผ่านการบดพันธุ์ กข 6, ข้าวดอกมะลิ 105, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 ที่มีปริมาณอะไมโลส (7, 17, 24 และ 33% ตามลำดับ) และขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน (ต่ำกว่า 150 μm , 150 - 212 μm , 212 - 300 μm และ 300 - 425 μm) จากการศึกษาค่าการพองตัวของข้าวที่ผ่านการบดทั้ง 4 พันธุ์พบว่า ลำดับค่าการพองตัวของข้าวที่ผ่านการบดดังนี้ กข 6 > ข้าวดอกมะลิ 105 > สุพรรณบุรี 60 > ชัยนาท 1 เนื่องจากผลของปริมาณอะไมโลส จากกราฟ RVA พบว่า pasting temperature เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอะไมโลสและขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น ส่วนค่า peak viscosity ลดลงเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นจาก 17 ถึง 33% และค่า peak viscosity มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสสูง สำหรับ final viscosity และค่า setback มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น แต่เมื่อขนาดอนุภาคแตกต่างกัน final viscosity และค่า setback ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

1.5.4 เจลาตินในเซชัน (gelatinization)

เจลาตินในเซชันเป็นเทอมที่ใช้ในการบอกลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างที่สารละลายสตาร์ชได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงกว่าค่าหนึ่งที่ทำให้เม็ดแป้งพองตัวและเปลี่ยนโครงสร้างไป เมื่อข้าวที่มีน้ำอยู่ด้วยได้รับความร้อน สตาร์ชในข้าวจะดูดซับน้ำแล้วพองตัวจนถึงจุดหนึ่งที่มีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางรีโอโลยีอย่างมาก เรียกว่าเจลาตินในเซชัน สามารถตรวจสอบได้โดยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงพลังงาน โดยอาศัยหลักการที่ว่าทั้งตัวอย่างและสารอ้างอิง ต้องอยู่ที่อุณหภูมิเดียวกัน ในกระบวนการให้ความร้อน หรือทำให้เย็นลงด้วยอัตราที่ตั้งไว้ แสดงผลเป็น thermal curve (กล้านรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

1.5.5 รีโทรกราเดชัน (retrogradation)

เมื่อให้ความร้อนแก่เม็ดแป้งจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวมากขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กที่กระจัดกระจายจะแตกออกมาทำให้มีค่าความหนืดลดลง และเมื่อปล่อยให้ระบบเย็นตัวลง อะไมโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจับเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติใหม่ที่ไม่สามารถอุ้มน้ำและดูดน้ำเข้ามาอีกได้ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า รีโทรกราเดชัน (retrogradation) โดยโมเลกุลของอะไมโลเพกตินสามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้จากการรวมตัวกันของกิ่งก้านที่สั้น และใช้ระยะเวลาในการเกิดรีโทรกราเดชันนานกว่าโมเลกุลของอะไมโลส ถ้าปล่อยให้อุณหภูมิต่ำลงอีก ทำให้เกิดการจับเรียงตัวของโครงสร้างแน่นขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำที่เคยจับอยู่ก่อนถูกบีบกันออกไปจากเจล (syneresis) ความหนืดจะเพิ่มขึ้น (กล้านรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

การคืนตัวของสตาร์ชขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ชนิดของสตาร์ช ความเข้มข้นของสตาร์ช กระบวนการให้ความร้อน กระบวนการให้ความเย็น อุณหภูมิ ระยะเวลา ความเป็นกรด-เบส (pH) ของสารละลาย ปริมาณและขนาดของอะไมโลส อะมิโลเพกติน และองค์ประกอบทางเคมีอื่นๆ (กล้านรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

ปริมาณและขนาดของอะไมโลสมีความสำคัญต่อการคืนตัวของสตาร์ช สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดการคืนตัวได้มากและเร็วกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสเพกตินสูง อัตราในการคืนตัวจะสูงสุด (การละลายต่ำที่สุด) เมื่อขนาดโมเลกุล (degree of polymerization) ของอะไมโลสเท่ากับ 100 ถึง 200 อัตราการคืนตัวจะลดลงเมื่อโมเลกุลของอะไมโลสยาวหรือสั้นกว่านี้ ในการทำให้อะไมโลสที่คืนตัวกลับมาละลายได้อีกครั้งต้องใช้อุณหภูมิสูงถึง 100 ถึง 160 องศาเซลเซียส อะไมโลเพกตินจะมีผลทำให้เกิดการคืนตัวน้อยมาก (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

การตรวจสอบความสามารถในการเกิดรีโทรกราเดชัน ของสตาร์ชแต่ละชนิด อาจประมาณได้จากค่าการคืนตัว (setback) ของสตาร์ช ซึ่งเป็นค่าผลต่างระหว่างความหนืดสุดท้ายกับความหนืดสูงสุด (setback from peak) หรือความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (setback from trough) โดยเครื่อง Brabender หรือ Rapid visco analyzer นอกจากนี้การเกิดรีโทรกราเดชัน ของสตาร์ชสามารถวัดได้โดยการใช้เครื่อง DSC โดยนำสตาร์ชดิบไปหาค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาติในเซชัน แล้วนำสตาร์ชที่ผ่านการเกิดเจลลาติในเซชัน นี้ไปต้มไว้ในสภาวะที่กำหนดเพื่อให้เกิดรีโทรกราเดชัน แล้วนำสตาร์ชที่เกิดรีโทรกราเดชัน แล้วไปตรวจสอบด้วยเครื่อง DSC อีกครั้ง และสามารถวัดโดยใช้ลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความแข็งของเจล

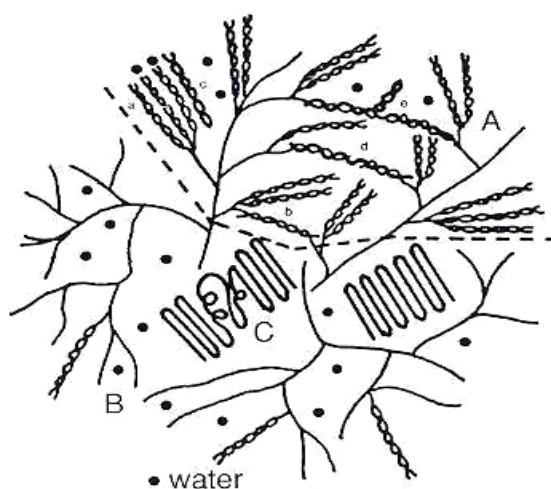
นอกจากนี้การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชจะทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำจากเจล (syneresis) ซึ่งจะสัมพันธ์กับสมบัติความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็ง (freeze-thaw stability) ของสตาร์ช โดยสตาร์ชที่มีการเกิดรีโทรกราเดชันได้ดีจะมีค่าคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งต่ำ ในขณะที่สตาร์ชที่เกิดรีโทรกราเดชัน ต่ำจะมีค่าคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งสูง ดังนั้นการวัดความคงตัวต่อการคืนรูปจากเยือกแข็งจึงสามารถใช้ประเมินการเกิดรีโทรกราเดชัน ของสตาร์ชได้ (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

Bowers (1992) ได้กล่าวถึงโครงสร้างของเม็ดแป้งที่เกิดรีโทรกราเดชัน โดยพิจารณาถึงอะไมโลเพกตินที่แผ่ขยาย ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ 3 ส่วน ตามโครงสร้างที่จัดเรียงตัวในการเกิดรีโทรกราเดชัน (ภาพที่ 6) ได้แก่

Domain A = เป็นส่วนที่มีอะไมโลเพกตินรวมตัวอยู่มากโดยที่มีการจัดเรียงตัวโครงสร้างเป็นแบบ double helical structures ในส่วนนี้อาจมีอะไมโลสสายสั้นๆอยู่รวมด้วย

Domain B = สายอะไมโลเพกตินยังคงพันกันและกระจายอยู่ในน้ำใน domain นี้ น่าจะเป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสถานะระหว่างการเกิดเจล กับการเกิดรีโทรกราเดชันให้มีลักษณะเหมือน domain A

Domain C = ประกอบไปด้วยส่วนของอะไมโลสโครงสร้างใหม่ที่สร้างขึ้นมาในช่วงการเกิดรีโทรกราเดชัน ทันทีที่มีการทำให้เย็น

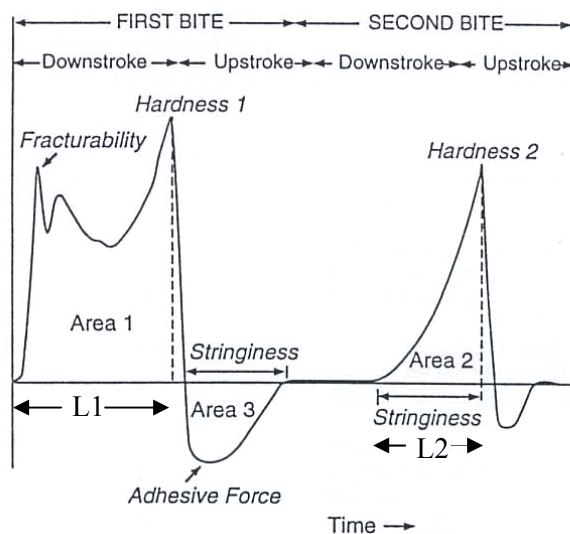


ภาพที่ 6 โครงสร้างของแป้งที่เกิดรีโทรกราเดชัน

ที่มา: Bowers (1992)

1.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลแป้ง (Texture Profile Analysis; TPA)

การวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสแบบนี้จะออกแบบเครื่องมือและวิธีการทดสอบให้มีการทำงานคล้ายกับการเคี้ยวของมนุษย์ เรียกการวัดค่าแบบนี้ว่า Imitative test หรือเรียกอีกอย่างว่า texture profile analysis (ธงชัย, 2549)



ภาพที่ 7 กราฟที่ได้จากการทำ Texture Profile Analysis

ที่มา: Bourne (2002)

กราฟที่ได้จากการวัด texture profile analysis จะเป็นกราฟระหว่างค่าแรง (N) และเวลา ซึ่งสามารถแปลงผลเป็นค่าต่าง ๆ ได้ ดังนี้

- ความแข็ง (hardness) หมายถึง ค่าแรงสูงสุดจากกราฟ TPA ที่เกิดขึ้นในการกดตัวอย่าง ครั้งที่ 1 (first stroke) ค่า hardness ที่วัดได้มีหน่วยเป็นนิวตัน
- ความแตกเปราะหรือแตกหัก (fracturability or brittleness) คือค่าแรงที่เกิดขึ้นจากการกดครั้งที่ 1 (first stroke) ณ จุดที่ตัวอย่างอาหารนั้นเกิดการแตกหักภายใน โครงสร้างอาหารที่ซึ่งจะสังเกตได้จากกราฟ TPA มียอดแหลมแรก (first peak) เกิดขึ้นก่อนที่จะเกิดค่าแรงสูงสุดในยอดแหลมถัดไป ความแตกเปราะหรือแตกหักจะมีเฉพาะในตัวอย่างอาหารบางชนิด เช่น ตัวอย่างอาหารที่มีความกรอบแข็ง เช่น ขนมขบเคี้ยว ความเปราะ เช่น ลูกกวาด ลูกอม เป็นต้น ค่าการแตกหักที่วัดได้มีหน่วยเป็นนิวตัน
- Cohesiveness เป็นค่าบอกลักษณะการเกาะรวมตัวกันเหนียวแน่นมากน้อยหลังจากการที่ตัวอย่างถูกกดซ้ำ 2 ครั้ง คำนี้นหาได้จากอัตราส่วนของการนำเอาพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่ 2 หารด้วยพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่ 1 ($\text{area 2} / \text{area 1}$) หากค่าอัตราส่วนที่หาได้มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าตัวอย่างอาหารนั้น โครงสร้างภายในเกาะตัวดี การบดเคี้ยวตัวอย่างต้องใช้พลังงานมากในการทำลายตัวอย่างให้แตกหักหรือแยกออกจากกัน ค่า cohesiveness ที่คำนวณได้ไม่มีหน่วย เนื่องจากเป็นค่าอัตราส่วนเปรียบเทียบ

- การกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม (springiness) คือ ความสามารถของตัวอย่างเมื่อได้รับแรงกระทำแล้วหลังจากถอนแรงออกสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมของตัวอย่างได้มากน้อยเพียงไร ค่านี้สามารถหาได้ 2 วิธี

1) คำนวณจากระยะทางเป็นมิลลิเมตร (mm) ตามแนวแกนเวลาของกราฟ TPA ที่เกิดขึ้นในขณะกดครั้งที่ 2 เรียก ระยะทาง (L2) นี้ว่าค่า springiness

2) คำนวณมาจากอัตราส่วนของระยะทางที่เกิดขึ้นตามแนวแกนเวลาของกราฟ TPA ที่เกิดขึ้นในขณะกดครั้งที่ 2 (L2) หารด้วยตามแนวแกนเวลาของกราฟ TPA ที่เกิดขึ้นในขณะกดครั้งที่ 1 (L1) เรียกสัดส่วน L2 /L1 ว่าค่า springiness index

- การเกาะติดผิว (adhesiveness) คือคุณลักษณะของอาหารที่มีความเหนอะเป็นกาวสามารถเกาะติดผิวอื่นๆที่ตัวอย่างอาหารไปสัมผัสได้เช่น หัวกด ค่านี้หาได้จากพื้นที่ใต้กราฟที่เกิดขึ้นหลังจากถอนแรงกดออกจากตัวอย่างออกไปแล้ว (Area 3) ค่า adhesiveness ที่หาได้มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร หรือ จูล

- พลังงานในการเคี้ยว (chewiness) คือคุณลักษณะด้านทานการบดเคี้ยวเพื่อให้มีขนาดเล็กลงหรือแยกออกเป็นชิ้นเล็กที่เกิดขึ้นในตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นของแข็งเท่านั้นว่ามีมากน้อยเพียงไร ค่านี้คำนวณได้จากผลคูณของค่า 3 ค่าคือ hardness x cohesiveness x springiness โดยค่า chewiness ที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็นนิวตันเมตร หรือ จูล

- ระดับความเป็นกาวยางหรือแป็งเป็ยก (gumminess) คือคุณลักษณะกาวยางหรือแป็งเป็ยกที่เกิดขึ้นในตัวอย่างที่มีลักษณะเป็นกึ่งของแข็งขณะบดเคี้ยวว่ามากน้อยเพียงไร ค่านี้หาได้จากผลคูณของ ค่า hardness x cohesiveness ค่า gumminess ที่คำนวณได้ มีหน่วยเป็นนิวตัน(ธงชัย, 2549)

เจลแป็งที่มีลักษณะแข็งขึ้นแสดงถึงการเกิดการคืนตัวของแป็งหรือการเกิดรีโทรกราเดชัน การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถศึกษาได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่า Young' s modulus (E) โดยหาได้จากความลาดชันเชิงเส้นตรงของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ค่าโมดูลัสเป็นค่าที่บ่งบอกความยืดหยุ่นของวัสดุ (elasticity) ซึ่งแสดงลักษณะเส้นกราฟอุดมคติของความเค้นและความเครียดที่ได้จากการวัดค่าแรงกด และพารามิเตอร์เหล่านี้นิยมใช้ในการแสดงผลของการวัดค่าแรงกดในเจลแป็ง (ปีดิพร, 2546; ธงชัย, 2549)

2. ไฮโดรคอลลอยด์

ไฮโดรคอลลอยด์หมายถึง พอลิแซ็กคาไรด์และโปรตีนต่างๆ ที่ปัจจุบันนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและใช้ความเข้มข้นน้อยกว่า 1% สำหรับใช้เป็นสารให้ความหนืดหรือทำให้เกิดเจล เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและใช้เป็นสารให้ความคงตัวแก่ผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเก็บ

เมื่อเทคโนโลยีการผลิตอาหารที่หลากหลายมากขึ้น รวมทั้งการผลิตอาหารให้มีรูปแบบต่างๆ จึงจำเป็นต้องทราบว่าไฮโดรคอลลอยด์ชนิดใดมีสมบัติอย่างไร เพื่อใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ หรือปรับปรุงให้คุณภาพของอาหารมีความคงตัวตลอดอายุการเก็บ (รุ่งนภา, 2547; Phillips and Williams, 2000)

2.1 การแบ่งชนิดของไฮโดรคอลลอยด์

ไฮโดรคอลลอยด์สามารถแบ่งตามแหล่งที่มาของวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต โดยสามารถแบ่งเป็น ไฮโดรคอลลอยด์ผลิตจาก พืช, สาหร่าย, จุลินทรีย์ และ จากสัตว์ (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 กัม (ไฮโดรคอลลอยด์) ที่ได้จากแหล่งต่างๆ

แหล่งที่มา	ไฮโดรคอลลอยด์
พืช	
ต้น	เซลลูโลส
ยางและสารสกัด	กัมอะราบิก กัมคารายา กัมทรากาแคน
plant	สตาร์ช เพกทิน เซลลูโลส
เมล็ด	กัวร์กัม โคลัสปีนกัม ทารากัม กัมจากมะขาม
พืชหัว	กาแลคโตแมนแนน
สาหร่าย	
สาหร่ายสีแดง	วุ้น คาราจีแนน
สาหร่ายสีน้ำตาล	อัลจีเนต
จุลินทรีย์	แซนแทนกัม เดกซ์แทรน เจลแลนกัม เซลลูโลส
สัตว์	เจลาติน เคซีนท โปรตีนเวย์ ไคโตแซน

ที่มา: คัดแปลงจาก Phillips and Williams (2000)

2.2 สมบัติทั่วไปของไฮโดรคอลลอยด์

2.2.1 การกระจายตัวในน้ำ

ในการเตรียมสารละลายกัม ต้องทำให้กัมกระจายตัวในน้ำอย่างเต็มที่เพื่อให้กัมทำหน้าที่ได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากกัมเหล่านี้มีสมบัติเป็นไฮโดรฟิลิกจึงคูดน้ำได้อย่างรวดเร็วและเกาะตัวกันเป็นก้อน

การทำให้กัมกระจายตัวในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องให้อนุภาคของกัมแต่ละอนุภาคที่ประกอบกันเป็นผงแห้ง สามารถแยกออกจากกันได้อย่างอิสระเมื่อเติมในน้ำ เพื่อป้องกันการจับเป็นกลุ่ม เนื่องจากอนุภาคของกัมบางส่วนคูดน้ำแล้วพองตัวที่ด้านนอก หุ้มส่วนของกัมที่ไม่คูดน้ำและเป็นผงแห้งอยู่ภายใน (รุ่งนภา, 2547)

การทำให้เกิดการกระจายตัวในน้ำที่ดี ทำได้ด้วยดังนี้

- ก. ใช้เครื่องผสมที่มีประสิทธิภาพสูง
- ข. การกระจายผงแห้งในน้ำมันหรือตัวทำละลายที่ละลายได้ในน้ำ เช่น แอลกอฮอล์
- ค. ผสมกัมกับส่วนประกอบแห้งอื่นๆ ในสูตร เช่นน้ำตาลหรือเกลือก่อนนำไปละลายน้ำ

2.2.2 ความหนืด

ไฮโดรคอลลอยด์ใช้ในการเพิ่มความข้นหนืดในอาหารอย่างแพร่หลาย โดยความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ดังนี้ (รุ่งนภา, 2547)

- ก. น้ำหนักโมเลกุลและความเข้มข้นของพอลิเมอร์ โดยความหนืด ณ อัตราเฉือนหนึ่งๆ จะเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักโมเลกุลหรือความเข้มข้นเพิ่มขึ้น
- ข. ขนาดไฮโดรไดนามิกของโมเลกุลพอลิเมอร์ โครงสร้างของโมเลกุลมีผลต่อขนาดไฮโดรไดนามิกของโมเลกุลพอลิเมอร์อย่างมาก โมเลกุลที่เป็นเส้นตรงมีขนาดไฮโดรไดนามิก

มากกว่าโมเลกุลที่มีแขนงมากกว่าเมื่อสารมีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกัน โดยโครงสร้างที่มีขนาดไฮโดรไดนามิกมากจะให้ค่าความหนืดสูง

ค. พอลิเมอร์ที่มีประจุ (charged polymers) มีความหนืดสูงกว่าพอลิเมอร์ที่ไม่มีประจุเมื่อมีน้ำหนักโมเลกุลใกล้เคียงกันเนื่องจาก molecular coil จะขยายตัวจากแรงผลักประจุระหว่างโมเลกุล การเติมสารอิเล็กโทรไลต์หรือการปรับความเป็นกรดต่างเพื่อลดระดับของการแยกออกจากกันของกลุ่มที่มีประจุทำให้เกิดการอัดแน่นของคอลล์และมีผลทำให้ความหนืดลดลง

2.2.3 การเกิดเจล

การเกิดเจล เป็นการเปลี่ยนสถานะของเฟสเข้าไปเป็นสถานะที่คล้ายของแข็งหรือเป็นเจล และเป็นผลจากความสามารถของสารหรือไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำให้เป็นเจล ที่มีลักษณะเป็น โครงสร้างตาข่ายสามมิติที่เกิดจากสายโซ่โมเลกุลแต่ละสายมาเกี่ยวพันกันในลักษณะเฉพาะตัว

พอลิแซ็กคาไรด์บางชนิด เช่น แชนแทนกัม มีแนวโน้มที่สายโซ่ระหว่างโมเลกุลจะเชื่อมต่อกันอย่างบางเบาในสารละลาย ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่าย 3 มิติ โดยส่วนสายโซ่ระหว่างโมเลกุล (junction zone) ที่เชื่อมต่อนี้สามารถทำให้แตกได้ง่าย และโครงสร้างตาข่ายจะถูกทำลาย ในขณะที่พอลิแซ็กคาไรด์อื่นๆ เช่น อะไมโลส วุ้น คาร์ราจีแนน และเจแลนกัน สามารถเกิดเป็นเจลที่มีการเชื่อมต่อกันของสายโซ่ระหว่างโมเลกุล (junction zone) ที่เสถียร และผลทำให้เกิดโครงสร้างเจลที่แข็งแรง

วิธีการมาตรฐานที่ใช้สำหรับการวัดความแข็งแรงของเจล (gel strength) ที่สามารถเปรียบเทียบตัวอย่างที่แตกต่างกัน จากการเตรียมไฮโดรคอลลอยด์ที่ทำให้เกิดเจลชนิดเดียวกัน จะใช้การวัดสมบัติทางรีโอโลยีอื่นๆ เช่น การหาความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น (stress) กับ ความเครียด (strain) หรือการหาการเปลี่ยนแปลงของเนื้อสัมผัส (texture profile) (รุ่งนภา, 2547)

เจลจากไฮโดรคอลลอยด์ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ

(1) เจลที่สามารถย้อนกลับได้ด้วยความร้อน (thermoreversible gels) โดย เจลที่เกิดขึ้นเมื่อทำให้เย็นลงหลังให้ความร้อน และสามารถย้อนกลับไปเป็นโซล (sol) เช่น เจลของ K-คาร์ราจีแนน และวุ้นเป็นต้น ซึ่งได้จากการให้ความร้อนถึงระดับหนึ่ง เมื่อทำให้เย็นลงจะได้เจลเกิดขึ้น แต่เมื่อให้ความร้อนจะได้ลักษณะที่เรียกว่าโซลกลับมา ในการเกิดเจลของวุ้นขึ้นเมื่อทำให้เย็น โดยโมเลกุลผ่าน coil-helix transition ตามด้วยการเกิด aggregate ของ helices

(2) เจลที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ด้วยความร้อน (non-thermoreversible gels) คือ เจลที่อาจเกิดจากการเหนียวน้ำด้วยสายโมเลกุลพอลิเมอร์ที่ทำให้มีการครีอสลิงกับประจุใดวาเลนซ์ เช่น Ca^{2+} ทำให้ได้เจลที่คงตัวต่อความร้อน เช่น เจลอัลจีเนต

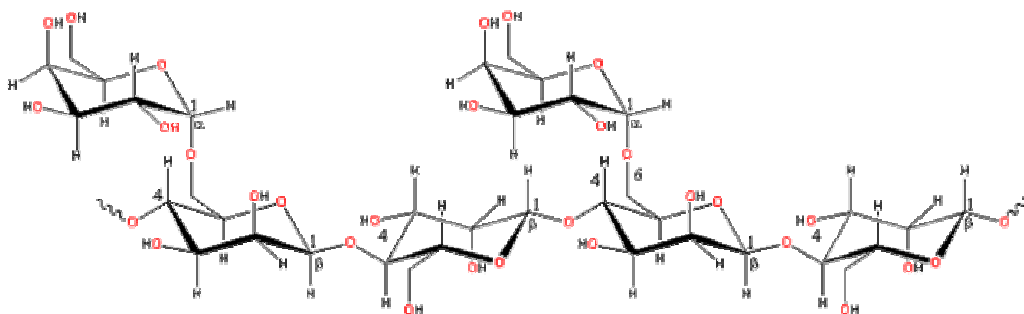
2.3 การใช้ประโยชน์ของไฮโดรคอลลอยด์

การเลือกไฮโดรคอลลอยด์ที่จะนำไปใช้ เราจำเป็นต้องพิจารณาสมบัติทางด้านรีโอโลยีของสารละลายหรือเจล โดยการเลือกไฮโดรคอลลอยด์เพื่อทำให้เกิดความข้นหนืดในตัวอย่าง เราจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยต่อไปนี้ เกรดความหนืด ปริมาณของกัมที่ต้องการเพื่อให้ได้ความหนืดเหมาะสมหรือได้ค่าความแข็งแรงของเจลที่ต้องการ ต้นทุน ความเป็นกรด่างของระบบ อุณหภูมิระหว่างการแปรรูปและเวลาที่อยู่นั้น แต่ละอุณหภูมิ อันตรกิริยา (interaction) กับส่วนประกอบอาหารอื่นๆ เนื้อสัมผัสที่ต้องการและความง่ายต่อการกระจายตัวกับเครื่องมือที่มีอยู่ (รุ่งนภา, 2547)

2.3.1 กัวร์กัม (guar gum)

โครงสร้างโมเลกุลของกัวร์กัมเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกาแลคโตแมนแนนมีน้ำหนักโมเลกุล 220,000 – 250,000 คาลตัน ในโมเลกุลประกอบด้วยน้ำตาลแมนโนสที่ต่อกันด้วยพันธะ β -(1-4) และมีแขนงของน้ำตาลกาแลคโตสหนึ่งโมเลกุลต่อทุกๆ 2 โมเลกุลของน้ำตาลแมนโนส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -(1-6) ทำให้อัตราส่วนของน้ำตาลแมนโนสต่อกาแลคโตสเป็น 2:1 ทำให้กัวร์กัมสามารถไฮเดรตน้ำ ให้ความหนืดสูงและจะให้ความหนืดสูงสุดหลังจากไฮเดรตน้ำนาน 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิสูง (ต่ำกว่า 80 องศาเซลเซียส) ขึ้นจะสามารถละลายได้มากขึ้นและมีความหนืดเพิ่มขึ้นด้วย (Fox, 1999)

กัวร์กัมจะใช้เป็นสารเพิ่มความหนืด เพิ่มความคงตัว และช่วยอุ้มน้ำ ความหนืดของสารละลายกัวร์กัมจะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ พีเอช เวลา ความเข้มข้น การกวน และขนาดของอนุภาค เมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นความหนืดของสารละลายกัวร์กัมจะเพิ่มขึ้นด้วย (นิธิยา, 2549)



ภาพที่ 8 ลักษณะโครงสร้างของกัวร์กัม

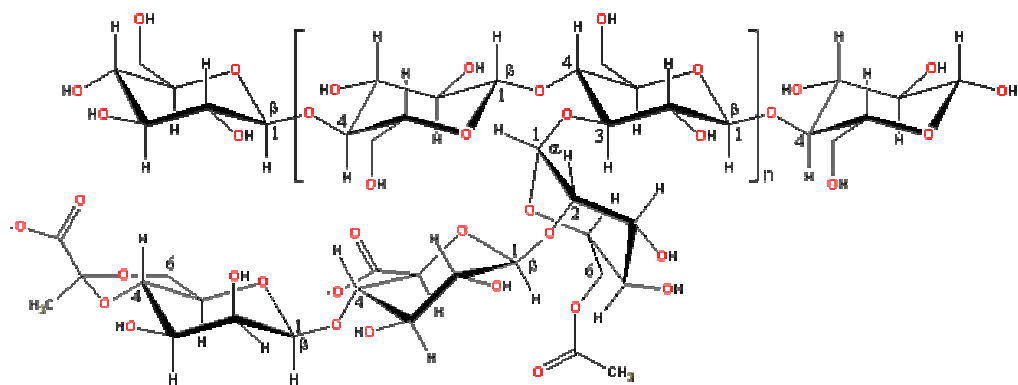
ที่มา: Chaplin (2004)

2.3.2 แชนแทนกัม (xanthan gum)

แชนแทนกัมได้จากกระบวนการหมักของจุลินทรีย์ในกลุ่ม *Xanthomonas* ชนิดที่ใช้ผลิตในระดับอุตสาหกรรม คือ *Xanthomonas campestris* เป็นเฮเทอโรพอลิแซ็กคาไรด์ที่มีน้ำตาลกลูโคส แมนโนส และกรดกลูคูโรนิก ในอัตราส่วน 2.8:3:2 มีหมู่อะซิติลร้อยละ 4.7 และกรดไพรูวิกประมาณร้อยละ 3 โดยน้ำตาลกลูโคสต่อกับแมนโนสด้วยพันธะ β -1,4 และน้ำตาลแมนโนสที่เป็นสายแขนงต่อกับสายหลักด้วยพันธะ 1,2 และ 1,3 ส่วนกรดกลูคูโรนิกต่อกันด้วยพันธะ β -1,2

สารละลายแชนแทนกัมให้ความหนืดสูงแม้ที่ความเข้มข้นต่ำ มีความคงตัวสูงต่อความร้อน ความหนืดของสารละลายแชนแทนกัมจะคงที่ ถึงแม้อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลงในช่วง 0 - 100 องศาเซลเซียส และแสดงลักษณะการเป็นซูดอพลาสติกสูง คือความหนืดมีค่าลดลงมากเมื่อให้แรงเฉือนเพิ่มขึ้น แต่ไม่มีสมบัติการเปลี่ยนแปลงความหนืดตามระยะเวลา (thixotropic) สมบัติการเป็นซูดอพลาสติกนี้เกิดจากโครงสร้างเฉพาะตัวของแชนแทนกัม เมื่ออยู่ในสารละลายแชนแทนกัมจะสร้างโครงสร้างร่างแหระหว่างโมเลกุลของแชนแทนกัมมีโครงข่ายคล้ายเจล weak net (semi rigid

conformation) เมื่อมีแรงมากระทำ เช่น เมื่อได้รับแรงเฉือนจากการกวน จะเปลี่ยนโครงสร้างจากไปเป็น rod like conformation โดยแรงเฉือนจะทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่แบบชั่วคราวและผันกลับได้อย่างสมบูรณ์ สมบัตินี้เป็นประโยชน์มากเมื่อนำมาใช้ในกระบวนการผลิต เช่น การกวน การขึ้นรูป การนวด การเท การเกิดโฟมและอิมัลชัน โดยช่วยลดแรงที่ต้องใช้ในกระบวนการผลิตให้น้อยลง แซนแทนกัมไม่มีสมบัติเป็น gelling agent แต่สามารถเกิด weak gel ได้ (Urlacher and Noble, 1999)



ภาพที่ 9 ลักษณะโครงสร้างของแซนแทนกัม

ที่มา: Chaplin (2004)

3. เจลผสมระหว่างไฮโดรคอลลอยด์กับสตาร์ช

ไฮโดรคอลลอยด์ เป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เรียกว่า มาโครโมเลกุล (macromolecules) เมื่อโมเลกุลของมาโครโมเลกุลที่อยู่ในสารละลาย จะจับตัวกับโมเลกุลอื่นที่อยู่ใกล้กัน และปล่อยโมเลกุลของน้ำที่เคยจับอยู่ให้หลุดออกมา โดยการจับตัวเช่นนี้มักเกิดกับแป้ง ส่วนการจับตัวแบบอื่นที่พบ คือโมเลกุลแต่ละโมเลกุลของมาโครโมเลกุลมีการจับตัวกับโมเลกุลอื่นมากกว่า 1 ตำแหน่ง ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติ เรียกว่าการเกิดเจล โดยมีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ทั่ว ๆ ไป และโมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ไม่ได้เมื่อแทรกตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลในร่างแห ทำให้เกิดเจลที่แข็งตัว และมีรูปร่างแน่นอน ขณะที่เจลเริ่มแข็งตัวครั้งแรกจะมีลักษณะเหนียว และจะค่อย ๆ แข็งตัวเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนมีรูปร่าง เนื่องจากโมเลกุลของมาโครโมเลกุลภายในเจลเกาะตัวกันแน่นเป็นตาข่ายเพิ่มมากขึ้น และมีการปล่อยน้ำออกมาจากโมเลกุลด้วย (นิธิยา, 2549; Whistler and Daniel, 1990)

เมื่อพอลิแซ็กคาไรด์ 2 ชนิดมารวมกันสามารถเกิดปรากฏการณ์ได้ 2 รูปแบบ คือ

ก. การเกี่ยวพันกัน (association) เป็นกลไกการเชื่อมติดกันในขั้นตอนแรก ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาสัมพันธ์ระหว่างไอออนของไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุต่างกัน ส่วนในขั้นตอนที่สองจะเป็นปฏิกิริยาสัมพันธ์ของปัจจัยเสริมในโมเลกุลของไฮโดรคอลลอยด์ โดยจะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นและมีการเกิดเจล ไฮโดรคอลลอยด์ที่มีประจุตรงข้ามกันมีความเป็นไปได้ที่จะเกิดการเกี่ยวพันกันเมื่อมีการรวมตัวกัน และอาจมีการตกตะกอนเกิดขึ้น ในขณะที่โมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์บางชนิด จะมีการรวมกลุ่มกันแล้วทำให้เกิดเจลขึ้น

ข. การไม่เกี่ยวพันกัน (no association) ถ้าพอลิเมอร์ทั้งสองชนิดเข้ากันได้จะเกิดเป็นเฟสเดียว แต่ถ้าเข้ากันไม่ได้จะแบ่งออกเป็นสองเฟส ที่ระดับความเข้มข้นต่ำไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิดที่รวมตัวกันจะยังคงอยู่เป็นเฟสเดียวกัน (single homogeneous phase) แต่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ไฮโดรคอลลอยด์ทั้งสองจะแยกจากกันเกิดเป็นเฟสของของเหลว 2 เฟส (Phillips and Williams, 2000)

Christianson *et al.* (1981) ทำการศึกษาการเกิดเจลาตินในเซชันของเจลผสมระหว่างสตาร์ช ข้าวสาลีและแซนแทนกัม พบว่า อุณหภูมิเริ่มต้นของการเกิดเจลาตินในสัลดต่ำลง และความหนืดสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น การรวมตัวกันของอะไมโลสและแซนแทนกัมช่วยลดอัตราการเกิดรีโทรกราเดชัน และเปลี่ยนแปลงสมบัติของเจลที่เกิดขึ้น

Ferrero *et al.* (1990) กล่าวว่า การเติมแซนแทนกัมในสตาร์ชข้าวโพดช่วยเพิ่มความคงตัวต่อการแช่แข็งและป้องกันการสร้างเนื้อสัมผัสแบบ spongy ทำให้ได้เนื้อสัมผัสของตัวอย่างที่เนียน เมื่อไม่มีการแช่แข็ง โดยแซนแทนกัมจะช่วยป้องกันการเกิดรีโทรกราเดชันของอะไมโลเพกติน และการเกิดผลึกน้ำแข็งต่อไป

Ward and Andon (1993) กล่าวว่า การนำกัมมาใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารขบเคี้ยวจะช่วยในการกักเก็บความชื้น ทำให้มีอายุการเก็บที่ดี มีความคงตัวในกระบวนการ freeze-thaw และการเติมกัมลงในสตาร์ชเป็นการดัดแปรสตาร์ชเพื่อให้สตาร์ชมีสมบัติที่ดีกว่าสตาร์ชจากธรรมชาติ

Bahnassey and Breene (1994) กล่าวว่า การเติมไฮโดรคอลลอยด์เข้าไปในระบบที่มีสตาร์ชอยู่ จะทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของสตาร์ชในระหว่างการพองตัว และความหนืดของสตาร์ชที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ในระบบเมื่อผ่านการให้ความร้อน และทำให้เย็นจะสูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ได้เติมไฮโดรคอลลอยด์ ซึ่งการเพิ่มขึ้นของความหนืดขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะทางเคมีของสตาร์ชและไฮโดรคอลลอยด์แต่ละชนิด โดยในการเกิด เจลาตินในเซชันของสตาร์ช เม็ดแป้งจะพองตัวและแตกออก อะไมโลสถูกปลดปล่อยออกมาข้างนอกโมเลกุล อะไมโลเพกตินที่ยังคงอยู่ข้างในจะขยายตัว เม็ดแป้งถูกทำลาย ไฮโดรคอลลอยด์ที่เติมเข้าไปในระบบจะทำปฏิกิริยากับอะไมโลสที่อยู่ข้างนอกสตาร์ชเกิดเป็น โครงสร้างที่แข็งแรงรอบ ๆ โมเลกุลของสตาร์ชที่เกิดเจลาตินในส (Kruger *et al.*, 2003) ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ไฮโดรคอลลอยด์ยังที่มีผลทำให้สตาร์ชเกิดการเจลาตินในสได้ช้าลงอีกด้วย

Gurkin (2002) ได้ศึกษาการใช้กัมเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ tortilla พบว่าเมื่อใช้กัมที่มีความเข้มข้นต่ำเพียงร้อยละ 0.1 - 0.3 สามารถช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เนื้อสัมผัสการจับตัวกับน้ำ และการเกาะติดกันดีขึ้น โดยกัมมีผลทำให้ผลิตภัณฑ์ที่เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิห้องมีอายุการเก็บที่นานขึ้น เพิ่มความคงตัว และรักษาความยืดหยุ่นได้ดี

Ward and Andon (2002) ศึกษาเกี่ยวกับกัมที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ขนมอบและผลิตภัณฑ์จากข้าวฟ่าง ซึ่งช่วยในเรื่องของ film former, adhesive และ gelling agent พบว่า แซนแทนกัมมีความคงตัวที่อุณหภูมิสูงเป็นข้อดีในการนำไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ทำให้เกิดเจลที่มีความยืดหยุ่นดีขึ้น และเพิ่มความคงตัวในกระบวนการ freeze-thaw โดยผลิตภัณฑ์ขนมอบเติมแซนแทนกัมร้อยละ 0.1-0.15 จะมีการยึดติดกับน้ำที่ดี

Mandala and Bayas (2004) ศึกษาผลของ yellow mustard mucilage ที่เกิดปฏิกิริยาสัมพันธ์กับสตาร์ชจากข้าวและข้าวสาลี พบว่า การพองตัวและการละลายของสตาร์ชที่ผสมกับ yellow mustard mucilage มีค่าลดลง ซึ่งอาจจะเกิดจากพันธะไฮโดรเจนของเม็ดแป้ง โดยแซนแทนกัมที่ผสมกับสตาร์ชจะทำให้โมเลกุลของสตาร์ชมีการพองตัวเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ (75 องศาเซลเซียส) อะไมโลสถูกปลดปล่อยออกมามากขึ้น แต่ที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 85 องศาเซลเซียส) การปลดปล่อยของอะไมโลสจากโมเลกุลของสตาร์ชจะถูกจำกัด สารละลายแซนแทนกัมที่เข้มข้นจะอยู่รอบ ๆ เม็ดแป้งที่พองตัวทำให้เม็ดแป้งได้รับแรงเฉือนมากขึ้น แซนแทนกัมมีโครงสร้างเกี่ยวข้องกับอะไมโลสที่หลุดออกทำให้การเกาะติดและการเกี่ยวพันกันของโครงสร้างร่างแหพอลิเมอร์ในส่วนของอะไมโลสและอะไมโลเพกดินไม่แข็งแรง อะไมโลสไม่ทำปฏิกิริยาสัมพันธ์กับแซนแทนกัมในส่วนเฟสต่อเนื่อง

Paungprayong and Pongsawatmanit (2004) ได้ศึกษาผลของไบโอพอลิเมอร์ (guar gum และ CMC) ต่อสมบัติทางด้านความหนืดของสตาร์ชจากข้าวพันธุ์ทุมธานี 1 ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA โดยกำหนดให้ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์คงที่ 10% (w/w) และผสมไบโอพอลิเมอร์ 0, 0.1, 0.3 และ 0.5% (w/w) พบว่าการเติม guar gum และ CMC มีผลต่อสมบัติทางด้านความหนืด โดยเมื่อความเข้มข้นของกัมเพิ่มขึ้น ค่า peak viscosity และ final viscosity เพิ่มขึ้น ส่วนค่า setback ของสตาร์ชจากข้าวที่ประกอบด้วย guar gum และ CMC ให้ผลแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและหน้าที่ของสตาร์ชและกัมมีบทบาทสำคัญต่อสมบัติทางด้านความหนืดของระบบได้

Brennan *et al.* (2004) ได้ศึกษาผลของ pasting properties, เจลาติโนเซชัน และ ความคงตัว ทางด้านการแช่แข็งและละลายของสตาร์ชข้าวโพด พบว่าแซนแทนกัมมีผลให้ค่า peak และ final viscosity ของเพสต์สตาร์ชเพิ่มขึ้น และการเติมแซนแทนกัมสามารถช่วยในการปรับปรุงความคงตัว

ทางด้านกรแช่แข็งและละลายเนื่องจากเซนแทนกัมจะช่วยจับน้ำเอาไว้ และช่วยลดการเกิดรีโทรกราเดชันของแป้งได้

Pongsawatmanit *et al.* (2005) ศึกษาผลของการเติมไซโลกลูแคนต่อสมบัติด้านความหนืดและความคงตัวของแป้งมันสำปะหลังที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ในอัตราส่วนต่างๆ โดยมีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์คงที่ 5% (w/w) พบว่า ไซโลกลูแคนมีผลให้ค่า peak และ final viscosity เพิ่มขึ้น และจากการทดสอบความคงตัวทางด้านกรแช่แข็งและละลาย พบว่าแป้งของแป้งมันสำปะหลังที่เติมไซโลกลูแคนมีความคงตัวทางด้านกรแช่แข็งและละลายดีกว่าแป้งมันสำปะหลังอย่างเดียว เนื่องจากมีการแยกตัวของน้ำน้อยกว่าแป้งสตาร์ชมันสำปะหลังอย่างเดียว

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. วัตถุดิบและสารเคมี

1.1 วัตถุดิบ

- 1.1.1 ข้าวพันธุ์กข 6 แหล่งปลูกจังหวัดกาฬสินธุ์ ปีเพาะปลูก 2546
- 1.1.2 ข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 แหล่งปลูกจังหวัดปทุมธานี ปีเพาะปลูก 2546
- 1.1.3 ข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 แหล่งปลูกจังหวัดสุพรรณบุรี ปีเพาะปลูก 2546
- 1.1.4 ข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 แหล่งปลูกจังหวัดปราจีนบุรี ปีเพาะปลูก 2546

ตัวอย่างข้าวทั้งหมดบรรจุในถุงพลาสติกชนิด High density polyethylene โดยปิดผนึกแบบสุญญากาศและเก็บไว้ในห้องเย็นอุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ตลอดการทดลอง

1.1.5 แป้งข้าวเจ้า (ผลิตวันที่ 31 ธันวาคม 2549, ตราช้างสามเศียร, บริษัท โรงเส้นหมี่ขอสง จำกัด, ประเทศไทย)

1.2 สารเคมี

- 1.2.1 กัวร์กัม (Lot no. FD 105 บริษัท เบอร์ลี่ยุคเกอร์ จำกัด, ประเทศไทย)
- 1.2.2 แซนแทนกัม (Lot no. SatiaxaneTM CX บริษัท Degussa Texturant Systems Thailand Ltd., ประเทศไทย)
- 1.2.3 อะไมโลสมาตรฐาน (Amylose Type III from potato, Lot 043K3778, A-0512 บริษัท Sigma Aldrich Co., ประเทศสหรัฐอเมริกา)

2. อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพ

2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดสาร

- 2.1.1 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Sigma model 2-16, ประเทศเยอรมัน)
- 2.1.2 ตู้อบลมร้อน (Binder FD115, ไชแอนติฟิสิกโพรโมชั่น, ประเทศไทย)
- 2.1.3 Ultra centrifugal mill (รุ่น ZMI, Retsch, ประเทศเยอรมัน)
- 2.1.4 Ro-tab (รุ่น AS200, Retsch, ประเทศเยอรมัน)

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี

- 2.2.1 เครื่องมือวิเคราะห์โปรตีนแบบ Kjeldahl (Buchi distillation Unit B-324, Buchi, ประเทศสวิตเซอร์แลนด์)
- 2.2.2 ตู้อบลมร้อน (HV 6, ไชแอนติฟิสิกโพรโมชั่น, ประเทศไทย)
- 2.2.3 เตาเผา (Muffle, Stuart Scientific, ประเทศอังกฤษ)
- 2.2.4 สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-160A, Shimadzu, ประเทศญี่ปุ่น)
- 2.2.5 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius BS 224 S, ไชแอนติฟิสิกโพรโมชั่น, ประเทศไทย)
- 2.2.6 อ่างน้ำควบคุมความร้อนแบบเขย่า (Memmert model 600, ประเทศเยอรมัน)
- 2.2.7 เครื่องหมุนเหวี่ยง (Sigma model 2-16, ประเทศเยอรมัน)

2.3 อุปกรณ์ที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ

- 2.3.1 เครื่องวัดลักษณะเนื้อสัมผัส Texture analyzer (รุ่น TA500, Lloyd Instrument, ประเทศอังกฤษ)
- 2.3.2 เครื่องวิเคราะห์ความหนืดแบบรวดเร็ว (Rapid visco analyser model RVA 4D, Newport Scientific, ประเทศออสเตรเลีย)

วิธีการ

1. วัตถุดิบ

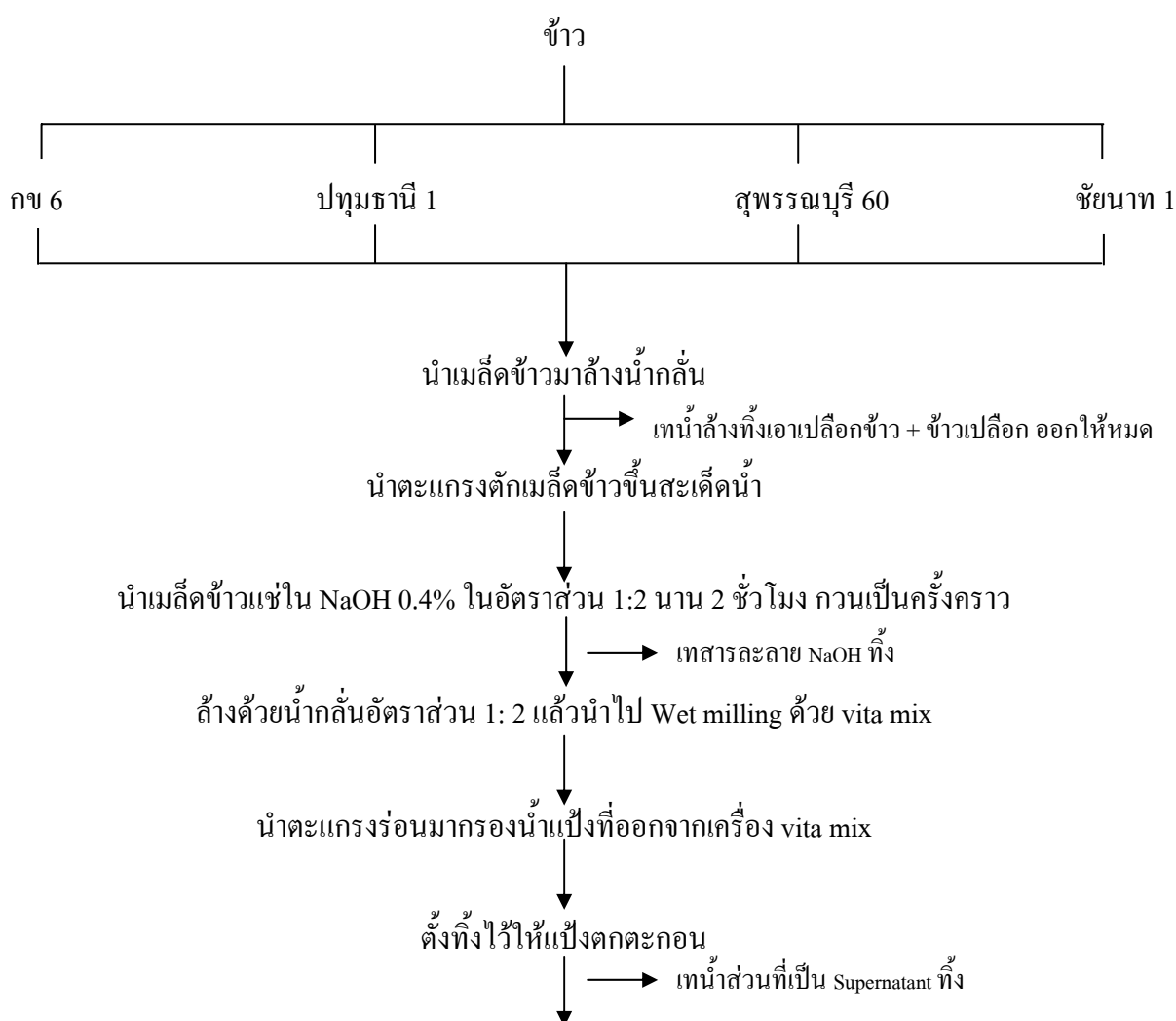
ในการทดลองนี้ใช้ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสแตกต่างกัน ได้แก่ ข้าวเหนียวพันธุ์ข 6 ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 บรรจุแบบสุญญากาศ ขนาด 500 กรัมต่อถุง ถุงพลาสติกเป็น high density polyethylene เก็บในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ตลอดการทดลอง

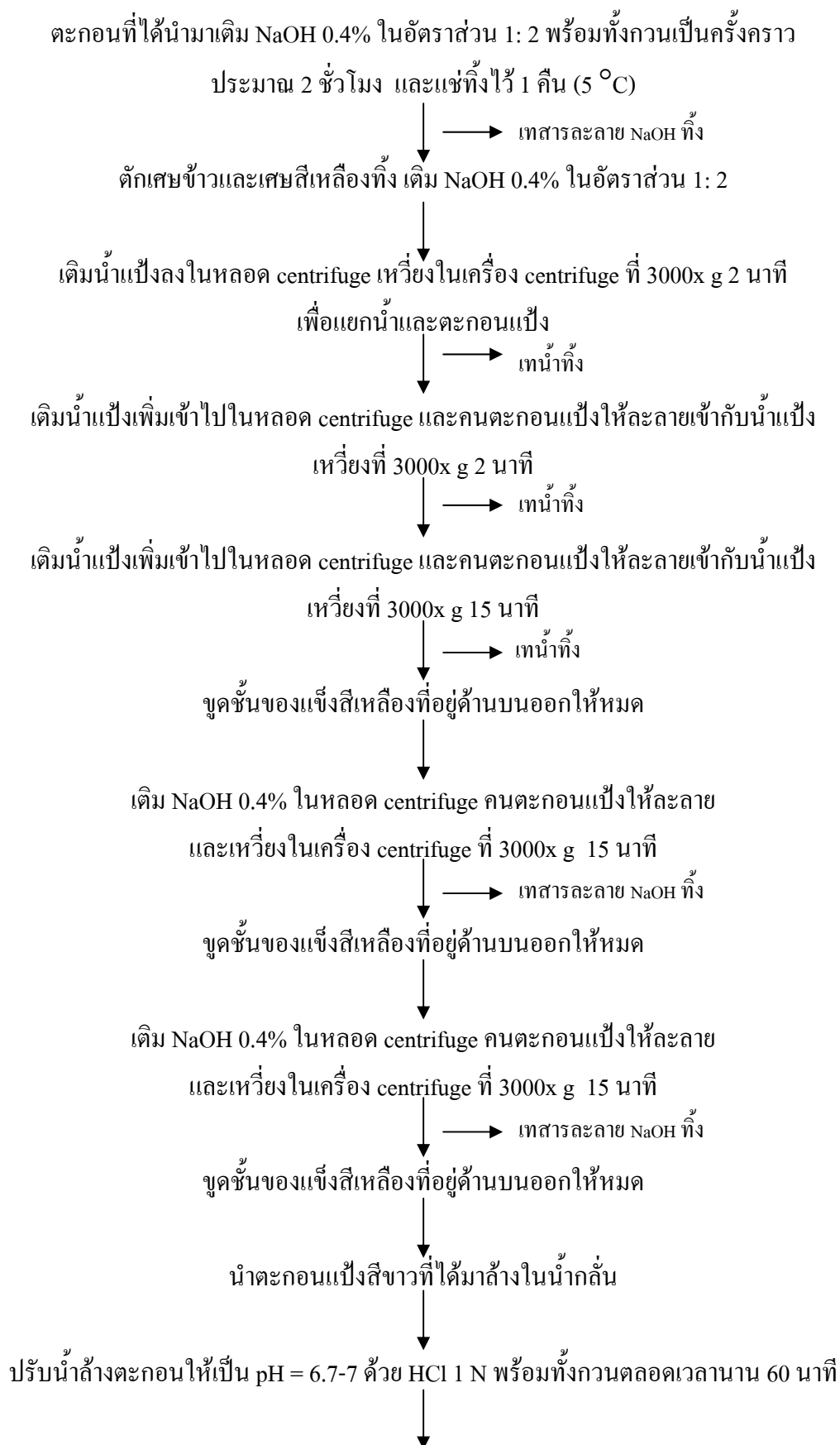
ไฮโดรคอลลอยด์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ กัวร์กัมและแซนแทนกัม เก็บในเคสิเคเตอร์ที่วางไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส วิเคราะห์ความชื้นโดยอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส 6 ชั่วโมง (AOAC, 1995)

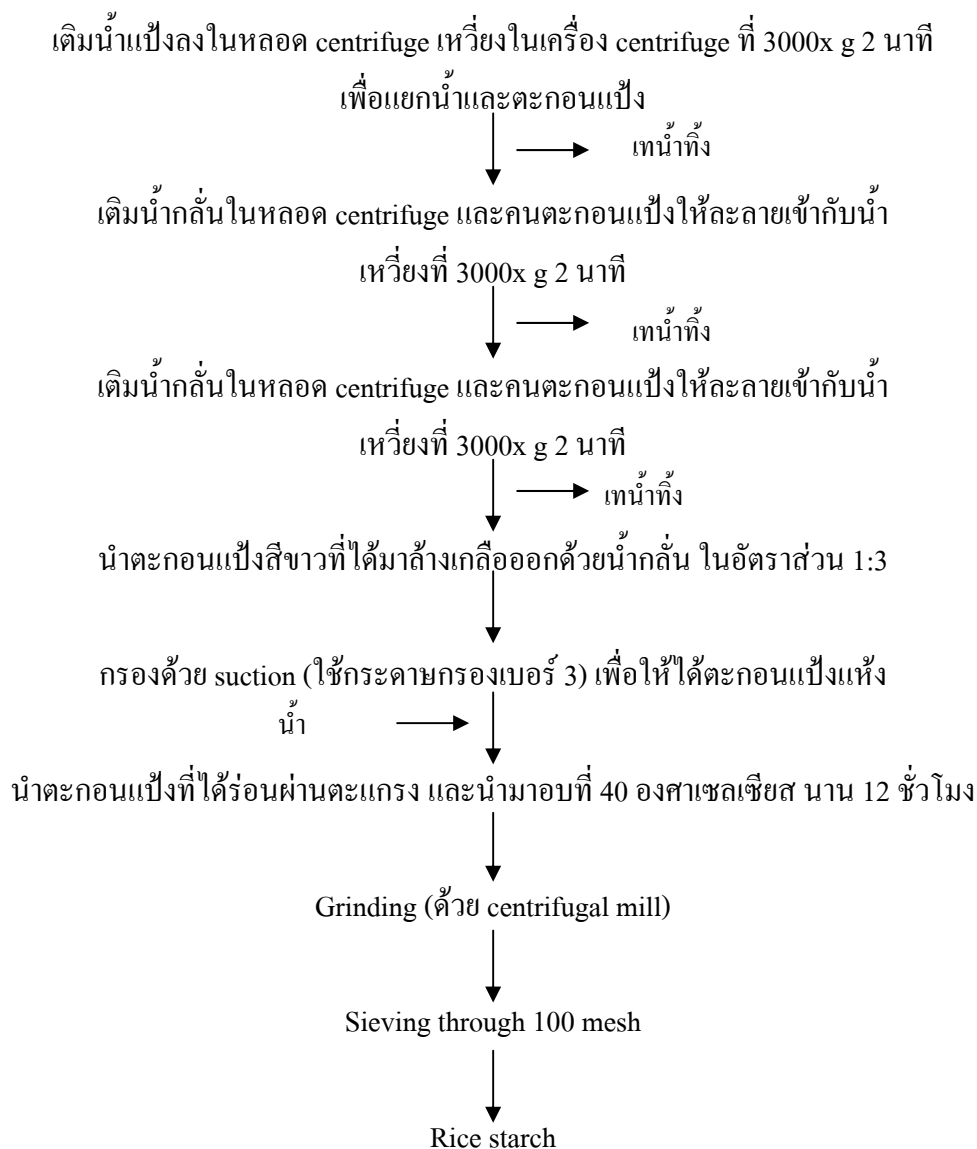
2. การเตรียมตัวอย่างสตาร์ชข้าว

เตรียมสตาร์ชจากข้าวพันธุ์ต่างๆ ทั้ง 4 พันธุ์ ให้มีโปรตีนเหลือน้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยนำเมล็ดข้าวมาล้างน้ำกลั่นในอัตราส่วน 1:2 ใช้ตะแกรงตักเมล็ดข้าวขึ้นสะเด็ดน้ำ นำเมล็ดข้าวที่ล้างน้ำแล้วแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.4 ในอัตราส่วน 1:2 เป็นเวลา 2 ชั่วโมงกวนเป็นครั้งคราว เทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทิ้งล้างด้วยน้ำกลั่น นำมาไม่เปียก (wet milling) ด้วยเครื่อง Vita-mix เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.4 ในอัตราส่วน 1:2 พร้อมทั้งกวนเป็นครั้งคราว ประมาณ 2 ชั่วโมง จากนั้นแช่ทิ้งไว้ 1 คืน ในห้องอุณหภูมิ 5 ± 2 องศาเซลเซียส เทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทิ้งและเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.4 ในอัตราส่วน 1:2 กวนจนตะกอนแป้งละลายจากนั้นทำการเหวี่ยงแยกสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และตะกอนแป้งด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็ว 3000xg เป็นเวลา 2 นาที เทส่วนใสทิ้ง เติมน้ำแป้งส่วนที่เหลือลงในหลอดเหวี่ยงเดิมแล้วเหวี่ยงแยกตะกอนอีก 2 ครั้ง โดยรอบสุดท้ายทำการเหวี่ยงที่ความเร็ว 3000xg เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสทิ้ง บุคชั่นของแข็งสีเหลืองที่อยู่ด้านบนออกให้หมดแล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.4 เพื่อสกัดโปรตีนในหลอดเหวี่ยงเดิมจนตะกอนแป้งให้ละลายทำการเหวี่ยงแยกสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และตะกอนแป้ง ด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็ว 3000xg เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสทิ้ง บุคชั่นของแข็งสีเหลืองที่อยู่ด้านบนออกให้หมด อีก 2 ครั้ง แล้วจึงทำการล้างสารละลายต่างออกด้วยน้ำกลั่น ปรับน้ำล้างตะกอนแป้งให้เป็น

กลางด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 N พร้อมทั้งกวนตลอดเวลาเมื่อปรับน้ำล้างตะกอนแป้งจนเป็นกลางแล้วกวนต่อตลอดเวลาเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นทำการเหวี่ยงแยกสารละลายและตะกอนแป้งด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็ว 3000xg เป็นเวลา 2 นาที เทส่วนใสทิ้ง เติมน้ำกลั่นเพื่อล้างเกลือออกจากตะกอนแป้งในหลอดเหวี่ยงเดิมจนให้ตะกอนแป้งละลายแล้วเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3000xg เป็นเวลา 2 นาที อีก 2 ครั้ง นำตะกอนแป้งออกจากหลอดเหวี่ยงเติมน้ำกลั่นอัตราส่วน 1:3 กรองโดยใช้ suction ด้วยกระดาษกรองเบอร์ 3 นำมาตะกอนแป้งที่ได้ร่อนผ่านตะแกรง แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง และนำสตาร์ชข้าวมาบดด้วยเครื่อง Ultra centrifugal mill ร่อนสตาร์ชข้าวให้ผ่านตะแกรง 100 เมช (ขนาดช่องเปิดของตะแกรง 0.15 มิลลิเมตร) ก่อนไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและความคงตัวต่อไป (ดัดแปลงจาก Patindol and Wang, 2003) ดังภาพที่ 10







ภาพที่ 10 แผนภาพแสดงการเตรียมตัวอย่าง rice starch จากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

3. การศึกษาสมบัติองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณอะไมโลส

นำสตาร์ข้าวทั้ง 4 พันธุ์ มาทำการวิเคราะห์คุณภาพต่างๆ ดังนี้

3.1 ความชื้น ชั่งตัวอย่างประมาณ 3 กรัม ใส่งในจานหาความชื้นที่ผ่านการอบจนมีน้ำหนักคงที่ นำไปอบที่อุณหภูมิประมาณ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ใส่งในเตาเคเตอร์ ทิ้งให้เย็น ชั่งน้ำหนัก นำไปอบต่ออีก 30 นาที ชั่งน้ำหนักจนได้น้ำหนักที่แน่นอน (AACC, 2000)

3.2 เถ้า ชั่งตัวอย่างที่ทราบความชื้นแล้วประมาณ 2 กรัม โดยน้ำหนักแห้ง ใส่งในจานกระเบื้องเคลือบที่ผ่านการอบจนมีน้ำหนักคงที่ นำไปเผาด้วยไฟอ่อนๆ จนหมดควัน ใส่งเตาเผาไฟฟ้า ที่มีอุณหภูมิประมาณ 550 องศาเซลเซียส ประมาณ 2-3 ชั่วโมง จนกระทั่งได้เถ้าสีขาวหรือเทา นำออกมาใส่งในเตาเคเตอร์ ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (AACC, 2000)

3.3 โปรตีน ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่งใน digestion tube เติม catalyst เติมกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 20 มิลลิลิตร นำไปเข้าเครื่องย่อยที่อุณหภูมิ 420 องศาเซลเซียส จนได้สารละลายใส เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 32 จำนวน 70 มิลลิลิตร และกรดบอริก ความเข้มข้นร้อยละ 4 จำนวน 30 มิลลิลิตร ลงในตัวอย่างที่ได้จากการย่อยแล้วนำไปกลั่น จากนั้นนำสารละลายที่กลั่นได้ซึ่งอยู่ใน flask ไปไตเตรตกับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟิวริก 0.1 นอร์มัล จนได้สารละลายสีชมพูอ่อน (AACC, 2000) แพลกเตอร์สำหรับคำนวณปริมาณโปรตีนในข้าว เท่ากับ 5.95 (Lee, 1975)

3.4 ไขมัน ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบไล่ความชื้นแล้ว 3-5 กรัม ใส่งในกระดาศกรองห่อตัวอย่างแล้วนำไปใส่งในทิมเบิล จากนั้นใส่งในช่องกลั่นของเครื่อง soxhlet ชั่ง flask ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่อบแห้งสนิทแล้วใส่งปิโตรเลียมอีเทอร์ประมาณ 150 มิลลิลิตร ประกอบเครื่อง soxhlet เข้าด้วยกันให้ความร้อนและทำการสกัดไขมันประมาณ 15 ชั่วโมง จากนั้นนำ flask ซึ่งมีไขมันไปอบและชั่งน้ำหนัก นำไปคำนวณปริมาณร้อยละของไขมันในตัวอย่าง (AACC, 2000)

3.5 ปริมาณอะไมโลส ชั่งตัวอย่างปริมาณ 20 มิลลิกรัม ใส่งในหลอด centrifuge เติม 85% เมทิลแอลกอฮอล์ 5 มิลลิลิตร นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิและเขย่านาน 30 นาที ผสมกันเป็นครั้งคราวโดยใช้ vortex mixer จากนั้น

centrifuge ที่ 3000 xg เป็นเวลา 15 นาที ที่สารละลายส่วนใสด้านบนออก จะได้ตัวอย่างสตาร์ชที่ไม่มีไขมัน เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ 2 มิลลิลิตร และน้ำ 4 มิลลิลิตร ผสมกันโดยใช้ vortex mixer นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส ในอ่างน้ำร้อนที่มีการควบคุมอุณหภูมิและเขย่านาน 30 นาที เพื่อสกัดไขมันออก ทำให้เย็นปีเปิดสารละลายที่ได้ 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid) เข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร และผสมกับสารละลายไอโอดีน-โพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 0.01 N จำนวน 0.05 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยใช้ spectrophotometer เทียบกับกราฟมาตรฐานของอะไมโลส โดยใช้อะไมโลสของสตาร์ชมันฝรั่งเป็นอะไมโลสมาตรฐาน (Chrastil, 1987) การรายงานปริมาณอะไมโลสในรายงานนี้ รายงานเป็น amylose equivalent (db) หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักของอะไมโลสที่มีอยู่ในตัวอย่าง

4. ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชข้าว

4.1 การศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อกำล้างการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (water soluble index) ของสตาร์ชข้าว

เตรียมสารผสมของสตาร์ชข้าวและไฮโดรคอลลอยด์ (10 กรัม) ให้มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ 1% (w/w) โดยมีอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวต่อไฮโดรคอลลอยด์ คือ 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1

เตรียมสารละลายตัวอย่างสตาร์ชข้าว โดยชั่งตัวอย่างสตาร์ชข้าวหนึยว กข 6, ข้าวเจ้า ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 เติมตัวอย่างสตาร์ชข้าวลงน้ำที่ผ่านการชั่งน้ำหนักในหลอดที่มีฝาปิดที่ทราบน้ำหนักแน่นอน เขย่าด้วยเครื่อง vortex mixer นาน 30 นาที

ส่วนในกรณีที่เตรียมสารผสมของสตาร์ชข้าวและไฮโดรคอลลอยด์ เตรียมโดยชั่งตัวอย่างไฮโดรคอลลอยด์ที่ทราบความชื้นแน่นอนแล้วค่อยๆ เติมไฮโดรคอลลอยด์ลงน้ำที่ผ่านการชั่งน้ำหนักในหลอดที่มีฝาปิดที่ทราบน้ำหนักแน่นอน พร้อมเขย่าด้วยเครื่อง vortex mixer ประมาณ 30 นาที และตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จากนั้นชั่งตัวอย่างสตาร์ชข้าวพันธุ์ต่างๆ เติมลงในสารละลายที่ได้เตรียมไว้พร้อมเขย่าด้วยเครื่อง vortex mixer นาน 30 นาที

นำของผสมไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมความร้อนและเขย่าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้หลอดเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องโดยจุ่มในน้ำผสมน้ำแข็ง นำไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็ว 11,000xg เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนใสออกจากหลอด แล้วนำไปอบที่ตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งน้ำหนักสตาร์ชที่ผ่านการอบแห้งจากส่วนใส (W_{sb}) เพื่อหาปริมาณสตาร์ชที่ละลายได้ แล้วชั่งน้ำหนักส่วนของตะกอน (W_s) ในหลอด คำนวณหาค่าความสามารถในการละลาย (WSI) และกำล้างการพองตัว (SP) ดังสมการ (Li and Yeh, 2001) ดังสมการ (1) และ (2)

$$WSI (\%) = \frac{\text{น้ำหนักปริมาณสตาร์ชที่ละลายน้ำ } (W_{sb}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง } (db)} \quad (1)$$

$$SP = \frac{\text{น้ำหนักของสตาร์ชที่พองตัว } (W_s) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง } (db) \times (100 - \%WSI)} \quad (2)$$

4.2 การศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชข้าว

เตรียมของผสมสตาร์ชข้าวและไฮโดรคอลลอยด์ (10 กรัม) ให้มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ 1% (w/w) โดยมีอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวต่อไฮโดรคอลลอยด์ คือ 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1 ทำการเตรียมตัวอย่างตามขั้นตอนในข้อ 4.1

นำของผสมไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมความร้อนและเขย่าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้หลุดเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องโดยจุ่มในน้ำผสมน้ำแข็ง นำไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องเหวี่ยงความเร็ว 11,000xg เป็นเวลา 15 นาที ปิเปิดส่วนใสด้านบน (supernatant) 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดที่มีฝาปิด จากนั้นปิเปิดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 M 2 มิลลิลิตร และน้ำปราศจากไอออน 4 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลองที่มี supernatant ตัวอย่างอยู่ผสมให้เข้ากัน นำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมความร้อนและเขย่าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ทำให้หลุดเย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องโดยจุ่มหลอดทดลองในอ่างน้ำผสมน้ำแข็ง ปิเปิดสารละลายตัวอย่าง 0.1 มิลลิลิตร ผสมกับสารละลายกรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid) เข้มข้นร้อยละ 0.5 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้าและผสมกับสารละลายไอโอดีน-โพแทสเซียมไอโอไดด์ความเข้มข้น 0.01 N จำนวน 0.05 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร โดยใช้ spectrophotometer เทียบกับกราฟมาตรฐานของอะไมโลสของสตาร์ชมันฝรั่งซึ่งเป็นอะไมโลสมาตรฐาน (Chrastil, 1987) การรายงานปริมาณอะไมโลสในรายงานนี้ รายงานเป็น amylose equivalent (db) หมายถึง ร้อยละโดยน้ำหนักของอะไมโลสที่มีอยู่ในตัวอย่าง

4.3 การศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อ RVA pasting properties ของสตาร์ชข้าว

เตรียมของผสมสตาร์ชข้าวและไฮโดรคอลลอยด์ให้มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ 8% (w/w) โดยมีอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวต่อไฮโดรคอลลอยด์ คือ 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5 และ 9.25/0.75 โดยสมบัติทางด้านความหนืด (pasting properties) นั้นเตรียมใน RVA canisters โดยให้น้ำหนักสุดท้ายทั้งหมดเท่ากับ 28 กรัม หลังจากคำนวณน้ำหนักของสารแล้วทำการชั่งน้ำหนักน้ำลงใน RVA แคน

เตรียมสตาร์ชข้าว โดยชั่งตัวอย่างสตาร์ชข้าวเหนียวกข 6, ข้าวเจ้าปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 เติมห่วงสตาร์ชข้าวลงในน้ำที่ผ่านการชั่งน้ำหนักใน RVA แคนผสมด้วยเครื่อง vortex mixer นาน 30 นาที

ส่วนในกรณีที่เตรียมของผสมสตาร์ชข้าวและไฮโดรคอลลอยด์ 8% เตรียมโดยชั่งน้ำและไฮโดรคอลลอยด์ที่ทราบความชื้นแน่นอนแล้ว เติมน้ำลงใน RVA แคนปิดด้วย parafilm ผสมด้วยเครื่อง vortex mixer ประมาณ 15 นาที และตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 8 ชั่วโมง จากนั้นชั่งสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ เติมน้ำในสารละลายที่ได้เตรียมไว้ปิดด้วย parafilm ผสมด้วยเครื่อง vortex mixer นาน 30 นาที ก่อนการหาสมบัติความหนืดของสารผสมเปิด parafilm ออกและใส่ใบพาย (paddle) สำหรับวัดค่าความหนืด

ใช้โปรแกรมของเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA 4D, Newport Scientific, ประเทศออสเตรเลีย) โดยวิเคราะห์ความหนืดของตัวอย่างทั้งหมด 3 ซ้ำ โดยใช้ profiles standard II ใช้เวลาประมาณ 23 นาที ความแปรปรวนของอุณหภูมิไม่เกิน 1 องศาเซลเซียส โดยเริ่มให้ความร้อนที่ 50 องศาเซลเซียส 1 นาที ให้อัตราการเพิ่มของอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส/นาที โดยเพิ่มความร้อนจาก 50 ถึง 95 องศาเซลเซียส และให้ระบบมีอุณหภูมิคงที่ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นลดอุณหภูมิลงเป็น 50 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการลดลงของอุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส/นาที แล้วให้ระบบมีอุณหภูมิคงที่ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที หยุดการทำงานที่ 23 นาที บันทึกค่า pasting properties ต่าง ๆ (Newport Scientific, 1995)

5. การศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของสตาร์ชข้าว

5.1 การศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวการแช่แข็งและละลาย (freeze-thaw stability) ของเพสต์สตาร์ชข้าว

ของผสมสตาร์ชข้าว (ข้าวเหนียวพันธุ์กข 6, ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1) และไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) เตรียมขึ้นโดย ให้มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ 5% (w/w) โดยอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวต่อไฮโดรคอลลอยด์ คือ 10/0, 9.5/0.5, 9/1 และ 8.5/1.5 เติมน้ำโซเดียมเฮไลด์ความเข้มข้น 0.04% เพื่อป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์

เตรียมสารละลายตัวอย่างสตาร์ชข้าว โดยชั่งตัวอย่างสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์เดิมตัวอย่าง สตาร์ชข้าวลงน้ำที่ผ่านการชั่งน้ำหนักในขวดที่มีฝาปิดพร้อมกวนนาน 30 นาที

ส่วนในกรณีที่เตรียมสารผสมของสตาร์ชข้าวและไฮโดรคอลลอยด์ เตรียมโดยชั่ง ตัวอย่างไฮโดรคอลลอยด์ที่ทราบความชื้นแน่นอนแล้วค่อยๆ เติมไฮโดรคอลลอยด์ลงน้ำที่ผ่านการ ชั่งน้ำหนักในขวดที่มีฝาปิดพร้อมกวนนาน 2 ชั่วโมง และตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส จากนั้นชั่งตัวอย่างสตาร์ชข้าวพันธุ์ต่างๆ เติมลงในสารละลายที่ได้เตรียมไว้พร้อม กวนนาน 30 นาที

นำขวดบรรจุสารละลายสตาร์ชข้าวและไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมไปให้ความร้อนใน อ่างน้ำควบคุมความร้อนและเขย่าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างที่ เตรียมได้ใส่ในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร นำไปเหวี่ยงใส่ฟองอากาศที่ 190g นาน 2 นาที ทำ ให้เย็นแล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C นาน 20 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำมาละลายที่อุณหภูมิ 40°C นาน 2 ชั่วโมง สุ่มตัวอย่างออกมาวิเคราะห์ปริมาณน้ำที่ออกจากเจลสตาร์ชต่างๆ จากนั้นนำตัวอย่าง ที่ไม่ได้ทำการสุ่มนำไปเก็บที่อุณหภูมิ -20°C เพื่อทำการแช่แข็งและละลายในรอบต่อไป โดยทำ การแช่แข็งและละลาย 1-9 รอบ

การวัดปริมาณน้ำที่ออกจากเจลสตาร์ชที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ทำโดยนำหลอดขนาด 5 มิลลิลิตร ที่มีช่องเปิด และมีกระดาษกรอง (เบอร์ 5 เส้นผ่านศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร) 1 ชั้นและชั้น สำลี 0.02-0.03 กรัม โดยสำลียู้ง้านบนของกระดาษกรอง ใส่ในหลอดชนิดขนาด 5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่นลงในหลอดให้กระดาษกรองและสำลียึด นำหลอดไปเหวี่ยงที่ 2,100 g เป็นเวลา 10 นาที เพื่อเอาน้ำส่วนเกินออกจากสำลีและกระดาษกรอง หลังเหวี่ยงนำมาชั่งน้ำหนักของหลอด (W_0) จากนั้นชั่งตัวอย่างเจลหลังการละลายแล้วประมาณ 2.5 กรัม ใส่ในหลอดดังกล่าว ชั่งน้ำหนักหลอด ที่มีตัวอย่างก่อนเหวี่ยง (W_1) และหลังเหวี่ยง (W_2) ที่ 2,100 g เป็นเวลา 10 นาที คำนวณหา เปอร์เซ็นต์น้ำที่แยกออกจากเจลดังสมการ (3) (Pongsawatmanit *et al.*, 2006)

$$\text{Water separation (\%)} = \frac{(W_1 - W_2)}{(W_1 - W_0)} \times 100 \quad (3)$$

5.2 การศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของเจลสตาร์ชข้าว ฦ อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส

ของผสมสตาร์ชข้าว (ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1) และไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) เตรียมขึ้นโดยให้มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ 20% (w/w) โดยอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวต่อไฮโดรคอลลอยด์ คือ 10/0 และ 9.75/0.25 เติมโซเดียมเอไซด์ความเข้มข้น 0.04% เพื่อป้องกันการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ทำการเตรียมตัวอย่างตามขั้นตอนในข้อ 4.1

นำขวดบรรจุสารละลายสตาร์ชข้าวและไฮโดรคอลลอยด์ที่เตรียมไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมความร้อนและเขย่าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส รอจนตัวอย่างมีอุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที เทสารละลายใส่หลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร รััดด้วยยางและให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 95-98 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำตัวอย่างออกจากอ่างน้ำควบคุมความร้อนและวางตัวอย่างทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องรอจนตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วเก็บที่ 5 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1, 4 และ 7 วัน เพื่อสุ่มตัวอย่าง ณ วันที่เก็บ ตัดตัวอย่างให้มีความยาว 20 ± 0.5 มิลลิเมตร โดยตัวอย่างจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 22 ± 0.5 มิลลิเมตร ทิ้งไว้จนมีอุณหภูมิเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง Texture Analyzer (Lloyd TA 500, Lloyd Instrument, Ltd., ประเทศอังกฤษ) จำนวนโดยโปรแกรม NEXYGEN™ (A Metek, Inc., ประเทศอังกฤษ) กดเจลประมาณ 50% ของความสูงของเจล ด้วยหัวกดสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นและลงของหัวกดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที ในแต่ละสิ่งทดลองวัดค่า 10 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย ลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์คือ ความแข็ง (hardness), ความยืดหยุ่นได้ (elasticity or springiness) และ cohesiveness (Bourne, 2002) นำข้อมูลทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น (stress) และความเครียด (strain) คำนวณหาค่า Young's modulus ที่ช่วงกราฟเริ่มต้นที่เป็นเส้นตรง

5.3 การศึกษาผลของน้ำตาลและไฮโดรคอลลอยด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชข้าว

ในที่นี้จะศึกษาผลของน้ำตาลทราย (ซูโครส) 20% (w/w) และใช้สตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และชัณนาท 1 ร่วมกับแซนแทนกัม ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ 20% (w/w) โดยมีอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวต่อแซนแทนกัม คือ 10/0 และ 9.75/0.25 เตรียมของผสมสตาร์ชข้าว หรือสตาร์ชข้าวกับแซนแทนกัม (อัตราส่วน 9.75/0.25) และน้ำตาล ลงน้ำในขวดที่มีฝาปิดพร้อมกวนนาน 30 นาที

นำขวดบรรจุของผสมที่เตรียมไปให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมความร้อนและเขย่าที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส รอจนตัวอย่างมีอุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที เทสารละลายใส่หลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร รััดด้วยยาง และให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 95-98 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที นำตัวอย่างออกจากอ่างน้ำควบคุมความร้อนและวางตัวอย่างทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องรอจนตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้องแล้วเก็บที่ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ตัดตัวอย่างให้มีความยาว 20 ± 0.5 มิลลิเมตร โดยตัวอย่างจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 22 ± 0.5 มิลลิเมตร ทดสอบคุณภาพเช่นเดียวกับข้อ 5.2 วิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วย TPA

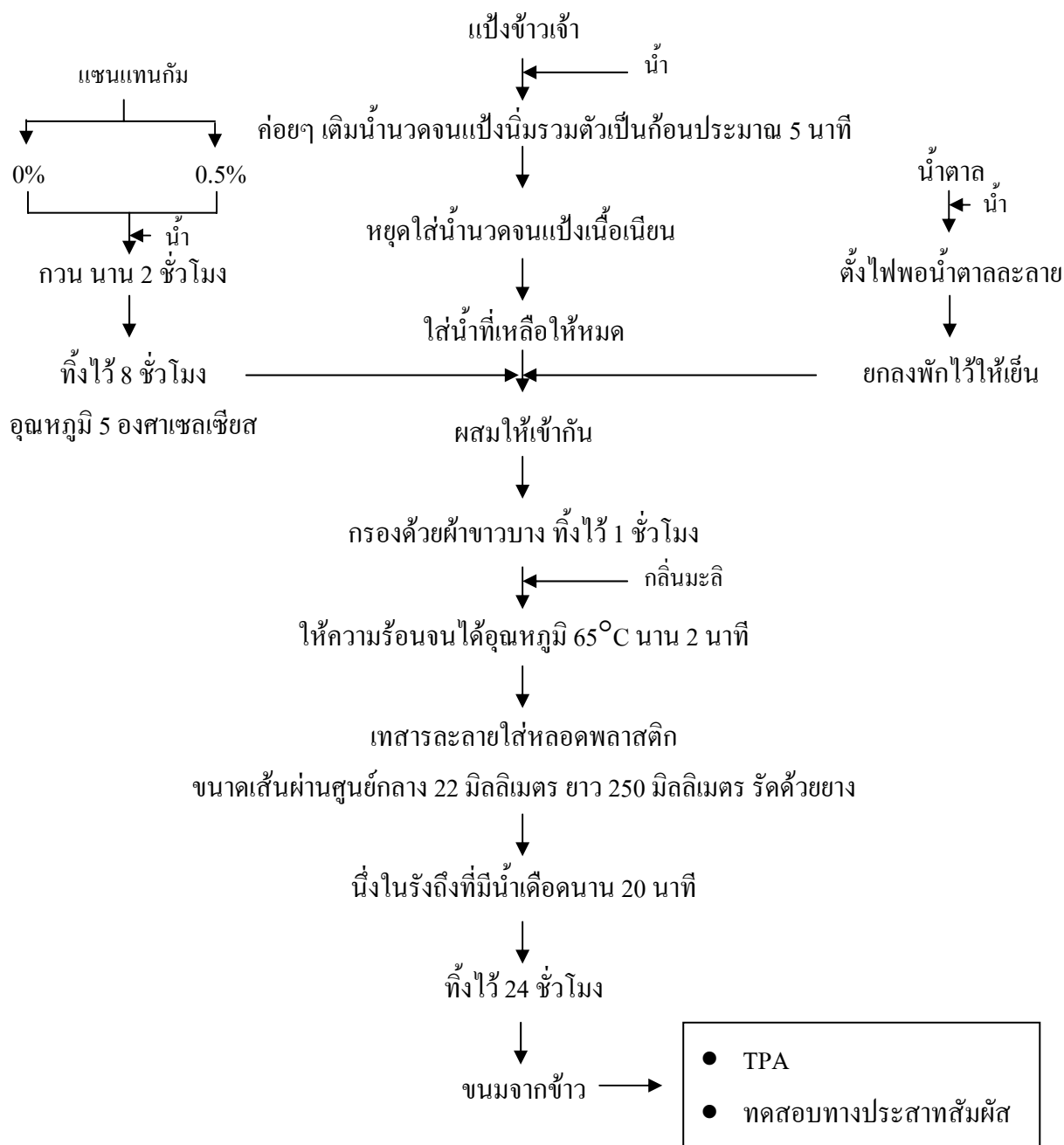
6. การศึกษาผลของแซนแทนกัมต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์โมเดลจากแป้งข้าว

วิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของแป้งข้าวเจ้า ตามข้อ 3.1 และเตรียมตัวอย่างขนมจากแป้งข้าวแซนแทนกัม โดยมีอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวต่อแซนแทนกัม คือ 10/0 และ 9.75/0.25 ความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ 20% (w/w) และมีน้ำตาลทราย 20% (w/w) ตามสูตรดังตารางที่ 5 และวิธีการทำของขนมเค้กไม่ ทำโดยการนวดแป้งข้าวเจ้ากับจนเนื้อเนียน ใส่น้ำเชื่อมคนให้เข้ากัน แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง นำสารละลายที่เตรียมไปให้ความร้อนจนตัวอย่างมีอุณหภูมิประมาณ 65 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที เทสารละลายใส่หลอดพลาสติกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ยาว 250 มิลลิเมตร รัศด้วยยางและนั่งในน้ำเดือด นาน 20 นาที ทำให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้อง เก็บที่ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ดังภาพที่ 11

ตารางที่ 5 สูตรของขนมจากแป้งข้าวที่มีและไม่มีแซนแทนกัม

วัตถุดิบ	สัดส่วน (%)	
	ไม่มีแซนแทนกัม	เติมแซนแทนกัม
แป้งข้าว	20	19.5
น้ำตาลทราย	20	20
น้ำ	59.9	59.9
กลิ่นมะลิ	0.1	0.1
แซนแทนกัม	0	0.5
รวม	100	100

ที่มา: คัดแปลงจากสถาบันวิจัยข้าว (2545)



ภาพที่ 11 แผนภาพแสดงการเตรียมขนมจากแป้งข้าวที่มีและไม่มีแซนแทนกัม

ที่มา: คัดแปลงจากสถาบันวิจัยข้าว (2545)

นำตัวอย่างมาตัดให้มีความยาว 20 ± 0.5 มิลลิเมตร เพื่อวัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วย TPA และตัดตัวอย่างให้มีความยาว 13 ± 0.5 มิลลิเมตรเพื่อทดสอบความชอบ โดยตัวอย่างทั้งสองจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 22 ± 0.5 มิลลิเมตร

6.1 การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมจากแป้งข้าวด้วยการวัด texture profile analysis (TPA)

วัดลักษณะเนื้อสัมผัสโดยใช้เครื่อง texture analyzer (Lloyd TA 500, Lloyd Instrument, Ltd., ประเทศอังกฤษ) จำนวนโดยโปรแกรม NEXYGEN™ (A Metek, Inc., ประเทศอังกฤษ) กดเจลประมาณ 50% ของความสูงของเจล ด้วยหัวกดสแตนเลสขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ขึ้นและลงของหัวกดเท่ากับ 0.5 มิลลิเมตรต่อนาที ในแต่ละสิ่งทดลองวัดค่า 10 ซ้ำ เพื่อหาค่าเฉลี่ย ลักษณะทางเนื้อสัมผัสที่วิเคราะห์คือ ความแข็ง (hardness), ความยืดหยุ่นได้ (elasticity or springiness) และ cohesiveness (Bourne, 2002) นำข้อมูลทำกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเค้น (stress) และความเครียด (strain) จำนวนหาค่า Young's modulus ที่ช่วงกราฟเริ่มต้นที่เป็นเส้นตรง

6.2 การศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์ขนมจากแป้งข้าว

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบของขนมจากแป้งข้าว ที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเดิมแซนแทนกัม 0 และ 0.5% ด้วยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) (9-point hedonic scale) ลักษณะปรากฏ รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยในส่วนของความชอบลักษณะเนื้อสัมผัสได้สอบถามความรู้สึกรู้สึกต่อผลิตภัณฑ์ในลักษณะความนุ่ม ความยืดหยุ่น และความร่วน ด้วยการให้คะแนนความรู้สึก 5 ระดับ (1 = น้อย ถึง 5 = มาก) ประเมินโดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน (Meigaard, 1999)

7. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ข้อมูลที่ได้นำมาวิเคราะห์ผลด้วย ANOVA โดยใช้ Duncan's new multiple range test (DMTR), t-test และ chi-square เพื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

ผลและวิจารณ์

1. องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

สตาร์ชที่ได้จากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ มีปริมาณโปรตีนเหลืออยู่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 (ร้อยละ 0.20 - 0.33) ปริมาณความชื้นในช่วงร้อยละ 10.88 - 12.61 ปริมาณไขมันลดลงเหลืออยู่ในช่วงร้อยละ 0.08 - 0.11 ปริมาณอะไมโลสของข้าวเหนียวพันธุ์กข 6, ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 มีปริมาณร้อยละ 3.31, 16.06, 24.29 และ 30.13 ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ

พันธุ์ข้าว	ความชื้น (%, wb)	อะไมโลส (%, db)	โปรตีน (%, db)	ไขมัน (%, db)	เถ้า (%, db)
กข 6	11.89 ± 0.02b	3.31 ± 0.01a	0.25 ± 0.05ab	0.11 ± 0.03c	0.06 ± 0.00a
ปทุมธานี 1	10.88 ± 0.03a	16.06 ± 0.03b	0.20 ± 0.08a	0.09 ± 0.01b	0.19 ± 0.01b
สุพรรณบุรี 60	12.09 ± 0.02c	24.29 ± 0.10c	0.28 ± 0.05b	0.08 ± 0.00a	0.20 ± 0.02b
ชัยนาท 1	12.61 ± 0.04d	30.13 ± 0.08d	0.33 ± 0.01b	0.08 ± 0.01a	0.19 ± 0.01b

หมายเหตุ ค่าที่รายงานเป็นค่า mean ± SD

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในคอลัมน์เดียวกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ปริมาณอะไมโลสในการทดลองนี้ รายงานเป็น amylose equivalent (db) โดยการวิเคราะห์ปริมาณอะไมโลสตามวิธีของ Chrastil (1987) นั้น เป็นวิธีที่อาศัยสมบัติของอะไมโลสในการจับกับไอโอดีน แล้วได้สารประกอบสีน้ำเงิน วัสดุที่เกิดขึ้นได้ด้วย spectrophotometer เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก แต่วิธีนี้จะใช้เวลานานและต้องเตรียมกราฟมาตรฐานส่วนใหญ่จะหาได้เฉพาะอะไมโลสของมันฝรั่งและปริมาณน้อย นอกจากนี้อะไมโลเพคตินที่มีกิ่งแขนงเป็นจำนวนมาก จะจับกับไอโอดีนได้น้อย และให้สารประกอบสีม่วงแดง สามารถรบกวนการวัดค่าการดูดกลืนแสงได้ (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546)

2. ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชข้าว

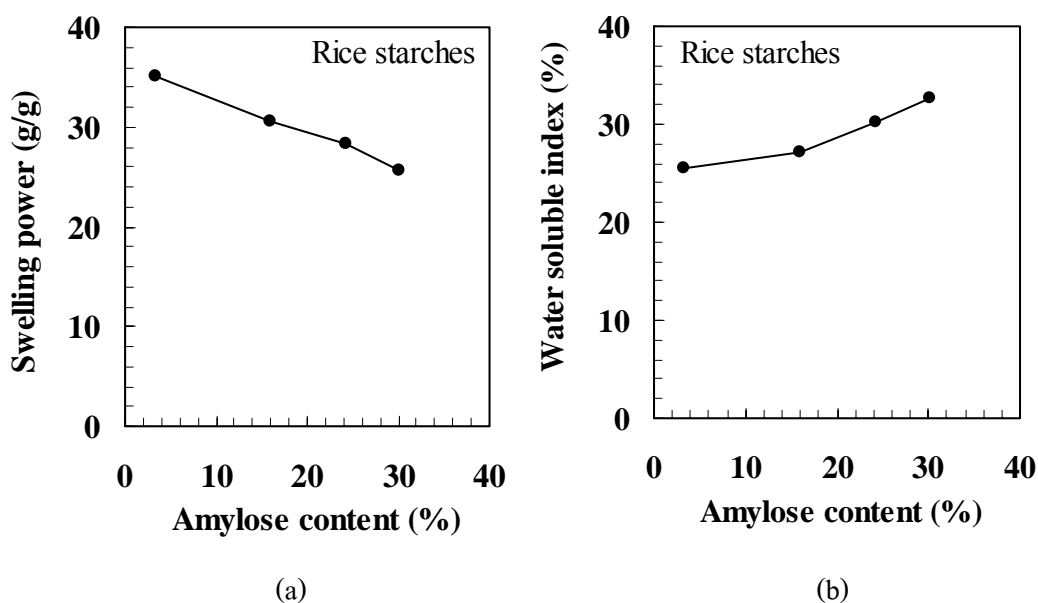
2.1 ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อกำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (water soluble index) ของสตาร์ชข้าว

เมื่อนำสตาร์ชข้าว 4 พันธุ์ ผสมกับไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด คือ กัวร์กัม และแซนแทนกัม ที่ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 โดยมีอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวและกัม 5 ระดับ คือ 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1 วิเคราะห์กำลังการพองตัว (swelling power) และความสามารถในการละลาย (water soluble index) ของสตาร์ชจากข้าว ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (ภาพที่ 12-15)

ในระหว่างการให้ความร้อนเมื่ออุณหภูมิของสารผสมสตาร์ชเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ สตาร์ชแกรนูลเกิดการพองตัวและของแข็งบางส่วนของสตาร์ชจะละลายออกมา กำลังการพองตัวของสตาร์ชจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของสตาร์ชแกรนูลที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ (Li and Yeh, 2001) โดยสมบัติทั้งสองนี้มีความสัมพันธ์กัน

กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (ข้าวกข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (ภาพที่ 12 a) กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวลดลงเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณอะไมโลเพกตินมีความสำคัญต่อกำลังการพองตัว (Tester and Morrison, 1990) โดยโครงสร้างของอะไมโลเพกตินมีหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมากสามารถจับโมเลกุลของน้ำ ทำให้การพองตัวโดยสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวเหนียวกข 6 มีค่าสูงที่สุด (พัชรา, 2547; สิริลักษณ์, 2548) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวพันธุ์ที่มีอะไมโลสเพิ่มขึ้น และจากโครงสร้างที่ใหญ่ทำให้อะไมโลเพกตินส่วนมากยังคงอยู่ในแกรนูลของสตาร์ช มีส่วนน้อยที่หลุดออกจากแกรนูล

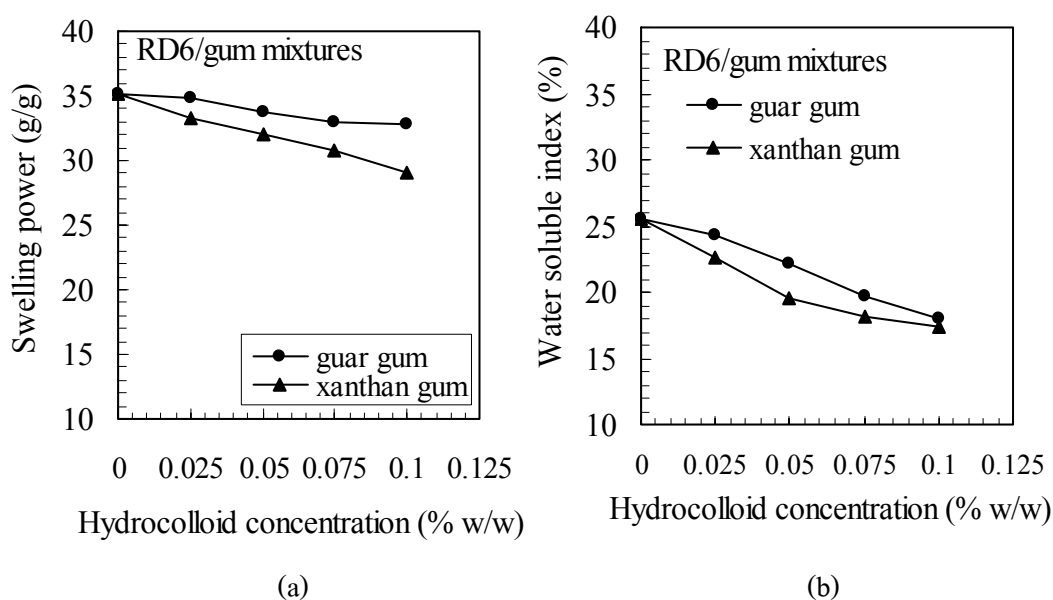
ความสามารถในการละลายของสตาร์ชวัดจากปริมาณของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ และปริมาณอะไมโลส (กลีโคเจน และ แป้ง, 2546) โดยสอดคล้องกับผลการทดลองที่พบว่าความสามารถในการละลายของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 12 b)



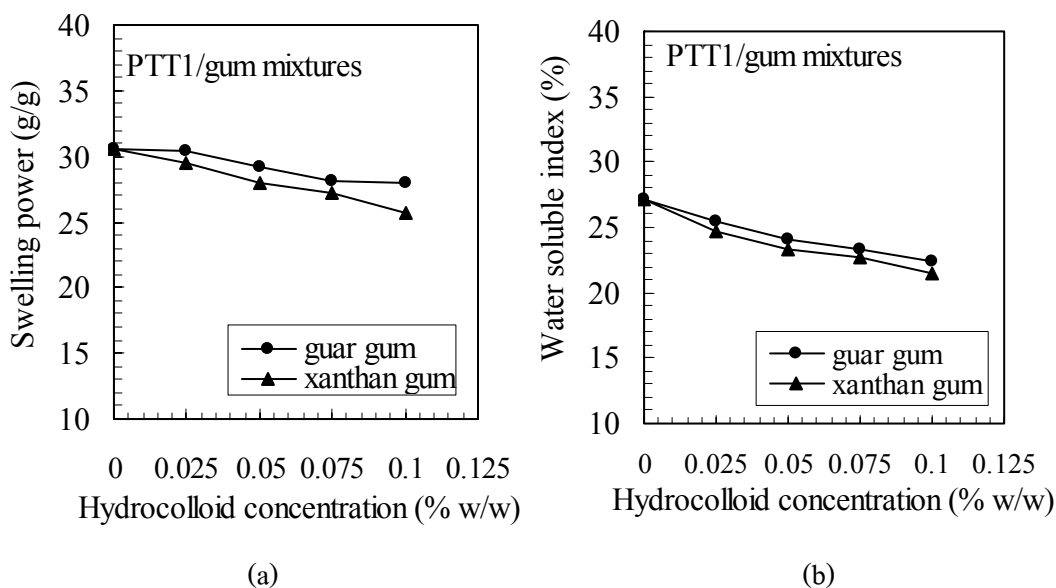
ภาพที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัว (a) และความสามารถในการละลาย (b) กับปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (ข้าวกข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าวความเข้มข้นร้อยละ 1

กำลังการพองตัว และความสามารถในการละลาย ของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกัวร์กัม และแซนแทนกัม แต่มีแนวโน้มการลดลงมากขึ้นเมื่อสตาร์ชมีปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น (ภาพที่ 13-16) เนื่องจากอะไมโลสยับยั้งการพองตัวของสตาร์ช (Tester and Morrison, 1990) เช่นเดียวกับผลการทดลองค่ากำลังการพองตัวที่ลดลงเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 12 a) และไฮโดรคอลลอยด์จับกับน้ำทำให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำอิสระที่ใช้ในการพองตัวของสตาร์ชน้อยลง (Song *et al.*, 2006) และเมื่อความหนืดของสารละลายภายนอกแกรนูลสูง สารละลายภายในแกรนูลออกไปภายนอกแกรนูลได้น้อยลงทำให้ความสามารถในการละลายของสตาร์ชลดลง

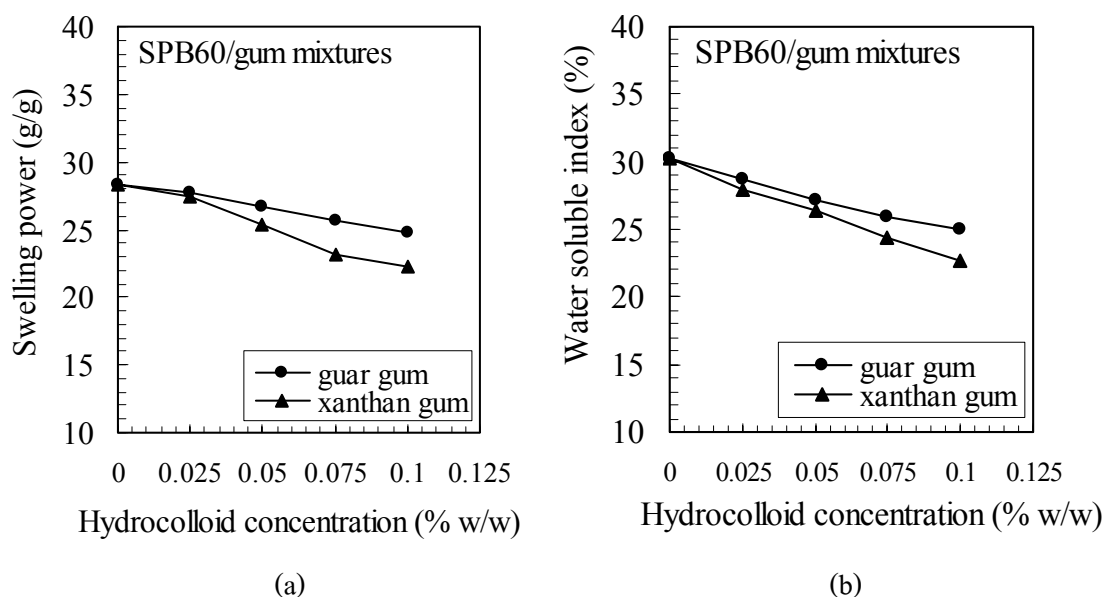
สตาร์ชที่เติมแซนแทนกัมให้ค่ากำลังการพองตัว และความสามารถในการละลายต่ำกว่าสารละลายสตาร์ชที่เติมกัวร์กัมเนื่องจากการหา apparent viscosity ที่ shear rate 0.01- 1.00 s⁻¹ ของไฮโดรคอลลอยด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส (ภาพผนวกที่ ข1) ในช่วงอัตราเลื่อนต่ำ แซนแทนกัมมี apparent viscosity มากกว่ากัวร์กัม และจากโครงสร้างที่เป็นกิ่งที่ต่อกันเป็นสายของแซนแทนกัม ทำให้แซนแทนกัมสามารถจับกับ โครงสร้างของน้ำ เกิดโครงสร้างที่เป็น weak gel และเพิ่มความหนืดได้ดีกว่ากัวร์กัมที่มีโครงสร้างกิ่งสั้นที่ต่อกับน้ำตาลกาแลคโตส 1 โมเลกุล ดังนั้นแซนแทนกัมจึงสามารถลดกำลังการพองตัว และความสามารถในการละลายได้ดีกว่ากัวร์กัม



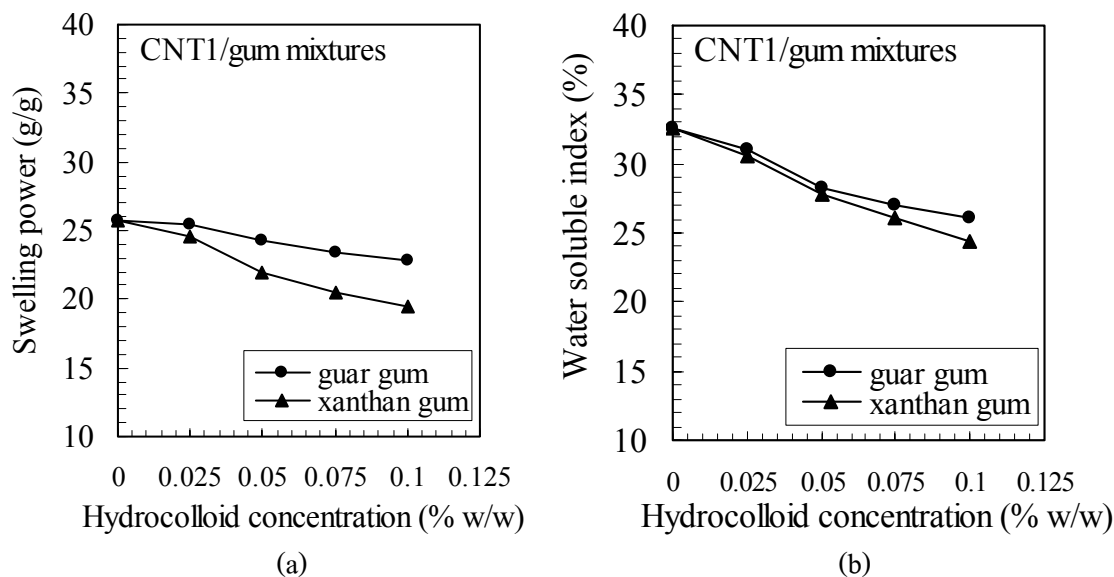
ภาพที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัว (a) และความสามารถในการละลาย (b) กับเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1



ภาพที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัว (a) และความสามารถในการละลาย (b) กับเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1



ภาพที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัว (a) และความสามารถในการละลาย (b) กับเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1

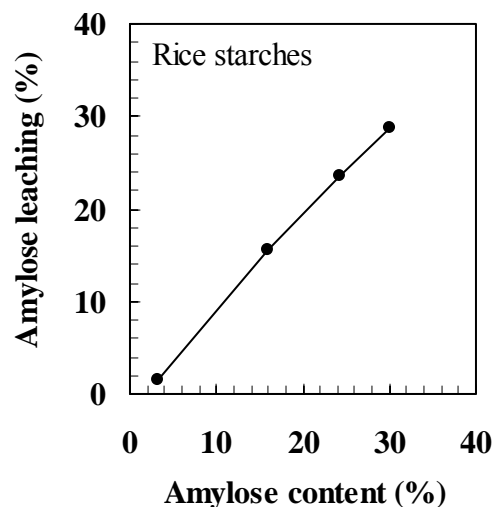


ภาพที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัว (a) และความสามารถในการละลาย (b) กับเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ ของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1

2.2 ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชข้าว

เมื่อนำสตาร์ชจากข้าวพันธุ์ 4 พันธุ์ ผสมกับไฮโดรคอลลอยด์ 2 ชนิด คือ กัวร์กัม และแซนแทนกัม ที่ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 โดยมีอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวและกัม 5 ระดับ คือ 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1 วิเคราะห์ปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์

ระหว่างการให้ความร้อนสตาร์ชแกรนูลมีการดูดซึมน้ำ และในระหว่างเดียวกันอะไมโลสจะหลุดออกจากแกรนูลของสตาร์ช ปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (ข้าว กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ ปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 17) เนื่องจากปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชขึ้นกับปริมาณอะไมโลสในสตาร์ช (Vandeputte *et al*, 2003a) โดยผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับความสามารถในการละลายที่เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 12 b)

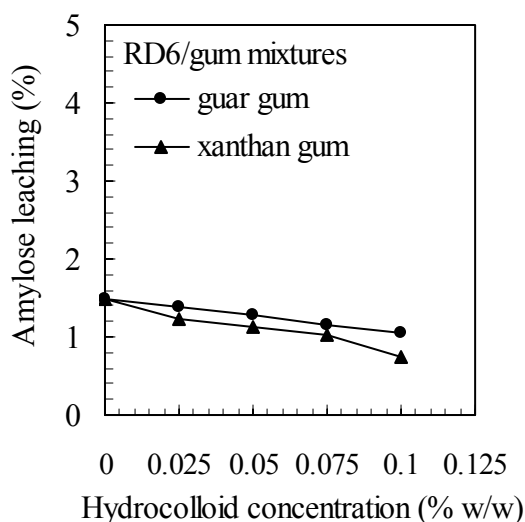


ภาพที่ 17 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ amylose leaching และปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (ข้าวกข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าวความเข้มข้นร้อยละ 1

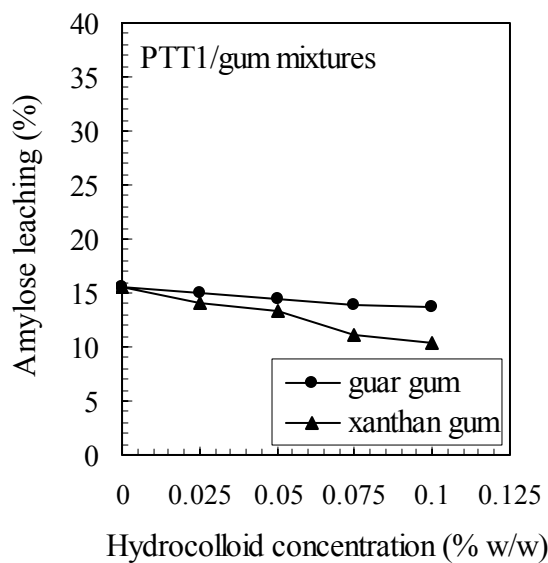
ปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (กข 6, ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1) ที่เติมไฮโดรคอลลอยด์ พบว่าปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกัวร์กัมและแซนแทนกัม เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (ภาพที่ 18-21) และปริมาณ amylose leaching มีแนวโน้มการลดลงมากขึ้นเมื่อสตาร์ชมีปริมาณอะไมโลสสูงขึ้น

ในระบบที่มีสตาร์ชเพียงอย่างเดียวระหว่างการให้ความร้อนในเวลาเดียวกันแกรนูลของสตาร์ชจะมีการดูดซึมน้ำ และในระหว่างเดียวกันอะไมโลสจะหลุดออกจากแกรนูลของสตาร์ชในระบบที่มีการเติมไฮโดรคอลลอยด์ทำให้ความหนืดในระบบเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำอิสระที่สตาร์ชใช้ในการดูดซึมน้ำน้อยลง ทำให้สตาร์ชมีกำลังพองตัวและความสามารถในการละลายน้อยลง (ภาพที่ 13-16) และปริมาณอะไมโลสที่เพิ่มขึ้นมีผลในการยับยั้งการพองตัวของสตาร์ช (ภาพที่ 12 a) ส่งผลให้ปริมาณ amylose leaching มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชที่ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์

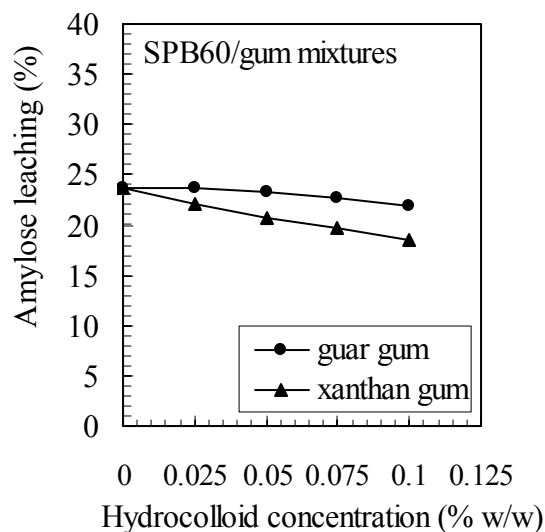
โดยแซนแทนกัมให้ผลในการลดปริมาณ amylose leaching มากกว่ากัวร์กัม เนื่องจากความหนืดของแซนแทนกัมมากกว่ากัวร์กัม (ภาพผนวกที่ ข1)



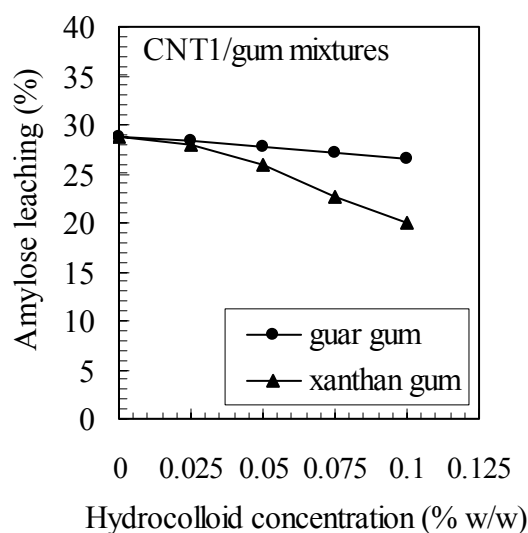
ภาพที่ 18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ amylose leaching และความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์ กข 6 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1



ภาพที่ 19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ amylose leaching และความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ของสตาร์ชข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ amylose leaching และความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ของสตาร์ชข้าวพันธุสุพรรณบุรี 60 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณ amylose leaching และความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ของสตาร์ชข้าวพันธุชัยนาท 1 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 1 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5, 9.25/0.75 และ 9/1

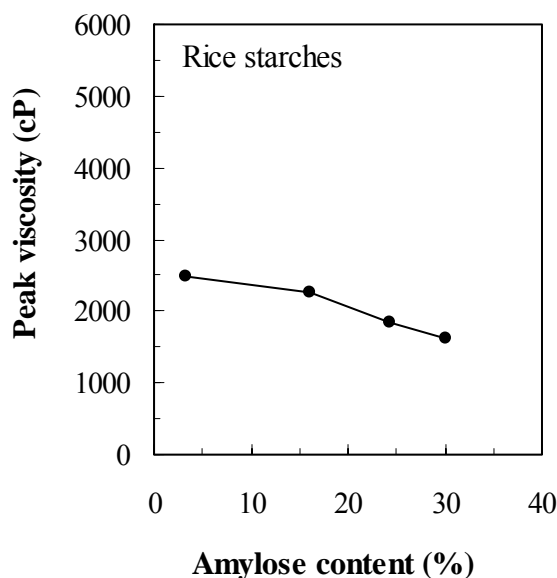
2.3 ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อ pasting properties ของสตาร์ชข้าว

เมื่อนำสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ ที่เติมกัวร์กัม และแซนแทนกัม ที่ความเข้มข้นรวมร้อยละ 8 โดยมีอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวและกัม 4 ระดับ 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5 และ 9.25/0.75 นำมาวิเคราะห์ pasting properties ด้วยเครื่อง RVA มีสมบัติต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 22-29

2.3.1 ความหนืดสูงสุด (peak viscosity)

ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นค่าที่ใช้บอกถึงความสามารถในการจับน้ำของแป้งหรือส่วนผสม และบอกถึงแรงที่ต้องใช้ในการกวนระหว่างการให้ความร้อน โดย ค่าความหนืดสูงสุด เกิดจากการที่สตาร์ชแกรนูลได้รับความร้อนจนถึงจุดเจลาติไนซ์แล้วเมื่อให้ความร้อนต่อไป สตาร์ชแกรนูลจะพองตัวเต็มที่ ทำให้เกิดความหนืดที่เพิ่มขึ้นสูงสุดแล้วแตกออกเนื่องจากแรงเฉือน โมเลกุลของอะไมโลสที่มีขนาดเล็กจะกระจายตัวออกจากสตาร์ชแกรนูล ความหนืดของสารละลายแป้งจะลดต่ำลง (Newport scientific, 1995)

ค่าความหนืดสูงสุดของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (ข้าวกข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (ภาพที่ 22) ค่าความหนืดสูงสุดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากอะไมโลเพกตินมีสมบัติช่วยในการจับน้ำ ทำให้สตาร์ชแกรนูลพองตัวและมีความหนืดเพิ่มขึ้น และอะไมโลสมีผลต่อการยับยั้งการพองตัวของสตาร์ช (ภาพที่ 12 a) ดังนั้นเมื่อปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชเพิ่มขึ้น ปริมาณอะไมโลเพกตินลดลง สตาร์ชมีกำลังการพองตัวน้อยลงจึงทำให้ค่าความหนืดสูงสุดลดลง

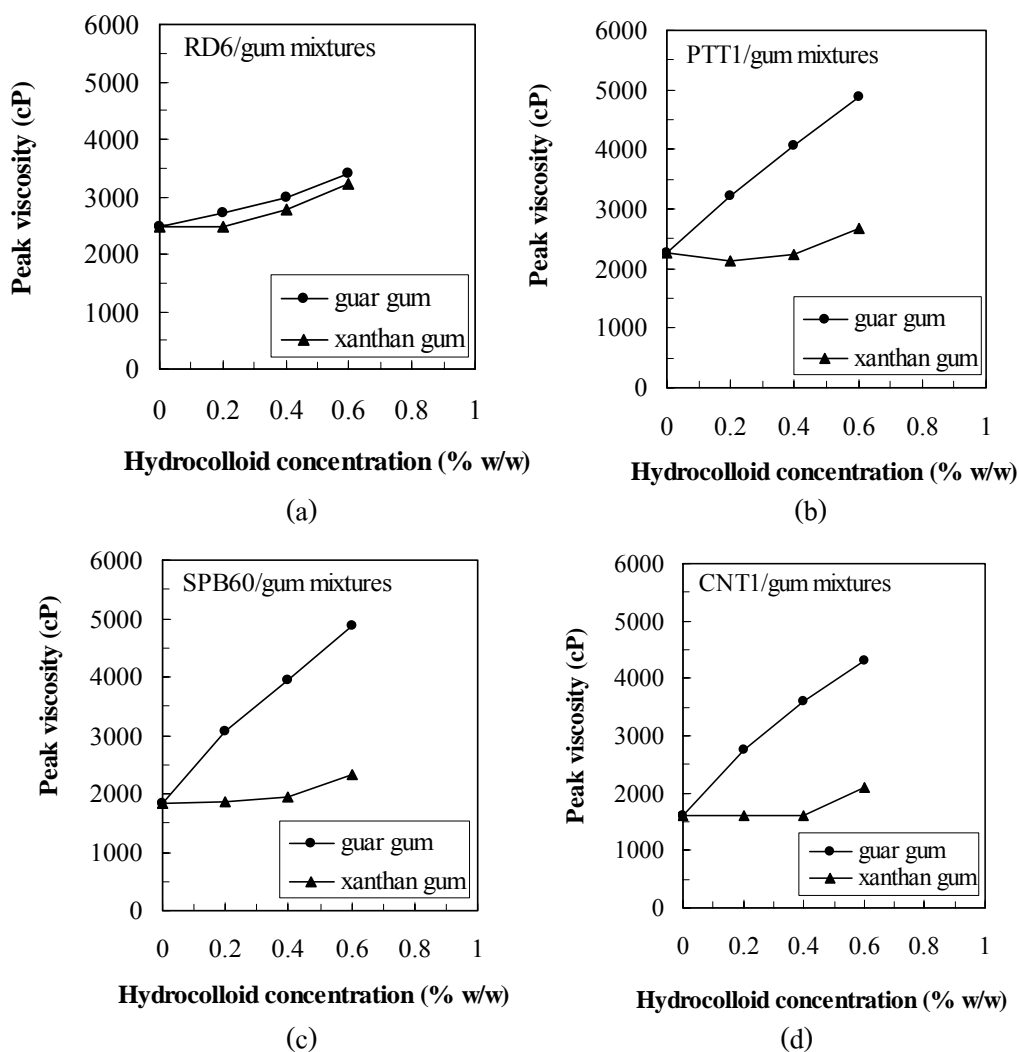


ภาพที่ 22 ค่าความหนืดสูงสุด และปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าวความเข้มข้นร้อยละ 8 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

ความหนืดสูงสุดของสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 23 a) เนื่องจากไฮโดรคอลลอยด์มีผลในการเพิ่มความหนืดในสารละลาย ดังนั้นจึงทำให้ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้น แต่ความหนืดสูงสุดของแซนแทนกัมมีค่าน้อยกว่ากัวร์กัมเนื่องจากแซนแทนกัมมีสมบัติความหนืดลดลงเมื่อแรงเฉือนเพิ่มขึ้น (shear thinning) ในระบบที่มีแรงเฉือนอย่างการวิเคราะห์ด้วย RVA ทำให้ความหนืดสูงสุดของสารที่เติมแซนแทนกัมน้อยกว่ากัวร์กัม (ภาพผนวกที่ ข1)

ในสตาร์ชข้าวเจ้าทั้ง 3 พันธุ์ (ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1) กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ค่าความหนืดสูงสุดเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกัวร์กัมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 23 b-d) เนื่องจากการละลายของกัวร์กัมจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น (Fox, 1999) ดังนั้นจึงทำให้ความหนืดสูงสุดของสารละลายสตาร์ชที่เติมกัวร์กัมเพิ่มขึ้นและสูงกว่าสตาร์ชที่เติมแซนแทนกัม

ความหนืดสูงสุดของสตาร์ชข้าวเจ้าทั้ง 3 พันธุ์ ที่เติมแซนแทนกัมไม่เปลี่ยนแปลงจนอัตราส่วนผสมของสตาร์ช/แซนแทนกัมเท่ากับ 9.25/0.75 (ความเข้มข้นของแซนแทน = 0.6%) ความหนืดสูงสุดจึงเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีแรงเฉือนแซนแทนกัม จะเปลี่ยนโครงสร้างจาก semi rigid conformation เป็น rod like conformation ทำให้ความหนืดลดลง (Urlacher and Noble, 1999) และแซนแทนกัมมีสมบัติเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่สมบัติดังกล่าวจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น (Kim and Yoo, 2006) ดังนั้นเมื่อเติมแซนแทนกัมในสตาร์ช ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดไม่เปลี่ยนแปลงแต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแซนแทนกัมถึง 0.6% ค่าความหนืดสูงสุดจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



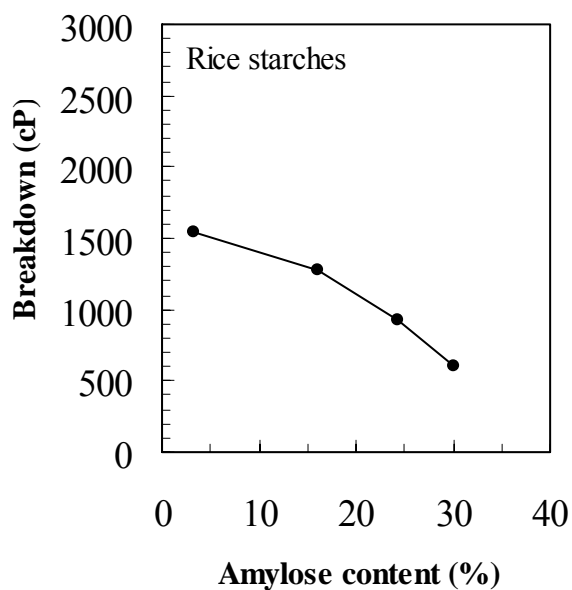
ภาพที่ 23 ค่าความหนืดสูงสุดของสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเหนียว กข 6 (a), สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (b), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (c) และสตาร์ชข้าวชัยนาท 1 (d) กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 8 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5 และ 9.25/0.75 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

2.3.2 breakdown

breakdown เป็นความแตกต่างของความหนึ่ระหว่างความหนึ่สูงสุดและความหนึ่ต่ำสุด ระหว่างการเกิดเจลาตินในเซชันสตาร์ชแกรนูลเกิดการพองตัวเต็มที่ (ความหนึ่สูงสุด) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไป รวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง จะทำให้สตาร์ชแกรนูลแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสที่มีขนาดเล็กจะกระจายตัวออกจากสตาร์ชแกรนูล ความหนึ่ของสารละลายจะลดต่ำลง ความหนึ่ ณ จุดนี้คือความหนึ่ต่ำสุด (Newport scientific, 1995)

ค่า breakdown บอกถึงความคงทนต่ออุณหภูมิและแรงเหวี่ยงของสตาร์ช โดยเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการแปรรูป (Newport scientific, 1995)

ค่า breakdown ของสตาร์ชข้าวพันธุ์ทั้ง 4 พันธุ์ (ข้าวกข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (ภาพที่ 24) ค่า breakdown มีค่าลดลงเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากอะไมโลสยับยั้งการพองตัวของสตาร์ช ส่วนอะไมโลเพกตินมีสมบัติช่วยในการจับน้ำ สตาร์ชแกรนูลพองตัวมาก ทำให้ความแข็งแรงของสตาร์ชแกรนูลลดลงทำให้ค่า breakdown ของสตาร์ชสูงขึ้น ดังนั้นเมื่อปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชเพิ่มขึ้น ปริมาณอะไมโลเพกตินลดลง สตาร์ชแกรนูลมีกำลังการพองตัวน้อย แกรนูลของสตาร์ชมีความแข็งแรง ทำให้ค่า breakdown ลดลง โดยผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับค่ากำลังการพองตัว (ภาพที่ 12 a)

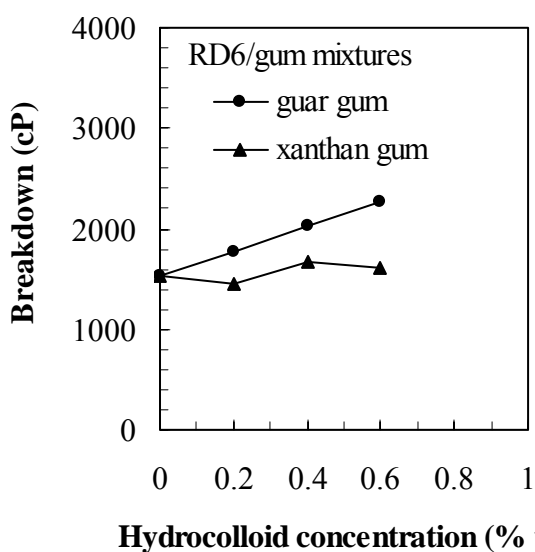


ภาพที่ 24 ค่า breakdown และปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าวความเข้มข้นร้อยละ 8 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

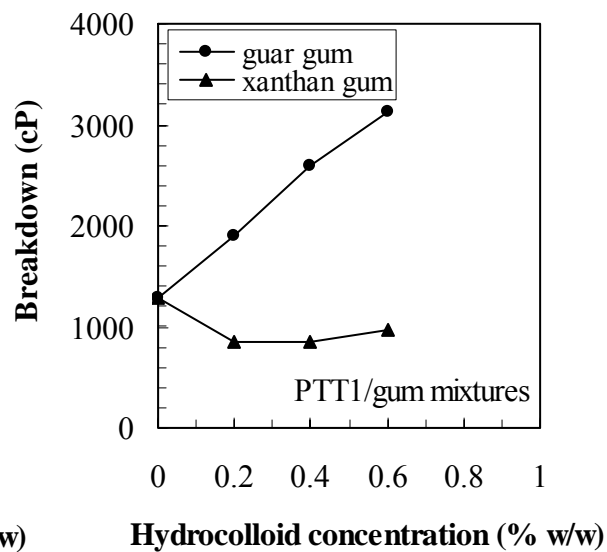
ค่า breakdown ของสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (ข้าว กข 6, ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1) กับกัวร์กัมเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกัวร์กัมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 25) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสตาร์ชแกรนูลมีความต้านทานต่ออุณหภูมิและแรงเฉือนลดลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความสามารถในการละลายของกัวร์กัมเพิ่มขึ้นและการเพิ่มความเข้มข้นของกัวร์กัม ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น เป็นการเพิ่มแรงเฉือนในระบบ แรงการแตกตัวของสตาร์ชแกรนูล (Funami *et al.*, 2005)

ส่วนสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (กข 6, ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1) กับแซนแทนกัม ค่า breakdown ลดลงเมื่อเติมแซนแทนกัม และมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแซนแทนกัม (ภาพที่ 25 b-d) ยกเว้นสตาร์ชกข 6 เนื่องจากสตาร์ชมีกำลังการพองตัวสูง (ภาพที่ 13 a) ทำให้ความแข็งแรงของสตาร์ชแกรนูลน้อย และสตาร์ชแกรนูลแตกตัวได้ง่ายกว่าสตาร์ชข้าวพันธุ์อื่นที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า ดังนั้นสตาร์ชพันธุ์ กข 6 ที่เติมแซนแทนกัมมีค่า breakdown เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแซนแทนกัม

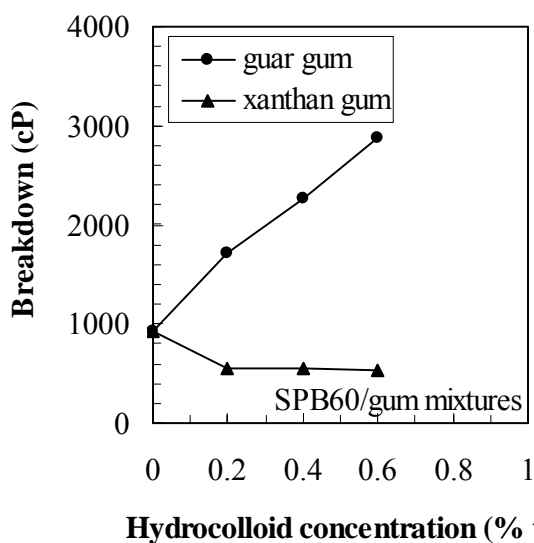
เนื่องจากแซนแทนกัมลดการพองตัวของสตาร์ชข้าวเจ้าทั้ง 3 พันธุ์ (ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1) และมีแนวโน้มลดลงมากขึ้นเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 14-16 a) ทำให้สตาร์ชแกรนูลมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น สามารถต้านแทนแรงเฉือนและอุณหภูมิระหว่างการทดสอบ



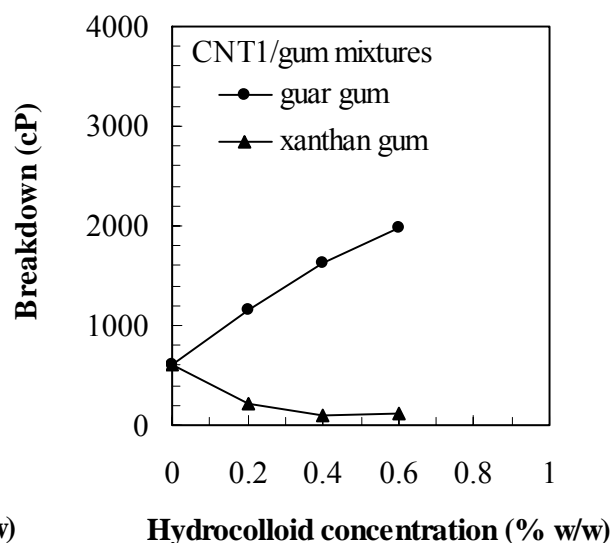
(a)



(b)



(a)



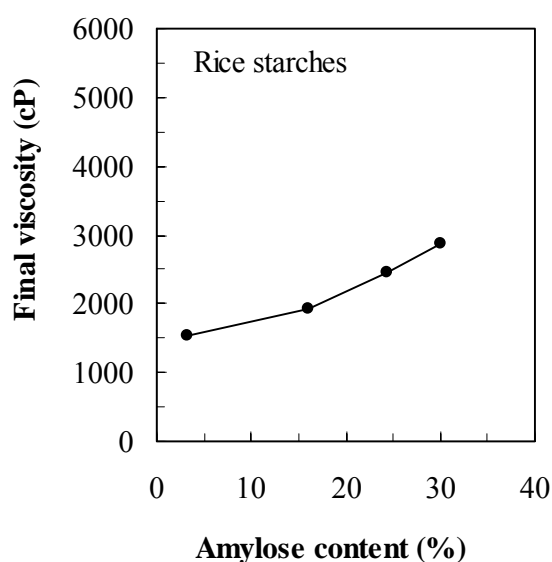
(b)

ภาพที่ 25 ค่า breakdown ของสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเหนียว กข 6 (a), สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (b), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (c) และสตาร์ชข้าวชัยนาท 1 (d) กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 8 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5 และ 9.25/0.75 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

2.3.3 ความหนืดสุดท้าย (final viscosity)

เมื่ออุณหภูมิระบบลดจาก 95 องศาเซลเซียสเป็น 50 องศาเซลเซียส ในช่วงทำให้เย็นลง มีการจัดเรียงตัวใหม่ โมเลกุลอะไมโลสจะเกิดการจับเรียงตัวเป็นโครงร่างแหสามมิติขึ้น โมเลกุลอะไมโลสที่ออกมาจากเม็ดแป้งจะเข้ามาเรียงตัวและเกาะเกี่ยวกันเอง เกิดพันธะไฮโดรเจนขึ้นระหว่างโมเลกุลของอะไมโลสทำให้ได้ลักษณะโครงสร้างใหม่ที่เกิดเป็นเจล ความหนืดของแป้งจะเพิ่มขึ้นจนได้ระดับหนึ่งเรียกว่าความหนืดสุดท้าย (final viscosity) เมื่อสิ้นสุดเวลาของการทดลองของ RVA ค่าความหนืดสุดท้ายบ่งบอกถึงคุณภาพของสตาร์ช และแสดงลักษณะของสตาร์ชหรือผลิตภัณฑ์ที่เกิดเป็นเจลเมื่อผ่านการให้ความร้อน และเย็นตัวลง (Newport scientific, 1995)

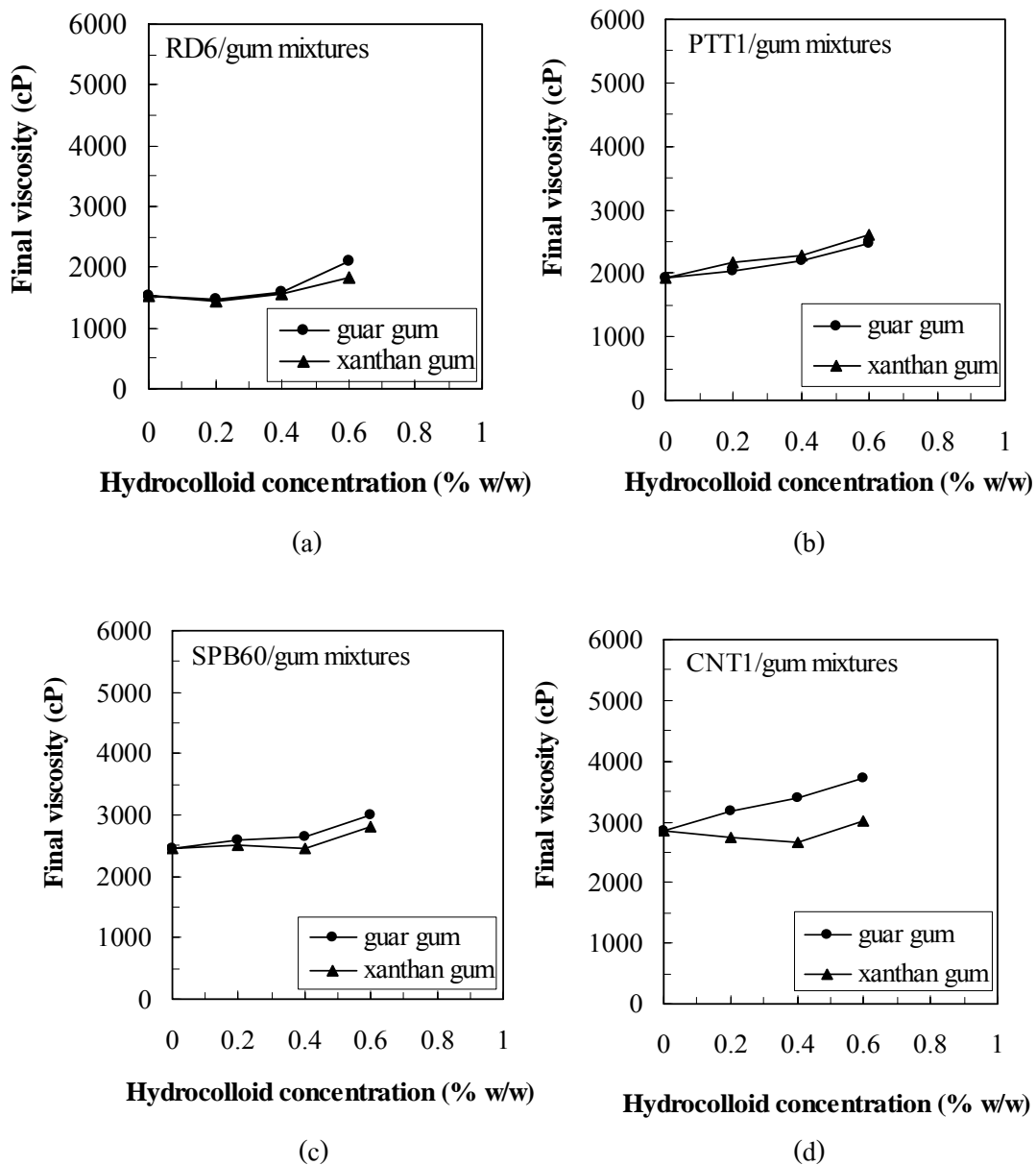
ความหนืดสุดท้ายของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (ภาพที่ 26) แสดงให้เห็นว่าปริมาณอะไมโลสมีผลต่อค่าความหนืดสุดท้าย โดยค่าความหนืดสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากเจลแป้งที่ผ่านการให้ความร้อน และทำให้เย็นจะเกิดการจับเรียงตัวใหม่ของอะไมโลสมีผลทำให้ความหนืดเพิ่มมากขึ้น (Whistler and BeMiller, 1999)



ภาพที่ 26 ค่าความหนืดสุดท้าย และปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าวความเข้มข้นร้อยละ 8 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

ในสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำมากจนถึงปานกลาง ได้แก่สตาร์ชข้าวเหนียว กข 6 (ปริมาณอะไมโลส 3%), สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (ปริมาณอะไมโลส 16%) และสุพรรณบุรี 60 (ปริมาณอะไมโลส 24%) ความหนืดสุดท้ายของสารผสมกัวร์กัมและแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 27 a, b และ c) เนื่องจากผลของความหนืดที่เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกัวร์กัมและแซนแทนกัม

ในสตาร์ชมีปริมาณอะไมโลสสูง สตาร์ชข้าวชัชนาถ 1 (ปริมาณอะไมโลส 33%) ค่าความหนืดสุดท้ายของสตาร์ชข้าวที่เติมกัวร์กัมเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของกัวร์กัมเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 27 d) เนื่องจากผลของความหนืดที่เพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นกัวร์กัม ส่วนความหนืดสุดท้ายของสตาร์ชข้าวที่เติมแซนแทนกัม ไม่เปลี่ยนแปลงจนอัตราส่วนผสมของสตาร์ช/แซนแทนกัมเท่ากับ 9.25/0.75 (ความเข้มข้นของแซนแทนกัม = 0.6%) ความหนืดสูงสุดจึงเพิ่มขึ้นเนื่องจากแซนแทนกัมมีผลในการลดปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชข้าวชัชนาถ 1 (ภาพที่ 21) มากกว่าสตาร์ชข้าวพันธุ์อื่นที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า โดยปริมาณอะไมโลสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความหนืดสุดท้ายสูง และแซนแทนกัมมีสมบัติเปลี่ยนแปลงความหนืดน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่สมบัติดังกล่าวจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของแซนแทนกัมเพิ่มขึ้น (Kim and Yoo, 2006) ดังนั้นเมื่อเติมแซนแทนกัมในสตาร์ชจึงทำให้ค่าความหนืดสุดท้ายมีแนวโน้มลดลง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแซนแทนกัมถึง 0.6% ค่าความหนืดสุดท้ายจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

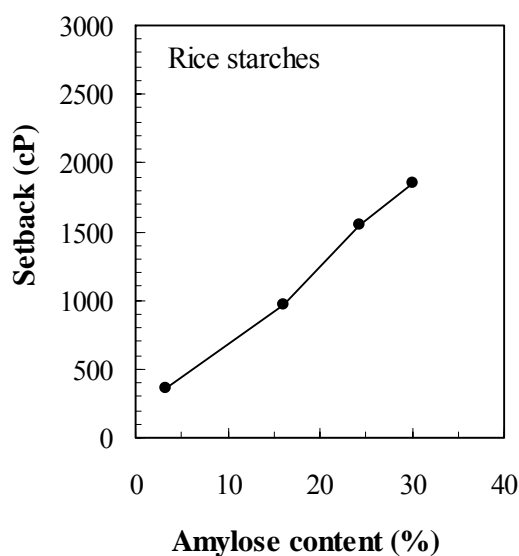


ภาพที่ 27 ค่าความหนืดสุดท้ายของสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเหนียว กข 6 (a), สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (b), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (c) และสตาร์ชข้าวชยันนาท 1 (d) กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 8 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5 และ 9.25/0.75 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

2.3.4 Setback

ค่า setback เป็นความหนืดที่เพิ่มขึ้นเมื่อระบบเย็นลง โดยคำนวณจากผลต่างของค่าความหนืดต่ำสุดและความหนืดสุดท้าย โดยเกี่ยวข้องกับกระบวนการรีโทรกราเดชันแบบ short term retrogradation หรือกระบวนการจัดระเบียบใหม่ของโมเลกุล ดังนั้นค่า setback จึงมีความเกี่ยวข้องกับลักษณะเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์ที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ (Newport scientific, 1995)

ในสตาร์ชข้าวพันธุ์ทั้ง 4 พันธุ์ (กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ไม่เติมไฮโดรคอลลอยด์ (ภาพที่ 28) ค่า setback มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่า setback ของสตาร์ชขึ้นกับปริมาณอะไมโลสเมื่อปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชเพิ่มขึ้นค่า setback มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 28 ค่า setback และปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ (กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) ของสตาร์ชข้าวความเข้มข้นร้อยละ 8 จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

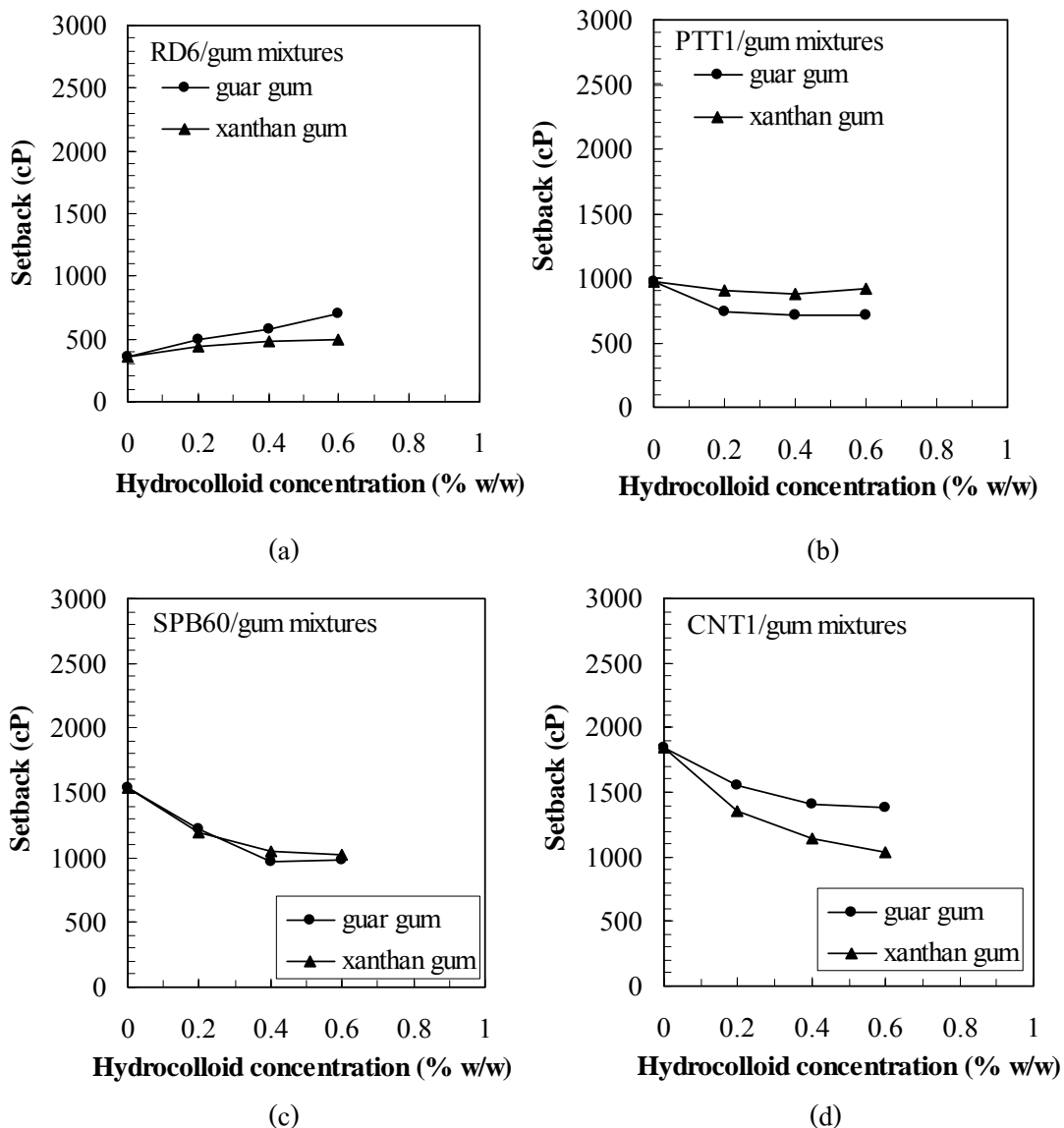
ในสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 (ปริมาณอะไมโลส 3%) กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ค่า setback เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 29 a) เนื่องจากสตาร์ชกข 6 เป็นพันธุ์ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสน้อย มีโมเลกุลของอะไมโลเพกตินมาก ทำให้กระบวนการจัดระเบียบใหม่ของอะไมโลสน้อยลง ค่า setback ของสตาร์ชพันธุ์นี้จึงน้อยกว่าสตาร์ชพันธุ์อื่นๆ เมื่อเติมไฮโดรคอลลอยด์แล้วค่า setback สูงขึ้นเพียงเล็กน้อย และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์ การเพิ่มขึ้นของค่า setback นี้เกิดจากการผลของความหนืดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มเข้มข้นของกัวร์กัมและแซนแทนกัม

ในสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 (ปริมาณอะไมโลส 16%) กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ค่า setback ลดลงและมีแนวโน้มไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 29 b) เนื่องจากการเติมไฮโดรคอลลอยด์เข้าไปในสตาร์ช โครงสร้างพอลิแซ็กคาไรด์ขนาดใหญ่ของไฮโดรคอลลอยด์ ขัดขวางการจัดเรียงตัวกันใหม่ของอะไมโลส ทำให้ค่า setback ลดลง (Linaback and Ingelett, 1982) สตาร์ชข้าวที่เติมกัวร์กัมให้ผลในการลดลงของค่า setback มากกว่าแซนแทนกัม เนื่องจากปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชปทุมธานี 1 น้อย ผลค่า setback จะขึ้นกับความหนืดของไฮโดรคอลลอยด์ และความร้อนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืดของกัวร์กัมมากกว่าแซนแทนกัม ดังนั้นจึงทำค่า setback ของสตาร์ชปทุมธานี 1 ที่เติมกัวร์กัมต่ำกว่าสตาร์ชที่เติมแซนแทนกัม

ส่วนสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 (ปริมาณอะไมโลส 24%) และสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ค่า setback ลดลงเมื่อความเข้มข้นของไฮโดรคอลลอยด์เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 29 c และ d) เนื่องจากการเติมกัวร์กัมและแซนแทนกัมทำให้ความหนืดของสตาร์ชข้าวทั้ง 2 พันธุ์ เพิ่มขึ้นดังจะเห็นได้จากค่าความหนืดสูงสุดที่เพิ่มขึ้น (ภาพที่ 23 c และ d) ความหนืดที่เพิ่มขึ้นทำให้สตาร์ชของตัวได้น้อยลง (ภาพที่ 15 a และ 16 a) และปริมาณ amylose leaching น้อยลง (ภาพที่ 20 และ 21) จึงทำให้ปริมาณอะไมโลสในระบบลดลง ดังนั้นจึงทำให้ค่า setback ของสตาร์ชที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัมลดลง

ค่า setback ที่ลดลงกัวร์กัมและแซนแทนกัมของสตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 มีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากโครงสร้างพอลิแซ็กคาไรด์ขนาดใหญ่ของกัวร์กัมและแซนแทนกัมต่างขัดขวางการเกิดรีโทรกราเดชันของอะไมโลส

เมื่อปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชสูงขึ้น (สตาร์ชข้าวชัณนาท 1) การลดลงของค่า setback ในสตาร์ชที่เติมแซนแทนกัมมากกว่าในสตาร์ชที่เติมกัวร์กัม เนื่องจากค่า breakdown ของสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัณนาท 1 ที่เติมแซนแทนกัม (ภาพที่ 27 d) พบว่าแซนแทนกัมทำให้สตาร์ชแกรนูลข้าวชัณนาท 1 แข็งแรงมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชมีการพองตัวน้อยเนื่องจากความหนืดของแซนแทนกัม ทำให้สตาร์ชมีปริมาณน้ำอิสระที่ใช้ในการพองตัวน้อยลง ทำให้ค่าความหนืดสูงสุดที่ไม่เปลี่ยนแปลง (ภาพที่ 23 d) ทำให้สตาร์ชแกรนูลข้าวชัณนาท 1 มีความแข็งแรงมากขึ้น ทนต่อแรงเฉือนจากการกวนมากขึ้น สตาร์ชแกรนูลถูกทำลายน้อย และจากปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชข้าวชัณนาท 1 (ภาพที่ 21) พบว่าแซนแทนกัมสามารถลดปริมาณ amylose leaching ได้ดีกว่ากัวร์กัม ดังนั้นจึงมีผลทำให้ค่า setback ของสตาร์ชข้าวชัณนาท 1 ที่เติมแซนแทนกัมลดลงมากกว่าสตาร์ชที่เติมกัวร์กัม



ภาพที่ 29 ค่า setback ของสารผสมระหว่างสตาร์ชข้าวเหนียว กข 6 (a), สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (b), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (c) และสตาร์ชข้าวชัยนาท 1 (d) กับไฮโดรคอลลอยด์ (กัวร์กัม และแซนแทนกัม) ความเข้มข้นรวมร้อยละ 8 ที่อัตราส่วน 10/0, 9.75/0.25, 9.5/0.5 และ 9.25/0.75 (0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8%) จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA

3. ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของสตาร์ชข้าว ๓ อุณหภูมิต่างๆ

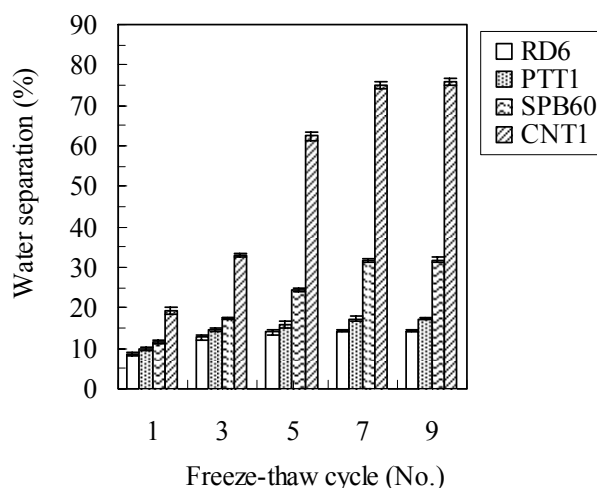
3.1 ความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลาย (freeze-thaw stability) ของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่างกัน

ความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลายของสตาร์ชข้าว 5% (w/w) พบว่า เปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจากเจลของสตาร์ชข้าวเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการแช่แข็งและละลาย และเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น (กข 6; 3%, ปทุมธานี 1; 16%, สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) เมื่อทำการวัดหลังจากผ่านการแช่แข็งและละลาย 1, 3, 5, 7 และ 9 รอบ (ภาพที่ 30)

เมื่อให้ความร้อนแก่สตาร์ชจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปทำให้สตาร์ชแกรนูลพองตัวมากขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะไมโลสขนาดเล็กที่กระจัดกระจายจะแตกออกมาทำให้มีค่าความหนืดลดลง และเมื่อระบบเย็นตัวลงสตาร์ชจะจัดเรียงตัวใหม่เกิด โดยอะไมโลสที่มีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นสายสั้นของน้ำตาลกลูโคส ไม่มีกึ่งง่ายต่อการจัดเรียงตัวใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลของอะไมโลส จากโครงสร้างที่เป็น random coil เป็น helices form เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติใหม่ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าการเกิดรีโทรกราเดชันระยะแรก (short-term retrogradation) ส่วนโมเลกุลของอะไมโลสเพกตินสามารถเกิดรีโทรกราเดชันได้จากการรวมตัวกันของกิ่งก้านที่สั้น ใช้ระยะเวลาในการเกิดรีโทรกราเดชันนานกว่าโมเลกุลของอะไมโลส (long-term retrogradation) (Funami *et al.*, 2005)

ผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับค่า setback ของสตาร์ช (ภาพที่ 28) ที่พบว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเกิดรีโทรกราเดชันได้มากและเร็วกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ เนื่องจากในสตาร์ชข้าวเหนียวมีอะไมโลเพกตินที่เป็นโครงสร้างกิ่งอยู่จำนวนมาก สตาร์ชพันธุ์ที่ไม่มีอะไมโลสไม่เกิดรีโทรกราเดชันหรือเกิดเจลที่อุณหภูมิปกติ ดังนั้นสตาร์ชที่เกิดรีโทรกราเดชันมากจะมีความคงตัวต่อการแช่แข็งต่ำ ในขณะที่สตาร์ชที่เกิดรีโทรกราเดชันต่ำจะมีความคงตัวต่อการแช่เยือกแข็งสูง (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546; Eliasson, 2004) และผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับ Zheng and Sosulski (1998) ที่ศึกษาความคงตัวระหว่างแช่แข็งและละลายของสตาร์ชข้าวพบว่า สตาร์ชข้าวเหนียว (ปริมาณอะไมโลส = 3.2%) มีความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลายมากกว่าสตาร์ชข้าว (ปริมาณอะไมโลส = 16.9%)

ในระหว่างที่แช่แข็ง น้ำในระบบที่มีสตาร์ชกับน้ำผสมกันอยู่กลายเป็นน้ำแข็ง ทำให้สตาร์ชเข้มข้นขึ้น และเร่งการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะไมโลส โมเลกุล หรือระหว่างอะไมโลกับอะไมโลเพกติน เพิ่มความแข็งแรงให้กับโครงสร้างของสตาร์ชเจล โมเลกุลของน้ำที่แทรกอยู่ในโครงสร้างเจลถูกจับอยู่ก่อนถูกบีบออกจากเจล (syneresis) ทำให้มีน้ำแยกออกจากเจลของสตาร์ชระหว่างการละลาย (thaw) จำนวนรอบของการแช่แข็งและการละลายที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการแยกเฟสของน้ำเพิ่มขึ้น ทำให้เกิดผลึกน้ำแข็งที่ใหญ่ขึ้น โครงสร้างร่างแหของเจลสตาร์ชข้าวที่เรียงตัวกันแน่นทำให้ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลแบบ spongy ที่ชัดเจน มีน้ำแยกออกจากเจลของสตาร์ชระหว่างการละลาย (thaw) มากขึ้น (Eliasson, 2004; Lee *et al.*, 2002)



ภาพที่ 30 เปรียบเทียบการแยกตัวของน้ำจากเจลของสตาร์ชข้าว 5 % (w/w) ที่จำนวนรอบการแช่แข็งและละลายต่างๆ

3.2 ผลของไฮโดรคอลลอยด์ ความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลาย (freeze-thaw stability) ของสตาร์ชข้าว

ความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลายของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์กข 6, ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 ที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม มีความเข้มข้นรวมของพอลิแซ็กคาไรด์ 5% (w/w) และมีอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวต่อไฮโดรคอลลอยด์ คือ 10/0, 9.5/0.5, 9/1 และ 8.5/1.5

เปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจากเจลของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์กข 6, ข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 ลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกัวร์กัมและแซนแทนกัม (ภาพที่ 31-34) โดยผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับค่า setback (ภาพที่ 29 b-d) ที่พบว่าค่า setback ลดลง เมื่อเติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม ทำให้สตาร์ชเกิดรีโทรกราเดชันลดลง มีความคงตัวต่อการแช่แข็งมากขึ้น กัวร์กัมและแซนแทนกัมช่วยพัฒนาความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลายของสตาร์ชข้าว เนื่องจากกัวร์กัมและแซนแทนกัมมีความหนืดสูงที่อัตราเจือเจือต่ำ ยับยั้งการเคลื่อนที่ของน้ำและผลึกน้ำแข็ง ควบคุมขนาดของผลึกน้ำแข็งและการเกิดผลึกใหม่ของน้ำแข็ง (Eliasson, 2004; Lee *et al.*, 2002) ทำให้น้ำแยกตัวออกมาจากเจลผสมได้ยากมากขึ้น

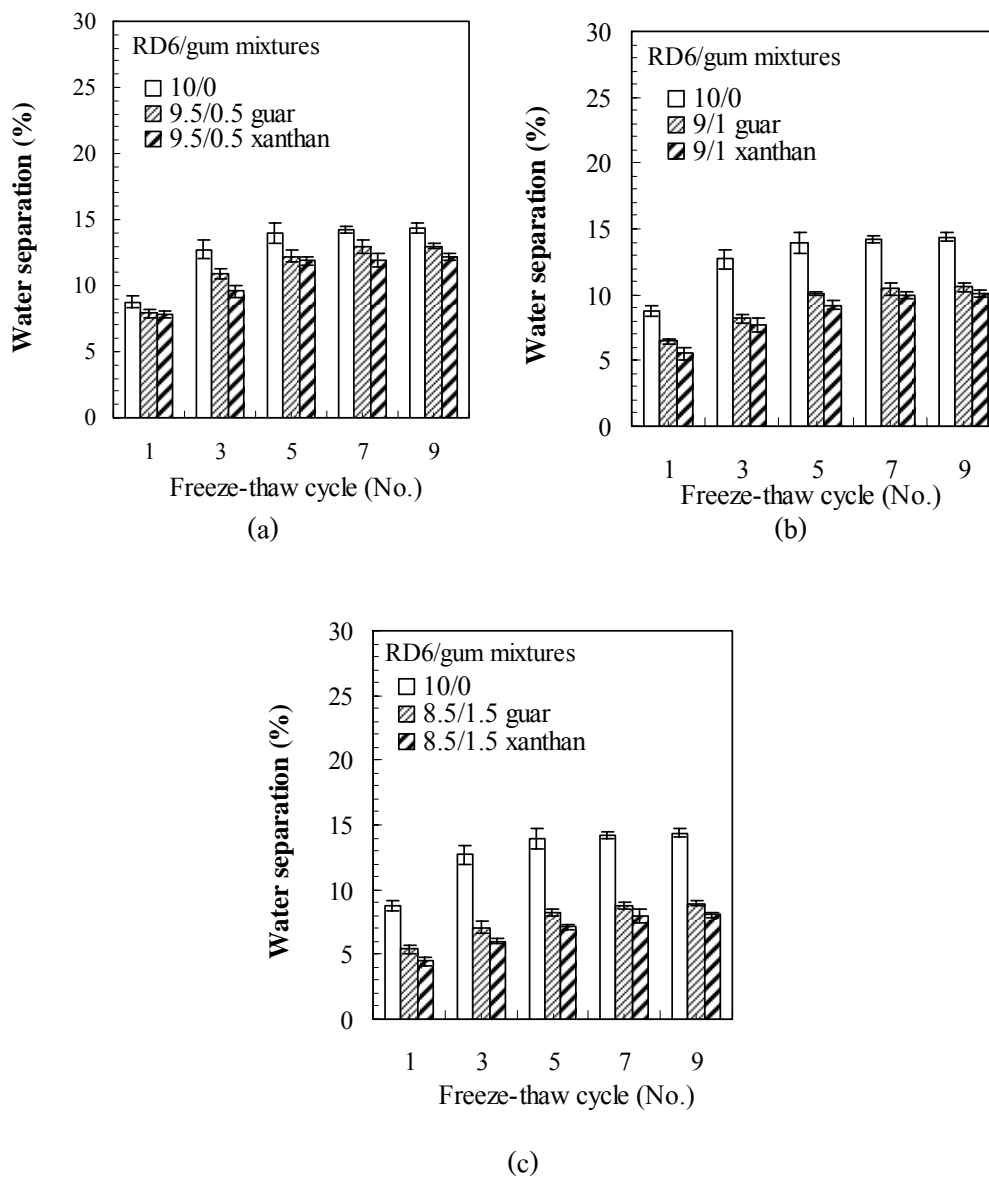
เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของกัวร์กัมและแซนแทนกัม มีผลให้ความหนืดของระบบเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเพิ่มความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลายของสตาร์ชที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม โดยมีเปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจากเจลของสตาร์ชลดลง

เนื่องจากกัวร์กัมและแซนแทนกัมมีโครงสร้างของพอลิแซ็กคาไรด์ขนาดใหญ่และมีกิ่งกระจายอยู่รอบโครงสร้าง สามารถละลายได้ดีในน้ำกัวร์กัมและแซนแทนกัม จับน้ำไว้ทำให้ความหนืดเพิ่มขึ้น ปริมาณน้ำที่เหลือสำหรับการพองตัวของสตาร์ชลดลง ระหว่างการให้ความร้อนกัวร์กัมและแซนแทนกัมเปลี่ยนโครงสร้างจาก two fold helical เป็น random coils โดยหลังจากการเกิดเจลาคิโนเซชัน เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงสตาร์ชเริ่มเกิดรีโทรกราเดชัน ในขณะเดียวกันแซนแทนกัมที่มีสมบัติเปลี่ยนโครงสร้างจาก random coil เป็น helices form ทำให้เกิดโครงสร้างเป็น weak gel อุ้มน้ำไว้ระหว่างโครงสร้างทำให้ตัวอย่างมีความหนืดและความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลาย ส่วนกัวร์กัมจะไม่มีสมบัติดังกล่าวทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคืออยู่ในรูปของ random coils และจากโครงสร้างของกัวร์กัมที่มีกิ่งของน้ำตาลกาแลคโตสจำนวนมากทำให้ไม่มีส่วนที่ว่างสำหรับเกิดเจล

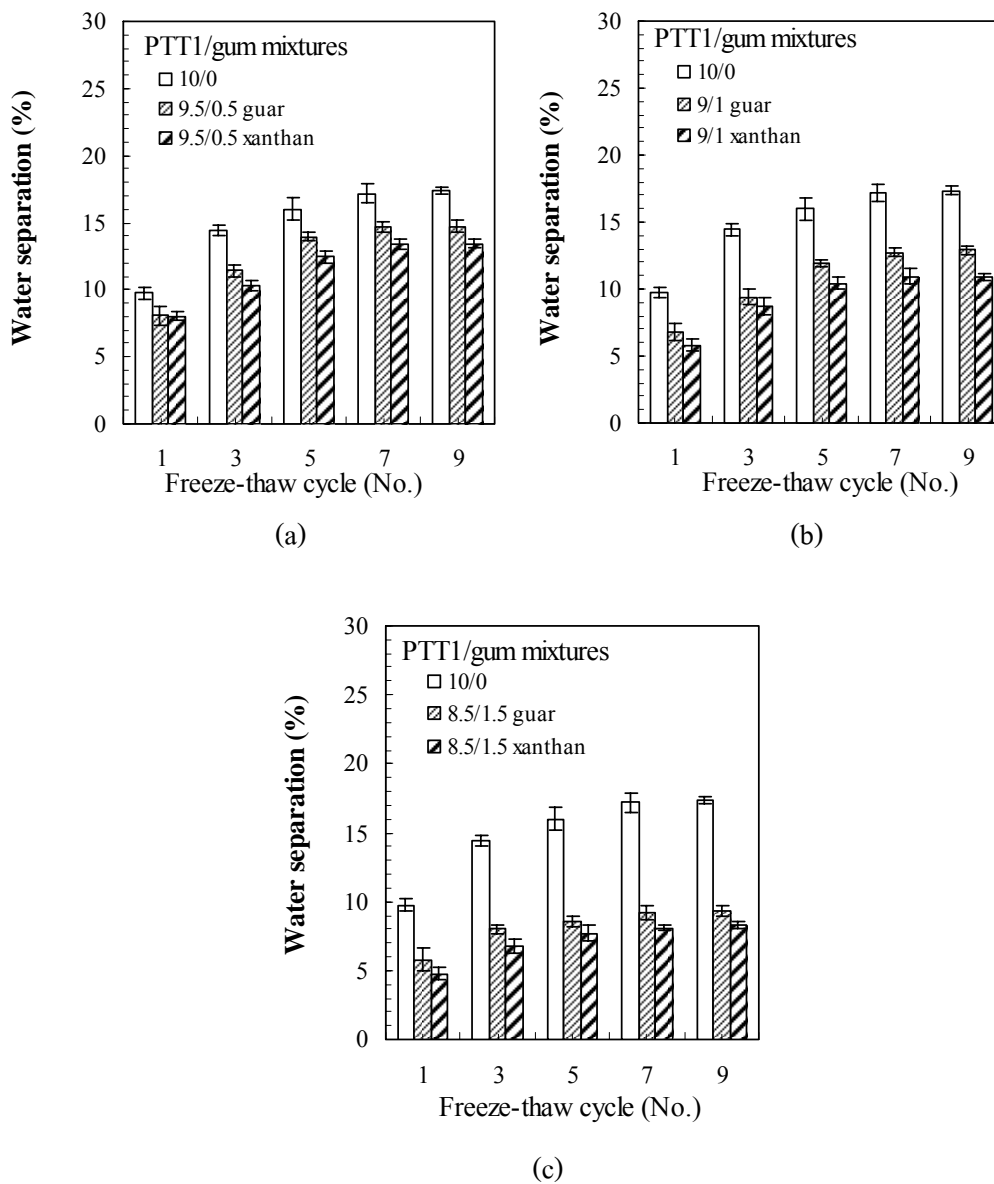
เพื่ออุ้มน้ำใน โครงสร้างสายโซ่ระหว่างโมเลกุล (junction zone) ทำให้กั๊วรั้กั๊มมีความคงตัวต่อการ แห้งแข็งและละลายน้อยกว่าแซนแทนกั๊ม (Morris, 1995)

แซนแทนกั๊มสามารถเพิ่มความคงตัวต่อการแห้งแข็งและละลายของสตาร์ชพันธุ์ชั๊ยนาท 1 ได้มากที่สุดเนื่องจากมีปริมาณอะไมโลสสูง (30%) การเติมแซนแทนกั๊มทำให้สตาร์ชแกรนูลมีความแข็งแรงมากขึ้นสอดคล้องกับค่า breakdown (ภาพที่ 25 d) และปริมาณ amylose leaching (ภาพที่ 21) ของสตาร์ชที่ลดลงเมื่อเติมแซนแทนกั๊ม และเกิดรีโททรกราเดชันลดลง ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มความคงตัวต่อการแห้งแข็งให้กับสตาร์ชเจล (ภาพที่ 34) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำกว่า โดยสตาร์ชข้าวทข 6 (ปริมาณอะไมโลส = 3%) มีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจากเจลของสตาร์ชที่เติมไฮโดรคอลลอยด์น้อยกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูง

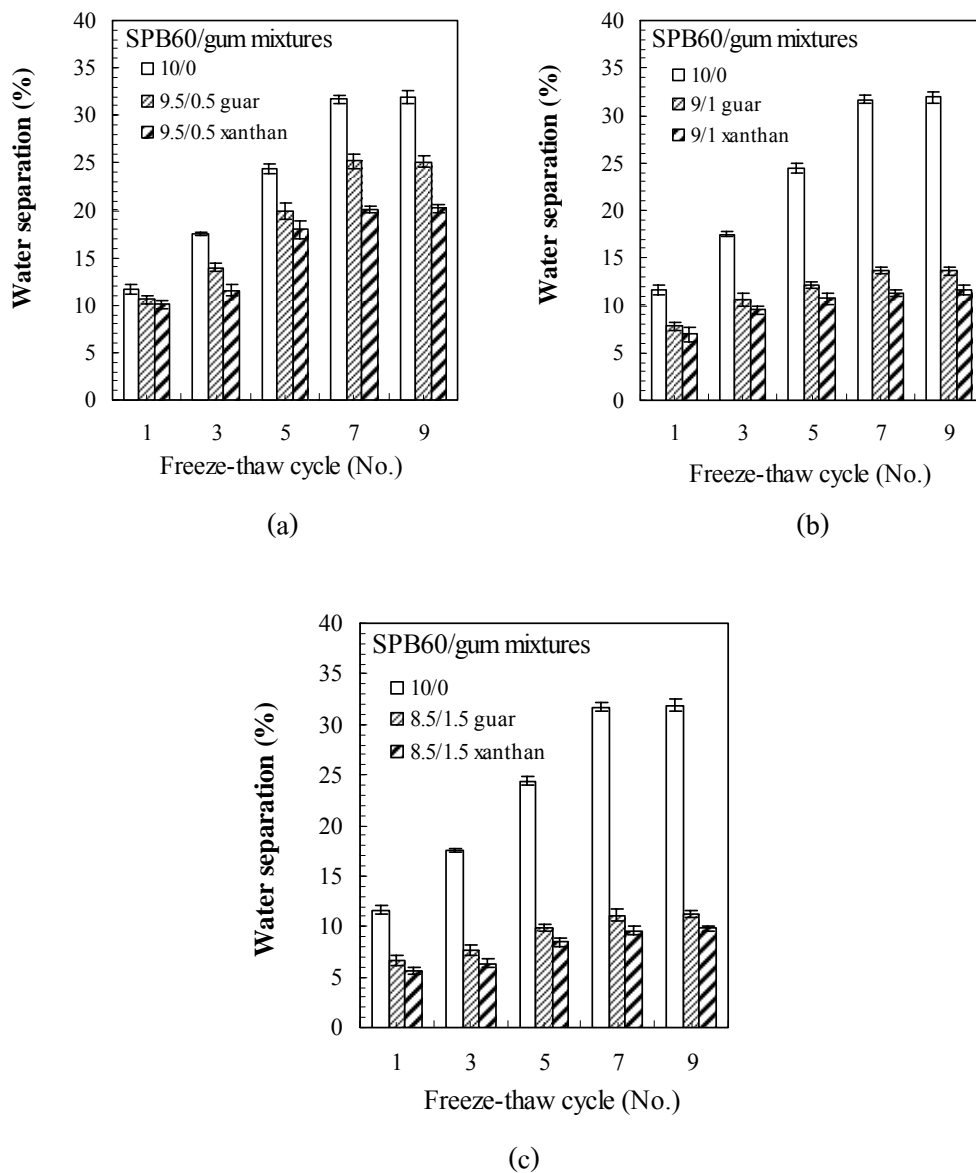
สารละลายแซนแทนกั๊มที่ความเข้มข้นของ 0.3–1% มีค่าความหนืดหลังการแห้งแข็งและการละลายเท่ากับความหนืดก่อนการแห้งแข็ง (Urlacher and Noble, 1999) ด้วยเหตุนี้สตาร์ชข้าวทที่เติมแซนแทนกั๊ม (0.25-0.75%) ที่ทำการแห้งแข็ง และหลังการละลายยังคงความหนืดของสารผสมได้ โดยลดเปอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจากเจลของสตาร์ช



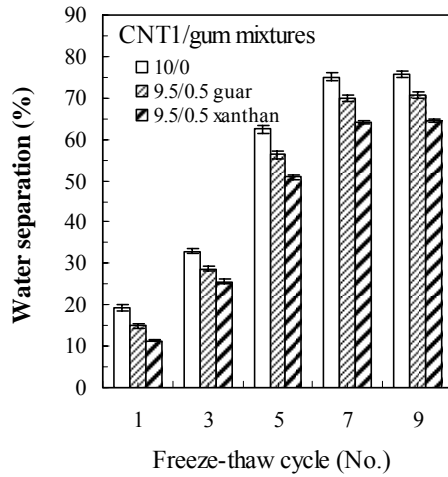
ภาพที่ 31 เปรอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจาก 5% (w/w) เจลของสตาร์ชข้าวเหนียวพันธุ์กข 6 ที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 (a), 9/1 (b) และ 8.5/1.5 (c) ที่จำนวนรอบการแช่แข็งและละลายต่างๆ



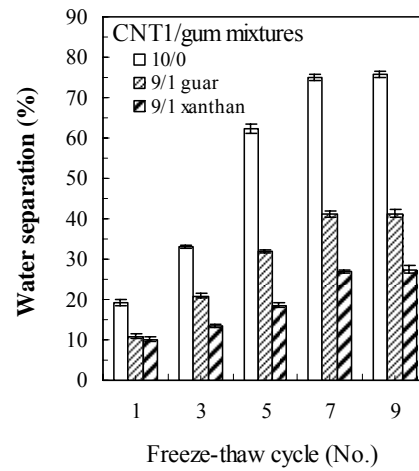
ภาพที่ 32 เปรอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจาก 5 % (w/w) เจลของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ปทุมธานี 1 ที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 (a), 9/1 (b) และ 8.5/1.5 (c) ที่จำนวนรอบการแช่แข็งและละลายต่างๆ



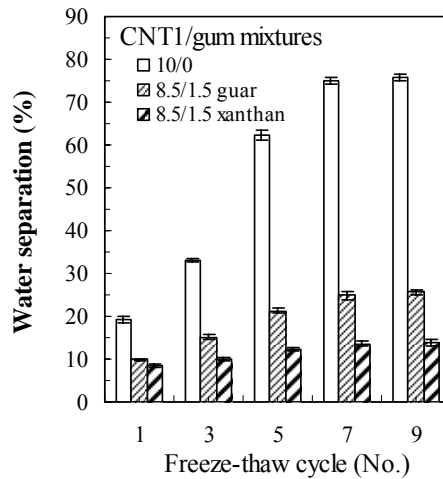
ภาพที่ 33 เปรอร์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจาก 5 % (w/w) เจลของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 (a), 9/1 (b) และ 8.5/1.5 (c) ที่จำนวนรอบการแช่แข็งและละลายต่างๆ



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 34 เปรอ์เซ็นต์การแยกตัวของน้ำจาก 5 % (w/w) เจลของสตาร์ชข้าวเจ้าพันธุ์ชัญนาท 1 ที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0, 9.5/0.5 (a), 9/1 (b) และ 8.5/1.5 (c) ที่จำนวนรอบการแช่แข็งและละลายต่างๆ

3.3 ผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อความคงตัวของเจลสตาร์ชข้าว อนุหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส

ตัวอย่างสตาร์ชเจลจากข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่เติมกัวร์กัม และแซนแทนกัมที่มีความเข้มข้นรวมร้อยละ 20 โดยมีอัตราส่วนของสตาร์ชข้าวและไฮโดรคอลลอยด์ 2 ระดับ คือ 10/0 และ 9.75/0.25 นำเจลที่ได้มาเก็บที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส นำเจลที่ได้วิเคราะห์เนื้อสัมผัส

ในตัวอย่างเจลจากสตาร์ชข้าวเหนียวกข 6 ที่มีความเข้มข้นรวมร้อยละ 20 ไม่สามารถ form gel ได้ แม้เก็บไว้ 21 วัน ที่อุณหภูมิ 5 ยังคงมีลักษณะเป็นเพสต์ เนื่องจากสตาร์ชข้าวเหนียวกข 6 (ปริมาณอะไมโลส = 3%) มีปริมาณอะไมโลสน้อย มีโมเลกุลของอะไมโลเพกตินมาก เมื่อเกิดรีโทรกราเดชันจะได้ลักษณะเจลใส นุ่มและสามารถไหลได้ (Zobel and Stephen, 1995) โดยลักษณะเจลดังกล่าวทำให้ไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เนื้อสัมผัสได้

3.3.1 ความแข็ง

ความแข็ง (hardness) หมายถึง ค่าแรงสูงสุดจากกราฟ texture profile analysis ที่เกิดขึ้นในการกดตัวอย่างครั้งที่ 1 ที่ระยะทาง 50 % ของความสูงเจล ค่าความแข็งที่วัดได้มีหน่วยเป็นนิวตัน โดยจะสัมพันธ์กับความแข็งของโครงสร้างเจลที่ต้านแรงกด ความแข็งของโครงสร้างเจลของสตาร์ชเกิดจากการจัดเรียงตัวของไหมของอะไมโลส โดยความแข็งของเจลจะขึ้นกับปริมาณอะไมโลสในสตาร์ช (Vandeputte *et al*, 2003b)

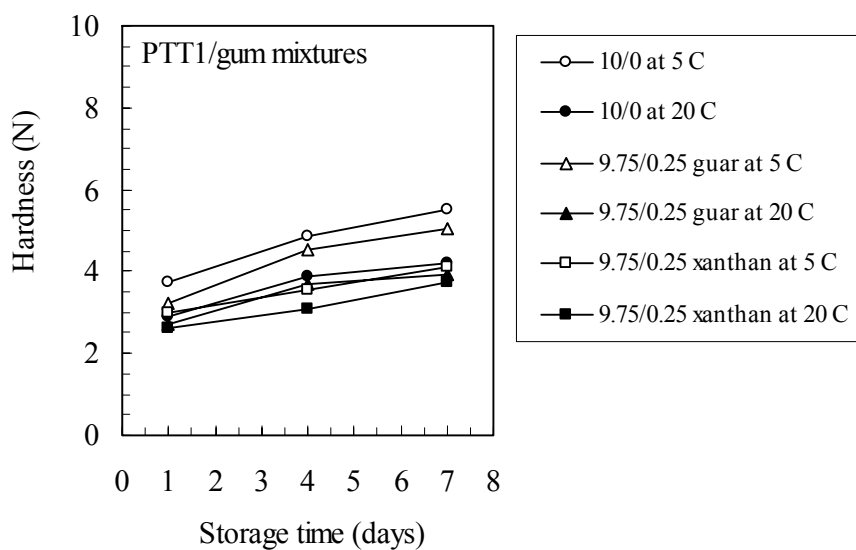
เจลของสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสมากกว่า 16 % (ปทุมธานี 1, สุพรรณบุรี 60) จะมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อเก็บนานขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส แต่เมื่อปริมาณอะไมโลสในสตาร์ชเพิ่มสูงขึ้น (ชัยนาท 1 ปริมาณอะไมโลส = 30%) สตาร์ชเจลที่เก็บอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มากกว่า 4 วัน เจลสตาร์ชแตกก่อนระยะทางที่กำหนดไว้ (50% ของความสูง) เพราะตัวอย่างมีความแข็งมากเนื่องจากการเกิดรีโทรกราเดชันมาก ไม่สามารถรายงานค่าความแข็งที่ 50% ของความสูงได้ ดังนั้นจึงรายงานเฉพาะค่าจากการทดลองเก็บตัวอย่างเป็นระยะเวลา 1 วัน (ภาพที่ 35)

สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสสูง (ชัณนาท 1 ; 30%) จะมีความแข็งของเจลสูงกว่าเจลที่เตรียมจากสตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ (สุพรรณบุรี 60; 24% และ ปทุมธานี 1; 16% ตามลำดับ) เป็นเช่นเดียวกับค่า setback (ภาพที่ 28) ที่พบว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงเกิดรีโทรกราเดชันได้มากและเร็วกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น

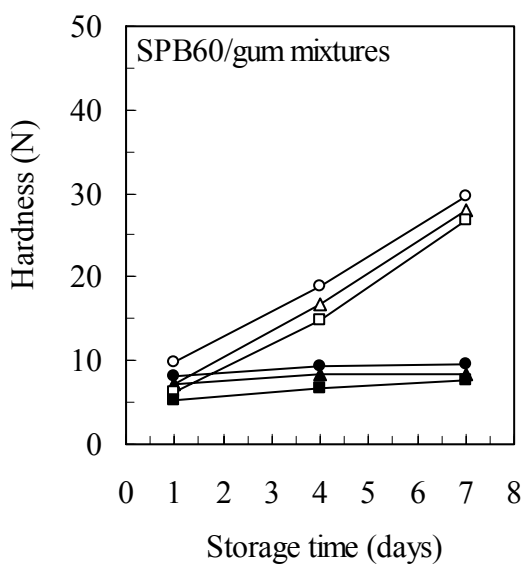
เนื่องจากการเติมไฮโดรคอลลอยด์ทำให้ปริมาณอะไมโลสลดลง และการเติมกัวร์กัมและแซนแทนกัมทำให้สตาร์ชมีปริมาณ amylose leaching น้อยลง (ภาพที่ 19-21) ดังนั้นการเติมกัวร์กัมและแซนแทนกัมทำให้อะไมโลสเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการจัดเรียงโครงสร้างใหม่หรือการเกิดรีโทรกราเดชันลดลง ทำให้สตาร์ชเจลผสมมีความแข็งลดลง โดยผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับ Pongsawatmanit, Temsiripong and Suwonsichon (2007) ที่พบว่า การเติมไซโคลลูแคนิน แป้งมันสำปะหลัง ความเข้มข้นรวมร้อยละ 25 (อัตราส่วน 9.5/0.5 และ 9/1) ทำให้ค่าความแข็งของเจลผสมลดลง

กัวร์กัมและแซนแทนกัมมีผลทำให้ความหนืดของเจลผสมสูงขึ้น ยับยั้งการเคลื่อนที่ของน้ำ (Funami *et al.*, 2005) ดังนั้นจึงทำให้ความแข็งของเจลที่มีไฮโดรคอลลอยด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเจลที่ไม่มีไฮโดรคอลลอยด์ (ภาพที่ 35)

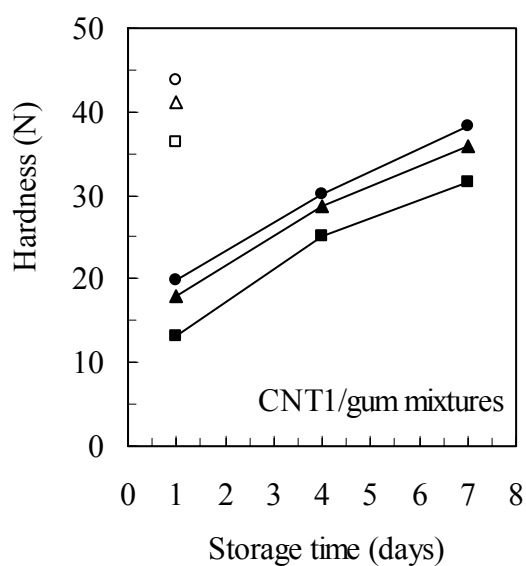
สตาร์ชเจลที่เติมกัวร์กัมให้เจลที่มีค่าความแข็งสูงกว่าแซนแทนกัมเนื่องจากแซนแทนกัมสามารถปริมาณ amylose leaching (ภาพที่ 19-21) ได้มากกว่ากัวร์กัม ดังนั้นสตาร์ชเจลที่เติมกัวร์กัมจึงมีปริมาณอะไมโลสที่ทำให้เกิดโครงสร้างใหม่มากกว่าแซนแทนกัม และทำให้ได้ค่าความแข็งที่สูงกว่าแซนแทนกัม (ภาพที่ 35)



(a)



(b)



(c)

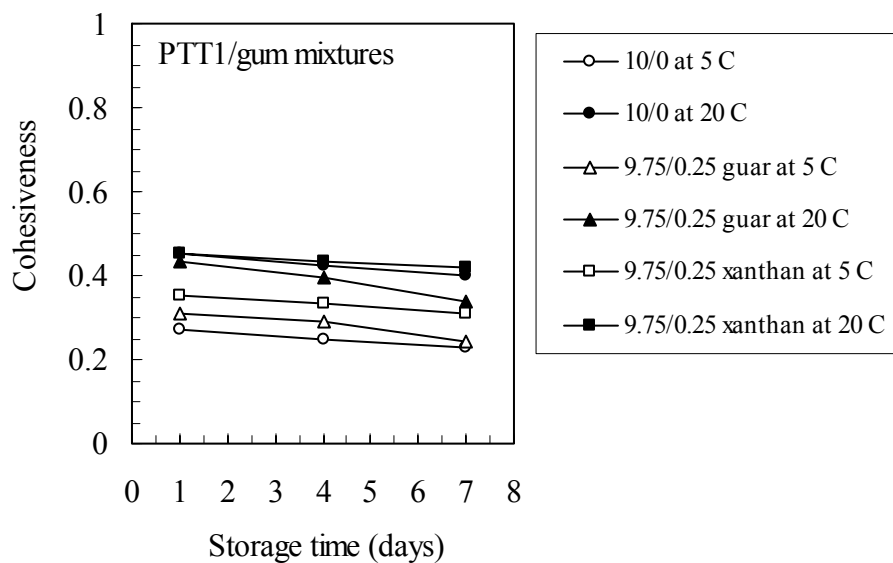
ภาพที่ 35 ค่าความแข็งของเจลสตาร์ชจากข้าวเจ้าที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม ความเข้มข้นรวมร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 หลังจากเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 4 และ 7 วัน สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (a), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (b) และสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (c)

3.3.2 ค่า cohesiveness

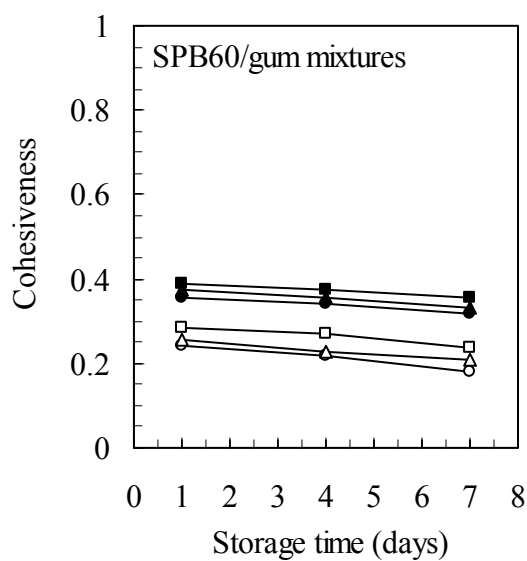
cohesiveness เป็นค่าที่บอกลักษณะการเกาะรวมตัวกันเหนียวแน่นมากน้อย หลังจากการที่ตัวอย่างถูกกดซ้ำ 2 ครั้ง ค่านี้หาได้จากอัตราส่วนของการนำเอาพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่ 2 หารด้วยพื้นที่ใต้กราฟของการกดครั้งที่ 1 ($\text{area 2} / \text{area 1}$) หากค่าอัตราส่วนที่หาได้มีค่าใกล้ 1 แสดงว่าตัวอย่างอาหารนั้น โครงสร้างภายในเกาะตัวดี การบดเคี้ยวตัวอย่างต้องใช้พลังงานมากในการทำลายตัวอย่างให้แตกหักหรือแยกออกจากกัน ค่า cohesiveness ที่คำนวณได้ไม่มีหน่วย เนื่องจากเป็นค่าอัตราส่วนเปรียบเทียบ (ชงชัย, 2549)

เจลของสตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (ปริมาณอะไมโลส = 16%) จะมีค่า cohesiveness สูงกว่าเจลจากสตาร์ชข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า (สุพรรณบุรี 60; 24% และ ชัยนาท 1; 30%) และค่า cohesiveness ลดลงเมื่อเก็บนานขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 36) เนื่องจากสตาร์ชเจลประกอบด้วยส่วนที่เป็นของแข็งและของเหลว โดยส่วนที่เป็นของเหลวจะทำหน้าที่เชื่อมกับส่วนที่เป็นของแข็ง ทำให้เจลมีการเกาะรวมตัวกันดี สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะเกิดริโทกราเดชันมากกว่าสตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสต่ำ และที่อุณหภูมิต่ำสตาร์ชเกิดริโทกราเดชันได้มากกว่าที่อุณหภูมิสูง (Mandala, Palogou and Kostaropoulos, 2002) เมื่อสตาร์ชเกิดริโทกราเดชัน ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างแน่นขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำที่เคยจับอยู่ก่อนถูกบีบกันออกไปจากเจล (กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล, 2546) ส่วนที่เป็นของเหลวในโครงสร้างเจลลดลง ทำให้ค่า cohesiveness ของสตาร์ชเจลลดลง

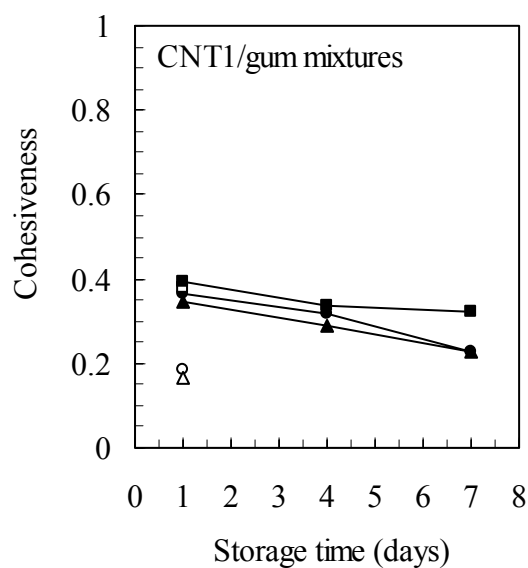
เจลสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ที่เติมแซนแทนกัมที่เก็บทั้ง 2 อุณหภูมิให้ค่า cohesiveness สูงกว่าเจลสตาร์ชที่เติมกัวร์กัม เนื่องจากแซนแทนกัมมีโครงสร้างกิ่งสายยาวที่สามารถเกิดเจลอ่อน และอุ้มน้ำไว้ระหว่างโครงสร้างทำให้ตัวอย่างมีความหนืดและความคงตัว ส่วนโครงสร้างของกัวร์กัมที่มีกิ่งสั้นของน้ำตาลกาแลคโตสที่ต่อกับน้ำตาลแมนโนสจำนวนมาก ทำให้ไม่มีส่วนที่ว่างสำหรับเกิดเจลเพื่ออุ้มน้ำในโครงสร้างสายโซ่ระหว่างโมเลกุล (junction zone) (Morris, 1995) โครงสร้างภายในของสตาร์ชข้าวที่เติมแซนแทนกัมมีการเกาะตัวกันดีและมีค่า cohesiveness สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเจลของสตาร์ชข้าวเพียงอย่างเดียว โดยผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับ Temsiripong (2005) ที่พบว่าค่า cohesiveness ของเจลผสมเพิ่มขึ้นเมื่อเติมไซโลกลูแคนในแป้งมันสำปะหลังความเข้มข้นรวมร้อยละ 25 (อัตราส่วน 9.5/0.5 และ 9/1) การเติมไซโลกลูแคนทำให้โครงสร้างของเจลผสมมีความเกาะตัวกันดีมากขึ้น



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 36 ค่า cohesiveness ของเจลสตาร์ชจากข้าวเจ้าที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม ความเข้มข้นรวมร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 หลังจากเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 4 และ 7 วัน สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (a), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (b) และสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (c)

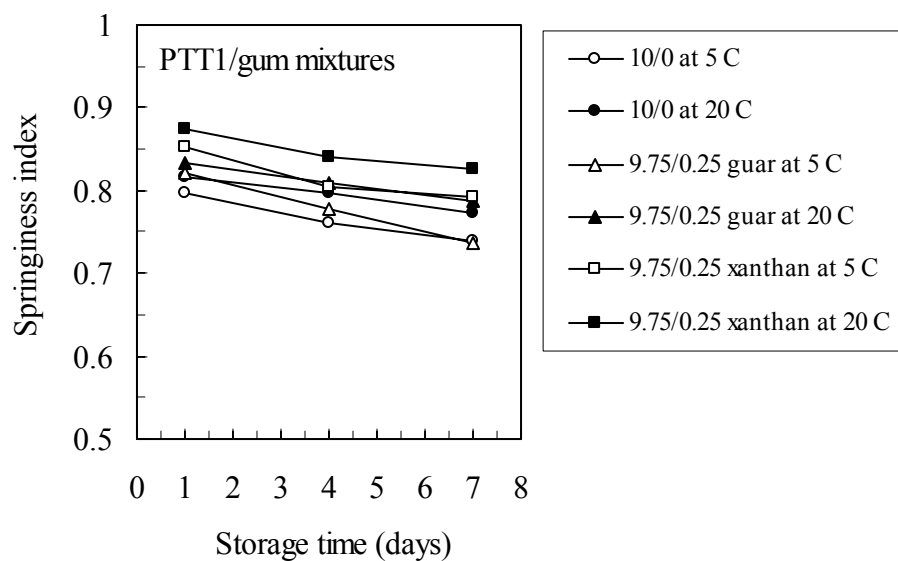
3.3.3 springiness

การกลับคืนสู่ขนาดและรูปร่างเดิม (springiness) คือ ความสามารถของตัวอย่าง เมื่อได้รับแรงมากระทำแล้วหลังจากถอนแรงออกสามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมของตัวอย่างได้มากน้อยเพียงไร คำนวณจากอัตราส่วนของระยะทางที่เกิดขึ้นตามแนวแกนเวลาของกราฟ TPA ที่เกิดขึ้นในขณะกดครั้งที่ 2 (L2)หารด้วยตามแนวแกนเวลาของกราฟ TPA ที่เกิดขึ้นในขณะกดครั้งที่ 1 (L1) เรียกสัดส่วน L2 /L1 ว่าค่า springiness index (ธงชัย, 2549)

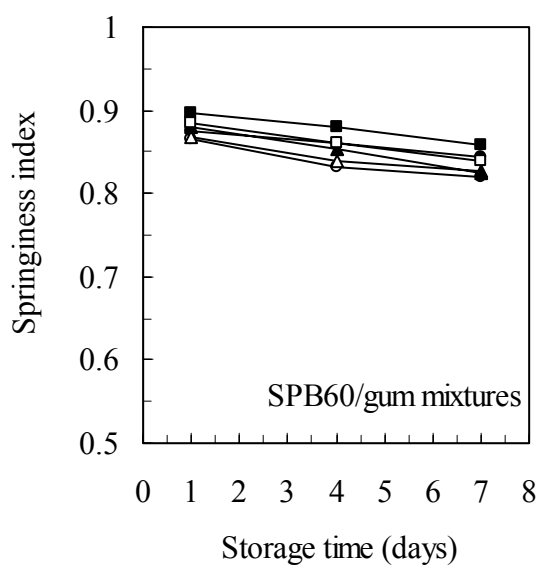
เจลของสตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (ปริมาณอะไมโลส = 16%) จะมีค่า springiness ต่ำกว่าเจลจากสตาร์ชข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า (สุพรรณบุรี 60; 24% และชัยนาท 1; 30%) และค่า springiness ลดลงเมื่อเก็บนานขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 37) เนื่องจากสตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 มีปริมาณอะไมโลสต่ำ ทำให้เกิดริโทกราเดชันน้อยโครงสร้างเจลไม่แข็งแรง โดยเห็นได้จากค่าความแข็งต่ำ (ภาพที่ 35 a) เมื่อได้รับแรงมากระทำแล้วหลังจากถอนแรงออกสตาร์ชเจลข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้น้อย (ภาพที่ 37 a)

เจลของสตาร์ชเกิดจากริโทกราเดชันของอะไมโลส ในระยะแรกโครงสร้างเจลมีส่วนที่เป็นของเหลวอยู่ ทำให้ค่า springiness สูง เมื่อเก็บเจลของสตาร์ชนานขึ้นการเกิดริโทกราเดชันของสตาร์ชมากขึ้นทำให้เกิดการจัดเรียงตัวของโครงสร้างแน่นขึ้น ทำให้โมเลกุลของน้ำที่เคยจับอยู่ก่อนถูกบีบกันออกไปจากเจล (กล้าณรงค์ และเกื้อกุล, 2546) ทำให้ค่า springiness ลดลง (ภาพที่ 37)

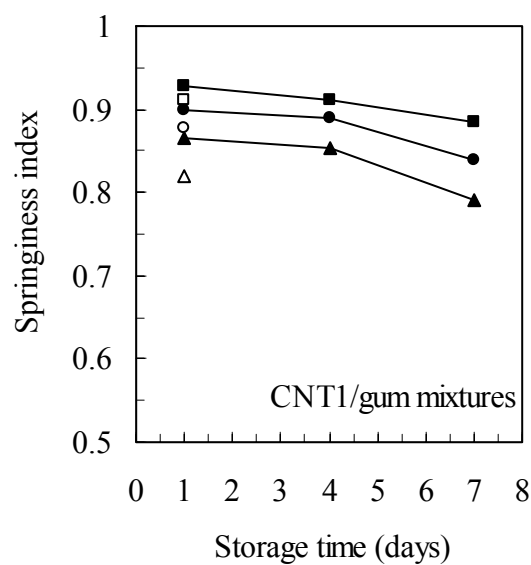
เจลสตาร์ชข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ที่เติมแซนแทนกัมที่เก็บทั้ง 2 อุณหภูมิ ให้ค่า springiness สูงกว่าเจลสตาร์ชที่เติมกัวร์กัม เนื่องจากโครงสร้างพอลิแซ็กคาไรด์ขนาดใหญ่ที่มีกิ่งยาวของแซนแทนกัมสามารถอุ้มน้ำในโครงสร้างได้ดีกว่าโครงสร้างกิ่งสั้นของกัวร์กัม ทำให้โครงสร้างภายในของสตาร์ชข้าวมีค่า springiness สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเจลของสตาร์ชข้าวเพียงอย่างเดียว โดยผลการทดลองเป็นเช่นเดียวกับค่า cohesiveness (ภาพที่ 36)



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 37 ค่า springiness ของเจลสตาร์ชจากข้าวเจ้าที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม ความเข้มข้นรวมร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 หลังจากเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 4 และ 7 วัน สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (a), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (b) และสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (c)

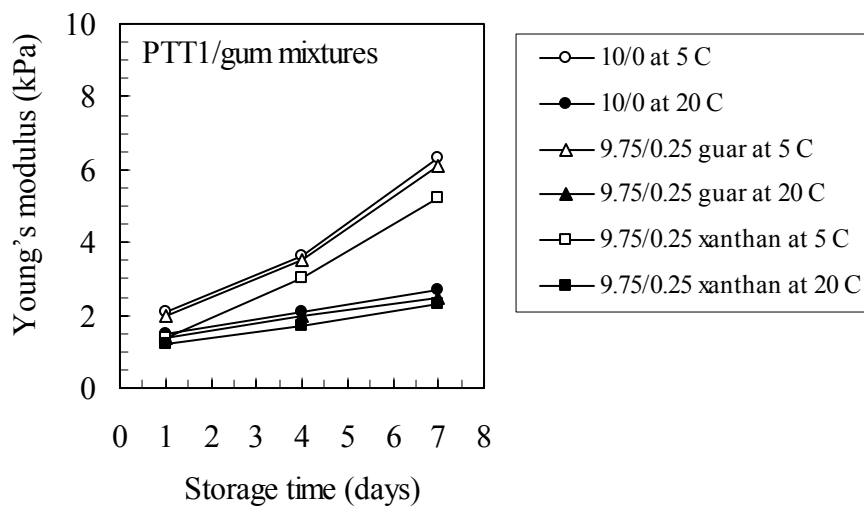
3.3.4 ค่า Young's modulus

สตาร์ชเจลที่มีลักษณะแข็งขึ้นแสดงถึงการเกิดการคืนตัวของสตาร์ชหรือการเกิดรีโทรกราเดชัน การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถศึกษาได้จากการเปลี่ยนแปลงของค่า Young's modulus (E) โดยหาได้จากความลาดชันเชิงเส้นตรงของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ค่าโมดูลัสเป็นค่าที่บ่งบอกความยืดหยุ่นของวัสดุ (elasticity) (ปีติพร, 2546; ธงชัย, 2549)

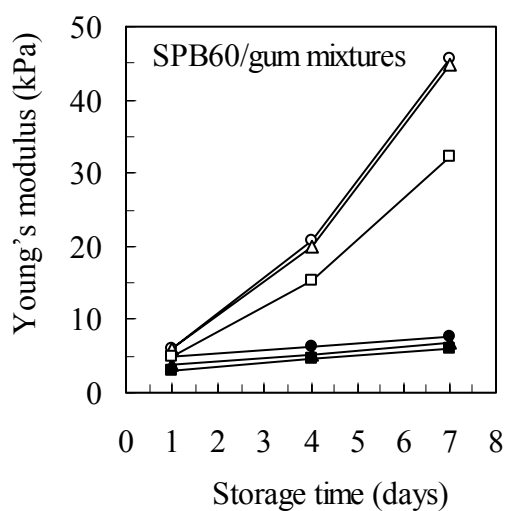
เจลของสตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (ปริมาณอะไมโลส = 16%) จะมีค่า Young's modulus ต่ำกว่าเจลจากสตาร์ชข้าวพันธุ์ที่มีปริมาณอะไมโลสสูงกว่า (สุพรรณบุรี 60; 24% และ ชัยนาท 1; 30%) และค่า Young's modulus เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บนานขึ้น โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 38) เนื่องจากโครงสร้างภายในของสตาร์ชเจลมีความแข็งแรง เมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้น การเกิดรีโทรกราเดชันเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 35) จากผลการทดลองสามารถบอกได้ว่าเมื่อปริมาณอะไมโลสเพิ่มขึ้นความเป็น elasticity ของสตาร์ชเจลเพิ่มขึ้น

อุณหภูมิและเวลา มีผลกับการเปลี่ยนแปลงค่า Young's modulus ของสตาร์ชเจลเมื่อเวลาในการเก็บตัวอย่างมากขึ้นพบว่า สตาร์ชเจลที่เก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส มีค่า Young's modulus เพิ่มขึ้นมากกว่าสตาร์ชเจลที่เก็บที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทั้งนี้การเกิดรีโทรกราเดชันจะมีความสมบูรณ์มากขึ้นเมื่อเวลาของเจลที่ถูกทิ้งไว้ให้เย็น (Whistler and BeMiller, 1999)

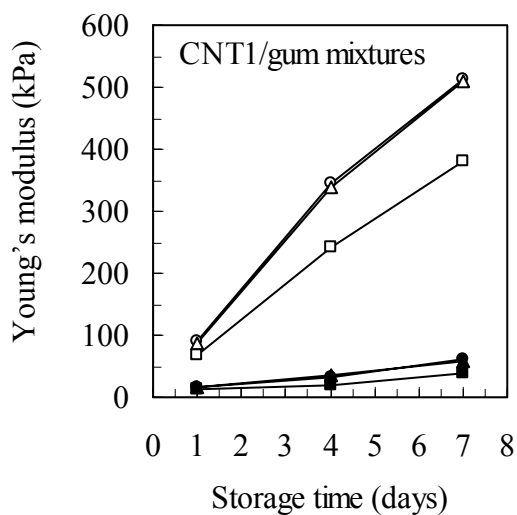
แซนแทนกัมให้ค่า Young's modulus ของสตาร์ชเจลจากข้าวทั้ง 3 พันธุ์ลดลง เนื่องจากแซนแทนกัมทำให้ปริมาณอะไมโลสที่ทำให้เกิดโครงสร้างใหม่ลดลง โดยเช่นเดียวกับการลดลงของค่าความแข็ง (ภาพที่ 35)



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 38 ค่า Young's modulus ของเจลสตาร์ชจากข้าวเจ้าที่เติมกัวร์กัมและแซนแทนกัม ความเข้มข้นรวมร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 หลังจากเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 5 และ 20 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1, 4 และ 7 วัน สตาร์ชข้าวปทุมธานี 1 (a), สตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 (b) และสตาร์ชข้าวพันธุ์ชัยนาท 1 (c)

3.4 ผลของน้ำตาลและไฮโดรคอลลอยด์ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของสตาร์ชข้าว

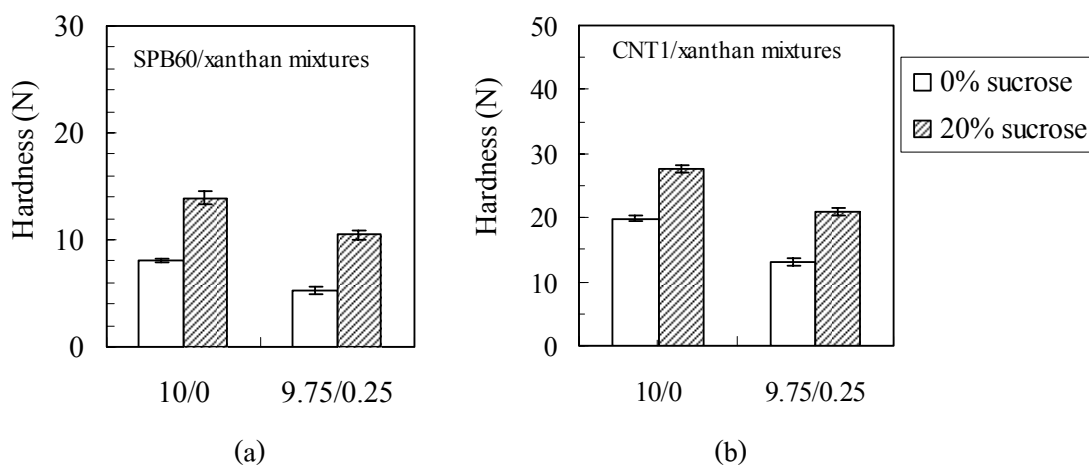
ในผลิตภัณฑ์อาหาร ส่วนผสมของอาหารถือว่าเป็นสิ่งสำคัญเป็นตัวกำหนดสมบัติเชิงหน้าที่ในอาหาร น้ำตาลจัดเป็นส่วนผสมที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย การใส่น้ำตาลไม่เพียงแต่เพิ่มความหวานแต่น้ำตาลยังมีผลต่อสมบัติด้านกายภาพ ในผลิตภัณฑ์ที่มีสตาร์ชเป็นส่วนประกอบหลัก เช่น การเกิดเจลาคีโนเซชัน และรีโทรกราเดชันของสตาร์ช (Pongsawatmanit, Temsiripong and Suwonsichon, 2007)

ในการผลิตผลิตภัณฑ์จากข้าวมีลักษณะเป็นเจลมักใช้ข้าวที่มีปริมาณอะไมโลสปานกลางจนถึงอะไมโลสสูงเป็นองค์ประกอบ ผลของซูโครสนี้จึงเลือกสตาร์ชข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 และแซนแทนกัม เนื่องจากโครงสร้างพอลิแซ็กคาไรด์ขนาดใหญ่ที่มีกิ่งยาวของแซนแทนกัมสามารถยับยั้งการเกิดรีโทรกราเดชันได้ดีกว่ากัวร์กัม

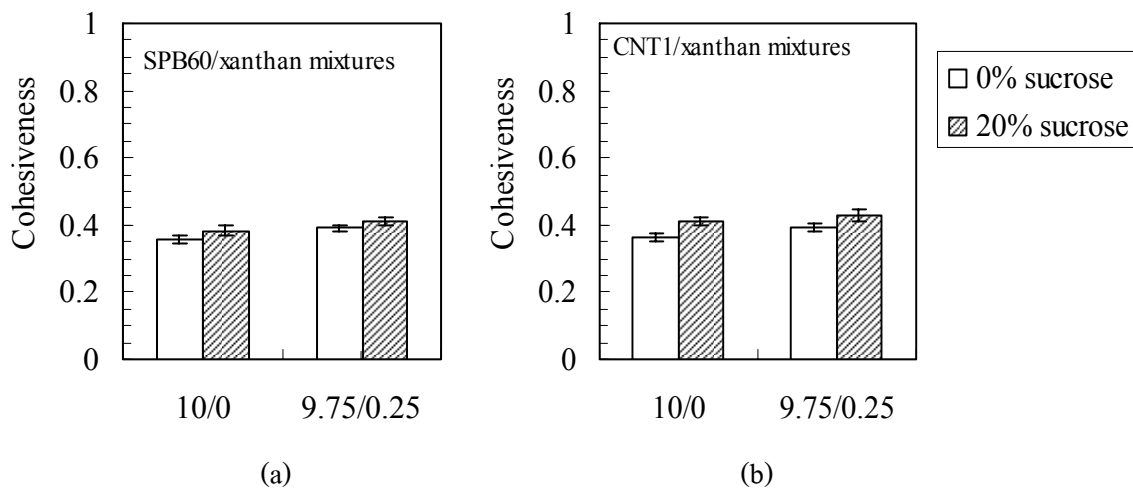
สตาร์ชเจลที่เตรียมจากข้าวเจ้าพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 ที่เติมแซนแทนกัม ความเข้มข้นรวมร้อยละ 20 ที่อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 ตัวอย่างที่มีและไม่มีซูโครสร้อยละ 20

ซูโครสมีผลให้ค่าความแข็ง, cohesiveness, springiness และ Young's modulus เพิ่มขึ้น ทั้งสตาร์ชข้าวสุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 (ภาพที่ 39-42) เนื่องจากการเติมซูโครสเป็นการเพิ่มปริมาณของแข็งให้กับของผสม ทำให้เพิ่มการรวมตัวกันของสายโซ่โดยเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างซูโครสและหมู่ไฮดรอกซิลของสตาร์ช และซูโครสยังช่วยจับน้ำในโครงสร้างสตาร์ชเจล ดังนั้นการเติมซูโครสเป็นการเพิ่มโครงสร้างที่เป็น elastic ให้กับสตาร์ชเจล (Pongsawatmanit, Temsiripong and Suwonsichon, 2007)

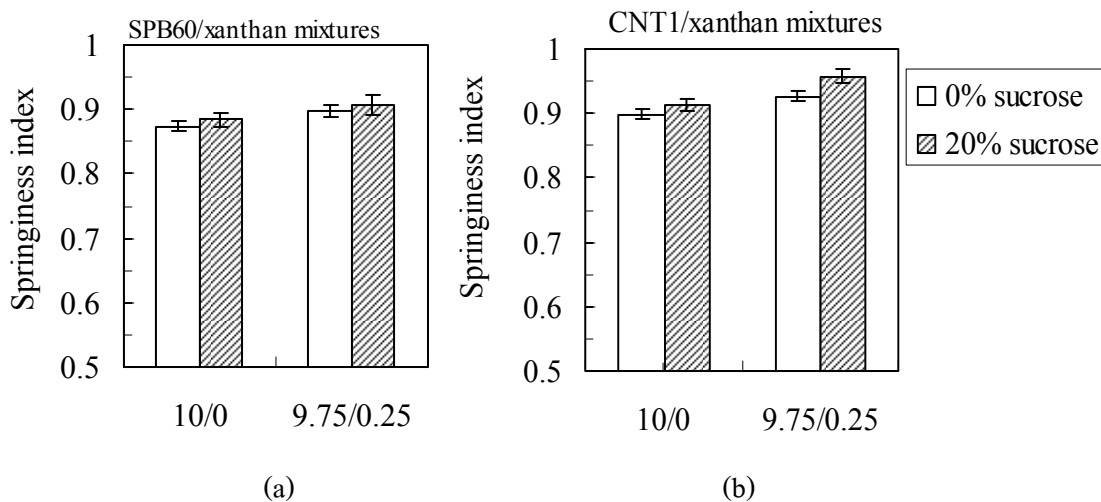
เจลของสตาร์ชในกรณีที่เติมแซนแทนกัมมีผลลดค่าความแข็ง แต่ cohesiveness, springiness และ Young's modulus เพิ่มขึ้นของสตาร์ชเจลจากข้าวสุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1 ทั้งที่มีและไม่มีซูโครส เนื่องจากแซนแทนกัมเพิ่มความหนืดและควบคุมการเคลื่อนที่ของน้ำในสตาร์ชเจล (Lee *et al.*, 2002)



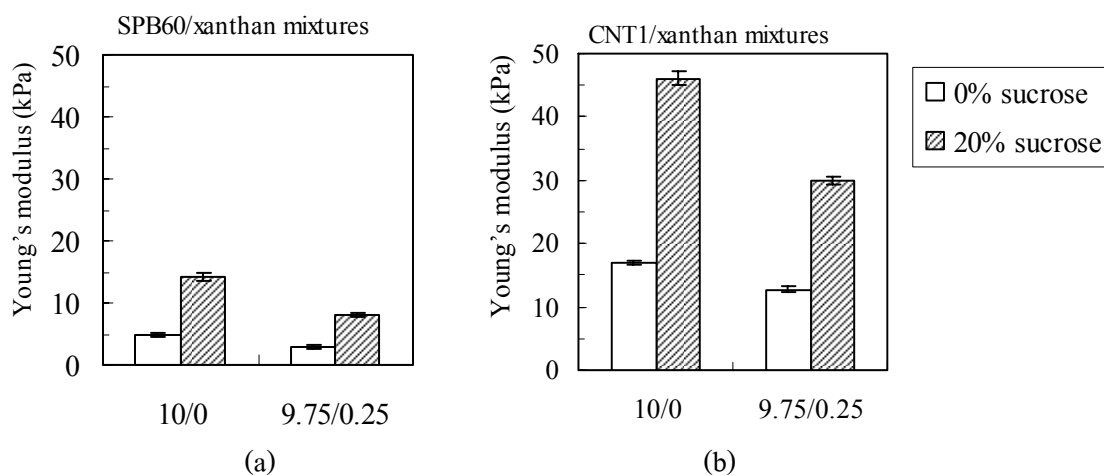
ภาพที่ 39 ค่าความแข็งของสตาร์ชเจลจากข้าวพันธุสุพรรณบุรี 60 (a) และชัยนาท 1 (b) ที่มีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวต่อแซนแทนกัม 10/0 และ 9.75/0.25 ของความเข้มข้นร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่มีและไม่มีซูโครสร้อยละ 20



ภาพที่ 40 ค่า cohesiveness ของสตาร์ชเจลจากข้าวพันธุสุพรรณบุรี 60 (a) และชัยนาท 1 (b) ที่มีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวต่อแซนแทนกัม 10/0 และ 9.75/0.25 ของความเข้มข้นร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่มีและไม่มีซูโครสร้อยละ 20



ภาพที่ 41 ค่า springiness ของสตาร์ชเจดจากข้าวพันธุสุพรรณบุรี 60 (a) และชัณนาท 1 (b) ที่มีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวต่อแซนแทนกัน 10/0 และ 9.75/0.25 ของความเข้มข้นร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่มีและไม่มีซูโครสร้อยละ 20



ภาพที่ 42 ค่า Young's modulus ของสตาร์ชเจดจากข้าวพันธุสุพรรณบุรี 60 (a) และชัณนาท 1 (b) ที่มีอัตราส่วนระหว่างสตาร์ชข้าวต่อแซนแทนกัน 10/0 และ 9.75/0.25 ของความเข้มข้นร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่มีและไม่มีซูโครสร้อยละ 20

4. ผลของแซนแทนกัมต่อคุณภาพและความคงตัวของผลิตภัณฑ์โมเดลจากแป้งข้าว

เมื่อทำการวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีและปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวเจ้า ตัวอย่าง (ตราช้างสามเศียร) ได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางเคมี และปริมาณอะไมโลสของแป้งข้าวเจ้าตราช้างสามเศียร

ตัวอย่าง	ความชื้น (%, wb)*	อะไมโลส (%, db)	โปรตีน (%, db)	ไขมัน (%, db)	เถ้า (%, db)
แป้งข้าว	12.04 ± 0.01	27.44 ± 0.08	8.02 ± 0.06	0.10 ± 0.03	0.45 ± 0.01

หมายเหตุ ค่าที่รายงานเป็นค่า mean ± SD

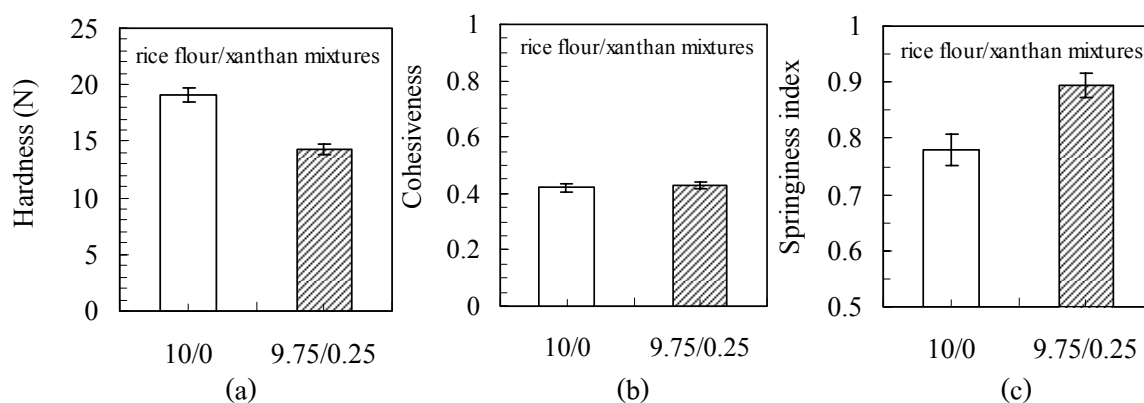
*% (percent wet basis) หมายถึง การคิดเป็นร้อยละเปรียบเทียบกับน้ำหนักเปียก

นำตัวอย่างเจลของขนมจากแป้งข้าว มาตัดให้มีความยาว 20 ± 0.5 มิลลิเมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 22 ± 0.5 มิลลิเมตร วัดลักษณะเนื้อสัมผัสด้วย texture profile analysis (TPA) โดยกดเจลระยะทาง 10 มิลลิเมตร (50% ของความสูงเจล) พบว่า

ค่าความแข็งของเจลขนมจากแป้งข้าวที่มีแซนแทนกัมมีค่าความแข็งน้อยกว่าตัวอย่างที่ไม่มีแซนแทนกัมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

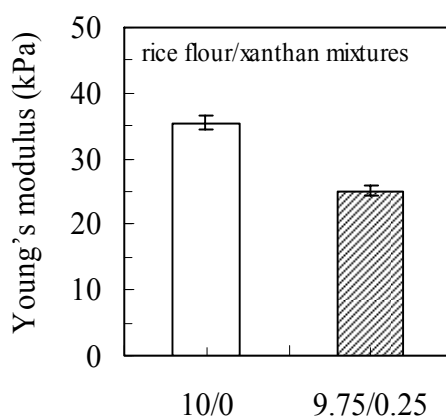
ค่า cohesiveness เจลขนมจากแป้งข้าวที่มีและไม่มีแซนแทนกัมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ค่า springiness เจลขนมจากแป้งข้าวที่มีแซนแทนกัมมีค่าความยืดหยุ่นมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีแซนแทนกัมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เนื่องจากแซนแทนกัมสามารถขัดขวางการเกิดรีโทรกราเดชันระหว่างอะไมโลสและอะไมโลส (Shi and BeMiller, 2002; Lee *et al.*, 2002) การเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ชทำให้เกิดการแยกตัวของน้ำออกจากเจล แซนแทนกัมมีผลทำให้โครงสร้างร่างแหของสตาร์ชข้าวที่เรียงตัวกันมีความแข็งแรงลดลง (ภาพที่ 43)



ภาพที่ 43 ผลของเซนแทนกัมต่อค่าความแข็ง(a), cohesiveness (b) และ springiness index (c) ของเจลขนมจากแป้งข้าวที่เติมเซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 โดยส่วนผสมของแป้งและกัมรวมร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่เติมซูโครสร้อยละ 20

ขนมจากแป้งข้าวที่มีเซนแทนกัมมีค่า Young's modulus น้อยกว่าขนมจากแป้งข้าวที่ไม่มีเซนแทนกัม เนื่องจากเซนแทนกัมขัดขวางการเกิดรีโทรกราเดชันของสตาร์ช (Lee *et al.*, 2002) ทำให้ความแข็งของโครงสร้างมีน้อยกว่าเจลของขนมจากแป้งข้าวที่มีเซนแทนกัม (ภาพที่ 44)



ภาพที่ 44 ค่า Young's modulus ของเจลขนมจากแป้งข้าวที่เติมเซนแทนกัม อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25 โดยส่วนผสมของแป้งและกัมรวมร้อยละ 20 ในตัวอย่างที่เติมซูโครสร้อยละ 20

จากการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยวิธีการให้คะแนนความชอบของขนมจากแป้งข้าว ที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้าเติมแซนแทนกัม 0 และ 0.5 % (อัตราส่วน 10/0 และ 9.75/0.25) ด้วยการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (1 = ไม่ชอบมากที่สุด ถึง 9 = ชอบมากที่สุด) (9-point hedonic scale) ลักษณะปรากฏ รสชาติ ลักษณะเนื้อสัมผัส และความชอบรวม โดยในความชอบลักษณะเนื้อสัมผัสได้สอบถามความรู้สึกต่อผลิตภัณฑ์ในลักษณะความนุ่ม ความยืดหยุ่น และความร่วน ด้วยการให้คะแนนความรู้สึก 5 ระดับ (1 = น้อย ถึง 5 = มาก) ประเมินโดยผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน

ผลการทดสอบพบว่าผู้ทดสอบให้คะแนนลักษณะปรากฏ รสชาติ ความร่วน และความชอบรวมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ส่วนลักษณะเนื้อสัมผัส ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบตัวอย่างที่มีแซนแทนกัมมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีแซนแทนกัมโดยคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ความนุ่ม และความยืดหยุ่นผู้ทดสอบให้คะแนนความรู้สึกนุ่มในตัวอย่างที่มีแซนแทนกัมมากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีแซนแทนกัม โดยคะแนนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สอดคล้องกับค่าความแข็ง และ springiness จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลของขนมจากแป้งข้าวที่พบว่าตัวอย่างที่มีแซนแทนกัมมีค่าความแข็งน้อยกว่า และค่า springiness มากกว่าตัวอย่างที่ไม่มีแซนแทนกัมแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (ภาพที่ 43) แสดงผลการทดสอบในตารางที่ 8

แซนแทนกัมความแข็งแรงของโครงสร้างเจล โดยลดการจัดโครงสร้างใหม่ของสตาร์ช (Pongsawatmanit, Temsiripong and Suwonsichon, 2007) และแซนแทนกัมช่วยเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างเจลของขนมจากแป้งข้าว ทำให้เจลมีส่วนที่เป็นของเหลวอยู่มากกว่าเจลของขนมจากแป้งข้าวที่ไม่มีแซนแทนกัม ทำให้ขนมจากแป้งข้าวที่มีแซนแทนกัมมีลักษณะเนื้อสัมผัสด้านความนุ่มและความยืดหยุ่นที่ดีกว่าตัวอย่างที่ไม่มีแซนแทนกัม

ตารางที่ 8 คะแนนเฉลี่ยความชอบของขนมจากแป้งข้าวที่มีและไม่มีแซนแทนกัม

ปัจจัยคุณภาพ	แซนแทนกัม (%)	
	0	0.5
ลักษณะปรากฏ*	6.43 ± 1.55a	6.43 ± 1.50a
รสชาติ*	6.83 ± 0.87a	6.73 ± 0.87a
ลักษณะเนื้อสัมผัส*	6.30 ± 0.79a	6.87 ± 0.86b
● ความนุ่ม**	2.87 ± 0.68a	4.03 ± 0.72b
● ความยืดหยุ่น**	2.43 ± 0.82a	3.47 ± 0.73b
● ความร่วน**	2.87 ± 0.82a	2.80 ± 0.85a
ความชอบรวม*	6.40 ± 0.89a	6.50 ± 0.86a

หมายเหตุ ค่าที่รายงานเป็นค่า mean ± SD

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* คะแนนความชอบเฉลี่ยต่ำสุด คือ 1 = ไม่ชอบมากที่สุด และสูงสุดคือ 9 = ชอบมากที่สุด

** คะแนนความรู้สึกเฉลี่ยต่ำสุด คือ 1 = น้อย และสูงสุดคือ 5 = มาก

จากตารางการทดสอบประสาทสัมผัสในด้านความชอบ (ตารางที่ 8) พบว่าลักษณะเจลที่มีแซนแทนกัมได้คะแนนความชอบสูงกว่าในด้านเนื้อสัมผัสโดยเฉพาะความนุ่มและความยืดหยุ่น แม้ว่าความชอบรวมจะไม่แตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามเมื่อทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสอีกครั้ง โดยสอบถามความชอบระหว่างตัวอย่างของขนมจากแป้งข้าว ที่เตรียมจากแป้งข้าวเจ้ามีและไม่มีแซนแทนกัม พบว่าผู้ทดสอบเลือกตัวอย่างที่มีแซนแทนกัมมากกว่าเนื่องจากผู้ทดสอบชอบลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างมากกว่า และเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างแบบ Chi-square พบว่าตัวอย่างแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) (ตารางที่ 9)

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบแบบ paired preference ของขนมจากแป้งข้าวที่มีและไม่มีแซนแทนกัม

แซนแทนกัม (%)	จำนวนคนที่เลือก
0	9
0.5	21

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. ปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่ากำลังการพองตัวลดลง แต่เพิ่มปริมาณ amylose leaching ความเข้มข้นของกัวร์กัมและแซนแทนกัมทำให้ค่ากำลังการพองตัว, ความสามารถในการละลายและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ลดลง โดยแซนแทนกัมให้ผลการลดลงมากกว่ากัวร์กัมเนื่องจากแซนแทนกัมเพิ่มความหนืดในระบบมากกว่ากัวร์กัม
2. ปริมาณอะไมโลสของสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนืดสูงสุดและค่า breakdown ลดลง แต่ค่าความหนืดสุดท้ายและค่า setback เพิ่มขึ้น เมื่อเติมกัวร์กัมและแซนแทนกัมในสตาร์ชข้าวทั้ง 4 พันธุ์ ค่า RVA pasting properties ของสตาร์ชให้ผลแตกต่างกันขึ้นกับปริมาณอะไมโลสและชนิดของไฮโดรคอลลอยด์
3. เพสต์ที่ไม่มีไฮโดรคอลลอยด์ สตาร์ชที่มีปริมาณอะไมโลสสูงจะมีปริมาณน้ำที่แยกออกจากเพสต์สูง เมื่อเติมแซนแทนกัมและกัวร์กัมพบว่าปริมาณน้ำที่แยกออกจากเพสต์ลดลง โดยปริมาณน้ำที่แยกออกจากเพสต์ที่เติมแซนแทนกัมต่ำกว่าเพสต์ที่เติมกัวร์กัม
4. ปริมาณอะไมโลส และไฮโดรคอลลอยด์ (แซนแทนกัมและกัวร์กัม) ชนิดให้ลักษณะเนื้อสัมผัสที่แตกต่างกัน ระยะเวลาการเก็บเจลที่นานและอุณหภูมิการเก็บที่ต่ำ เพิ่มอัตราอิโทรกราเดชันของเจลจากสตาร์ชข้าว การเติมซูโครสความเข้มข้น 20% ในสตาร์ชเจล ทำให้ความยืดหยุ่นของสตาร์ชเจลจากข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และชัยนาท 1
5. การศึกษาในผลิตภัณฑ์โมเดลจากข้าวที่ใช้แป้งข้าวทางการค้า ซึ่งมีปริมาณอะไมโลส 27% พบว่าการเติมแซนแทนกัมทำให้ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรงลดลง จากการทดสอบด้วยวิธีการเปรียบเทียบตัวอย่างคู่เพื่อหาความชอบของผลิตภัณฑ์โมเดลจากข้าวที่มีและไม่มีแซนแทนกัม โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน พบว่าผู้ทดสอบ 21 คนเลือกผลิตภัณฑ์ที่เติมแซนแทนกัม 0.5%

ข้อเสนอแนะ

1. แชนแทนกัมเป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ให้ความหนืดสูงที่อัตราเฉือนต่ำ ทำให้ผลิตภัณฑ์มีความคงตัวระหว่างการเก็บรักษา แต่สมบัติความหนืดลดลงเมื่อแรงเฉือนเพิ่มขึ้น (shear thinning) อาจทำให้ความคงตัวของสารผสมระหว่างการแปรรูปที่มีการให้แรงเฉือนลดลง โดยอาจมีการตกตะกอนของสารแขวนลอยระหว่างการแปรรูป อาจทำการเติมไฮโดรคอลลอยด์ชนิดอื่น เช่น กัวร์กัม เพิ่มเพิ่มความคงตัวระหว่างการแปรรูป
2. เนื่องจากผลิตภัณฑ์ขนมจากแป้งข้าวมีรูปร่างเป็นทรงกระบอก พบว่าผู้บริโภคบางคนไม่ชอบและให้คะแนนลักษณะปรากฏน้อย ดังนั้นในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์จึงควรมีการศึกษารูปร่างที่ผู้บริโภคชอบ
3. อาจนำผลิตภัณฑ์จากแป้งข้าวนำไปศึกษาสมบัติด้านความคงตัวต่อการแช่แข็งและละลาย เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์แช่แข็งจากข้าว

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2546. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 3. สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 303 น.

ธงชัย สุวรรณสิขณน์. 2549. การประเมินคุณภาพทางกายภาพด้านเนื้อสัมผัส, น. 296-331. ใน รุ่งนภา, บรรณาธิการ. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมเกษตร. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นิธิยา รัตนานนท์. 2549. เคมีอาหาร. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ. 504 น.

ปิติพร ฤทธิ์เรืองเดช. 2546. คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของแป้งทำขนมและ การนำไปใช้ประโยชน์ในขนมชั้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พัชรา วีระพงศ์. 2547. ผลของปริมาณอะไมโลสและสถานะการเก็บของข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ต่อสมบัติทางด้านเคมีฟิสิกส์ของเอกซ์ทรูเดต. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งทิวา วันสุขศรี. 2543. การสกัดโปรตีนในปลายข้าวหอมมะลิเพื่อทำแป้งเจ้าบริสุทธิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รุ่งนภา พงศ์สวัสดิ์มานิต. 2547. กัม(ไฮโดรคอลลอยด์)กับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารและ กระบวนการแปรรูป. เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ. ภาควิชาพัฒนาผลิตภัณฑ์. คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. 2545. อาหารไทย ขนมไทย และเครื่องดื่มจากข้าว. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 191 น.

- ศิริลักษณ์ พวงประยงค์. 2548. การศึกษาผลของไฮโดรคอลลอยด์ต่อสมบัติทางเคมีกายภาพของฟลาวัวร์, สตาร์ชและอายุการเก็บของเอกซ์ทราคตจากข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2547. สถิติการเกษตรของประเทศไทยปีการเพาะปลูก 2545-2546. กองเศรษฐกิจการเกษตร, กรุงเทพฯ.
- เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. 2544. เทคโนโลยีการผลิตข้าวพันธุ์ดี. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ. 137 น.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 366 น.
- American Association of Cereal Chemists. 2000. **Approved Methods of the AACC**. Tenth Edition, March 2000. The Association: St. Paul, MN.
- AOAC. 1995. **Official Method of Analysis**. 16th ed. The Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia.
- Bahnassey, Y.A. and W.M. Breene. 1994. Rapid visco-analyzer (RVA) pasting profiles of wheat, corn, waxy corn, tapioca and amaranth starches (*A. hypochondriacus* and *A. cruentus*) in the presence of konjac flour, gellan, guar, xanthan and locoust bean gums. **Starch**. 46(4): 134-141.
- Bao, J. and C.J. Bergman. 2004. The functionality of rice starch, pp. 258-294. In A.C Eliasson (ed.). **Starch in food: Structure, function and applications**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge.

- Bourne, M.C. 2002. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. Academic press. San Diego. 325p.
- Bowers, J. 1992. **Food Theory and Application**. Macmillian Publishing Company. 777p.
- Brennan, C.S., C.K. Tan, V. Kuri. and C.M. Tudorica. 2004. The pasting behaviour and freeze-thaw stability of native starch and native starch-xanthan gum pastes. **J. Food Sci & Tech.** 39:1017-1022.
- Cui, S. W. 2005. **Food Carbohydrates: Chemistry, Physical properties, and Applications**. Taylor & Francis Group, Florida.
- Chaplin, M. 2004. **Starch**. London South Bank University, London. Source: <http://www.Lsbu.ac.uk/water/hysta.html>. April 11, 2004.
- Chrastil, J., 1987. Improved colorimetric determination of amylose in starches or flours. **Carbohydrate Research.** 159: 154–158.
- Christianson, D.D., J.E. Hodge., D. Osborne and R.W. Detroy. 1981. Gelatinization of wheat starch as modified by xanthan gum guar gum and cellulose gum. **Cereal Chem.** 58(6): 513-520.
- Eliasson, A. 1996. **Carbohydrates in Food**. Marcel Dekker, Inc. New York. 561p.
- _____. 2004. **Starch in food: Structure, function and applications**. Woodhead Publishing Limited, Cambridge
- Ferrero, C., M.N. Martino. and N.E. Zaritzky. 1990. Corn starch-xanthan gum and its effect on stability during storage of frozen gelatinized suspensions. **Starch.** 46(8): 300-308.

- Fox, J.E. 1999. Seed gum, pp. 262-282. In A. Imeson (ed.). **Thickening and Gelling Agents for Food**. 2nd ed. Blackie Academic & professional. London.
- Funami, T., Y. Kataoka., T. Omoto., Y. Goto., I. Asai. and K. Nishinari. 2005. Food hydrocolloids control the gelatinization and retrogradation behavior of starch. 2a. Function of guar gum with different molecular weight on the gelatinization behavior of corn starch. **Food Hydrocolloid**. 19: 15-24.
- Gurkin, S. 2002. Hydrocolloids-ingredients that add flexibility to tortilla Processing. **Cereal Food World**. 42(2): 41-43.
- Imeson, A. 1999. **Thickening and Gelling Agents for Food**, 2nd ed. Blackie Academic & professional. London. 577 p.
- Kim, C. and B. Yoo. 2006. Rheological properties of rice starch-xanthan gum mixtures **J. Food Eng**. 76: 120-128.
- Kruger, A., C. Ferrero. and N.E. Zaritzky. 2003. Modelling corn starch swelling in batch system: of sucrose and hydrocolloids. **J. Food Eng**. 58: 125-133.
- Lee, F.A. 1975. **Food chemistry**. The AVI publishing company, Inc. America. 430 p.
- Lee, M.H., M.H. Baek, D.S. Cha, H.J. Park and S.T. Lim. 2002. Freeze-thaw stabilization of sweet potato starch gel by polysaccharide gum. **Food Hydrocolloids** 16(4):345-352.
- Li, J.Y. and A.I. Yeh. 2001 Relation between thermal, rheological characteristics and swelling power for various starch. **J. of Food Eng**. 50: 141-148.

- Liu, Q. 2005. Understanding starches and their role in foods, pp. 309–355 *In* S. W. Cui (ed.). **Food Carbohydrates: Chemistry, Physical properties, and Applications**. Taylor & Francis Group, Florida.
- Lineback, D.R. and G.E. Inglett. 1982. **Food Carbohydrate**. The Saybrook Press, Inc. America. 494 p.
- Mandala, I.G., E.D. Palogou. and A.E Kostaropoulos. 2002. Influence of preparation and storage conditions on texture of xanthan-starch mixtures. **J. of Food Eng.** 53: 27-38.
- Meigaard, M., G.V. Civille. and B.T. Carr. 1999. **Sensory Evaluation Techniques**. CRC Press. 388 p.
- Morris, V.J. 1995. Bacterial Polysaccharides. pp. 341-375. In A. M. Stephen (ed.). **Food polysaccharides and their applications**. New York: Marcel Dekker, Inc.
- Newport Scientific. 1995. **Operation manual for the series 4 Rapid Visco Analyzer**. Newport Scientific Pty, Ltd., Australia. 93 p.
- Phillips, G.O. and P.A. Williams. 2000. **Hand book of hydrocolloids**. Woodhead Publishing Limited. 450 p.
- Patindol, J. and Y.J. Wang. 2003. Fine structures and physicochemical properties of starches from chalky and translucent rice kernels. **J. Agric Food Chem.** 51: 2777-2784.
- Paungprayong, S., and R. Pongsawatmanit. 2004. Pasting properties of rice starch containing biopolymers. **Proceedings of the 6th Agro-Industrial Conference, THAIFEX & HALFEX 2004 on May 28 – 29, 2004**, Impact Muang Thong Thani, Bangkok, Thailand (CD)

- Pongwawatmanit, R., T. Temsiripong, S. Ikeda and K. Nishinari. 2006. Influence of tamarind seed xyloglucan on rheological properties and thermal stability of tapioca starch. **J. of Food Eng.** 77: 41 – 50
- _____, _____ and T. Suwonsichon. 2007. Thermal and rheological properties of tapioca starch and xyloglucan mixtures in the presence of sucrose. **Food Research International.** 40: 239–248
- Shi, X. and J. N. BeMiller. 2002. Effects of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. **Carbohydrate Polymers.** 50: 7-18.
- Song, J. Y., J. Y Kwon, J. Choi, Y. C Kim and M. Shin. 2006. Pasting properties of non-waxy rice starch-hydrocolloid mixtures **Starch.** 58: 223-230.
- Temsiripong, T. 2005. **Analysis of Physical Properties and structure-function relationship of mixed gel from xyloglucan and tapioca starch.** Ph.D. Thesis, Kasetsart University. Thailand. 117 p.
- Tester, R. and W.R. Morrison. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effects of amylopectin, amylose, and lipids. **Cereal Chem.** 67: 551-557.
- Urlacher, B. and O. Noble. 1999. Xanthan gum, pp. 284-311. In A. Imeson (ed.). **Thickening and Gelling Agents for Food.** 2nd ed. Blackie Academic & professional. London.
- Vandeputte, G.E., V. Derycke, J. Geeroms and J.A. Delcour. 2003a. Rice starches. II. Structure aspects provide insight into swelling and pasting properties. **J. Cereal Sci.** 38: 53-59.
- _____, _____, _____ and _____. 2003b. Rice starches. III. Structural aspects provide insight in amylopectin retrogradation properties and gel texture. **J. Cereal Sci.** 38: 61-68.

Ward, F.M. and S.A. Andon. 1993a. Water-Soluble gums used in snack food and cereal product.

Cereal Food World. 38(10): 748-752.

_____ and _____. 2002b. Hydrocolloids as Film formers adhesives and gelling agent for bakery and cereal product. **Cereal Food World.** 47(2): 52-55.

Weerapong, P., R. Pongsawatmanit, P. Wuttijumnong, and P. Boonyasirikool. 2004.

Effect of Amylose Content and Particle Size on Pasting Properties of Thai Rice Grits

Proceedings of the 6th Agro-Industrial Conference, THAIFEX & HALFEX 2004 on May 28 – 29, 2004, Impact Muang Thong Thani, Bangkok, Thailand (CD)

Whistler, R.L. and J.N. BeMiller. 1999. **Carbohydrate Chemistry for Food Scientists.**

American Association of Cereal Chemist. 241 p.

_____ and R.Danial. 1990. Function of polysaccharides in food, pp.395-423. *IN* A.L Branen, P.M. Davidson and S. Salinen (eds.). **Food Additive.** Marcel Dekker, Inc., New York.

Winton, A.L. and K.B. Winton. 1906. **The Structure and Composition of Food.** John Wiley & Son, Inc., New York. 673 p.

Zobel, H. F. and A. M. Stephen. 1995. Starch: structure, analysis and application. pp. 19-66. In A. M. Stephen (ed.). **Food polysaccharides and their applications.** New York: Marcel Dekker, Inc.

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 & Tech.** 63(1): 134-139.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

แบบทดสอบการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส

แบบทดสอบความชอบของผลิตภัณฑ์ขนมจากแป้งข้าว

ชื่อ..... วันที่.....

คำแนะนำ กรุณาทดสอบผลิตภัณฑ์ตัวอย่างต่อไปนี้ โดยทำเครื่องหมาย X ลงใน ตามคำตอบที่ตรงกับคะแนนความชอบในแต่ละคุณลักษณะตามความรู้สึกของท่าน

รหัส

1. ลักษณะปรากฏ

ไม่ชอบมากที่สุด ไม่ชอบมาก ไม่ชอบปานกลาง ไม่ชอบเล็กน้อย บอกไม่ได้ว่าชอบ ชอบเล็กน้อย ชอบปานกลาง ชอบมาก ชอบมากที่สุด

2. รสชาติ

ไม่ชอบมากที่สุด ไม่ชอบมาก ไม่ชอบปานกลาง ไม่ชอบเล็กน้อย บอกไม่ได้ว่าชอบ ชอบเล็กน้อย ชอบปานกลาง ชอบมาก ชอบมากที่สุด

3. ลักษณะเนื้อสัมผัส

ไม่ชอบมากที่สุด ไม่ชอบมาก ไม่ชอบปานกลาง ไม่ชอบเล็กน้อย บอกไม่ได้ว่าชอบ ชอบเล็กน้อย ชอบปานกลาง ชอบมาก ชอบมากที่สุด

โดยระบุความรู้สึกต่อผลิตภัณฑ์ในแต่ละลักษณะ

ความนุ่ม

น้อย มาก

ความยืดหยุ่น

น้อย มาก

ความร่วน

น้อย มาก

4. ความชอบ

โดยรวม ไม่ชอบมากที่สุด ไม่ชอบมาก ไม่ชอบปานกลาง ไม่ชอบเล็กน้อย บอกไม่ได้ว่าชอบ ชอบเล็กน้อย ชอบปานกลาง ชอบมาก ชอบมากที่สุด

ข้อเสนอแนะ.....

หมายเลขแบบทดสอบ

แบบรายงานการทดสอบเปรียบเทียบความชอบ

ตัวอย่าง ผลิตภัณฑ์ขนมจากแป้งข้าว

ชื่อผู้ทดสอบ.....วันที่.....

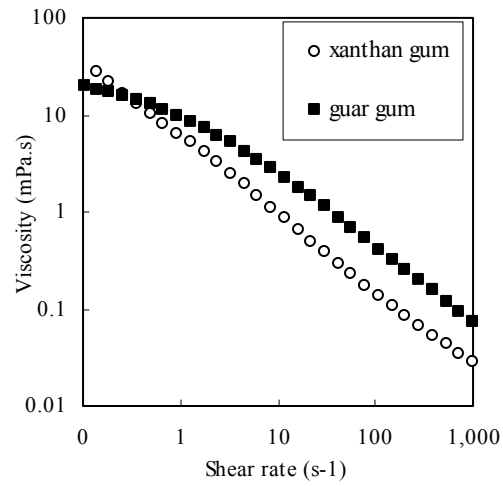
คำแนะนำ: กรุณาชิมตัวอย่างตามลำดับจากซ้ายไปขวาและวงกลมรอบหมายเลขตัวอย่างที่ท่าน
ความชอบมากที่สุด

รหัสตัวอย่าง ----- -----

ท่านเลือกตัวอย่างนี้เพราะ.....
.....

ภาคผนวก ข

Apparent viscosity ที่ shear rate ต่าง ๆ ของไฮโดรคอลลอยด์



ภาพผนวกที่ ข1 Apparent viscosity ที่ shear rate ต่าง ๆ ของไฮโดรคอลลอยด์ความเข้มข้นร้อยละ 1 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวยุพินทรา ชันติวัฒนกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 13 เมษายน 2523
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ วิชาเอกวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนผู้ช่วยสอนจากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2548) ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท- เอก บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2548)