

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสตาร์ชจากกลอย *Dioscorea hispida* Dennst
และสตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น



นางสาวธาริน นาคศรีอารมณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6432-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF YAM *Dioscorea hispida* Dennst STARCH
AND HEAT – MOISTURE MODIFIED YAM STARCH



Miss. Tarin Naksriarporn

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6432-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสตาร์ชจากกลอย *Dioscorea hispid*a Dennst และสตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

โดย นางสาวธาริน นาคศรีอาภรณ์

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. จิรวรัตน์ ทัดติยกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณา สุภิมารส)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. จิรวรัตน์ ทัดติยกุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

ธาริน นาคศรีอาภรณ์ : สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสตาร์ชจากกลอย *Dioscorea hispida* Dennst และสตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น. Chemical and physical properties of yam *Dioscorea hispida* Dennst starch and heat – moisture modified yam starch. อ.ที่ปรึกษา : อ. ดร.จิรรัตน์ ทัดติยกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ. ดร.พาสวดี ประทีปะเสน. จำนวน 125 หน้า. ISBN 974-17-6432-4.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชจากกลอย 2 ชนิด ได้แก่ กลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียวและศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น สตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียวมีปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยในสตาร์ชแห้งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต 86.4% และ 86.6% ปริมาณโปรตีน 0.14% และ 0.13% และปริมาณไขมัน 0.12% และ 0.13% สตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดมีปริมาณอะมิโลสทั้งหมดสูงและแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ คือ 37.2% และ 39.9% แกรนูลของสตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิดเป็นรูปหลายเหลี่ยม มีขนาด 3.7 μm และ 4.0 μm และมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ B สตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดมีกำลังการพองตัว ปริมาณ amylose leaching และความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ alpha amylase และ amyloglucosidase ต่ำ เมื่อทดสอบสมบัติทางความหนืดด้วยเครื่อง RVA มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดที่ 79.6 $^{\circ}\text{C}$ และ 78.3 $^{\circ}\text{C}$ มีความหนืดสูงสุดสูงปานกลาง มีความคงทนต่อแรงเฉือนและความร้อนที่ 95 $^{\circ}\text{C}$ ปานกลาง และมีค่าการคืนตัวค่อนข้างต่ำ และเมื่อทดสอบด้วยเครื่อง DSC พบว่าสตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิด มีอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันอยู่ในช่วง 71.3 ถึง 84.6 $^{\circ}\text{C}$ และมีค่า ΔH อยู่ในช่วง 14.3 ถึง 16.4 J/g เมื่อเก็บสตาร์ชที่อุณหภูมิ 4 $^{\circ}\text{C}$ นาน 14 วันพบว่าสตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิด มีค่า ΔH_r อยู่ในช่วง 7.7 ถึง 8.8 J/g เจลของสตาร์ช (7% w/w) จากกลอยทั้งสองชนิด สามารถคงตัวได้เมื่อมีแรงกระทำ โดยมีค่า G^* คงที่ตลอดช่วงความถี่ตั้งแต่ 0.001 ถึง 30 Hz. เมื่อดัดแปรสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวด้วยความร้อนขึ้น โดยปรับให้ความชื้น 5 ระดับ คือตั้งแต่ 13 ถึง 30% และแต่ละระดับให้ความร้อนที่อุณหภูมิตั้งแต่ 90 ถึง 130 $^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง พบว่าลักษณะโครงสร้างผลึกเปลี่ยนไปจากแบบ B เป็น C ในสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรโดยไม่ปรับความชื้นที่อุณหภูมิ 90 $^{\circ}\text{C}$ และเปลี่ยนเป็นแบบ A ในสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรโดยไม่ปรับความชื้นที่อุณหภูมิ 100 ถึง 130 $^{\circ}\text{C}$ ขณะที่โครงสร้างผลึกยังคงเป็นแบบ B เช่นเดิมในสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรที่ปรับความชื้นให้เป็น 18 ถึง 30% ที่อุณหภูมิ 90 $^{\circ}\text{C}$ สตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรมีกำลังการพองตัว ปริมาณ amylose leaching ความหนืดสูงสุด รวมถึงความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ต่ำลงต่ำลงและมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดความคงทนต่อแรงเฉือนและความร้อน การคืนตัวสูงขึ้นในสตาร์ชที่ดัดแปรในสภาวะที่ตัวอย่างมีความชื้นต่ำหรือที่ตัวอย่างมีความชื้นสูงที่อุณหภูมิต่ำ มีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันสูงขึ้น ในขณะที่มีค่า ΔH และ ΔH_r ต่ำลงในทุกสภาวะการดัดแปร สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรโดยไม่ปรับความชื้นที่อุณหภูมิ 90 ถึง 120 $^{\circ}\text{C}$ ให้เจลที่มีค่า G^* สูงขึ้น และคงที่ตลอดช่วงความถี่ในการทดสอบ

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ปีการศึกษา 2547

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4472526123 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORDS : YAM/ STARCH/ PHYSICOCHEMICAL/HEAT-MOISTURE MODIFICATION

TARIN NAKSRIARPORN : CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF YAM

Dioscorea hispida Dennst STARCH AND HEAT — MOISTURE MODIFIED YAM

STARCH : THESIS ADVISOR : JIRARAT TATTIYAKUL, Ph.D., AND THESIS

CO-ADVISOR : ASSOC. PROF. PASAWADEE PRADIPASENA, Ph.D. 125 pp.

ISBN 974-17-6432-4.

The objective of this research was to examine physicochemical properties of yam starches extracted from Thai yams (*Dioscorea hispida* Dennst); kloy kao chao (YS1) and kloy kao neaw (YS2), and heat — moisture modified (HMM) YS2 starch. The chemical compositions of both yam starches, except amylose content, were not significantly different. YS1 and YS2 starches contain 86.4% and 86.6% carbohydrate, 0.14% and 0.13% protein, 0.12% and 0.13% fat, 37.2% and 39.9% total amylose, on dry basis, respectively. The starch granules from both types of yam were polyhedral having diameters of 3.7 and 4.0 microns and had the typical B — type X-ray diffraction pattern. The starches had low swelling power, amylose leaching content and the susceptibility to alpha-amylase and amyloglucosidase. The pasting temperatures of YS1 and YS2 starches observed by RVA were 79.6 °C and 78.3 °C, respectively, with moderate peak viscosity, shearing and heating stability at 95 °C, and low setback. From DSC test, both yam starches had gelatinization temperatures in the range of 71.3 °C to 84.6 °C and ΔH in the range of 14.3 to 16.4 J/g. It was found that ΔH_R was in the range of 7.7 to 8.8 J/g after storing gelatinized starches at 4 °C for 14 days. From frequency sweep test, the gel (7% w/w) from both yam starches gave constant G^* over the tested frequency range. After HMM at 5 moisture levels (13% to 30%) and 5 temperatures (90 °C to 130 °C) for 10 hours, the granule's crystalline structure changed from B to C-type in YS2 starch modified at unadjusted moisture content (~13%) and 90 °C and changed to A-type in that modified at unadjusted moisture content at the temperature range of 100 °C to 130 °C. However, YS2 starch modified at adjusted moisture content in the 18 to 30% range and 90 °C still showed a B — type crystallographic pattern. The effect of HMM at low or high moisture levels at low temperatures caused a decrease in swelling power, amylose leaching content, and enzyme susceptibility. In general, all modification conditions used in this study increased gelatinization temperature, but decreased ΔH and ΔH_R HMM of YS2 starch at unadjusted moisture content and the temperature range of 90 °C to 120 °C gave a gel with a higher G^* which was constant over the tested frequency range.

Department	Food Technology	Student's signature.....
Field of study	Food Technology	Advisor's signature.....
Academic year	2004	Co-Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญาโทและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.จิรวัฒน์ ทัดติยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสวดี ประทีปะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และกำลังใจ ตลอดการทำวิจัย และกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ สุภิมาธ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ของภาควิชาเทคโนโลยีอาหารแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย ซึ่งเป็นรากฐานอย่างดีในการศึกษาค้นคว้าวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณการสนับสนุนจากหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

งบประมาณสำหรับการวิจัย

งบประมาณแผ่นดิน ชุดโครงการวิจัยเพื่อการพัฒนา

อุตสาหกรรมเกษตร-อุตสาหกรรมอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีงบประมาณ 2546-2547

งบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2547 บัณฑิตวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เครื่องมือ ข้อมูลและอุปกรณ์

รศ. ดร. มานพ สุพรรณธริกา และคุณมนตรี ฉายสว่าง ภาควิชา

เทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

คุณสุภาภรณ์ ภัทรสุทธิ เจ้าหน้าที่กองพฤกษศาสตร์และวัชพืช

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

บริษัท รอยัลแคน อินดัสตรี จำกัด

โครงการ JBIC : Thailand – Japan Technology Transfer

Project (TJTTP)

ท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ซึ่งให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมา ขอขอบคุณญาติ พี่ น้อง เจ้าหน้าที่ธุรการ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่าน และเพื่อน ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญรูป.....	ญ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	3
3. วิธีการทดลอง.....	40
4. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	47
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	89
รายการอ้างอิง.....	91
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	96
ภาคผนวก ข.....	114
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	125

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกลอย	9
2.2 ลักษณะและขนาดของสตาร์ชแกรนูลของแป้งจากพืชตระกูลกลอย.....	16
2.3 โครงร่างผลึกของสตาร์ชจากพืชตระกูลกลอย species ต่างๆ.....	18
2.4 สภาวะที่มีผู้ใช้ในการดัดแปรสตาร์ชชนิดต่างๆ.....	27
2.5 กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจาก <i>D. alata</i> ที่ไม่ผ่านการดัดแปร (native starch) และผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนชื้น (HMT starch).....	34
2.6 ค่า T_0 T_p T_c และ ΔH ของสตาร์ชจากพืชตระกูลกลอยที่ผ่าน (HMT yam starch) และไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนชื้น (native yam starch) ที่สภาวะที่มีระดับความชื้นต่างกัน.....	36
2.7 ค่า ΔH_R ของสตาร์ชจาก <i>D. alata</i> ที่ผ่านและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนชื้นระหว่างระยะเวลาการเก็บ 7 วัน.....	37
2.8 ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์อัลฟาอะมิเลสจากตับอ่อนหมูของสตาร์ชจาก <i>D. alata</i> ที่ผ่าน (HMT yam starch) และไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนชื้น (native yam starch).....	38
3.1 รหัสของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนชื้นที่สภาวะต่างๆ.....	44
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแผ่นกลอยแห้ง.....	47
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากกลอย.....	48
4.3 ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชจากกลอย.....	48
4.4 กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากกลอย.....	52
4.5 กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชชนิดต่างๆ.....	53
4.6 สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากกลอยวัดด้วยเครื่อง RVA	54
4.7 อุณหภูมิและ ΔH ของการเกิดเจลลาติโนเซชันของสตาร์ชจากกลอย.....	55
4.8 ช่วงอุณหภูมิของสตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียวในการทดสอบการเกิดการคืนตัวที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 14 วัน และค่า ΔH_R	56
4.9 Degree of hydrolysis ของสตาร์ชจากกลอยที่ระยะเวลาการย่อย 48 ชั่วโมง.....	58
4.10 กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ที่อุณหภูมิการทดสอบ 80 และ 90 °C.....	66

4.11 ผลวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร ด้วยความร้อนขึ้น.....	71
4.12 ผลวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร ด้วยความร้อนขึ้น.....	73
4.13 Gelatinization temperature range ($T_c - T_o$) จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน ของเจลสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น.....	78
4.14 Enthalpy of retrogradation (ΔH_R) จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเจล สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น.....	79
4.15 Degree of hydrolysis ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร ด้วยความร้อนขึ้น.....	84
4.16 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งที่เป็นแบบ A , B และ C.....	105
4.17 ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA.....	110

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลำต้นและใบของกลอย.....	5
2.2 หัวกลอยสด.....	6
2.3 Dynamic equilibrium ระหว่างสตาร์ชและน้ำตาล.....	7
2.4 โครงสร้างของอะมิโลส.....	13
2.5 โครงสร้างของอะมิโลเพคติน.....	14
2.6 ลักษณะการเชื่อมต่อกันเป็นกลุ่มของสายอะมิโลเพคติน.....	14
2.7 ลักษณะการจัดเรียงตัวของอะมิโลเพคตินและการเกิดชั้นผลึกและส่วนอสัณฐาน.....	17
2.8 ลักษณะของกราฟที่เป็น Dilute solution	25
2.9 ลักษณะของกราฟที่เป็น Concentrated solution	25
2.10 ลักษณะของกราฟที่เป็นGel.....	26
2.11 ค่า G' G'' และ η^* ของเจลสตาร์ชจาก <i>D.alata</i> เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น.....	26
2.12 ลักษณะของสตาร์ชแกรนูลด้านในของสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่ง ที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น.....	30
2.13 ลักษณะการจัดเรียงสายเกลียวคู่ของอะมิโลเพคตินในสตาร์ช ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A.....	32
2.14 ลักษณะการจัดเรียงสายเกลียวคู่ของอะมิโลเพคตินในสตาร์ช ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ B.....	33
4.1 ขนาดและการกระจายขนาดของสตาร์ชจากกลอยโดย Laser light scattering particle size analyzer	49
4.2 รูปร่างและพื้นผิวของสตาร์ชแกรนูลของสตาร์ชจากกลอย.....	50
4.3 X-ray diffraction pattern ของ YS1 และYS2.....	51
4.4 เปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชจากกลอยเมื่อวัดด้วยเครื่องRVA.....	54
4.5 Endothermic peak ของเจลสตาร์ชจากกลอยหลังเก็บที่ อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 14 วัน.....	57
4.6 Complex modulus (G^*) ของสตาร์ชจากกลอย.....	58
4.7 รูปร่างและพื้นผิวของสตาร์ชแกรนูลของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการตัดแปร ด้วยความร้อนขึ้นที่กำลังขยาย 15,000 เท่า.....	59
4.8 X-ray diffraction pattern ของ H13/90 - 13/130.....	61

4.9	X-ray diffraction pattern ของ H13/90 – H30/90.....	61
4.10	กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียว ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น.....	64
4.11	เปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร ด้วยความร้อนขึ้นด้วยเครื่อง RVA	68
4.12	Endothermic peak ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร ด้วยความร้อนขึ้น.....	75
4.13	Endothermic peak ของเจลสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร ด้วยความร้อนขึ้น.....	80
4.14	Degree of hydrolysis ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร ด้วยความร้อนขึ้น.....	83
4.15	Complex modulus (G^*) ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร ด้วยความร้อนขึ้น.....	85
4.16	กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส.....	101
4.17	ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA.....	111

บทที่ 1

บทนำ

ประเทศไทยมีการผลิตแป้งหลายชนิด ทั้งในระดับอุตสาหกรรมและในระดับชาวบ้าน แต่ยังคงมีการนำเข้าแป้งบางชนิด เช่น แป้งสาลี แป้งมันฝรั่ง เป็นจำนวนมากเช่นเดียวกัน ดังนั้นหากเราสามารถใช้ทรัพยากรภายในประเทศที่มีอยู่ให้เป็นประโยชน์ในการผลิตแป้งที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงพอที่จะนำมาทดแทนแป้งที่จะต้องนำเข้าจากต่างประเทศได้ก็จะเป็นประโยชน์อย่างมาก

กลอย เป็นพืชพื้นบ้านในประเทศไทยและเอเชียเขตร้อน ในประเทศไทยสามารถแบ่งกลอยได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือกลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียว ซึ่งเกณฑ์การแบ่งชนิดของกลอยนี้ส่วนมากชาวบ้านจะดูจากสีและลักษณะของเนื้อกลอย กล่าวคือ กลอยข้าวเจ้าจะมีเนื้อสีขาวและร่วน ส่วนกลอยข้าวเหนียวจะมีเนื้อสีเหลืองและเหนียวกว่า ในหัวกลอยสดประกอบด้วยคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดประมาณ 21.1% คิดเป็น 80.3% โดยน้ำหนักแห้ง (สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, 2533)

ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตกลอยเพื่อใช้ในระดับอุตสาหกรรม มีเพียงแต่การแปรรูปเพื่อบริโภคในระดับชาวบ้านเท่านั้น อย่างไรก็ตามจากสมบัติหลายๆด้านของกลอย โดยเฉพาะในด้านการเจริญเติบโต ผลผลิตและปริมาณแป้ง ทำให้กลอยเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปใช้ทางด้านอุตสาหกรรมได้ดีในอนาคต ซึ่งจะส่งผลให้มีการส่งเสริมการปลูกกลอยมากขึ้น จากการศึกษาสมบัติทางความเหนียวของแป้งกลอย (ศิริพรรณ หวังอารีย์และนพรัตน์ แซ่อึ้ง, 2528) พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลลิตีในเซชันค่อนข้างสูง และจากค่าความเหนียวสูงสุดสามารถบอกได้ว่าการพองตัวของแป้งกลอยเกิดขึ้นได้ช้าต้องใช้ความร้อนสูงเมื่อบริโภคแป้งจึงพองตัวได้หมดและพองเต็มที่ และเมื่อให้ความร้อนต่อไปอีกความเหนียวของแป้งจะลดลงเพียงเล็กน้อย นั่นคือแป้งมีความคงทนต่อความร้อนได้สูง แต่ข้อเสียคือไม่เกิดเจลเมื่อทดลองใช้แป้งกลอยที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักแห้ง ดังนั้นหากได้รับการดัดแปรที่เหมาะสมก็จะสามารถปรับปรุงคุณภาพในด้านนี้ได้

ในปัจจุบันมีการผลิตแป้งดัดแปรเพื่อให้มีคุณสมบัติที่หลากหลายในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆมากขึ้น แต่การดัดแปรส่วนมากจะใช้การดัดแปรทางเคมี โดยใช้สารเคมีทำปฏิกิริยากับแป้งเพื่อให้แป้งมีคุณสมบัติตามที่ต้องการซึ่งปริมาณสารเคมีที่ใช้จะต้องใช้เป็นปริมาณมาก ทำให้แป้งที่ผ่านการดัดแปรด้วยสารเคมีจำเป็นต้องผ่านการทดสอบอย่างเข้มงวดเพราะอาจมีผลต่อร่างกายของผู้บริโภคได้ การดัดแปรด้วยการใช้ความร้อนชื้น (heat-moisture treatment) ซึ่งเป็นการดัดแปรแป้ง

ทางกายภาพ ไม่ใช่สารเคมี ใช้เพียงแต่น้ำและความร้อนเท่านั้น สามารถเปลี่ยนสมบัติของแป้งให้เกิดความเหมาะสมในการนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆได้เช่นเดียวกับการดัดแปรแป้งด้วยวิธีทางเคมีได้เช่นเดียวกัน (Stute และ Heilbronn, 1992)

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแป้งกลอยและการดัดแปรแป้งกลอยทางกายภาพโดยใช้ความร้อนขึ้น เพื่อให้เป็นแนวทางในการนำแป้งกลอยไปใช้ประโยชน์ได้มากยิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมให้มีการปลูกกลอยซึ่งเป็นพืชพื้นเมืองของประเทศไทยให้มากขึ้นด้วย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 พืชตระกูลกลอย

พืชตระกูลกลอยเป็นพืชหัว (tuber) ที่อยู่ในตระกูล (family) Dioscorea ในต่างประเทศเรียก พืชตระกูลกลอยว่า yam หรือ wild yam ซึ่งพบมากกว่า 600 ชนิดทั่วโลกแตกต่างกันไปตามแต่ละ species (ดูษฎี พลภักทรพิเศษกุล และศิริวรรณ ลือดง, 2544) ตัวอย่างของพืชตระกูลกลอยได้แก่

Dioscorea dumetorum (African bitter yam) มีแหล่งกำเนิดอยู่ในแถบแอฟริกาตะวันตก (West Africa) ในหัวสดพบสารพิษที่เป็นอัลคาลอยด์ (alkaloid) และมีรสขม คือ dihydrodioscorine ซึ่งสามารถกำจัดออกได้โดยการแช่หรือต้มในน้ำที่เปลี่ยนบ่อยๆ

Dioscorea hispida (Asiatic bitter yam) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศอินเดีย จีนทางตอนใต้ (South China) และนิวกินี ประกอบด้วยสารพิษพวก tropane alkaloid คือ dioscorine ซึ่งสามารถใช้เป็นยาพิษสำหรับล่าสัตว์ของนักล่าพื้นเมืองในประเทศแอฟริกา สามารถรับประทานได้โดยการหั่นเป็นแผ่นบางๆแล้วแช่หรือต้มในน้ำที่มีการเปลี่ยนบ่อยๆ

Dioscorea opposita หรือ *Dioscorea batatas* (Chinese yam or Cinnamon yam) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศจีน ไต้หวันและญี่ปุ่น พบว่าสามารถปลูกได้ในประเทศแถบยุโรปเพื่อนำมาใช้แทนมันฝรั่งในสภาวะที่มันฝรั่งขาดแคลนในช่วงปี ค.ศ.1840

Dioscorea trifida (Cush – cush yam) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบอเมริกาใต้ทางตอนเหนือ ในปัจจุบันพบว่าการปลูกมากในแถบแคริบเบียน เป็นพืชตระกูลกลอยที่มีความสำคัญในการนำไปบริโภคมากที่สุดชนิดหนึ่ง

Dioscorea alata (Greater yam or Asiatic yam) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่ในปัจจุบันปลูกกันอย่างกว้างขวางในแถบร้อนชื้น เป็นพืชตระกูลกลอยที่ให้ผลผลิตมากที่สุด

Dioscorea japonica (Japanese yam) มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งคือ Yamatoimo (Mountain potato) มีถิ่นกำเนิดในประเทศจีน ญี่ปุ่น เกาหลีและ ไต้หวัน มีเอนไซม์ diastase ในปริมาณมากซึ่งช่วยในการย่อยได้ สามารถนำมารับประทานดิบได้ โดยเรียกว่า Tororo

Dioscorea bulbifera (Potato yam, Aerial yam or Air potato) มีถิ่นกำเนิดในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้และแอฟริกา ปัจจุบันพบว่าปลูกได้ในแถบอเมริกาใต้ แคริบเบียนและบางส่วนของประเทศอังกฤษตอนใต้ด้วย บาง species จะไม่มีหัวใต้ดิน (underground tubers) เหมือนพืชตระกูลกลอยทั่วไป แต่จะมีหัวอากาศ (aerial tubers) พบว่า *D. bulbifera* ที่ปลูกในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ จะมีสารพิษน้อยกว่าที่ปลูกในแถบแอฟริกา

Dioscorea rotunda (White Guinea yam or White yam) มีถิ่นกำเนิดอยู่ในแอฟริกาตะวันตก เป็นหนึ่งในสี่ของพืชตระกูลกลอยที่สำคัญที่ใช้บริโภคในแถบแอฟริกาตะวันตก ซึ่งนิยมนำมาทำเป็นอาหารพื้นเมืองชื่อ Fufu

Dioscorea cayensis (Yellow Guinea yam or Yellow yam) มีถิ่นกำเนิดในพื้นที่ที่เป็นป่าของแอฟริกาตะวันตก ปัจจุบันปลูกมากในแอฟริกาและ west indies เป็นหนึ่งในสี่ของพืชตระกูลกลอยที่ใช้บริโภคที่สำคัญของโลก

2.2 กลอย

กลอยที่พบในประเทศไทย มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Dioscorea hispida* Dennst เป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Dioscorea วงศ์ Dioscoreaceae เครือ Dioscorea (สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และการพลังงาน, 2533) เป็นพืชพื้นเมืองแถบเอเชียเขตร้อนและแพร่กระจายไปยังฝั่งตะวันตกทางซีกโลกใต้ พบมากทางภาคเหนือ เทือกเขาหิมาลัย พม่า ไทย จีน ลาว กัมพูชา และมาเลเซีย (สมพร สุริยันต์, 2543) นอกจากนี้ยังพบตามป่าที่ฝนตกชุกในอินเดีย ฟิลิปปินส์ ไต้หวัน และนิวกีนิอีกด้วย (ทิพย์พรรณ สดากกร, 2536) สำหรับในประเทศไทย จากการรวบรวมข้อมูลของกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม พบว่ามีการปลูกกลอยกันถึง 42 จังหวัด เช่น กระบี่ กาญจนบุรี กากีสินธุ์ ขอนแก่น ชัยภูมิ นครศรีธรรมราช ลำพูน สุรินทร์ สุโขทัย เป็นต้น (ศิริพรรณ หวังอารีย์ และ นพรัตน์ แซ่อึ้ง, 2528)

กลอยมีชื่อเรียกต่างกันไป เช่น ถ้าเป็นชื่อเรียกทั่วไป คือ กลอย มันกลอย กลอยข้าวเหนียว กลอยหัวเหนียว (นครราชสีมา) กลอยนก กอย (ภาคเหนือ) คลี่ (กะเหรี่ยง แม่ฮ่องสอน) (ดุษฎี พลภัทรพิเศษกุล และ ศิริวรรณ ลือด้ง, 2544)

2.2.1 ลักษณะทางพฤกษศาสตร์

ลำต้น ลำต้นเป็นเถา มีหนามแหลม ไม่สามารถตั้งตรงได้ ต้องพันอยู่กับต้นไม้ชนิดอื่น ความยาวของลำต้นไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับหลักที่ถูกพัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ใบ เป็นใบประกอบมี 3 ใบ ยาวประมาณ 12 – 20 เซนติเมตร ก้านใบยาวประมาณ 25 เซนติเมตร มักมีหนามเล็กๆอยู่ตามเส้นใบด้านล่าง ใบกลางเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า รีตอนปลายและฐานแหลม ยาวประมาณ 30 เซนติเมตร กว้างประมาณ 28 เซนติเมตร ใบข้างมีขนาดไม่เท่ากัน ด้านบนใบมีขนต่อมาเกลี้ยงเห็นเส้นใบชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 2.1

ดอก ดอกตัวผู้จะอยู่บนก้านที่ไม่มีใบ ยาวประมาณ 50 เซนติเมตร มีประมาณ 40 ดอก และก้านดอกมีขนสีขาวหรือสีเนื้อ สำหรับดอกตัวเมีย เกิดเป็นช่อเดี่ยวห่างๆกันและช่อดอกจะโค้งขึ้น ดอกมีสีขาวนวล (ทิพย์พรรณ สดากร, 2536)

หัวสด มีลักษณะกลมแบนหรือเป็นพวงกลมด้านข้างมีกิลีบเล็กน้อย เปลือกบาง มีขนขึ้นอยู่ขรุขระ น้ำหนักต่อหัวประมาณ 10 – 15 กิโลกรัม ขึ้นอยู่กับอายุ โดยปกติแล้วกลอยแต่ละต้นอาจจะมี 3 – 5 หัว โดยแตกออกจากเหง้าเดียวกัน (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) เปลือกบางและมีสีน้ำตาลออกเหลือง ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ลำต้นและใบของกลอย (ลูกศรีขี้)



รูปที่ 2.2 หัวกลอยสด

2.2.2 ชนิดของกลอย

กลอยที่พบในประเทศไทยแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ กลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียว โดยการจำแนกชนิดของกลอย อาจพิจารณาได้จาก (สมพร สุริยันต์, 2543; สมสุข ศรีจักรวาล และปราโมทย์ เกิดศิริ, 2543)

ทิศทางการพันของต้นกลอย ลำต้นของกลอยข้าวเจ้าจะพันไปทางขวา (ทวนเข็มนาฬิกา) กับหลักที่พัน สำหรับลำต้นของกลอยข้าวเหนียวจะพันไปทางซ้าย (ตามเข็มนาฬิกา)

สีของเถาและก้านใบ กลอยข้าวเจ้าจะมีสีของเถาและก้านใบเป็นสีเขียว ส่วนกลอยข้าวเหนียวจะมีสีของเถาและก้านใบเป็นสีม่วง

สีของเนื้องกลอย สีเนื้องกลอยข้าวเจ้าจะมีสีขาวหรือเหลืองอ่อน สำหรับกลอยข้าวเหนียวจะมีสีเหลืองเข้ม

การจำแนกชนิดของกลอยของชาวบ้านนั้นจะดูจากสีของเนื้องกลอยเป็นหลัก

2.2.3 การเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยว

กลอยเป็นพืชหัวที่เจริญเติบโตเร็ว ชอบดินดอนแต่ร่วนซุยที่มีอินทรีย์วัตถุค่อนข้างสูง และมีการระบายน้ำที่ดี ไม่ชอบน้ำขังเพราะหัวที่อยู่ใต้ดินจะเน่าง่าย ชอบอากาศชุ่มชื้นและค่อนข้างหนาว อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของกลอยอยู่ในช่วง 13 – 15 องศาเซลเซียส การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติใช้เมล็ดและใช้หัวแก่อกเป็นต้นใหม่ซึ่งต้องใช้เวลานานเพื่อให้ได้ต้นที่เจริญเติบโต

เต็มที่ได้และได้หัวใต้ดินที่มีขนาดใหญ่ วิธีที่เกษตรกรนิยมใช้ในการขยายพันธุ์กลอยคือใช้วิธีการแบ่งหัวใต้ดินออกเป็นส่วนๆแล้วนำแต่ละส่วนไปปลูก (สมพร สุริยันต์, 2543) หัวกลอยจะเจริญเติบโตในฤดูฝน ในฤดูแล้งต้นจะตายแต่หัวที่อยู่ใต้ดินจะงอกขึ้นมาใหม่ได้เมื่อได้รับความชื้น ขนาดของหัวจะใหญ่ขึ้นเรื่อยๆตามอายุ ใบจะเหลืองและร่วงประมาณเดือนพฤศจิกายนหรือธันวาคม ซึ่งในระยะนี้อาจขุดหัวขึ้นมาเป็นอาหารได้ อย่างไรก็ตามนิยมที่จะขุดขึ้นมาเป็นอาหารในราวๆเดือนมีนาคม – พฤษภาคม (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

2.2.4 องค์ประกอบทางเคมีของกลอย

องค์ประกอบทางเคมีที่พบในพืชตระกูลกลอย (Anthony, 1992) ได้แก่

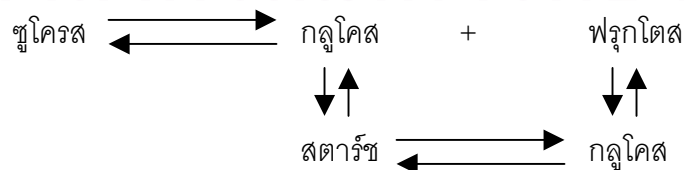
2.2.4.1 คาร์โบไฮเดรต คาร์โบไฮเดรตที่พบในพืชตระกูลกลอย (*Dioscorea spp.*)

มีปริมาณอยู่ในช่วงร้อยละ 10 – 20 ต่อน้ำหนักของหัวสด สามารถแบ่งออกเป็นสตาร์ช พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช และน้ำตาล

สตาร์ช ปริมาณสตาร์ชจะขึ้นกับอายุของหัวและจะเพิ่มขึ้นสูงสุดเมื่อต้นตายตอนช่วงเริ่มต้นฤดูแล้ง สตาร์ชจะสะสมอยู่ใน multilayer grains ของสตาร์ช แกรนูลของพืชตระกูลกลอยแต่ละชนิดมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันไป

พอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ช เป็น dietary fiber ซึ่งเป็นองค์ประกอบส่วนน้อยในหัวที่แห้งแล้ว พบมากในผนังเซลล์และสารที่เคลือบอยู่ระหว่างเซลล์ ได้แก่ เซลลูโลส ลิกนิน เฮมิเซลลูโลส และเพคติน ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปไม่ละลายน้ำแต่บางชนิดก็อาจละลายน้ำได้ เช่น แคลเซียมเพคเตท นอกจากนี้ยังรวมถึงสารเมือก (mucilaginous substances) ซึ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์ที่ไม่ใช่สตาร์ชที่สามารถละลายน้ำได้ด้วย

น้ำตาล สตาร์ชในพืชตระกูลกลอยสามารถถูกเปลี่ยนให้เป็นน้ำตาลได้ ซึ่งเป็นผลมาจากความเครียดในระหว่างการเจริญเติบโต และ/หรือ ระหว่างการเก็บ ปริมาณของน้ำตาลในหัวของพืชตระกูลกลอยจะได้รับอิทธิพลมาจาก พันธุ์ แหล่งที่ปลูก และวิธีการเพาะปลูก หัวกลอยที่โตเต็มที่นั้น น้ำตาลและสตาร์ชจะมีสภาวะของ dynamic equilibrium ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Dynamic equilibrium ระหว่างสตาร์ชและน้ำตาล

ที่มา : Anthony (1992)

น้ำตาลที่พบส่วนใหญ่คือน้ำตาลซูโครส และ กลูโคส อาจพบฟรุกโตสและแมนโนสบ้างเล็กน้อย โดยรวมแล้วระดับของน้ำตาลในหัวจะหลากหลายขึ้นกับสภาวะทางกายภาพซึ่งส่วนใหญ่แล้วขึ้นกับ species พบว่ามีน้ำตาลน้อยกว่าร้อยละ 1 ทำให้พืชตระกูลถั่วโดยทั่วไปไม่หวาน ยกเว้นใน *D. esculenta* ซึ่งหัวจะประกอบด้วยน้ำตาลเพียงพอที่จะให้รสหวานได้ น้ำตาลรีดิวิวส์ในหัวถั่วสามารถเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาล (browning reaction) กับกรดอะมิโนที่มีอยู่ทำให้สีเนื้อของหัวถั่วเกิดสีน้ำตาลขึ้น

2.2.4.2 โปรตีน ปริมาณโปรตีนในพืชตระกูลถั่วจะมีความแปรผันมากตามพันธุ์และการเพาะปลูก การแปรผันนี้ขึ้นกับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ลักษณะการเพาะปลูก สภาพภูมิอากาศ การเจริญในฤดูกาลเก็บเกี่ยว และช่วงระยะเวลาที่หัวถูกเก็บไว้ ปริมาณ crude protein ที่สามารถรับประทานได้จะอยู่ในช่วงร้อยละ 1-3 ของหัวสด และร้อยละ 6 – 9 ของถั่วที่แห้งแล้ว ซึ่งใกล้เคียงกับธัญพืช

2.2.4.3 ไขมัน ไขมันที่อยู่ในพืชตระกูลถั่วมีปริมาณต่ำมาก พบว่าใน *D. alata* *D. cayenesis* และ *D. rotundata* พบเพียงร้อยละ 1 ของน้ำหนักแห้ง ในขณะที่ *D. bulbifera* มีปริมาณไขมันเพียงร้อยละ 1.5 อย่างไรก็ตาม ไขมันที่พบในพืชตระกูลถั่วช่วยป้องกันการเกิดการห้ำและอาจเป็นส่วนหนึ่งในการลดการเกิดสีคล้ำเนื่องจากเอนไซม์ในหัวสดด้วย แต่สิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ไขมันมีความไวต่อปฏิกิริยา enzymic degradation และ non-enzymic auto-oxidation ซึ่งนำไปสู่การเกิดกลิ่นหืนในผลิตภัณฑ์จากพืชตระกูลถั่วที่แห้งแล้ว

2.2.4.4 สารอื่นๆ สารอื่นๆที่พบในพืชตระกูลถั่ว ได้แก่ สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์อะมิเลส ออกซาเลต ไฟเตท รงควัตถุ (แอนโทไซยานิน และแคโรทีนอยด์) และสารให้รสขม (เช่นสารอัลคาลอยด์) อย่างไรก็ตามสามารถลดปริมาณสารที่พบในพืชตระกูลถั่วเหล่านี้ได้โดยกระบวนการแปรรูปต่างๆ เช่น ต้ม ลวก อบ เป็นต้น

กองโภชนาการ กรมอนามัย (2530) รายงานคุณค่าทางอาหารของถั่ว ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของกลอย

องค์ประกอบ	หน่วย	กลอยสด	กลอยแห้ง
ความชื้น	ร้อยละ	75.8	12.6
ไขมัน	ร้อยละ	0.3	0.4
คาร์โบไฮเดรต	ร้อยละ	21.1	80.3
เส้นใย	ร้อยละ	0.7	2.2
โปรตีน	ร้อยละ	2.2	5.7
แคลเซียม	มิลลิกรัม / 100 กรัม	22	140
ฟอสฟอรัส	มิลลิกรัม / 100 กรัม	30	31
เหล็ก	มิลลิกรัม / 100 กรัม	1.2	10.5
วิตามิน บี1	มิลลิกรัม / 100 กรัม	0.04	0.01
วิตามิน บี2	มิลลิกรัม / 100 กรัม	0.02	0.03

ที่มา : กองโภชนาการ กรมอนามัย (2530)

2.2.5 สารพิษและวิธีกำจัด

2.2.5.1 สารพิษ สารพิษในกลอยที่พบมี 2 ชนิด ได้แก่

Dioscorine เป็นสารที่อยู่ในกลุ่ม tropan alkaloid ละลายน้ำได้ มีสูตรเคมีเป็น $C_{13}H_{19}O_2N$ มีอยู่ประมาณร้อยละ 0.04 (Coursey, 1967) พบว่า dioscorine เพียง 0.01 กรัม อาจทำให้เสียชีวิตได้ (สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, 2533) แต่ดูษฎี พลภัทรพิเศษกุลและศิริวรรณ ลีอดัง (2544) ยังไม่พบรายงานว่าเป็นอันตรายจนทำให้ผู้บริโภคเสียชีวิต

Diosgenin เป็นสารที่อยู่ในกลุ่ม saponin มีอยู่ในปริมาณร้อยละ 0.2 - 0.7 (สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน, 2533)

ทั้ง dioscorine และ diosgenin จะมีปริมาณมากในช่วงฤดูฝนและค่อยๆ ต่ำลงจนกระทั่งต่ำที่สุดในฤดูร้อน (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

2.2.5.2 **วิธีกำจัดสารพิษ** หรือที่เรียกกันว่า “หักเมา” สามารถทำได้ 2 วิธี ได้แก่

วิธีแบบชาวบ้าน ประกอบด้วยขั้นตอนที่ต้องทำให้หัวกลอยเป็นแผ่นบางๆ เช่นน้ำ ทับให้แห้งหรือตากแล้วนำกลับมาแช่น้ำอีกจนกว่าสารพิษจะหมดไป ในบางพื้นที่บางแห่งใช้น้ำเกลือหรือน้ำทะเลแทนน้ำจืดเพราะให้ผลที่ดีกว่า

วิธีวิทยาศาสตร์ ทำได้โดยการล้างด้วยแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 สลับด้วยน้ำเกลือเข้มข้น ร้อยละ 5 หรือน้ำที่เป็นกรดเล็กน้อย วิธีนี้ให้ผลดีแต่ทำให้ต้นทุนการผลิตสูง นอกจากนี้ยังอาจทำได้ด้วยน้ำปูนขาวผสมกับโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต แล้วกำจัดโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่เหลือด้วยสารละลายโซเดียมเมตาไบซัลไฟต์ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

2.2.6 การใช้ประโยชน์จากกลอย

สามารถนำมาใช้เป็นอาหารได้ทั้งในแบบที่ยังไม่ได้แปรรูป เช่นรับประทานแทนข้าวเหนียวหรือเนื้อมัสมกับข้าวเหนียว และแบบที่แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆแล้ว เช่น กลอยบด กลอยแผ่น แป้งกลอยและกลอยทอด เป็นต้น แต่เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่มีมีการปลูกกลอยเพื่อนำมาใช้ในระดับอุตสาหกรรม ดังนั้นผลิตภัณฑ์ต่างๆที่ได้จากการแปรรูปจึงรู้จักกันในบางพื้นที่ของบางจังหวัดเท่านั้น (ศิริพรรณ หวังอารีย์และนพรัตน์ แซ่อึ้ง, 2528)

ทางตะวันตกพืชตระกูลกลอยถูกนำมาใช้ในรูปแบบที่ใกล้เคียงกับการใช้มันฝรั่ง โดยอาจนำมาอบ ทอด ย่างหรืออบเพื่อให้มีความเหมาะสมในด้านรสชาติในแต่ละท้องถิ่นนั้นๆ และตามความต้องการของผู้บริโภค ทางด้านยุโรปมีการนำพืชตระกูลกลอยมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เช่น yam cake และ mashed yam ที่ปั่นเป็นก้อนกลมแล้วนำไปทอด หรือนำมาทำเป็นผลิตภัณฑ์ที่คล้ายมันฝรั่งทอด (chip) สำหรับแอฟริกาตะวันตกมีการนำ *D. rotundata* มาบดและนวดให้เหนียวแล้วนำมารับประทานโดยปั่นเป็นก้อนกลมๆเล็กๆ จุ่มลงในน้ำสตูว์ (Anthony, 1992) นอกจากนี้ยังมีการแปรรูปพืชตระกูลกลอยเป็นผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น Ciacco และคณะ(1977) พบว่าการผสมฟลาวาร์จาก *D. alata* ร้อยละ 10 ขึ้นไปในการผลิตขนมปังฝรั่งเศส (French-type bread) ทำให้ขนมปังที่ผลิตได้มีคุณภาพดีที่สุดในเมื่อเปรียบเทียบกับฟลาวาร์และสตาร์ชจากมันสำปะหลัง

Rasper และคณะ (1974) ศึกษาสมบัติของขนมปังที่ผลิตจากการแทนที่ฟลาวาร์ข้าวสาลีด้วยฟลาวาร์จากพืชตระกูลกลอย พบว่าสมบัติทางการไหลของโดขนมปังและปริมาตรของก้อนขนมปังที่ผลิตได้มีคุณภาพดีกว่าผลจากการแทนที่ด้วยฟลาวาร์จากพืชหัวและรากชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามการที่ฟลาวาร์จากพืชตระกูลกลอยมีอุณหภูมิการเกิดเจลลิตในเซชันที่สูง และความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์อะมิเลสต่ำ อาจทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณสมบัติที่ไม่ต้องการบ้างเล็กน้อย

Martin และ Ruerte (1975) พบว่าการแทนที่ฟลาวอร์จากข้าวสาลี ด้วยฟลาวอร์จากพืชตระกูลกลอยที่ระดับร้อยละ 20 ในขนมปังให้ผลิตภัณฑ์เป็นที่พึงพอใจ ในขณะที่การผลิตผลิตภัณฑ์ขนมอบชนิดอื่นๆ เช่น แพนเค้ก และ คัพเค้ก ที่แทนที่ด้วยฟลาวอร์จากพืชตระกูลกลอย ร้อยละ 50 – 100 สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์มีลักษณะทางประสาทสัมผัสที่ยอมรับได้ แต่จะขึ้นกับชนิดของพืชตระกูลกลอยนั้นๆ ด้วย

Ige และ Akintude (1981) ศึกษาวิธีการผลิตฟลาวอร์จากพืชตระกูลกลอยในทางการค้าในไนจีเรีย พบว่าการทำให้พืชตระกูลกลอยสุกบางส่วนหรือนำไปนึ่งเป็นขั้นตอนเบื้องต้นที่จำเป็นในกระบวนการผลิต อุณหภูมิที่ใช้ในการนึ่งประมาณ 60 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิของการทำแห้งอยู่ในช่วง 60 – 80 องศาเซลเซียส เพื่อให้ได้พืชตระกูลกลอยที่ร่วนเปราะแตกง่าย เมื่อนำไปบดเป็นผง แต่ที่อุณหภูมิมากกว่า 80 องศาเซลเซียส จะทำให้ฟลาวอร์จากพืชตระกูลกลอยเกิดสีน้ำตาล และเม็ดแป้งจะหยาบ

2.3 แป้งกลอย

แป้ง เป็นพอลิเมอร์ของ anhydrous glucose unit ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic ที่คาร์บอนตำแหน่งที่หนึ่ง ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่า reducing end group แป้งประกอบด้วยสายพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ พอลิเมอร์เชิงเส้น (อะมิโลส) และพอลิเมอร์เชิงกิ่ง (อะมิโลเพคติน) วางตัวในแนวรัศมี แป้งจากแหล่งต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินแตกต่างกันซึ่งทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

คำว่า “แป้ง” ในการผลิตนั้น หมายถึง คาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นส่วนใหญ่ มีสิ่งเจือปน เช่น โปรตีน ไขมัน เกลือแร่ น้อยมาก ส่วนแป้งที่ผลิตโดยทั่วไปที่ยังมีส่วนประกอบอื่นๆอยู่มาก เรียกว่า ฟลาวอร์ (flour) แต่เมื่อสิ่งเจือปนต่างๆถูกสกัดออกไปจนเหลือแป้งบริสุทธิ์เป็นส่วนใหญ่ จะเรียกว่าเป็น สตาร์ช (starch) โดยส่วนใหญ่แล้วจะดูปริมาณโปรตีนเป็นหลักซึ่งอาจดูได้จากมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง ม.อ.ก. 274-2521 ซึ่งกำหนดให้ต้องมีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าร้อยละ 0.3

สำหรับแป้งที่สกัดได้จากกลอยนั้น พบว่าในประเทศไทยมีการผลิตสำหรับบริโภคในระดับชาวบ้านเท่านั้นยังไม่พบว่ามีการผลิตในระดับอุตสาหกรรม และยังไม่มีการจำแนกว่าเป็นฟลาวอร์หรือสตาร์ช เนื่องจากยังไม่มีรายงานว่าในแป้งที่สกัดได้นั้นมีปริมาณสารเจือปนอื่นๆอยู่ในปริมาณเท่าไร

ในต่างประเทศมีการใช้พืชตระกูลถั่วมาสกัดเป็นแป้งทั้งในรูปของฟลาวร์และสตาร์ชและมีรายงานถึงผลการวิเคราะห์ทั้งทางเคมีและกายภาพตลอดจนการดัดแปรแป้งจากพืชตระกูลถั่วอยู่ มากพอสมควร นอกจากนี้ในบางประเทศมีการผลิตแป้งจากพืชตระกูลถั่วในระดับอุตสาหกรรมแล้ว ดังนั้นจะเห็นได้ว่าพืชตระกูลถั่วเป็นพืชเศรษฐกิจในบางประเทศ หากในประเทศไทยมีการทำวิจัย เกี่ยวกับถั่วและแป้งถั่วประกอบกับมีการส่งเสริมการเพาะปลูกในระดับอุตสาหกรรมมากขึ้น ถั่วก็จะมีโอกาสเป็นพืชเศรษฐกิจของไทยได้เช่นกัน

2.3.1 สมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากถั่ว

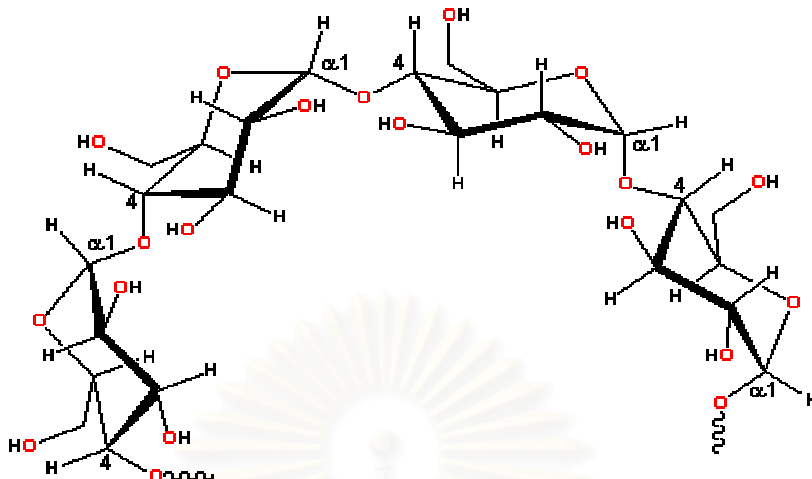
2.3.1.1 องค์ประกอบทางเคมี

ศิริพรรณ หวังอารีย์และนพรัตน์ แซ่อึ้ง (2528) รายงานองค์ประกอบทางเคมี ของแป้งถั่วจากถั่วแดง พบว่ามีปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 91.88 โปรตีนร้อยละ 6.52 ไขมัน ร้อยละ 0.46 และเส้นใยร้อยละ 2.52

2.3.1.2 อะมิโลสและอะมิโลเพคติน

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นสายยาวซึ่งประกอบขึ้นจาก D-glucose units เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - 1,4 glucosidic linkage โดยมีปริมาณ D-glucose unit ตั้งแต่ 500 ถึง 1200 units และมีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง $10^5 - 10^8$ daltons ดังแสดงในรูปที่ 2.4 อาจพบ พันธะ α - 1,6 glucosidic linkage บนสายอะมิโลสซึ่งทำให้มีความเป็นกิ่งขึ้น แต่พบในปริมาณ น้อยมากจนไม่มีผลต่อคุณสมบัติของอะมิโลส (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

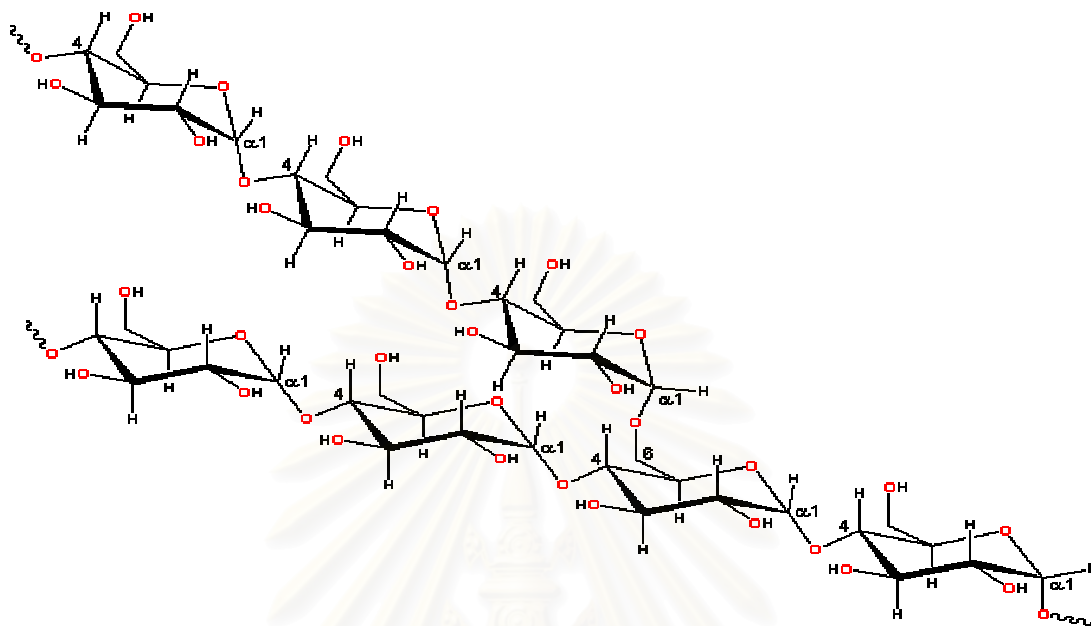
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะมิโลส

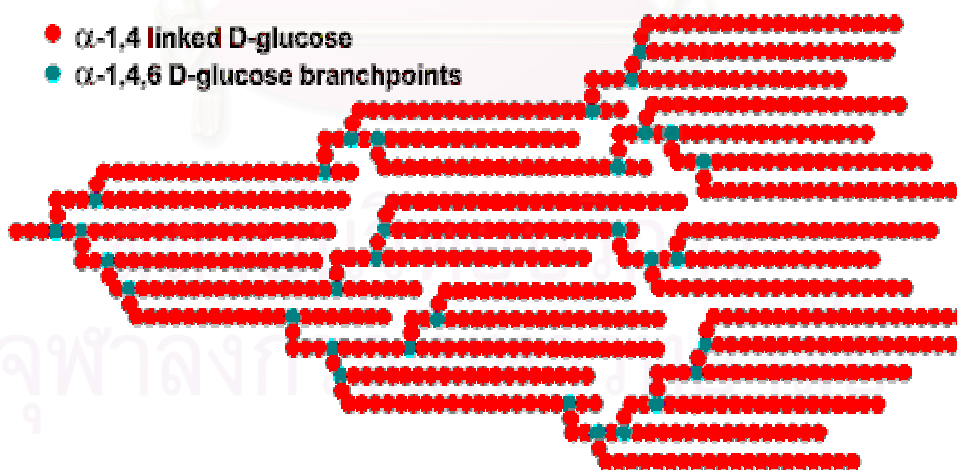
ที่มา : www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html.

อะมิโลเพคติน เป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของ D-glucose units ส่วนที่เป็นเส้นตรงของอะมิโลเพคตินเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α - 1,4 glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งของอะมิโลเพคตินเกิดขึ้นจากการเชื่อมกันของพอลิเมอร์ D-glucose สายสั้น (DP ประมาณ 10 – 60 หน่วย) ด้วยพันธะ α - 1,6 glucosidic linkage ดังแสดงในรูปที่ 2.5 และรูปที่ 2.6 อะมิโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลสูงถึงประมาณ 10^7 daltons พันธะ α - 1,4 glucosidic linkage นั้นมีอยู่ประมาณร้อยละ 4 – 5 ของปริมาณหน่วย D-glucose ทั้งหมดในอะมิโลเพคติน แต่ละกลุ่มก้อน (cluster) ของอะมิโลเพคตินสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนผลึก (crystalline region) และส่วนอสัณฐาน (amorphous region) โดยส่วนผลึกจะเป็นส่วนที่มีพอลิเมอร์เชิงกิ่งอยู่อย่างหนาแน่น แต่ส่วนอสัณฐานเป็นส่วนที่เป็นจุดเชื่อมกิ่ง (branch point) ซึ่งเป็นส่วนที่จะถูกเข้าทำปฏิกิริยาจากสารเคมีหรือเอนไซม์ได้ง่ายกว่าส่วนผลึก ในการจับกันเป็นกลุ่มของอะมิโลเพคติน ทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) ซึ่งเกิดจากพอลิเมอร์เชิงเส้นที่อยู่ใกล้กันเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจนหรือแรงแวนเดอร์วาลส์ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของอะมิโลเพคติน

ที่มา : www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html.



รูปที่ 2.6 ลักษณะการเชื่อมต่อกันเป็นกลุ่มของสายอะมิโลเพคติน

ที่มา : www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html.

สตาร์ชโดยทั่วไปมีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 20 ถึง 30 แบ่งจาก ธัญพืช เช่นข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี มีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณร้อยละ 28 สตาร์ชจากราก และหัว เช่น มันสำปะหลัง มันฝรั่ง สาคู มีปริมาณอะมิโลสต่ำประมาณร้อยละ 20 waxy starch มีปริมาณอะมิโลสน้อยกว่าร้อยละ 1 และแบ่งจาก amylo maize มีอะมิโลสสูงถึงร้อยละ 80 (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วมีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกันไปตามแต่ละ species พบว่าสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วในแถบแอฟริกาตะวันตกมีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 12 ถึง 25 (Imad และคณะ, 1999)

Violeta และคณะ (1998) ศึกษาผลของ genetic variation ต่อสมบัติทางกายภาพของฟลาว์จากพืชตระกูลถั่วในแถบเอเชีย รายงานว่าปริมาณ apparent amylose ของฟลาว์อยู่ในช่วงร้อยละ 3.9 ถึง 21.4 ซึ่งถั่วที่พบในประเทศไทย (*D. hispida*) มีปริมาณอะมิโลสร้อยละ 11.2

2.3.2 สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากถั่ว

2.3.2.1 รูปร่างและขนาดของสตาร์ชแกรนูล

รูปร่างและขนาดของสตาร์ชแกรนูลของพืชตระกูลถั่วจะแตกต่างกันไปตามแต่ละ species ในปีค.ศ. 1964 Seidemann ได้แบ่งขนาดและรูปร่างของสตาร์ชแกรนูลของพืชตระกูลถั่วไว้เป็น 4 กลุ่ม ดังตารางที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.2 ลักษณะและขนาดของสตา์รชแกรนูลของแป้งจากพืชตระกูลถั่ว

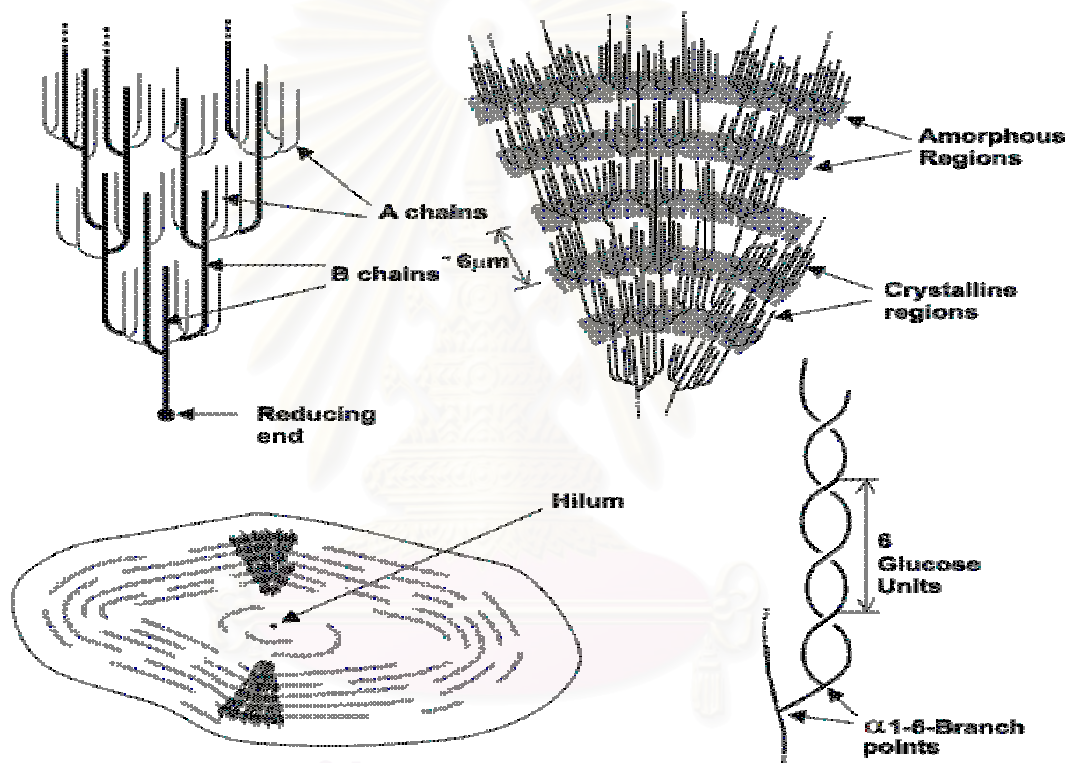
ลักษณะของเม็ดแป้ง	ขนาดแกรนูล (μm)	ตัวอย่างของพืชตระกูล ถั่ว
กลุ่มที่1 สตา์รชแกรนูลของพืชตระกูลถั่วที่มีขนาดใหญ่ ลักษณะเป็นรูปวงรีหรือรูปไข่ หรือรูปร่างคล้ายเปลือกหอยแมลงภู่ บางเม็ดแป้งอาจมีด้านใดด้านหนึ่งแบนราบ	5-60	<i>D. alata</i> <i>D. rotundata</i> <i>D. opposita</i>
กลุ่มที่2 สตา์รชแกรนูลของพืชตระกูลถั่วที่มีขนาดใหญ่ รูปร่างเป็นสามเหลี่ยมมุมมนหรือรูปร่างยาว	5-45	<i>D. bulbifera</i> <i>D. cayenensis</i>
กลุ่มที่3 สตา์รชแกรนูลของพืชตระกูลถั่วที่มีขนาดเล็ก รูปร่างกลมหรือหลายเหลี่ยม (polyhedral) บางครั้งจะเกาะรวมกันเป็นกลุ่ม	1-15	<i>D. esculenta</i> <i>D. hispida</i> <i>D. dumetorum</i>
กลุ่มที่4 สตา์รชแกรนูลของพืชตระกูลถั่วที่มีขนาดเล็ก รูปร่างกลม มักเกาะกลุ่มรวมกันที่ด้านใดด้านหนึ่งหรือหลายๆด้านของผิวหน้า granule เม็ดแป้งในกลุ่มนี้จะใกล้เคียงกับสตา์รชแกรนูลของมันสำปะหลังและมันเทศ	ไม่มีรายงาน	<i>D. digitata</i> <i>D. sinuata</i> <i>D. belizensis</i>

ที่มา : Seideman (1964)

สตา์รชแกรนูลของสตา์รชจากถั่ว *D. hispida* จะจัดอยู่ในกลุ่มที่ 3 และมีขนาดประมาณ 1 ถึง 15 ไมครอน เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดสตา์รชแกรนูลของสตา์รชชนิดอื่นพบว่ามีความเล็กมากใกล้เคียงกับขนาดแกรนูลของแป้งข้าวเจ้า

2.3.2.2 โครงร่างผลึก

โมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในสตาร์ชแกรนูลสามารถจัดเรียงตัวกันทำให้เกิดโครงสร้าง 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน โครงสร้างทั้ง 2 ส่วนนี้ทำให้สตาร์ชแกรนูลมีโครงสร้างเป็นแบบกึ่งผลึก (semicrystalline) ดังรูปที่ 2.7 อะมิโลเพคตินสายสั้นจะเรียงตัวในลักษณะเกลียวคู่ ซึ่งบางส่วนจะเกิดโครงสร้างที่เป็นผลึกซึ่งเป็นส่วนที่มีสายโซ่ตรงของอะมิโลเพคตินอยู่รวมกันอย่างหนาแน่น ส่วนอสัณฐานของสตาร์ชแกรนูลจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะมิโลสและส่วนที่เป็นจุดเชื่อมกิ่งของอะมิโลเพคติน



รูปที่ 2.7 ลักษณะการจัดเรียงตัวของอะมิโลเพคตินและการเกิดชั้นผลึกและส่วนอสัณฐาน
ที่มา : www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html.

สตาร์ชแกรนูลจะมีลักษณะโครงสร้างผลึกโดยแบ่งตามชนิดของ X-ray diffraction ได้ 4 แบบ ได้แก่ โครงร่างผลึกแบบ A เกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในสตาร์ชแกรนูลหนาแน่นมาก เช่นสตาร์ชจากธัญพืชต่างๆ โครงร่างผลึกแบบ B เกิดจากโมเลกุลภายใน

สตาร์ชแกรนูลจัดเรียงกันอย่างหลวมๆ เช่นสตาร์ชจากพืชหัว โครงร่างผลึกแบบ C เกิดจากการจัดเรียงตัวของโมเลกุลภายในสตาร์ชแกรนูลทั้งแบบ A และ B เช่นสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว และโครงร่างผลึกแบบ V เกิดจากอะมิโลสรวมตัวกับองค์ประกอบอื่นๆ เช่น ไขมัน เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน (amylose-lipid complex) ซึ่งเป็นโครงร่างผลึกอย่างอ่อนที่ไปเสริมความแข็งแรงให้แก่สตาร์ชแกรนูล ทำให้สตาร์ชแกรนูลพองตัวได้ช้า สตาร์ชแกรนูลจากพืชตระกูลถั่วแต่ละ species จะมีโครงร่างผลึกแตกต่างกัน (Farhat และคณะ, 1999) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 โครงร่างผลึกของสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว species ต่างๆ

พืชตระกูลถั่ว	ชนิดโครงร่างผลึก
<i>D. abyssinica</i>	B
<i>D. alata</i>	C
<i>D. rotundata</i>	C
<i>D. cayensis</i>	B
<i>D. dumetorum</i>	A
Huaishan (<i>Rhizoma Dioscorea</i>)	B
Yamanoimo (Japanese Yam)	C

ที่มา : Farhat และคณะ (1999), Yu และคณะ (1999)

จะเห็นได้ว่าสตาร์ชจากพืชตระกูล Dioscorea เหมือนกันแต่ต่าง species กัน จะให้ลักษณะโครงร่างผลึกต่างกัน ขึ้นกับการจัดเรียงตัวของโมเลกุลของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในสตาร์ชแกรนูล

2.3.2.3 กำลังการพองตัว (Swelling power) และปริมาณ amylose leaching (Amylose leaching content)

ในสตาร์ชแกรนูลสายของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินจะเรียงตัวขนานกันตามแนวรัศมี และแต่ละสายจะดึงดูดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนจากหมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคสของแต่ละสายที่อยู่ใกล้ๆกัน ทำให้มีลักษณะคล้ายร่างแห ดังนั้นแป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลในเซชัน แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายน้ำแป้งจนถึงอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการ

เกิดเจลาตินในเซชัน พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย ทำให้สายของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินคลายออกจากกัน หมู่ไฮดรอกซิลของกลูโคสแต่ละสายเป็นอิสระซึ่งส่งผลให้โมเลกุลของน้ำเข้ามาทำปฏิกิริยาด้วยได้เป็นผลให้สตาร์ชแกรนูลเกิดการพองตัวและอะมิโลสบางส่วนสามารถหลุดออกมาได้ การละลาย ความหนืดและความใสของสารละลายสตาร์ชเพิ่มขึ้น birefringence ของสตาร์ชแกรนูลหมดไป เนื่องจากชั้นผลึกถูกทำลาย กำลังการพองตัวของสตาร์ชจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของสตาร์ชแกรนูลที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อสตาร์ชแกรนูลพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับปริมาณ amylose leaching แสดงเป็นร้อยละของอะมิโลสในสตาร์ชที่สามารถแพร่ออกมาจากสตาร์ชแกรนูลที่อุณหภูมิต่างๆ ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ได้แก่ ชนิดของสตาร์ช ความแข็งแรง และลักษณะของร่างแหภายในสตาร์ชแกรนูล ปริมาณอะมิโลส และสิ่งเจือปนในสตาร์ชแกรนูลที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรตซึ่งได้แก่ ปริมาณฟอสฟอรัสและไขมัน (Leach และคณะ, 1959)

Mariam และคณะ (1998) รายงานว่าสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วในประเทศเอธิโอเปีย *D. abyssinica* มีกำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ และที่ทุกอุณหภูมิจะมีค่ามากกว่าสตาร์ชข้าวโพดแต่จะน้อยกว่าสตาร์ชมันฝรั่ง เนื่องจากระดับของการพองตัวเมื่อสตาร์ชแกรนูลได้รับความร้อนนั้นขึ้นกับแรงที่ใช้ในการจับกันระหว่างแกรนูลของสตาร์ช โดยสตาร์ชแกรนูลที่จับกันด้วยพันธะที่แข็งแรงจะต้านการพองตัวของสตาร์ชแกรนูล ดังนั้นสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วมีพันธะที่แข็งแรงกว่าสตาร์ชมันฝรั่งแต่อ่อนกว่าสตาร์ชข้าวโพด นอกจากนี้พบว่าไขมันเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการยับยั้งการพองตัว โดยไขมันสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำกับโมเลกุลที่เป็นเส้นตรงของสตาร์ชได้ ดังนั้นการที่สตาร์ชจาก *D. abyssinica* มีกำลังการพองตัวที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันฝรั่งอาจเนื่องมาจากการที่มีปริมาณไขมันมากกว่าด้วย Violeta และคณะ (1998) รายงานว่าสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วที่มีปริมาณอะมิโลสสูงจะทำให้มีกำลังการพองตัวต่ำ เนื่องจากลักษณะโครงสร้าง และการจัดเรียงตัวของอะมิโลสในสตาร์ชแกรนูล และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่ไม่ละลายน้ำกับอะมิโลเพคตินบางส่วน ทำให้โมเลกุลของน้ำไม่สามารถแทรกเข้าไประหว่างสายอะมิโลเพคตินได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2.4 สมบัติทางความหนืด (Pasting properties)

สตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปรโดยทั่วไปจะไม่ละลายน้ำที่อุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส แต่ดูดซึมน้ำได้อย่างจำกัดและพองตัวได้เล็กน้อย เมื่อให้ความร้อนจนอุณหภูมิสูงขึ้น สตาร์ชแกรนูลดูดซึมน้ำได้ในปริมาณมากขึ้นและพองตัวจนมีขนาดใหญ่กว่าขนาดเดิมหลายเท่า และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง สตาร์ชแกรนูลอยู่ในสภาวะที่ผันกลับไม่ได้ซึ่งเรียกว่าการเกิดเจลาคติในเซชัน ซึ่งในขั้นนี้สตาร์ชแกรนูลจะพองตัวอย่างรวดเร็วและมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและสูญเสีย birefringence เนื่องจากโครงร่างผลึกถูกทำลายไป โมเลกุลของสารต่างๆในสตาร์ชแกรนูลที่ละลายได้จะเริ่มละลายออกมา ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ สตาร์ชแกรนูลเหลือน้อยลง ทำให้สตาร์ชแกรนูลเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น จึงทำให้เกิดความหนืด หากนำสตาร์ชที่เกิดเจลาคติในเซชันแล้วทิ้งให้เย็นจะทำให้เกิดเจลซึ่งเป็นการจัดเรียงตัวเป็นโครงข่ายตาข่าย (network) ใหม่ของสายอะมิโลสและอะมิโลเพคติน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

Imad และคณะ (1999) ศึกษาสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วในแถบแอฟริกาตะวันตก 4 ชนิดด้วย Rapid Visco Analyzer (RVA) พบว่า สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วทั้ง 4 ชนิดมีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เกือบเคียงกับสตาร์ชมันสำปะหลังซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่าสตาร์ชมันฝรั่ง ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชมันฝรั่งมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงคือประมาณร้อยละ 0.04 ถึง 0.13 ในขณะที่สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วมีประมาณร้อยละ 0.011 – 0.015 ฟอสฟอรัสที่อยู่ในสตาร์ชแกรนูลนี้จะอยู่ในรูปของฟอสเฟตเชื่อมอยู่กับหมู่ไฮดรอกซิลที่ตำแหน่ง C₃ และ C₆ ของหน่วยกลูโคส สตาร์ชมันฝรั่งมีปริมาณฟอสฟอรัสมากกว่าจึงทำให้มีประจุที่พื้นผิวเป็นลบ แรงผลักระหว่างประจุลบทำให้สตาร์ชมันฝรั่งพองตัวง่ายและมีความหนืดสูงกว่าสตาร์ชชนิดอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตาม สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วมีค่า breakdown ที่ต่ำกว่าทั้งสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันฝรั่ง

Yu และคณะ (1999) ศึกษาสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจาก Huashan (Southern China yam) และ Yamanoimo (Japanese yam) ด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph พบว่าสตาร์ชจาก Huishan มีความหนืดสูงสุดและมีค่าการคืนตัวต่ำกว่าสตาร์ชจาก Yamanoimo และมีช่วงของ breakdown เป็นช่วงกว้างกว่าซึ่งส่งผลให้เกิดการคืนตัวที่ต่ำกว่า ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่สตาร์ชจาก Huishan มีปริมาณอะมิโลเพคตินมากกว่าสตาร์ชจาก Yamanoimo

2.3.2.5 สมบัติเชิงความร้อนของการเกิดเจล (Gelatinization) และการคืนตัว (Retrogradation) ของสตาร์ช

การเกิดเจลลาคือในเซชันของสตาร์ชที่มีการดูดพลังงานความร้อน ซึ่งสามารถติดตามการเปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนนี้ได้โดยใช้ Differential Scanning Calorimetry (DSC) อุณหภูมิที่เริ่มต้นในการเกิดเจลลาคือในเซชัน (onset temperature; T_0) อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลลาคือในเซชัน (peak temperature; T_p) อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาคือในเซชัน (conclusion temperature; T_c) และปริมาณความร้อนของการเกิดเจลลาคือในเซชัน (enthalpy of gelatinization; ΔH) จะขึ้นกับตัวแปรต่างๆ เช่นปริมาณความชื้น และอัตราการให้ความร้อนซึ่งพบว่าถ้ามีอัตราการให้ความร้อนสูงทำให้มี ΔH ต่ำ เนื่องจากเวลาในการที่น้ำจะแพร่เข้าไปในสตาร์ชแกรนูลมีจำกัด เมื่อสตาร์ชเกิดเจลลาคือในเซชันแล้วถูกทำให้เย็นลง โมเลกุลของอะมิโลสที่อยู่ใกล้ๆกันจะจัดเรียงตัวกันใหม่ (rearrangement) ด้วยพันธะไฮโดรเจน ไม่มีการดูดซึมน้ำเข้ามาอีก และความหนืดคงตัวมากขึ้น ปรากฏการณ์นี้เรียกว่าการคืนตัวหรือการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรกจะเป็นการเกิดการเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะมิโลส เรียกว่า short – term development และเมื่อทิ้งเจลเป็นเวลานาน จะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ของโมเลกุลอะมิโลเพคตินซึ่งเกิดจากสายของกิ่งที่อยู่นอกสุด เรียกช่วงนี้ว่า long – term development การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชทำให้เกิดลักษณะที่ต้องการและไม่ต้องการของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดได้ (Karim, Norziah และ Seow, 2000)

Gebre – Mariam และคณะ (1998) รายงานสมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลาคือในเซชันของสตาร์ชจาก *D. abyssinica* ที่ทดสอบด้วย DSC เปรียบเทียบกับสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชข้าวโพด เมื่อใช้อัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำเท่ากับ 1 ต่อ 2 พบว่า สตาร์ชจาก *D. abyssinica* มีค่า T_0 T_p และ T_c มากกว่าสตาร์ชมันฝรั่งแต่ใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพด อุณหภูมิการเกิดเจลลาคือในเซชันนี้แสดงถึงระดับการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของโมเลกุลในสตาร์ชแกรนูล ดังนั้นโมเลกุลในสตาร์ชจาก *D. abyssinica* และ สตาร์ชข้าวโพดมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบมากกว่าในสตาร์ชมันฝรั่ง จึงต้องใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าในการทำลายโครงสร้างที่เป็นระเบียบดังกล่าว Gunartne และ Hoover (2002) รายงานสมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลาคือในเซชันและรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชจาก *D. alata* ด้วย DSC พบว่า T_0 T_p และ T_c มีค่า 75 80 และ 91.2 องศาเซลเซียสตามลำดับซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิการเกิดเจลลาคือในเซชันของสตาร์ชแต่ละชนิดขึ้นกับโครงสร้างของโมเลกุลอะมิโลเพคติน (ความยาวสาย และความเปราะ) อัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน ปริมาณอะมิโลสที่เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน สายของอะมิโลส ปริมาณฟอสเฟต และอัตราส่วนของส่วนที่เป็นโครงสร้างผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน ส่วน ΔH สามารถบ่งบอกถึงจำนวนของ

สายเกลียวคู่ที่เป็นอิสระและหลอมไประหว่างการเกิดเจลลิตีในเซชัน ซึ่งสตาร์ชจาก *D. alata* มีค่า ΔH สูง (17.8 J/g) แสดงถึงการมีจำนวนสายเกลียวคู่มาก เนื่องจากสายที่ยาวของอะมิโลเพคตินนั่นเอง ΔH ในการเกิดรีโทรเกรเดชันหรือ ΔH_R เมื่อ เก็บเจลไว้ 7 วัน จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการเก็บ เนื่องจากโมเลกุลของสตาร์ชจัดเรียงตัวกันใหม่เป็นโครงสร้างผลึกที่แข็งแรงขึ้นเมื่อเก็บนานขึ้น

2.3.2.6 ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ (Enzyme susceptibility) ในสตาร์ชดิบ

เอนไซม์สามารถย่อยสตาร์ชที่เกิดเจลลิตีในเซชันแล้วได้ดีกว่าสตาร์ชดิบ เนื่องจากโครงสร้างที่เป็นระเบียบจะถูกทำลายไปในสตาร์ชที่เกิดเจลลิตีในเซชันแล้ว ในการย่อย สตาร์ชดิบ เอนไซม์จะเข้าย่อยในโครงสร้างที่มีความแข็งแรงน้อยกว่าซึ่งก็คือส่วนอสัณฐานได้ดีกว่าส่วนที่เป็นผลึก Hoover และ Vasanthan (1994) รายงานความสามารถในการถูกย่อยของสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วด้วย porcine pancreatic alpha amylase เป็นเวลา 72 ชั่วโมง พบว่ามีค่าร้อยละของการถูกย่อย (% Hydrolysis) เท่ากับ 1.5 Gunaratne และ Hoover (2002) รายงานว่าเมื่อย่อย สตาร์ชจาก *D. alata* ด้วย porcine pancreatic alpha amylase เป็นเวลา 6 12 24 และ 72 ชั่วโมง พบว่ามีร้อยละของการถูกย่อย เท่ากับ 1.2 1.5 3.1 และ 4.9 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำและใกล้เคียงกับ สตาร์ชมันฝรั่ง

ความแตกต่างของความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของสตาร์ชดิบขึ้น กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ ขนาดของสตาร์ชแกรานูล พื้นผิวของสตาร์ชแกรานูล ชนิดของโครงร่างผลึก อัตราส่วนระหว่างอะมิโลสและอะมิโลเพคติน ปริมาณ amylose – lipid complex ความเป็นผลึก และการกระจายของพันธะ α 1,6 glucosidic linkage ในส่วนที่เป็นอสัณฐานและผลึกของอะมิโลเพคติน (Gunaratne และ Hoover, 2002)

2.3.2.7 สมบัติทางการไหล (Rheological properties)

สตาร์ชเมื่อเกิดเจลาตินในเซชันเป็นเจลแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงของ mechanical behavior ซึ่งเจลจะแสดงลักษณะของ viscoelastic คือจะมีสมบัติที่เป็นทั้ง viscous (liquid – like) และ elastic (solid – like) (Karim และคณะ, 2000) ลักษณะของเจลที่เป็น viscoelastic ดังกล่าวสามารถติดตามหรือตรวจสอบได้โดยการทดสอบสมบัติทางการไหลของเจล (rheological testing) dynamic oscillatory test เป็นการทดสอบสมบัติ viscoelastic ของเจล โดยที่ไม่ทำให้โครงสร้างของเจลถูกทำลายไป สามารถวิเคราะห์ผลได้โดยสังเกตจากค่าต่างๆ ดังนี้

G' (storage modulus) แสดงถึงลักษณะที่เป็น solid หรือ elastic ซึ่งวัดในรูปของพลังงานที่ถูกสะสมอยู่ในวัตถุนั้นๆ ต่อ 1 รอบของการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (deformation)

G'' (loss modulus) แสดงถึงลักษณะที่เป็น liquid หรือ viscous ซึ่งวัดในรูปของพลังงานที่สูญเสียไป (ในรูปของความร้อน) ของวัตถุนั้นๆ ต่อ 1 รอบของการเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง

ค่า G' และ G'' มีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างหรือ strain (γ_0) แสดงดัง สมการต่อไปนี้ (Steffe, 1996)

$$G' = \frac{(\sigma_0)}{\gamma_0} \cos \delta \quad (1)$$

$$G'' = \frac{(\sigma_0)}{\gamma_0} \sin \delta \quad (2)$$

$$\text{โดย } \sigma_0 = \text{Generated stress} = G' \gamma_0 \sin (\omega t) + G'' \gamma_0 \cos (\omega t) \quad (3)$$

$$\gamma_0 = \text{Strain amplitude}$$

$$\omega = \text{Angular frequency}$$

$$t = \text{time}$$

วัตถุที่มีสมบัติเป็น pure solid จะมีค่า G' สูงมาก ในขณะที่ G'' ต่ำเข้าใกล้ 0 แต่สำหรับวัตถุที่มีสมบัติเป็น pure liquid มีค่า G'' สูงมาก ในขณะที่ G' ต่ำเข้าใกล้ 0 ค่า G' และ G'' จะขึ้นกับ ความถี่ ความเข้มข้น อุณหภูมิ และความเค้น (strain) แต่ถ้าค่าของความเค้น อยู่ในช่วง linear range of deformation (linear viscoelastic range) ค่า G' และ G'' ก็จะไม่ขึ้นกับความเค้น นอกจากนี้ G' และ G'' แล้วยังสามารถวิเคราะห์สมบัติ viscoelastic ของเจลได้จาก G^* (complex

modulus) η^* (complex viscosity) และ $\tan(\delta)$ (loss tangent) ได้ โดยค่าของ G^* η^* และ $\tan(\delta)$ แสดงดังสมการต่อไปนี้

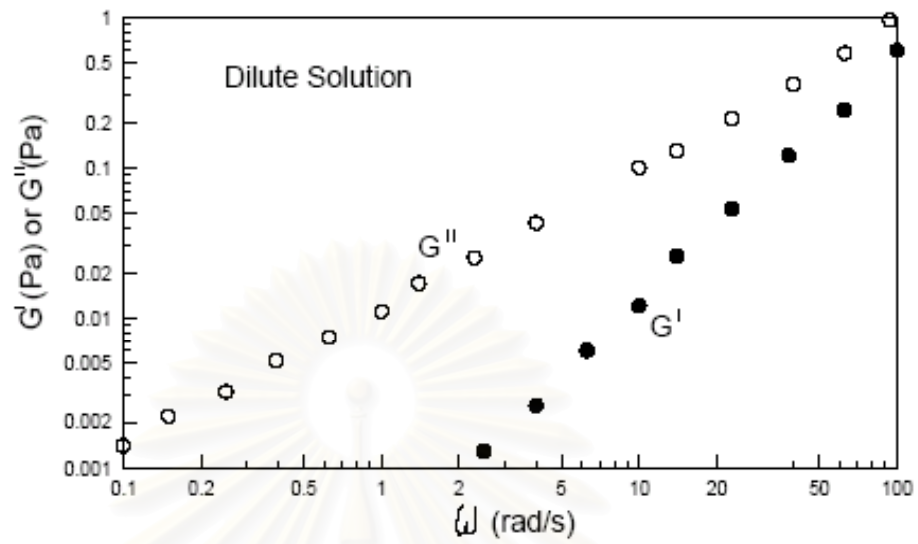
$$G^* = \frac{\sigma_0}{\gamma_0} = \left\{ (G')^2 + (G'')^2 \right\}^{1/2} \quad (4)$$

$$\eta^* = G'' / \omega \quad (5)$$

$$\tan(\delta) = G'' / G' \quad , 0 \leq \delta \leq \pi \quad (6)$$

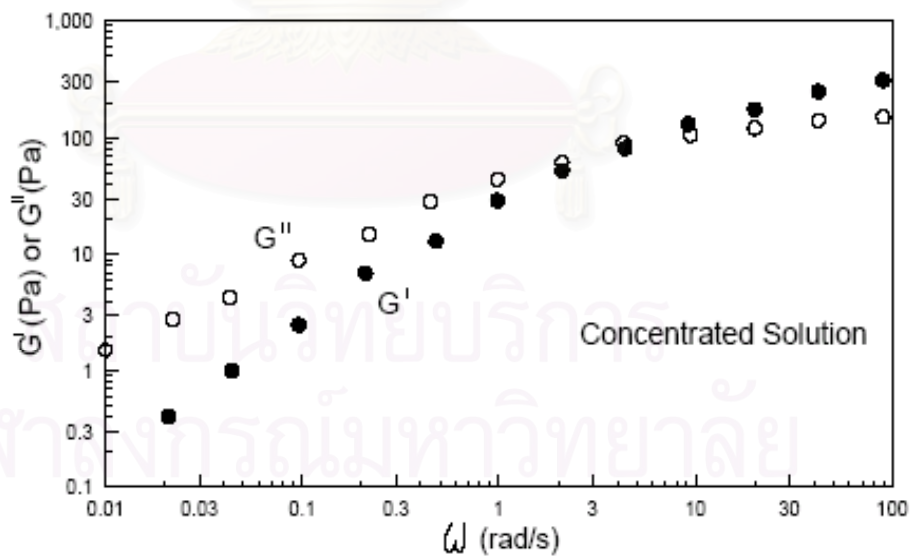
frequency sweep เป็นการทดสอบสมบัติ viscoelastic ของเจลแบบ dynamic oscillatory test วิธีหนึ่ง สามารถแสดงสมบัติที่เป็น viscous และ elastic ของวัตถุที่เปลี่ยนแปลงไปกับอัตราการให้ความเค้น (strain rate) หรือความเครียด (stress) ในการทดสอบแบบ frequency sweep นี้จะให้ความถี่กับเจลจากน้อยไปมากและให้ stress หรือ strain คงที่ (Steffe, 1996) ลักษณะของเส้นกราฟที่ได้จากการ plot ระหว่าง log ของ moduli (G' หรือ G'') กับ log ของความถี่สามารถบ่งบอกถึงสมบัติของเจลที่แตกต่างกัน ดังนี้

- (1) Dilute solution เส้นกราฟของ G'' จะมีค่ามากกว่า G' ในช่วงความถี่ต่ำๆ และจะมีค่าเข้าใกล้กันเมื่อความถี่มากขึ้น โดยทั้ง G' และ G'' มีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ของการทดสอบซึ่งส่งผลให้ G^* มีลักษณะเส้นกราฟที่เพิ่มขึ้นตลอดช่วงความถี่ที่ทดสอบ ดังรูปที่ 2.8
- (2) Concentrated solution เส้นกราฟของ G'' มีค่ามากกว่า G' ซึ่งค่าทั้งสองจะสูงขึ้นตามความถี่ที่ใช้ในการทดสอบ เส้นกราฟทั้งสองจะตัดกันที่ความถี่หนึ่งๆ จากนั้นค่าทั้งสองจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ การเพิ่มขึ้นของค่า G' และ G'' ในลักษณะนี้ส่งผลให้ G^* มีค่าเพิ่มขึ้นตามความถี่ในช่วงต้นๆ และมีค่าเริ่มคงที่ที่ความถี่สูงๆ แสดงถึงแนวโน้มที่เป็น more solid – like behavior ดังรูปที่ 2.9
- (3) True gel เส้นกราฟของ G' จะมีค่ามากกว่า G'' ตลอดช่วงความถี่ ส่งผลให้ G^* มีค่าคงที่ตลอดช่วงความถี่ ดังรูปที่ 2.10



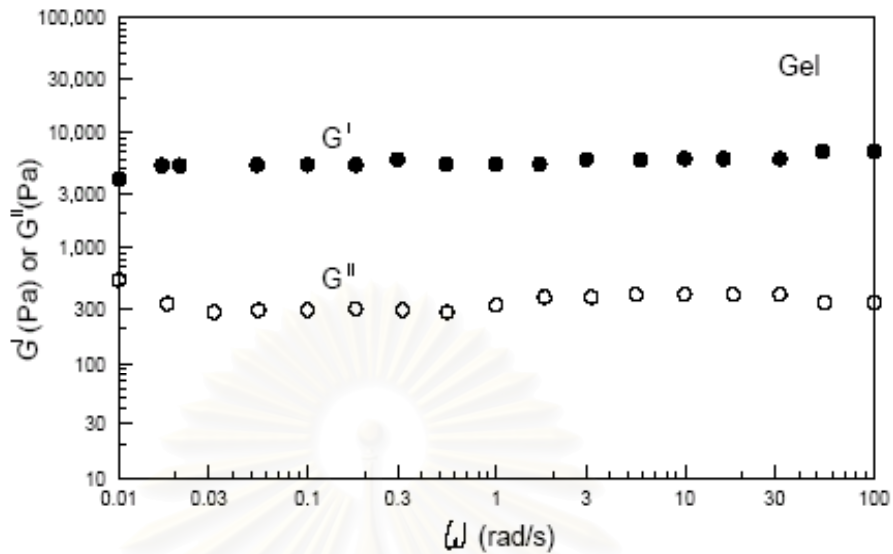
รูปที่ 2.8 ลักษณะของกราฟที่เป็น dilute solution

ที่มา : Steffe (1996)



รูปที่ 2.9 ลักษณะของกราฟที่เป็น concentrated solution

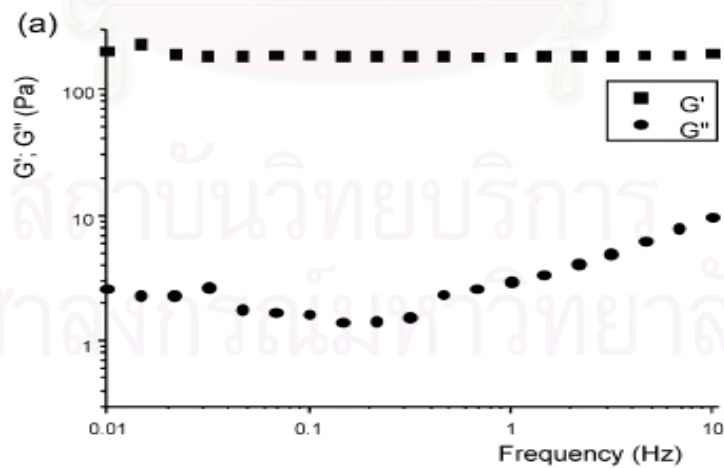
ที่มา : Steffe (1996)



รูปที่ 2.10 ลักษณะของกราฟที่เป็น gel

ที่มา : Steffe (1996)

Freitas และคณะ (2004) รายงานสมบัติทางด้าน viscoelastic ของเจลของสตาร์ชจาก *D. alata* ความเข้มข้น 50 g / L เมื่อเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทดสอบแบบ dynamic rheological analysis ที่ความถี่ตั้งแต่ 0.02 ถึง 10 Hz. จากรูปที่ 2.11 แสดงถึงการเป็น true gel เนื่องจาก G' มีค่ามากกว่า G'' ถึง 3 เท่า



รูปที่ 2.11 ค่า G' G'' และ η^* ของเจลสตาร์ชจาก *D.alata* เมื่อความถี่เพิ่มขึ้น

ที่มา : Freitas และคณะ (2004)

2.4 การดัดแปรสสารจากกลอยด้วยความร้อนชื้น

การดัดแปรสสารด้วยความร้อนชื้น (heat – moisture modification) เป็นการดัดแปรโดยวิธีทางกายภาพ (physical modification) แบบหนึ่ง โดยใช้น้ำและความร้อนในการดัดแปรเท่านั้น (hydrothermal modification) กล่าวคือ สสารจะถูกทำให้อยู่ในสภาวะกึ่งแห้ง (semi – dry condition) ในระบบปิด แล้วให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิที่เกิดเจลาตีไนเซชัน ภายในระยะเวลาที่กำหนด (Stute, 1992) สภาวะที่ใช้ในการดัดแปรจะแตกต่างกันไป ดังตารางที่ 2.4 สสารที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนชื้นจะมีสมบัติทางเคมีและกายภาพบางประการเปลี่ยนแปลงไป

ตารางที่ 2.4 สภาวะที่มีผู้ใช้ในการดัดแปรสสารชนิดต่างๆ

ชนิดสสาร	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ ความชื้น (ร้อยละ)	เวลา	อ้างอิง
Arrow root Barley	100	18 - 27	16 ชั่วโมง	Lorenz and Kulp (1982)
Cassava	100	18 – 27	16 ชั่วโมง	Lorenz and Kulp(1982)
	110	18 - 24	3 – 16 ชั่วโมง	Abraham (1993)
Maize (Normal, Waxy, High amylose)	95 – 110	18 – 27	16 ชั่วโมง	Sair (1967)
	120	25	30 / 180 นาที	Fukui and Nikuni (1969)
	125	14	5 / 120 นาที	Kawabata et al.(1994)
	100	25	4 ชั่วโมง	Schierbaum and Kettlitz (1994)
	100	18 – 27	16 ชั่วโมง	Franco et al. (1995)
	100	30	16 ชั่วโมง	Hoover and Manuel (1996)

ชนิดสตาร์ช	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ ความชื้น (ร้อยละ)	เวลา	อ้างอิง
Lentil and oat	100	10 - 30	16 ชั่วโมง	Hoover and Vansanthan (1994); Hoover et al. (1994)
Pea	100	30	16 ชั่วโมง	Hoover et al. (1993)
Potato	95 – 110 100 80 – 120 110 / 120 100 110 84 – 105	18 – 27 18 – 27 5 – 27 20 10 – 30 16.5 20 – 35	16 ชั่วโมง 16 ชั่วโมง 15 – 60 นาที 140/240 นาที 16 ชั่วโมง 30 นาที 16 ชั่วโมง	Sair (1967) Lorenz and Kulp (1981); Kulp and Lorenz (1981); Donovan et al. (1983) Kuge and Kitamura (1985) Stute (1992) Hoover and Vasanthan (1994); Hoover et al. (1994) Kawabata et al. (1994) Eerlingen et al. (1996, 1997)
Triticale	100	18 - 27	16 ชั่วโมง	Lorenz and Kulp (1982)
Wheat	120 100 100 100	25 18 – 27 10 – 30 25	30 / 180 นาที 16 ชั่วโมง 16 ชั่วโมง 4 ชั่วโมง	Fukui and Kikuni (1969) Lorenz and Kulp (1981); Kulp and Lorenz (1981); Donovan et al. (1983) Hoover and Vasanthan (1994); Hoover et al. (1994) Schierbaum and Kettlitz (1994)

ชนิดสตาร์ช	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ปริมาณ ความชื้น (ร้อยละ)	เวลา	อ้างอิง
Yam	100	10 - 30	16 ชั่วโมง	Hoover and Vasanthan (1994)

ที่มา : Jacobs and Delcour (1998)

2.4.1 สมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนชื้น

ไม่พบรายงานว่า การดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนชื้นทำให้สมบัติทางเคมี เช่น ปริมาณอะมิโลสหรืออะมิโลเพคติน เปลี่ยนไป ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการดัดแปรด้วยความร้อนชื้น มุ่งเน้นทำให้ลักษณะการจัดเรียงโครงสร้างผลึกภายในสตาร์ชแกรนูลเปลี่ยนแปลงไปซึ่งสามารถ ตรวจสอบหรือสังเกตได้จากสมบัติทางกายภาพ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.2 สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

2.4.2.1 ลักษณะและขนาดของสตาร์ชแกรนูลของสตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

ไม่พบรายงานว่าการดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนขึ้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลักษณะและขนาดของสตาร์ชแกรนูลของสตาร์ชข้าวสาลี สตาร์ชมันฝรั่ง สตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว และสตาร์ชจาก laird lentil (Jacobs และ Delcour, 1998) แต่อย่างไรก็ตาม Kabawa และคณะ (1994) รายงานว่า ผิวหน้าสตาร์ชแกรนูลของสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชมันฝรั่งที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะร่วนและเป็นโพรง (hollow) ด้านในของสตาร์ชแกรนูล ดังรูปที่ 2.12



(a)



(b)

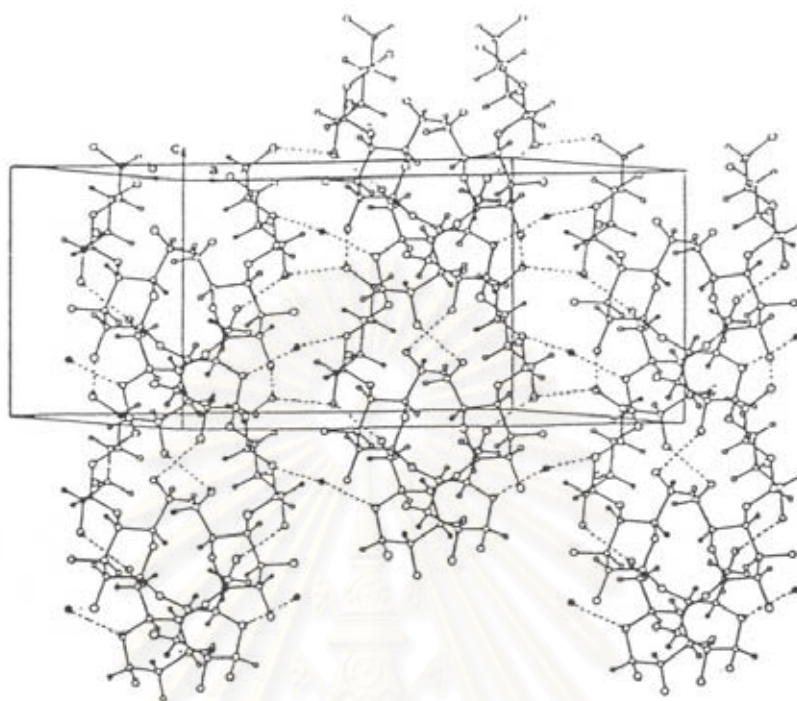
รูปที่ 2.12 ลักษณะของสตาร์ชแกรนูลด้านในของสตาร์ชข้าวโพด (a) และสตาร์ชมันฝรั่ง (b) ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

ที่มา : Kabawa และคณะ (1994)

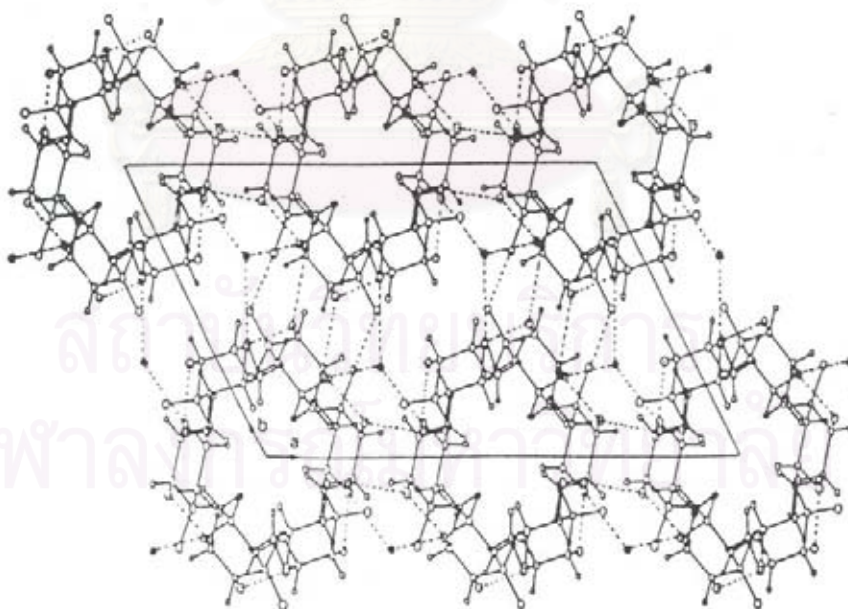
2.4.2.2 ลักษณะโครงร่างผลึกของสตาโรซจากกลอยที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

เมื่อตรวจสอบโครงร่างผลึกของสตาโรซที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นด้วย wide angle x – ray scattering (WAXS) พบว่าสตาโรซที่มีโครงร่างผลึกแบบ B เช่น สตาโรซมันฝรั่งและสตาโรซจากพืชตระกูลกลอยจะมีโครงร่างผลึกเปลี่ยนไปเป็นแบบ A หรือ C แต่อย่างไรก็ตามสตาโรซที่มีโครงร่างผลึกแบบ C เช่นสตาโรซมันสำปะหลัง สตาโรซจาก arrowroot เมื่อผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นแล้วจะเปลี่ยนโครงร่างผลึกเป็นแบบ A แต่ในสตาโรซที่มีโครงร่างผลึกแบบ A เมื่อผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นแล้วโครงร่างผลึกจะไม่เปลี่ยนไป ยังคงเป็นแบบ A ดังเดิม (Hoover และ Vasanthan, 1994 และ Gunaratne และ Hoover, 2002)

Imberty และ Perez (1989) และ Hoover และ Vasanthan (1994) รายงานว่า สตาโรซที่มีโครงร่างผลึกแบบ A มีโมเลกุลของน้ำเพียง 8 โมเลกุลภายในช่องว่างของ unit cell ที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่เป็นรูป orthogonal ดังรูป 2.12 ช่องตรงกลางบรรจุด้วยสายเกลียวคู่เป็นส่วนใหญ่ โดยสายเกลียวคู่ที่อยู่ใกล้กันจะดึงดูดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนมากกว่าที่จะเป็น hydrate water bridge สำหรับสตาโรซที่มีโครงร่างผลึกเป็นแบบ B มีโมเลกุลของน้ำ 36 โมเลกุลภายในช่องว่างของ unit cell ที่เกิดจากการจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่เป็นรูป hexagonal ดังรูป 2.13 ช่องตรงกลางบรรจุด้วยโมเลกุลของน้ำเป็นส่วนใหญ่ และระหว่างสายเกลียวคู่ที่อยู่ใกล้กันจะดึงดูดกันด้วย hydrate water bridge มากกว่าที่จะเป็นพันธะไฮโดรเจน ทั้งสตาโรซที่มีโครงร่างผลึกแบบ A และสตาโรซที่มีโครงร่างผลึกแบบ B มีช่องว่างระหว่างสายเกลียวคู่ที่อยู่ติดกันเป็นระยะทาง 1.1 นาโนเมตร โดยวัดจากแกนของเกลียวคู่ทั้งสอง การเปลี่ยนแปลงของโครงร่างผลึกจากแบบ B เป็น A หรือ C เนื่องมาจากการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นนั้นสามารถเกิดได้จากการเกิดการคายน้ำออก (dehydration) หรือ การระเหยน้ำ (vaporization) ของโมเลกุลน้ำ 36 โมเลกุลในช่องว่างของสตาโรซที่มีโครงร่างผลึกแบบ B และเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของคู่ของเกลียวคู่ไปยังตรงกลางของช่องว่างนั้น นอกจากนี้พบว่าเกิดจากการเกิดการจัดเรียงตัวเป็นชั้นผลึกอย่างไม่สมบูรณ์ในส่วนออสซิลลูชันซึ่งเกิดจากการเกิดพันธะภายใน (intermolecular bonding) ระหว่างสายอะมิโลสด้วยกันเองหรือกับสายอะมิโลเพคตินบางส่วน จากสาเหตุดังกล่าวสามารถเปลี่ยนแปลงโครงร่างผลึกของสตาโรซที่มีโครงร่างผลึกแบบ B ที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นได้

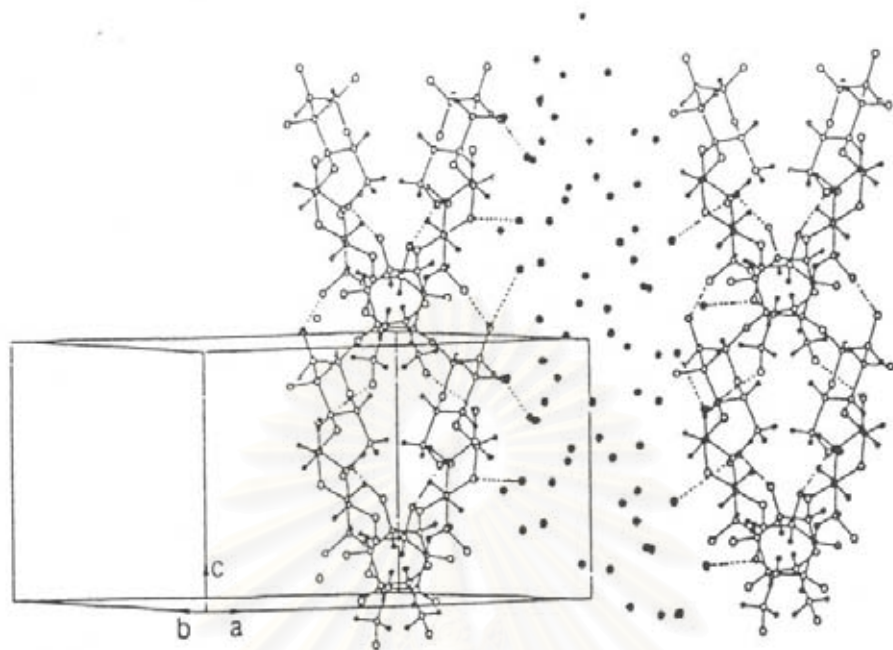


A

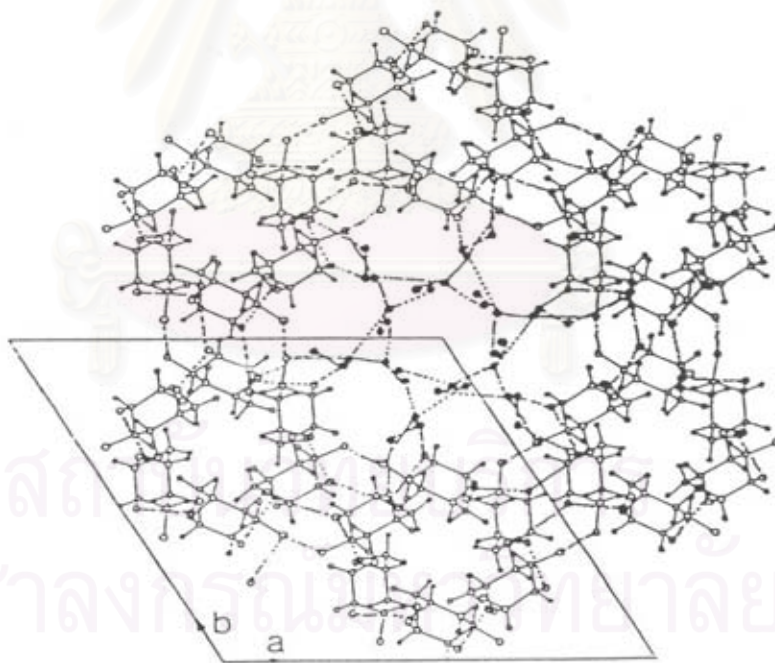


รูปที่ 2.13 ลักษณะการจัดเรียงสายเกลียวคู่ของอะมิโลเพคตินในสตาร์ชที่มีโครงร่างผลึกแบบ A

(A = Top panel, B = Bottom panel)



A



B

รูปที่ 2.14 ลักษณะการจัดเรียงสายเกลียวคู่ของอะมิโลเพคตินในสตาร์ชที่มีโครงร่างผลึกแบบ B

(A = Top panel, B = Bottom panel)

ที่มา : Imberty และคณะ (1987) และ Imberty และ Pe'rez (1988)

2.4.2.3 กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากกลอย ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

สตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะมีค่ากำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ต่ำลง ปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการลดลงนี้คือการเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างสายของอะมิโลสกับสายของอะมิโลสด้วยกันเองหรือระหว่างสายของอะมิโลสกับสายของอะมิโลเพคตินในระหว่างการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น และปริมาณ amylose - lipid complex Gunarathe และ Hoover (2002) รายงานค่ากำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจาก *D. alata* ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นพบว่ามีการลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจาก *D. alata* ที่ไม่ผ่านการดัดแปร (native starch) และผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น (HMT starch)

ค่าที่ทดสอบ	สตาร์ช	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
		50	60	70	80	90
กำลังการพองตัว	native starch	0.0	0.0	5.3±0.3	26±0.2	33±0.1
	HMT starch	0.0	1.2±0.2	3.3±0.2	7.9±0.4	19.5±0.6
Amylose leaching content	native starch	0.0	0.0	1.1±0.5	13.0±0.3	20.1±0.3
	HMT starch	0.0	0.0	0.1±0.0	2.0±0.5	5.5±0.1

ที่มา : Gunarathe และ Hoover (2002)

สตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะมีค่ากำลังการพองตัวลดลงในทิศทางเดียวกันกับการลดลงของปริมาณ amylose leaching

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.2.4 สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

Hoover และ Vasanthan (1994) รายงานสมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากถั่ว มันฝรั่งและพืชตระกูลกลอยที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นเมื่อวัดด้วย Brabender viscoamylograph พบว่ามีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงขึ้น ความหนืดสูงสุดที่ 95 องศาเซลเซียสต่ำลง และมีช่วงการคืนตัวที่สูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นของสตาร์ชแต่ละชนิด แต่สำหรับในสตาร์ชข้าวสาลีที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดต่ำลง ความหนืดสูงสุดที่ 95 องศาเซลเซียสสูงขึ้นและสตาร์ชทุกชนิดที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะทนต่อความร้อน (thermal stability) ที่ 95 องศาเซลเซียสได้มากขึ้น ค่าความหนืดสุดท้าย (end viscosity) ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการคืนตัวของสตาร์ช ในสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะมีค่าสูงขึ้นหรือต่ำลงขึ้นกับสภาวะที่ใช้ในการตัดแปรของสตาร์ช

Hoover และ Vasanthan (1994) รายงานว่า เมื่อนำสตาร์ชจาก *D. alata* มาตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นโดยปรับให้มีความชื้นร้อยละ 10 – 30 ให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 16 ชั่วโมง มีค่าความหนืดสูงสุดลดลง 370 Brabender unit (B.U.) แต่มีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดและความสามารถในการทนต่อความร้อนมากขึ้น

สตาร์ชผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นและอุณหภูมิต่ำจะทำให้สตาร์ชแกรนูลมีความคงทนต่อแรงเฉือน (shear stability) ดี และมีการคืนตัวสูงขึ้น ในขณะที่สตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะรุนแรง (ความชื้นสูง และ/หรือ อุณหภูมิสูง) จะทำให้การพองตัวของสตาร์ชแกรนูลถูกจำกัดซึ่งทำให้มีการคืนตัวต่ำกว่า (Stute, 1992)

2.4.2.5 สมบัติเชิงความร้อนของการเกิดเจลลิตในเซชันและการคืนตัวของสตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

เมื่อนำสตาร์ชที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมาทดสอบสมบัติทางความร้อนของการเกิดเจลลิตในเซชันด้วย DSC พบว่ามีค่า T_o , T_p และ T_c สูงขึ้น (Hoover และ Vasanthan, 1994)

Donovan (1979) รายงานว่าการหลอมของผลึกและสายเกลียวคู่ระหว่างการเกิดเจลลิตในเซชันจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการดูดน้ำ (hydration) และการพองตัวของส่วนที่เป็นอสัณฐานในสตาร์ชแกรนูลซึ่งทำให้ส่วนที่เป็นผลึกเบียดตัวกันแน่นขึ้น ส่งผลให้สายของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินที่อยู่ตำแหน่งผิวหน้าของส่วนที่เป็นผลึกถูกทำลาย ดังนั้นเมื่อส่วนที่เป็นอสัณฐาน

ต้องการอุณหภูมิที่สูงขึ้นในการพองตัวทำให้ส่วนที่เป็นโครงร่างผลึกถูกทำลายไป (co-operative melting) ดังนั้นค่า T_o , T_p และ T_c ของสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจึงสูงขึ้น เนื่องจากมีการจัดเรียงตัวของโครงร่างผลึกที่แน่นกว่าสตาร์ชที่ไม่ได้ดัดแปร ΔH ในการเกิดเจลาติโนเซชันของสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะมีค่าลดลงซึ่งเกิดจากสายเกลียวคู่บางส่วนในส่วนผลึกและส่วนอสัณฐานของสตาร์ชแกรนูลอาจถูกทำลายไปภายใต้สภาวะระหว่างการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ดังนั้นสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจึงต้องการพลังงานที่น้อยลงในการหลอมหรือคลายสายเกลียวคู่ที่เหลือเป็นส่วนน้อย

Hoover และ Vasanthan (1994) รายงานว่าการลดลงของค่า ΔH ของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นนั้นเกิดจากสายเกลียวคู่ที่มีอยู่เดิมบางส่วนอาจถูกทำลายระหว่างเกิด polymorphic transformation ในการเปลี่ยนโครงร่างผลึกจากแบบ B เป็น C นอกจากนี้พบว่าค่า ΔH จะลดลงตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้น จึงสามารถอธิบายได้ว่าปริมาณของสายเกลียวคู่ที่ถูกทำลายไปในสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีผลมาจากการเคลื่อนที่ของสายเกลียวคู่ซึ่งเคลื่อนที่ได้มากขึ้นตามปริมาณความชื้นที่เพิ่มขึ้นและเมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงค่า ΔH ต่อเวลาของสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่และจัดเรียงตัวใหม่ของสายเกลียวคู่ซึ่งจะสิ้นสุดลงเมื่อครบเวลา 16 ชั่วโมง

ตารางที่ 2.6 ค่า T_o , T_p , T_c และ ΔH ของสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่วที่ผ่าน (HMT yam starch) และไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น (native yam starch) ที่สภาวะที่มีระดับความชื้นต่างกัน

Treatment	T_o (°C)	T_p (°C)	T_c (°C)	ΔH (cal / g)
Native yam starch	72.0	77.0	83.0	5.0
HMT yam starch (10%mc)	72.0	77.0	84.0	4.6
HMT yam starch (20%mc)	72.0	78.0	85.0	3.6
HMT yam starch (30%mc)	77.0	84.0	90.0	3.6

ที่มา : Hoover และ Vasanthan (1994)

Gunaratne และ Hoover (2002) กล่าวว่า ΔH_R ของสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะลดลงในสตาร์ชที่มีโครงร่างผลึกเป็นแบบ B แต่ยังคงมีค่าไม่เปลี่ยนแปลงในในสตาร์ชที่มีโครงร่างผลึกเป็นแบบ A ทั้งนี้เนื่องจากโครงร่างผลึกในสตาร์ชแกรนูลของสตาร์ชที่มีโครงร่างผลึกเป็นแบบ B ถูกทำลายไปในระหว่างการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น แต่ยังคงไม่ถูกทำลายไปในสตาร์ชที่มีโครงร่างผลึกเป็นแบบ A ดังนั้นหลังจากดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนขึ้น ระดับของการแยกจากกัน (degree of separation) ของกิ่งที่อยู่บนสุดของอะมิโลเพคตินที่อยู่ติดกันจะมีมากในสตาร์ชที่มีโครงร่างผลึกเป็นแบบ B แต่ยังคงเดิมในสตาร์ชที่มีโครงร่างผลึกเป็นแบบ A ซึ่งจากการทดลองพบว่า ΔH_R ของสตาร์ชจาก *D. alata* ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ในสภาวะที่มีความชื้นร้อยละ 30 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง ตรวจวัดค่า ΔH_R เปรียบเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นเป็นเวลา 7 วัน โดยเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส จากตารางที่ 2.7 พบว่า ΔH_R ของสตาร์ชจาก *D. alata* ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีค่าลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 2.7 ค่า ΔH_R ของสตาร์ชจาก *D. alata* ที่ผ่านและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นระหว่างระยะเวลาการเก็บ 7 วัน

Treatment	ระยะเวลาการเก็บ (วัน)						
	1	2	3	4	5	6	7
Native yam starch	7.4±0.5	7.2±0.9	7.6±0.6	8.7±0.3	9.2±0.5	9.3±0.8	9.8±0.6
HMT yam starch	7.2±0.8	7.1±0.3	7.4±0.5	8.1±0.6	8.3±0.6	8.4±0.6	8.7±0.1

ที่มา : Gunaratne และ Hoover (2002)

2.4.2.6 ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในสตาρχจากถั่ว ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

สตาρχที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์อัลฟาอะมิเลส และ / หรืออะมิโลกลูโคซิเดสมากขึ้นหรือน้อยลงขึ้นกับชนิดของสตาρχที่นำมาดัดแปรและสภาวะที่ใช้ในการดัดแปร ปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งในการกำหนดขอบเขตของความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของสตาρχที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ได้แก่ พื้นผิวหน้าของสตาρχแกรนูลซึ่งเกี่ยวข้องกับการเป็นผลึก ปริมาณของส่วนที่เป็นผลึกทั้งหมดมีผลต่ออัตราเร็วและความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์อัลฟาอะมิเลส ขั้นตอนแรกของการย่อยด้วยเอนไซม์อัลฟาอะมิเลสจะสัมพันธ์กับการเข้าถึงผิวหน้าของสตาρχแกรนูลของเอนไซม์อัลฟาอะมิเลส สตาρχที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ B หลังจากผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะทำให้ส่วนที่เป็นผลึกที่อยู่ตรงบริเวณผิวหน้าของแกรนูลถูกทำลายไป ดังนั้นทำให้เอนไซม์อัลฟาอะมิเลสสามารถเข้าไปย่อยโครงสร้างที่อยู่ภายในแกรนูลได้อย่างรวดเร็ว (Gallant, 1994; Planchot และคณะ, 1997)

Gunaratne และ Hoover (2002) รายงานความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์อัลฟาอะมิเลสจากตับอ่อนหมู (pancreatic alpha amylase) ของสตาρχจาก *D. alata* ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะที่มีความชื้นร้อยละ 30 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง โดยบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบกับสตาρχที่ไม่ผ่านการดัดแปร สตาρχจาก *D. alata* ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีความสามารถในการถูกย่อยเพิ่มขึ้นทุกช่วงเวลา ดังแสดงในตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์อัลฟาอะมิเลสจากตับอ่อนหมูของสตาρχจาก *D. alata* ที่ผ่าน (HMT yam starch) และไม่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น (native yam starch)

Treatment	ระยะเวลาการบ่ม (ชั่วโมง)			
	6	12	24	72
Native yam starch	1.2±0.2	1.5±0.2	3.1±0.2	4.9±0.3
HMT yam starch	4.2±0.3	8.5±0.3	11.3±0.5	17.2±0.5

ที่มา : Gunaratne และ Hoover (2001)

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของสตาร์ชจาก *D. alata* และสตาร์ชจากมันฝรั่งซึ่งเป็นสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ B เช่นเดียวกัน พบว่า สตาร์ชมันฝรั่งที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นสามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์มากกว่าสตาร์ชจาก *D. alata* ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากในสตาร์ชมันฝรั่งที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะมีจำนวนของสายอะมิโลสที่มีอันตรกิริยากันในส่วนอสัณฐานซึ่งเป็นผลมาจากการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นน้อยกว่าในสตาร์ชจาก *D. alata* ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น สายอะมิโลสที่เกิดระหว่างการดัดแปรนี้ทำให้ความสามารถในการตัดพันธะ α -1,4 glucosidic ลดลง ดังนั้นสตาร์ชมันฝรั่งที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจึงมีความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์มากกว่าสตาร์ชจาก *D. alata* ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

2.4.2.7 สมบัติทางการไหลของสตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

สตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจะทำให้ลักษณะโครงสร้างผลึกในสตาร์ชแกรนูลเปลี่ยนแปลงไปซึ่งส่งผลต่อสมบัติด้านต่างๆของสตาร์ช รวมถึงสมบัติทาง viscoelastic ของเจลของสตาร์ชด้วย จากการสืบเอกสารพบว่าในปัจจุบันยังไม่มียานวิจัยที่ศึกษาสมบัติทางการไหลในแบบของ dynamic oscillatory test หรือ frequency sweep ของสตาร์ชจากกลอยหรือพืชตระกูลกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม Eerlinger และคณะ (1997) ศึกษาสมบัติทางการไหลของสตาร์ชมันฝรั่งที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในบางสภาวะ เมื่อทดสอบด้วย dynamic oscillatory test พบว่าสามารถเกิดเจลที่มีความแข็งแรงมากขึ้นได้ โดยสังเกตได้จากค่า G' ของสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น มีค่ามากกว่า G' ของสตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปรในสภาวะการทดสอบเดียวกัน

บทที่ 3

วิธีการทดลอง

วัตถุประสงค์

ตัวอย่างที่ใช้คือ กลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านเป็นแผ่นบาง ผ่านการล้างด้วยน้ำ และตากแดดให้แห้งแล้ว จาก ตำบลไพร่อย้อย อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ ใช้วิธีสกัดสีจากเนื้อในของ หัวกลอยสดเป็นเกณฑ์ในการจำแนกชนิดกลอย โดยซื้อแผ่นกลอยแห้งมาชนิดละ 10 กิโลกรัม สำหรับใช้ตลอดการวิจัยนี้

ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของแผ่นกลอยแห้ง

นำแผ่นกลอยแห้งทั้งสองชนิดมาบดด้วยเครื่องบด นำส่วนที่บดได้มาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีดังนี้

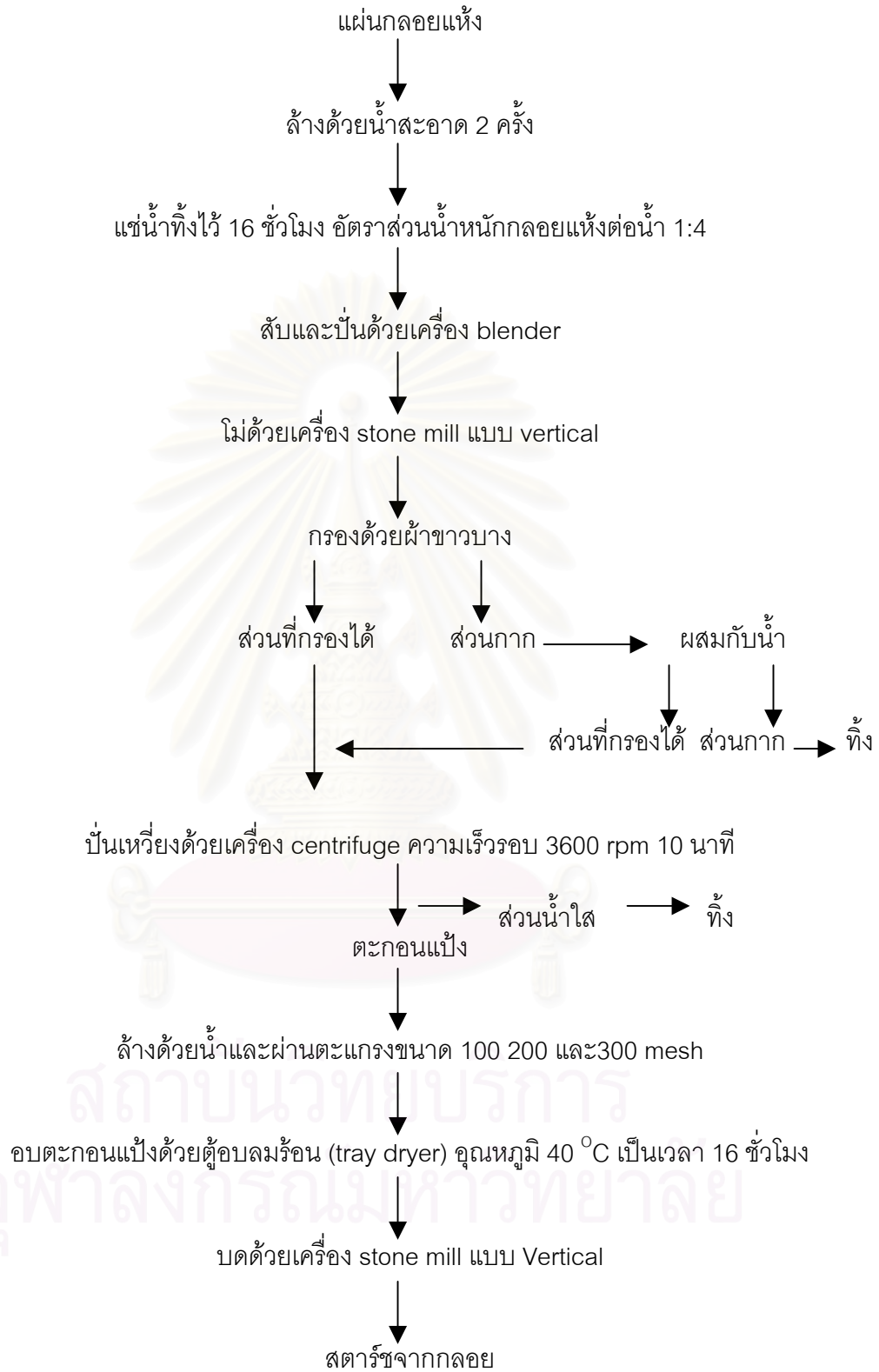
- 3.1.1 ความชื้น โดยใช้ Hot air oven ตามวิธี AOAC (1995)
- 3.1.2 โปรตีน โดยใช้วิธี Kjeldahl ตามวิธี AOAC (1995)
- 3.1.3 ไขมัน โดยใช้เครื่อง Soxtec automatic รุ่น 2050
- 3.1.4 เส้นใย (Crude fiber) โดยวิธี AOAC (1995)
- 3.1.5 เถ้า โดยวิธี AOAC (1995)
- 3.1.6 คาร์โบไฮเดรต

รายละเอียดการในการทดสอบทั้งหมด แสดงในภาคผนวก ก

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ t – test

3.2 สกัดสารสกัดจากแผ่นกลอยแห้ง

ดัดแปลงขั้นตอนการสกัดสารสกัดจากแผ่นกลอยแห้งของกรมวิทยาศาสตร์บริการ (กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน, 2533) ดังรูปที่ 3.1 โดยล้างแผ่นกลอยแห้งด้วยน้ำสะอาด 2 ครั้ง แล้วนำไปแช่น้ำด้วยอัตราส่วนของน้ำหนักกลอยแห้งต่อน้ำ 1 : 4 เป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำแผ่นกลอยที่ผ่านการแช่น้ำแล้วมาสับและปั่นด้วยเครื่อง blender ไม่ต่อด้วยเครื่อง stone mill แบบ vertical กรองด้วยผ้าขาวบาง เพื่อแยกเอากากออก นำกากที่ได้ไปนวดผสมกับน้ำอีกครั้งหนึ่ง แล้วนำมากรองด้วยผ้าขาวบางเพื่อแยกกากทิ้งไป นำส่วนที่กรองได้ทั้งหมดไปตกตะกอนแบ่งโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็วรอบ 3600 rpm เป็นเวลา 10 นาที เทส่วนที่เป็นน้ำด้านบนทิ้งไป นำส่วนที่เป็นตะกอนแบ่งมาล้างด้วยน้ำกลั่นอีก 3 ครั้ง โดยแต่ละครั้งกรองผ่านตะแกรงขนาด 100 200 และ 300 mesh ตามลำดับ นำตะกอนแบ่งที่ผ่านการล้างและผ่านตะแกรงขนาด 300 mesh แล้วซึ่งก็คือสารสกัดจากกลอย ไปอบในตู้อบลมร้อน (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง แล้วบดให้ละเอียดด้วยเครื่อง stone mill แบบ vertical ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh เก็บสารสกัดจากกลอยที่ร่อนแล้วในถุงพลาสติกที่มี silica gel เป็นสารดูดความชื้น เก็บที่อุณหภูมิห้อง ในภาชนะปิดสนิท เพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป ในงานวิจัยนี้กำหนดรหัส YS1 แทน สารสกัดกลอยข้าวเจ้า และ YS2 แทนสารสกัดกลอยข้าวเหนียว



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสกัดสตาร์ชจากกอลอย

(ดัดแปลงจากวิธีของกรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการพลังงาน, 2533)

3.3 ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชจากกลอย

3.3.1 ศึกษาสมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากกลอย

3.3.1.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากกลอยตามข้อ 2.1

3.3.1.2 วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส ได้แก่ total amylose apparent amylose และ amylose-lipid complex โดยดัดแปลงจากวิธีของ Julaino (1978) และ Chrastil (1987)

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง วิเคราะห์ผลความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ t-test

3.3.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากกลอย

3.3.2.1 ขนาดของสตาร์ชแกรนูล โดยใช้เครื่อง Laser light scattering particle size analyzer (Marvern Technology)

3.3.2.2 รูปร่างและลักษณะพื้นผิวของสตาร์ชแกรนูล โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.2.3 โครงร่างผลึกของสตาร์ชแกรนูล โดยใช้เทคนิค Wide Angle X-ray diffraction ตามวิธีของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ (JEOL รุ่น JDX-8030)

3.3.2.4 กำลังการพองตัว โดยดัดแปลงมาจากวิธีของ Schoch (1964)

3.3.2.5 ปริมาณ amylose leaching โดยดัดแปลงมาจากวิธีของ Chrastil (1987)

3.3.2.6 สมบัติทางความหนืด โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) (รุ่น 4 D, Newport Scientific, Pty. Ltd.)

3.3.2.7 ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในสตาร์ชดิบ โดยดัดแปลงจากวิธีของ Wang และคณะ (1995)

3.3.2.8 สมบัติทางการไหล โดยใช้เครื่อง rheometer (Bohlin rheometer รุ่น C-VOR)

รายละเอียดการในการทดสอบทั้งหมด แสดงในภาคผนวก ก

ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ t-test

3.4 ดัดแปรสสารด้วยความร้อนขึ้น

ดัดแปรขั้นตอนการดัดแปรสสารด้วยความร้อนขึ้นของ Gunaratne และ Hoover (2002) ดังรูปที่ 3.2 โดยเลือกเฉพาะสสารจากกลอยข้าวเหนียวมาดัดแปรเนื่องจากกลอยข้าวเหนียวนิยมนำมาบริโภคมากกว่ากลอยข้าวเจ้า ขั้นตอนการดัดแปรเริ่มจากการนำสสารจากกลอยข้าวเหนียวที่สกัดได้จากวิธีในข้อ 3.2 มาหาปริมาณความชื้นที่แน่นอน บรรจุสสารจากกลอยข้าวเหนียวจำนวน 30 กรัม ลงในกระป๋องขนาด 307X108 ปรับปริมาณความชื้นของสสารให้เป็นร้อยละ 13 18 22 26 และ 30 ตามลำดับ นำฝามาครอบแล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อ equilibrate ความชื้นหาปริมาณความชื้นของสสารที่ปรับความชื้นในแต่ละระดับอีกครั้ง ปิดฝนั้กระป๋อง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำสสารจากกลอยข้าวเหนียวที่ปรับปริมาณความชื้นในแต่ละระดับไปอบในตู้อบ (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 90 100 110 120 และ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง นำสสารที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นไปอบแห้งด้วย tray dryer ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 16 ชั่วโมง นำมาบดด้วยเครื่อง stone mill แบบ vertical แล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh บรรจุในถุงพลาสติกที่มี silica gel เป็นสารดูดความชื้น เก็บที่อุณหภูมิห้องในภาชนะปิดสนิทเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

ตารางที่ 3.1 รหัสของสสารจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะต่างๆ

อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น (%)				
	13	18	22	26	30
90	H13/90	H18/90	H22/90	H26/90	H30/90
100	H13/100	H18/100	H22/100	H26/100	H30/100
110	H13/110	H18/110	H22/110	H26/110	H30/110
120	H13/120	H18/120	H22/120	H26/120	H30/120
130	H13/130	H18/130	H22/130	H26/130	H30/130



3.5 การศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของสสารซึ่งจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

จากการสืบเอกสาร ไม่พบรายงานว่าการดัดแปรสสารด้วยความร้อนขึ้นทำให้สมบัติทางเคมีของสสารเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาสมบัติทางกายภาพของสสารซึ่งจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น โดยวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพตามข้อ 3.3.2.1 ถึง 3.3.2.8

แต่ละหัวข้อในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ วางแผนการทดลองแบบ symmetric factorial design ขนาด 5X5 ทดลอง 2 ซ้ำ เปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติด้วย Duncan's new multiple range test (Gunaratne and Hoover, 2002)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแผ่นกลอยแห้งและสตาร์ชจากกลอย

องค์ประกอบทางเคมีของแผ่นกลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 ยกเว้นปริมาณโปรตีน โดยพบว่าแผ่นกลอยข้าวเหนียวมีปริมาณสูงกว่าแผ่นกลอยข้าวเจ้าเล็กน้อย

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแผ่นกลอยแห้ง

องค์ประกอบ (ร้อยละ)	แผ่นกลอยข้าวเจ้า	แผ่นกลอยข้าวเหนียว
ความชื้น	12.7 ^a ± 0.36	12.5 ^a ± 0.24
คาร์โบไฮเดรต	83.2 ^a ± 0.46	82.7 ^a ± 0.24
โปรตีน	0.6 ^a ± 0.03	1.1 ^b ± 0.06
ไขมัน	0.9 ^a ± 0.04	0.9 ^a ± 0.06
เส้นใย	2.3 ^a ± 0.08	2.5 ^a ± 0.18
เถ้า	0.3 ^a ± 0.02	0.3 ^a ± 0.02

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

เมื่อสกัดสตาร์ชจากแผ่นกลอยแห้งทั้ง 2 ชนิดแล้วมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี พบว่าสตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้าและสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวมีองค์ประกอบทางเคมีไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.2 โดยพบว่าปริมาณโปรตีนต่ำกว่าร้อยละ 0.3 ซึ่งจัดได้ว่าเป็นสตาร์ชตาม มอก. 274 - 2521 และมีปริมาณไขมัน เส้นใยและเถ้าต่ำมาก

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากกลอย

องค์ประกอบ (ร้อยละ)	สตาร์ชจากกลอย	สตาร์ชจากกลอย
	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว
ความชื้น	12.9 ^{NS} ±0.36	12.8 ^{NS} ±0.39
คาร์โบไฮเดรต	86.4 ^{NS} ±0.37	86.6 ^{NS} ±0.37
โปรตีน	0.14 ^{NS} ±0.00	0.13 ^{NS} ±0.00
ไขมัน	0.12 ^{NS} ±0.02	0.13 ^{NS} ±0.01
เส้นใย	0.33 ^{NS} ±0.03	0.34 ^{NS} ±0.03
เถ้า	0.04 ^{NS} ±0.00	0.04 ^{NS} ±0.01

NS หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อพิจารณาปริมาณอะมิโลสพบว่าสตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดมีปริมาณอะมิโลสแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4.3 โดยสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวมีปริมาณ total amylose apparent amylose และ amylose - lipid complex สูงกว่าสตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้า อย่างไรก็ตามสตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดจัดว่าเป็นสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสอยู่ในระดับสูงเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากพืชหัวชนิดอื่น คือสตาร์ชจากมันสำปะหลังและสตาร์ชจากมันฝรั่งซึ่งมีปริมาณอะมิโลสเท่ากับร้อยละ 22.4 และ 28.1 ตามลำดับ (Gunaratne และ Hoover, 2002)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชจากกลอย

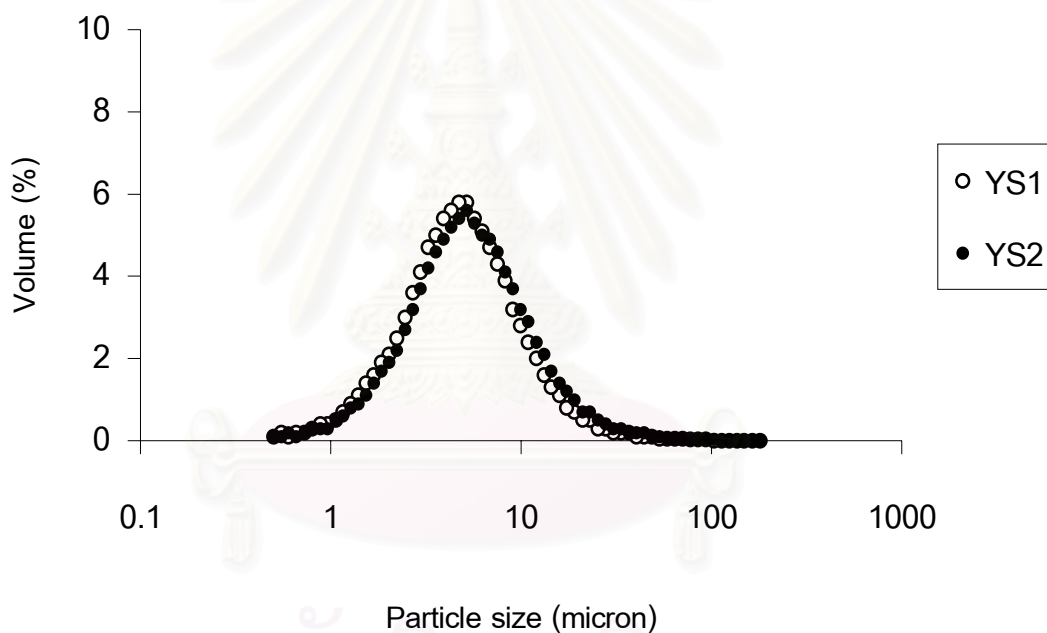
ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ)	สตาร์ชจากกลอย	สตาร์ชจากกลอย
	ข้าวเจ้า	ข้าวเหนียว
total amylose	37.2 ^a ±0.52	39.9 ^b ±0.18
apparent amylose	37.0 ^a ±0.16	39.3 ^b ±0.16
amylose-lipid complex	1.1 ^a ±0.03	1.4 ^b ±0.15

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

4.2 สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากกลอย

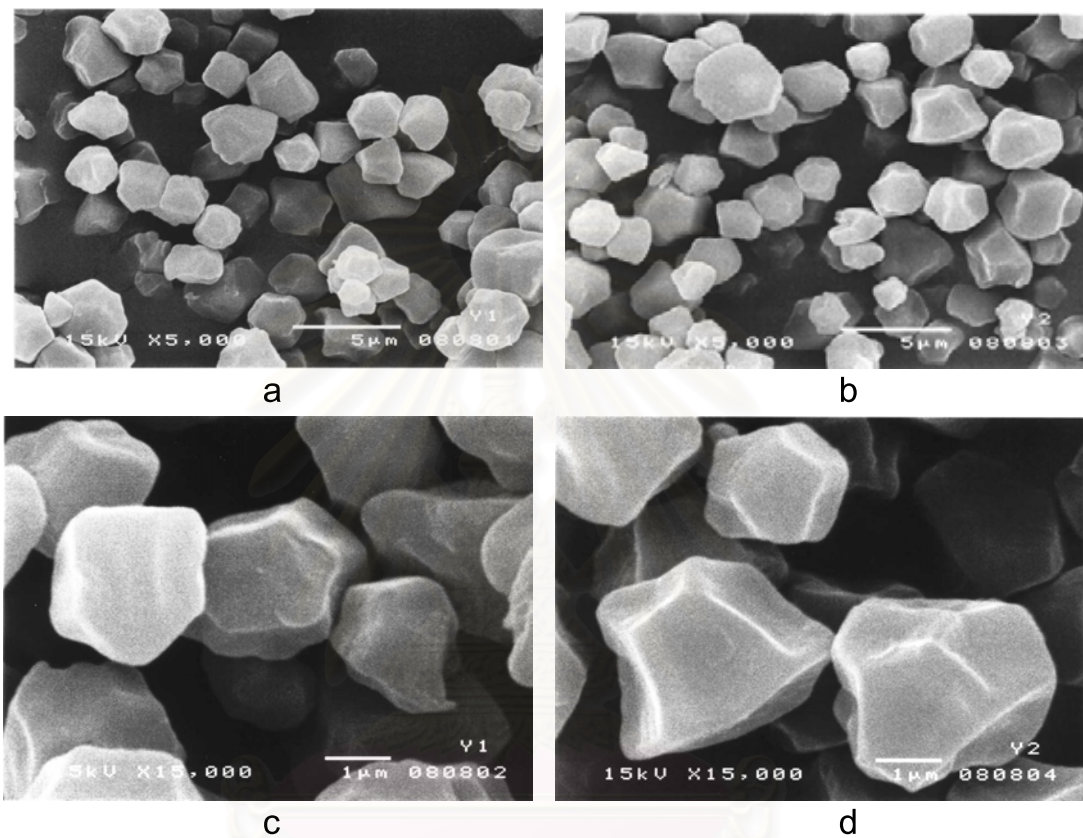
4.2.1 ขนาด รูปร่าง และลักษณะของสตาร์ชแกรนูลของสตาร์ชจากกลอย

เมื่อวิเคราะห์ขนาดแกรนูลของสตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดด้วย Laser light scattering particle size analyzer ดังแสดงในรูปที่ 4.1 สตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดจัดได้ว่ามีแกรนูลขนาดเล็กใกล้เคียงกับขนาดแกรนูลของแป้งข้าว พบว่าสตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้ามีขนาดแกรนูลเฉลี่ย (surface average diameter) 3.7 ไมครอน ส่วนสตาร์ชกลอยข้าวเหนียวมีขนาดแกรนูลเฉลี่ย 4.0 ไมครอน



รูปที่ 4.1 ขนาดและการกระจายขนาดของสตาร์ชจากกลอยโดย Laser light scattering particle size analyzer (YS1 = สตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้า, YS2 = สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียว)

เมื่อศึกษารูปร่างและลักษณะของสสารที่แตกตัวด้วย SEM ดังรูปที่ 4.2 พบว่าอนุภาคของสสารที่แตกตัวจากทั้งสองชนิดมีรูปร่างหลายเหลี่ยม (polyhedral) และมักเกาะกันเป็นกลุ่ม



รูปที่ 4.2 รูปร่างและพื้นผิวของสสารที่แตกตัวของสสารที่แตกตัว

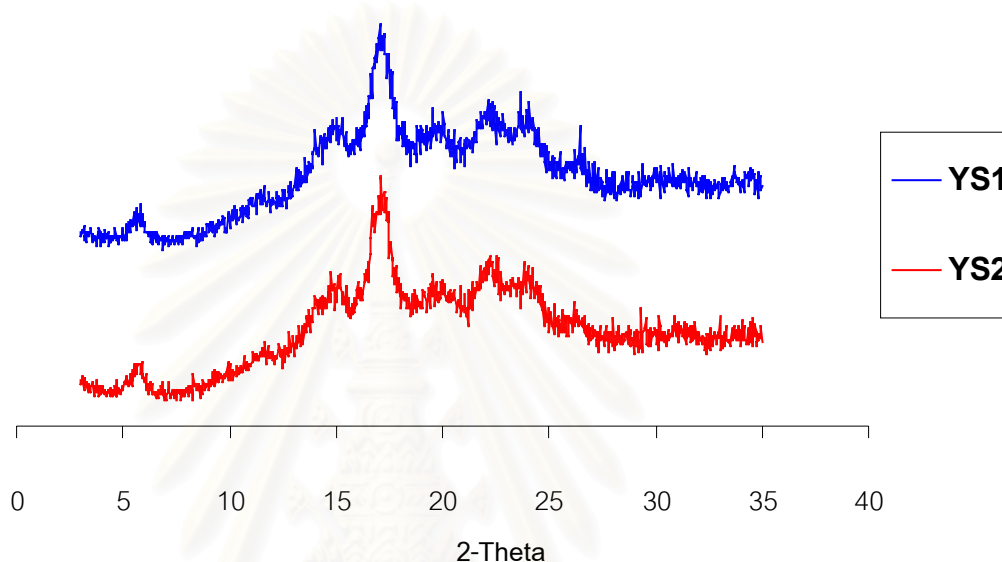
a. YS1 กำลังขยาย 5000 เท่า b. YS2 กำลังขยาย 5000 เท่า

c. YS1 กำลังขยาย 15000 เท่า d. YS2 กำลังขยาย 15000 เท่า

(YS1 = สสารที่แตกตัวจากข้าวเจ้า, YS2 = สสารที่แตกตัวจากข้าวเหนียว)

4.2.2 ลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชจากกลอย

สตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียวมีลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ B เมื่อทดสอบด้วย Wide angle X-ray diffractometer ดังรูปที่ 4.3 โดยสังเกตได้จากการที่มี peak ขึ้นที่มุม 5.8 และ 17.2 เหมือนกับสตาร์ชจากพืชหัวและรากโดยทั่วไป



รูปที่ 4.3 X-ray diffraction pattern ของสตาร์ชจากกลอย

(YS1=สตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้า, YS2=สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียว)

4.2.3 กำล้างการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากกลอย

กำล้างการพองตัวของสตาร์ชบ่งบอกถึงความสามารถของน้ำที่จะแทรกตัวเข้าไประหว่างสายของอะมิโลเพคตินเพื่อเกิดพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ไฮดรอกซิลของหน่วยกลูโคส ทำให้แอมิโลสของสตาร์ชพองตัวขึ้นเรื่อยๆ แต่ไม่แตกออก การที่แอมิโลสของสตาร์ชพองตัวขึ้นนี้ ทำให้อะมิโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์เส้นตรงของหน่วยกลูโคสสามารถแพร่ออกมาจากสตาร์ชแอมิโลสได้ จากการศึกษากำล้างการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิด ที่อุณหภูมิการทดสอบ 80 และ 90 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 4.4 พบว่าที่ระดับอุณหภูมิในการทดสอบเดียวกันสตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดมีกำล้างการพองตัวและปริมาณ amylose

leaching ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p>0.05$) โดยพบว่ากำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.4 กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากกลอย

สตาร์ชจากกลอย	กำลังการพองตัว (ร้อยละ)		ปริมาณ amylose leaching (ร้อยละ)	
	80°C	90°C	80°C	90°C
กลอยข้าวเจ้า	10.60 ^{NS} ± 0.13	15.20 ^{NS} ± 0.51	9.10 ^{NS} ± 0.21	14.75 ^{NS} ± 1.10
กลอยข้าวเหนียว	10.68 ^{NS} ± 0.13	15.60 ^{NS} ± 0.46	9.36 ^{NS} ± 0.35	15.76 ^{NS} ± 0.55

NS หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\leq 0.05$)

อย่างไรก็ตามกำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากกลอย ทั้ง 2 ชนิดมีค่าอยู่ในระดับต่ำ โดยพบว่ามีความต่ำกว่าสตาร์ชจากเผือก สตาร์ชจากมันสำปะหลังและสตาร์ชจากมันฝรั่ง แต่สูงกว่าสตาร์ชจาก new cocoyam (Gunaratne และ Hoover, 2002) ดังแสดงในตารางที่ 4.5 สาเหตุที่สตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดมีกำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ต่ำ เนื่องจากการเกิดอันตรกิริยากันระหว่างสายโซ่สตาร์ช โดยอะมิโลสสามารถเกิดอันตรกิริยากับสายโซ่ตรงของอะมิโลเพคตินบางส่วน ทั้งในส่วนอสัณฐานและส่วนผลึก ทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไประหว่างสายอะมิโลเพคตินได้ยากขึ้น ประกอบกับสตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดมีปริมาณอะมิโลสสูงดังนั้นโอกาสที่อะมิโลสจะเกิดอันตรกิริยาดังกล่าวมีมากขึ้นจึงทำให้สตาร์ชแกรนูลพองตัวได้ยากขึ้นและมีปริมาณอะมิโลสที่แพร่ออกมาจากแกรนูลน้อย นอกจากนี้พบว่าสตาร์ชที่มีปริมาณ amylose-lipid complex สูงสามารถยับยั้งการพองตัวได้เช่นกัน แต่จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นพบว่าสตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดมีปริมาณ amylose - lipid complex ต่ำ ดังนั้น amylose - lipid complex จึงไม่ใช่สาเหตุหลักของการที่สตาร์ชจากกลอยมีกำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ต่ำ

ตารางที่ 4.5 กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชชนิดต่างๆ

ชนิดสตาร์ช	กำลังการพองตัว (ร้อยละ)		ปริมาณ amylose leaching (ร้อยละ)	
	80°C	90°C	80°C	90°C
สตาร์ชเผือก	36.0 ± 0.1	34.2 ± 0.0	22.1 ± 0.2	23.0 ± 0.6
สตาร์ชมัน สำปะหลัง	43.0 ± 0.4	36.5 ± 0.2	16.6 ± 0.5	17.2 ± 0.1
สตาร์ชมันฝรั่ง	60.0 ± 0.5	54.0 ± 0.3	22.0 ± 0.3	22.2 ± 0.2
สตาร์ช new cocoyam	18.0 ± 0.6	22.0 ± 0.6	2.9 ± 0.6	5.4 ± 0.4

ที่มา : Gunaratne และ Hoover, 2002

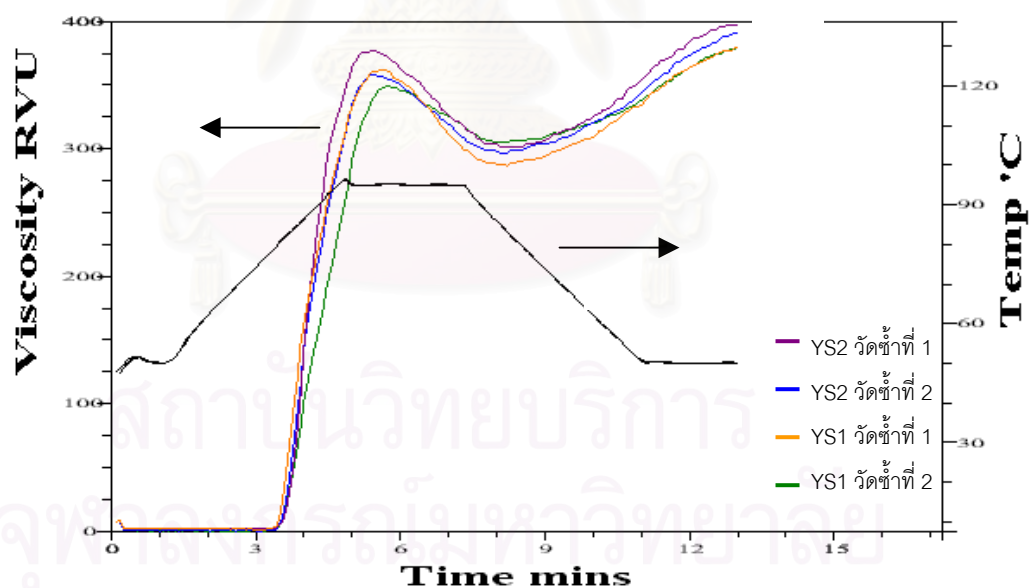
4.2.4 สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากกลอย

เมื่อทดสอบสมบัติทางความหนืดด้วยเครื่อง RVA ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และตารางที่ 4.6 พบว่าสตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียวมีอุณหภูมิเริ่มเกิดความหนืดสูงคือ 79.6 และ 78.3 องศาเซลเซียสตามลำดับ มีความหนืดสูงสุดประมาณ 360 RVU มีช่วง breakdown และ setback ต่ำ แสดงถึงสตาร์ชจากกลอยสามารถคงทนต่อแรงกวนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสได้ดี แต่มีแนวโน้มในการคืนตัวหรือ retrogradation ต่ำ เจลของสตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดหลังจากทดสอบสมบัติทางความหนืดด้วยเครื่อง RVA แล้วพบว่า มีลักษณะเป็นเจลขุ่น และเป็นแบบ short gel เนื่องจากสตาร์ชจากกลอยมีปริมาณอะมิโลสสูง

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชจากกลอยวัดด้วยเครื่อง RVA

สตาร์ชจาก กลอย	Viscosity at (RVU)					Pasting Temp. (°C)
	Peak	Trough	Breakdown	Final	Setback	
กลอยข้าวเจ้า	359 ^a ±2	298 ^a ±2	61 ^a ±1	390 ^a ±1	91 ^a ±4	79.63 ^a ±0.53
กลอยข้าว เหนียว	361 ^a ±1	285 ^b ±3	76 ^b ±1	377 ^b ±3	92 ^a ±0	78.33 ^a ±0.04

a,b ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ย แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชจากกลอยเมื่อวัดด้วยเครื่อง RVA
(YS1 = สตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้า, YS2 = สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียว)

4.2.5 สมบัติเชิงความร้อนของการเกิดเจลและการคืนตัวของสตาร์ชจากกลอย

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียวด้วยเครื่อง DSC ดังแสดงในตารางที่ 4.7 พบว่าสตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิดมี T_0 , T_p , T_c และช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน (gelatinization temperature range; $T_c - T_0$) ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่า T_0 , T_p , T_c และ $T_c - T_0$ มีค่ามากกว่าสตาร์ชมันสำปะหลังและมันฝรั่ง แต่มีค่าน้อยกว่าสตาร์ชจากเผือก (Gunaratne and Hoover, 2002) ความแตกต่างของช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชันเกิดจากโครงสร้างโมเลกุลของอะมิโลเพคติน องค์ประกอบของ สตาร์ชซึ่งได้แก่ อัตราส่วนระหว่างอะมิโลสและอะมิโลเพคติน ปริมาณ amylose – lipid complex และการจัดเรียงโครงร่างผลึกภายในแกรนูลของสตาร์ช ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าสตาร์ชแกรนูลของกลอย ทั้ง 2 ชนิดมีการจัดเรียงโครงร่างผลึกที่แข็งแรงกว่าสตาร์ชแกรนูลของสตาร์ชมันสำปะหลังและสตาร์ชมันฝรั่งเพราะต้องการอุณหภูมิที่สูงกว่าในการทำลายโครงร่างผลึกและมีช่วงอุณหภูมิในการทำลายที่กว้างกว่า เมื่อพิจารณาค่า ΔH พบว่า ΔH ของสตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิดมีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 14.3 ถึง 16.4 J/g ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับ ΔH ของสตาร์ชมันฝรั่ง แต่สูงกว่าสตาร์ชมันสำปะหลัง ΔH สามารถบ่งบอกถึงจำนวนของสายเกลียวคู่ที่คลายออกจากกันหรือถูกลดหายไปในช่วงการให้ความร้อนในการทดสอบ นอกจากนี้ยังสามารถบ่งบอกถึงพลังงานที่ใช้ในการทำลายโครงร่างผลึกในสตาร์ชแกรนูล ดังนั้นการที่สตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิดมีค่า ΔH สูงใกล้เคียงกับสตาร์ชมันฝรั่งแต่มากกว่าสตาร์ชมันสำปะหลังอาจเกิดเนื่องจากสตาร์ชจากกลอยอาจมีปริมาณสายเกลียวคู่มากกว่า และ / หรือ ลักษณะการจัดเรียงโครงร่างผลึกในสตาร์ชแกรนูลมีความแข็งแรงมากกว่าสตาร์ชมันสำปะหลังจึงต้องการพลังงานสูงในการทำลาย

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิและ ΔH ของการเกิดเจลาติไนเซชันของสตาร์ชจากกลอย

สตาร์ชจากกลอย	T_0 ($^{\circ}\text{C}$)	T_p ($^{\circ}\text{C}$)	T_c ($^{\circ}\text{C}$)	$T_c - T_0$ ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH (J/g)
กลอยข้าวเจ้า	71.4 ^{NS} ± 0.02	76.3 ^{NS} ± 0.00	83.9 ^{NS} ± 0.21	12.5 ^{NS} ± 0.23	14.3 ^{NS} ± 0.01
กลอยข้าวเหนียว	71.3 ^{NS} ± 0.18	76.5 ^{NS} ± 0.12	84.6 ^{NS} ± 0.75	13.3 ^{NS} ± 0.93	16.4 ^{NS} ± 2.34

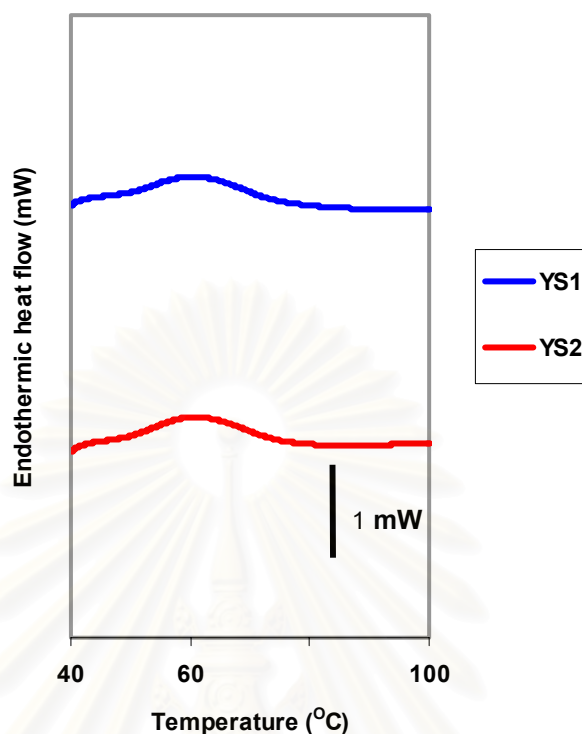
NS หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อเก็บสตาร์ชที่เกิดเจลลิตในเซชันแล้วเป็นเวลานานที่อุณหภูมิต่ำ สตาร์ชจะเกิดการคืนตัวโดยจะเกิดการจัดเรียงตัวเป็นโครงร่างตาข่ายของสายอะมิโลสและอะมิโลเพคติน ความแข็งแรงของโครงร่างตาข่ายที่เกิดขึ้นใหม่นี้สามารถสังเกตได้จากค่าพลังงานในการเกิด regelatinization หรือ ΔH_R จากการศึกษาการเกิดการคืนตัวของสตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิดด้วย DSC เมื่อเก็บเจลของสตาร์ชไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ดังตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.5 พบว่าเจลของสตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิดมีค่า T_o , T_p , T_c และ $T_c - T_o$ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าเจลของสตาร์ชทั้ง 2 ชนิดมีค่า T_o , T_p และ T_c ต่ำลง และมี $T_c - T_o$ กว้างขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาสมบัติทางความร้อนของการเกิดเจล เนื่องมาจากอันตรกิริยาระหว่างสายอะมิโลสและอะมิโลสหรืออะมิโลเพคตินที่เกิดขึ้นเพื่อสร้างเป็นโครงร่างตาข่ายขึ้นใหม่มีความแข็งแรงน้อยกว่า การจัดเรียงเป็นโครงสร้างผลึกในสตาร์ชแกรนูลก่อนที่จะเกิดเจลลิตในเซชันซึ่งอาจเกิดจากลักษณะการจัดวางของสายอะมิโลสและอะมิโลเพคตินไม่เหมาะสมสำหรับที่จะเกิดอันตรกิริยากันเพื่อเกิดการ reassociation (Hoover และคณะ, 1994)

ตารางที่ 4.8 ช่วงอุณหภูมิของสตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้าและกลอยข้าวเหนียวในการทดสอบการเกิดการคืนตัวที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 14 วัน และค่า ΔH_R

สตาร์ชจากกลอย	$T_c - T_o$ ($^{\circ}\text{C}$)	ΔH_R (J/g)
กลอยข้าวเจ้า	25.5 ^{NS} ± 0.40	7.7 ^{NS} ± 0.40
กลอยข้าวเหนียว	25.6 ^{NS} ± 1.27	8.8 ^{NS} ± 0.97

NS หมายถึงค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.5 Endothermic peak ของเจลสตาร์ชจากกอลอยหลังเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส 14 วัน
(YS1 = สตาร์ชจากกอลอยข้าวเจ้า, YS2 = สตาร์ชจากกอลอยข้าวเหนียว)

4.2.6 ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในสตาร์ชดิบของสตาร์ชจากกอลอย

ความสามารถของเอนไซม์อัลฟาอะมิเลสและอะมิโลกลูโคซิเดสที่เข้าไปตัดพันธะ

α -1,4 glucosidic linkage ของสายอะมิโลสหรือสายตรงของอะมิโลเพคตินในสภาวะที่สตาร์ชไม่เกิดเจลาตินในเซชันวัดในรูปแบบของ degree of hydrolysis ดังแสดงในตารางที่ 4.9 พบว่าสตาร์ชจากกอลอยข้าวเจ้ามีค่า degree of hydrolysis ที่ระยะเวลาการย่อย 48 ชั่วโมงมากกว่าสตาร์ชจากกอลอยข้าวเหนียว ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสตาร์ชจากกอลอยข้าวเหนียวมีปริมาณอะมิโลสสูงกว่าสตาร์ชจากกอลอยข้าวเจ้าทำให้เอนไซม์ทั้งสองชนิดสามารถตัดพันธะ α -1,4 glucosidic linkage ได้มากกว่า แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาค่า degree of hydrolysis ของสตาร์ชจากกอลอยทั้งสองชนิดพบว่ามีความอยู่ในระดับต่ำซึ่งสันนิษฐานว่าเนื่องจากการเกิดพันธะระหว่างสายอะมิโลสด้วยกันเองหรือระหว่างสายอะมิโลสกับสายไซโตรงของอะมิโลเพคตินส่งผลให้มีปริมาณอะมิโลสหรือสายไซโตรงของอะมิโลเพคตินที่เป็นอิสระน้อยลงทำให้เอนไซม์ย่อยสตาร์ชได้น้อยลง (Hoover และคณะ, 1994)

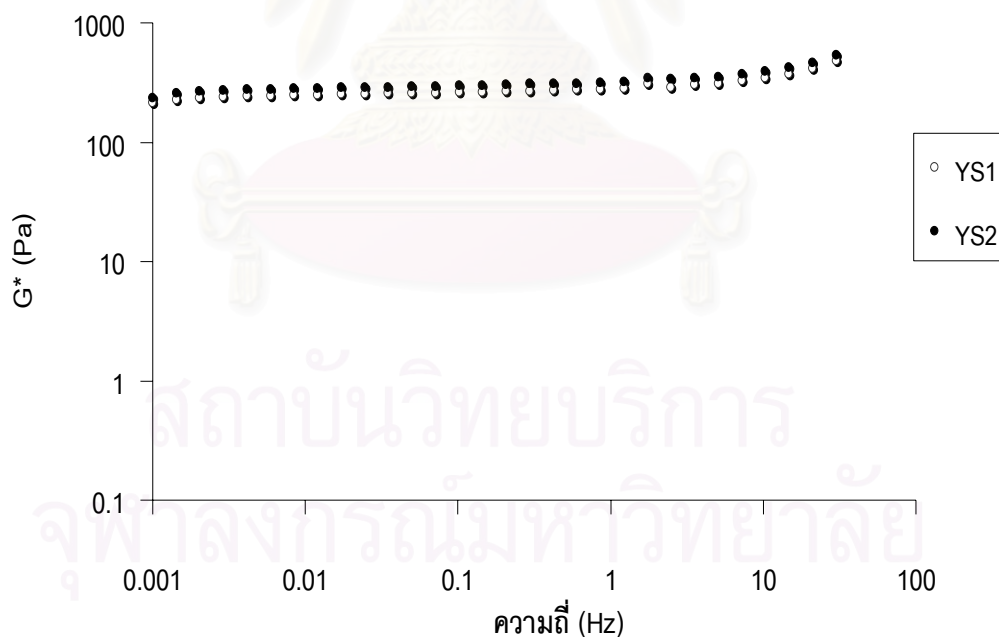
ตารางที่ 4.9 Degree of hydrolysis ของสตาร์ชจากกลอยที่ระยะเวลาการย่อย 48 ชั่วโมง

สตาร์ชจากกลอย	Degree of hydrolysis (%)
กลอยข้าวเจ้า	1.78 ^a ±0.01
กลอยข้าวเหนียว	1.50 ^b ±0.02

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

4.2.7 สมบัติทางการไหลของสตาร์ชจากกลอย

เมื่อทดสอบสมบัติทางการไหลโดยการทดสอบแบบ frequency sweep ซึ่งวิเคราะห์ผลโดยเปรียบเทียบค่า complex modulus (G^*) ดังแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่า เจลของสตาร์ชจากกลอยทั้งสองชนิดซึ่งมีความเข้มข้นร้อยละ 7 (w/w) มีค่า G^* ประมาณ 400 Pascal (Pa) และคงที่ตลอดช่วงความถี่ที่ใช้ในการทดสอบที่อุณหภูมิการทดสอบ 25 องศาเซลเซียส แสดงถึงเจลมีความแข็งแรงและคงทนต่อแรงกระทำ



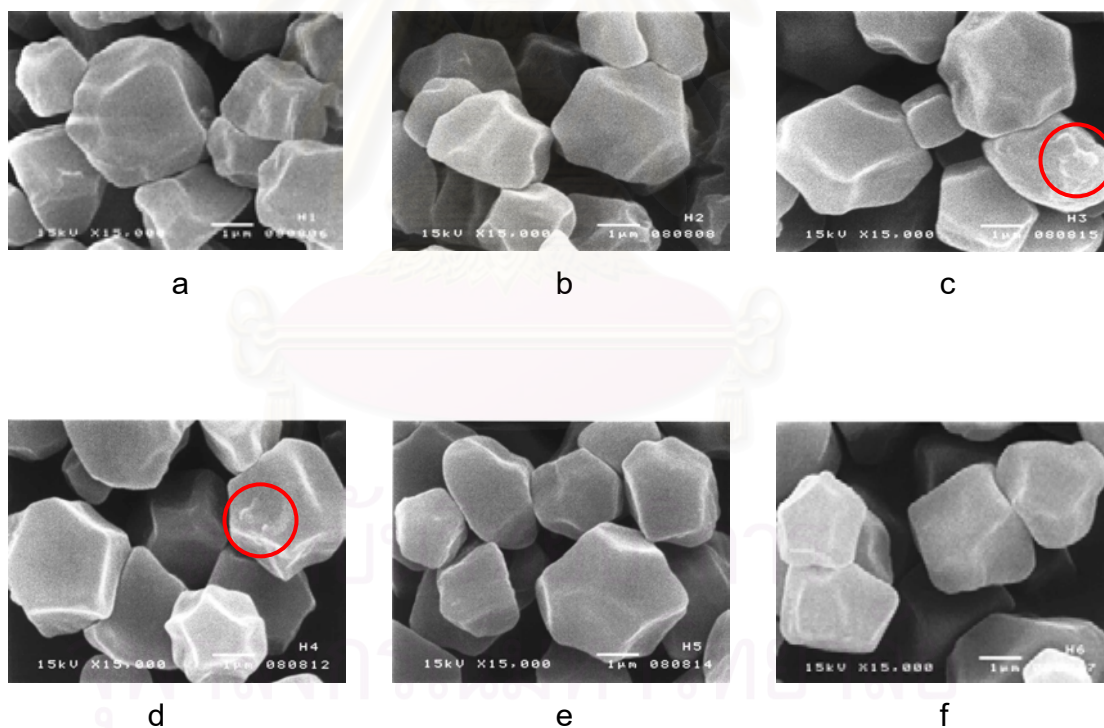
รูปที่ 4.6 Complex modulus (G^*) ของเจลสตาร์ชจากกลอย

(YS1 = สตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้า, YS2 = สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียว)

4.3 สมบัติทางกายภาพของสสารจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

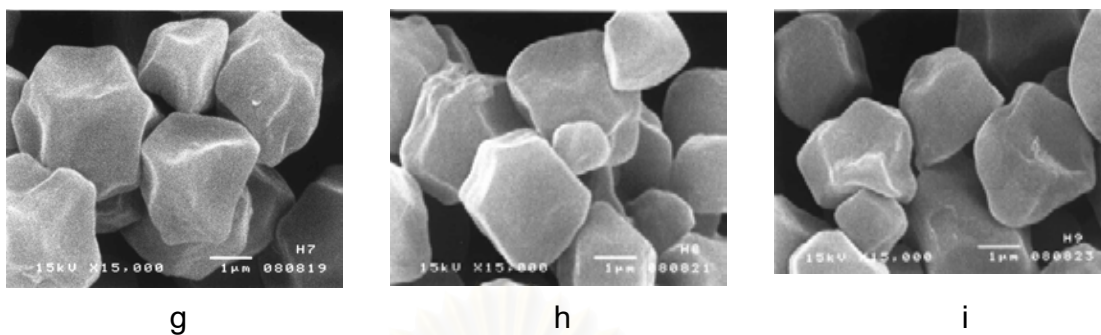
4.3.1 รูปร่างและลักษณะของสสารแกรนูลของสสารจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

สสารจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในสภาวะที่มีความชื้นร้อยละ 13 อุณหภูมิ 90 และ 100 องศาเซลเซียส เมื่อส่องดูรูปร่างและลักษณะของสสารแกรนูลด้วย SEM ดังแสดงในรูปที่ 4.7 พบว่ารูปร่างและลักษณะไม่เปลี่ยนแปลงไป แต่เมื่อดัดแปรที่ระดับอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 110 120 และ 130 องศาเซลเซียสอาจมีโอกาที่จะเกิดรอยร้าวบนผิวหน้าแกรนูลได้ (วงกลมสีแดง) เมื่อพิจารณารูปร่างและลักษณะแกรนูลของสสารจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันคือ 90 องศาเซลเซียส พบว่าสสารที่ผ่านการดัดแปรทุกระดับความชื้นมีรูปร่างและลักษณะสสารแกรนูลปกติ



รูปที่ 4.7 รูปร่างและพื้นผิวของสสารแกรนูลของสสารจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่กำลังขยาย 15,000 เท่า

- | | | |
|------------|------------|------------|
| a. H13/90 | b. H13/100 | c. H13/110 |
| d. H13/120 | e. H13/130 | f. H18/90 |



รูปที่ 4.7 (ต่อ) รูปร่างและพื้นผิวของสตาร์ชแกรนูลของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่กำลังขยาย 15,000 เท่า

g. H22/90

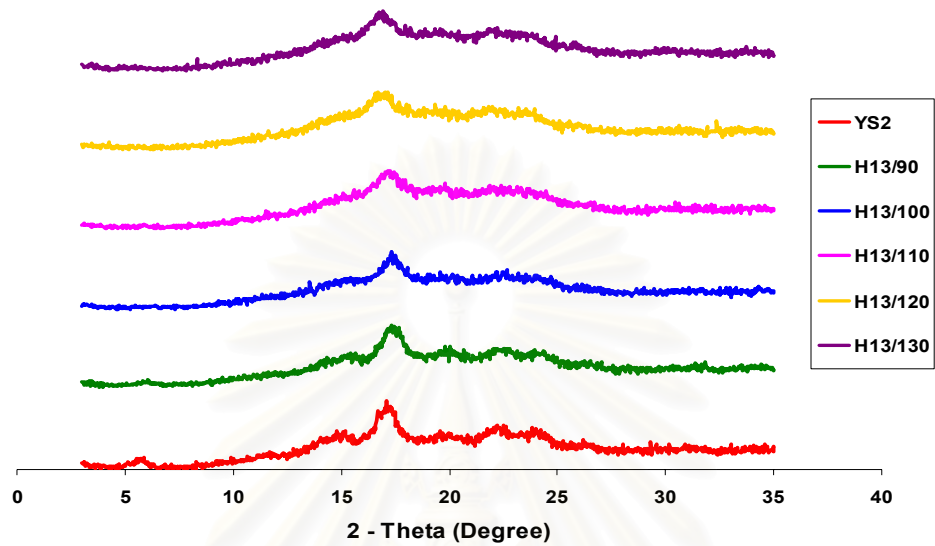
h. H26/90

i. H30/90

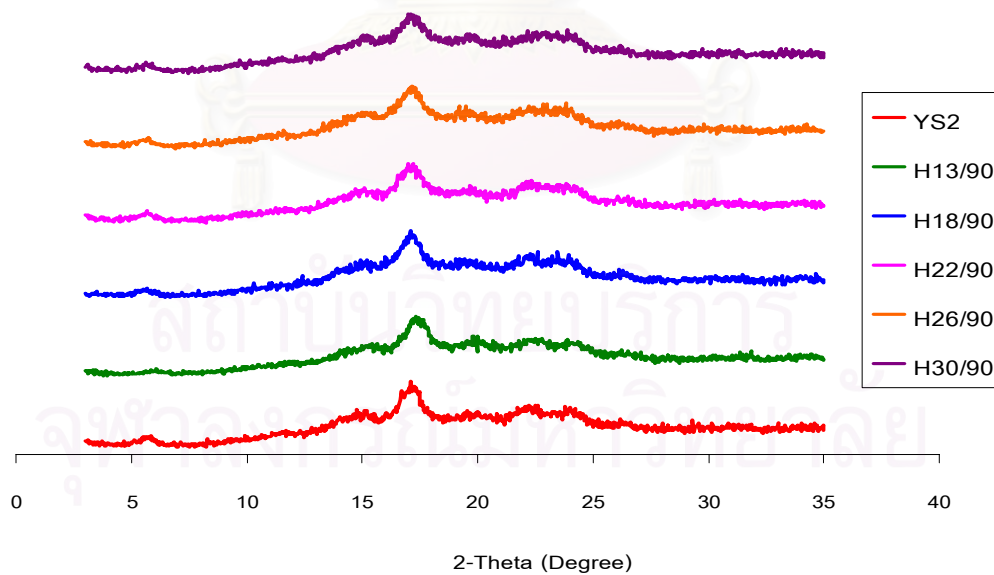
4.3.2 ลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ที่สภาวะการดัดแปรที่มีความชื้นร้อยละ 13 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.8) เปลี่ยนโครงสร้างผลึกจากแบบ B เป็น C โดยสังเกตได้จากมี peak เพิ่มขึ้นที่มุม 17.9 องศา เมื่อสภาวะการดัดแปรที่ระดับความชื้นเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิในการดัดแปรเพิ่มขึ้นเป็น 100 110 120 และ 130 องศาเซลเซียส สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะดังกล่าวมีโครงสร้างผลึกเปลี่ยนจากแบบ B เป็น A โดยสังเกตได้จากการตรวจไม่พบ peak ที่มุม 5.8 องศา ซึ่งเป็น peak ที่บ่งบอกถึงการมีโครงสร้างผลึกแบบ B

สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่อุณหภูมิในการดัดแปร 90 องศาเซลเซียส เมื่อระดับความชื้นในการดัดแปรเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 18 22 26 และ 30 (รูปที่ 4.9) พบว่าสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะดังกล่าวไม่เปลี่ยนลักษณะโครงสร้างผลึก คือยังคงมีโครงสร้างผลึกแบบ B เช่นเดิม



รูปที่ 4.8 X-ray diffraction pattern ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน
 ชั้นที่ระดับความชื้นร้อยละ 13 ที่อุณหภูมิในช่วง 90 ถึง 130 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9 X-ray diffraction pattern ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อน
 ชั้นที่ระดับความชื้นร้อยละ 13 ถึง 30 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

Imberty และ Perez (1989) และ Hoover และ Vasanthan (1994) กล่าวว่าลักษณะโครงร่างผลึกของสตาร์ชที่แตกต่างกันนั้น เกิดจากความแตกต่างของการจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่และจำนวนโมเลกุลของน้ำในช่องว่างของ unit cell การเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงร่างผลึกจากแบบ B เป็น A หรือ C ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะการดัดแปรที่มีความชื้นต่ำ ทุกช่วงอุณหภูมิในการดัดแปร เกิดจาก dehydration หรือ vaporization ของโมเลกุลน้ำในช่องว่างของ unit cell นั่นคือการทำลาย hydrate water bridge ซึ่งเป็นพันธะหลักในการเชื่อมสายเกลียวคู่ที่อยู่ใกล้กันใน unit cell ทำให้สายเกลียวคู่ที่อยู่ใกล้กันนั้นหันมาเกิดอันตรกิริยากันด้วยพันธะไฮโดรเจนมากขึ้น ทำให้โครงร่างผลึกแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้พบว่าการเกิดโครงร่างผลึกอย่างไม่สมบูรณ์ในส่วนอสัณฐาน อันเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยากันระหว่างสายอะมิโลสด้วยกันเองหรือสายอะมิโลสกับสายไซโทรงของอะมิโลเพคติน ช่วยส่งเสริมให้โครงร่างผลึกแข็งแรงมากขึ้น

สำหรับสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นร้อยละ 18 22 26 และ 30 ที่อุณหภูมิในการดัดแปร 90 องศาเซลเซียส ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงร่างผลึก โดยยังคงมีโครงร่างผลึกเป็นแบบ B เช่นเดิม สันนิษฐานว่าเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปรซึ่งอยู่ในระดับต่ำสุดคือ 90 องศาเซลเซียส อาจทำให้การเกิด dehydration หรือ vaporization ของโมเลกุลน้ำในช่องว่างของ unit cell เกิดได้น้อยหรือไม่สมบูรณ์ ประกอบกับการที่ปรับให้สภาวะการดัดแปรมีความชื้นสูงขึ้นจึงสามารถทำให้เกิด hydrate water bridge ขึ้นมาใหม่ได้ แต่อย่างไรก็ตามสันนิษฐานว่าที่ระดับความชื้นและอุณหภูมิดังกล่าวทำให้สตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงร่างผลึก โดยสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของ peak (peak intensity) ซึ่งแสดงใน ภาพผนวก ข และสมบัติทางกายภาพด้านอื่นๆ แต่โครงร่างผลึกที่เปลี่ยนไปนั้นไม่ชัดเจนพอที่จะทำให้การตรวจสอบด้วย Wide angle X-ray diffraction แสดงถึงความแตกต่างได้

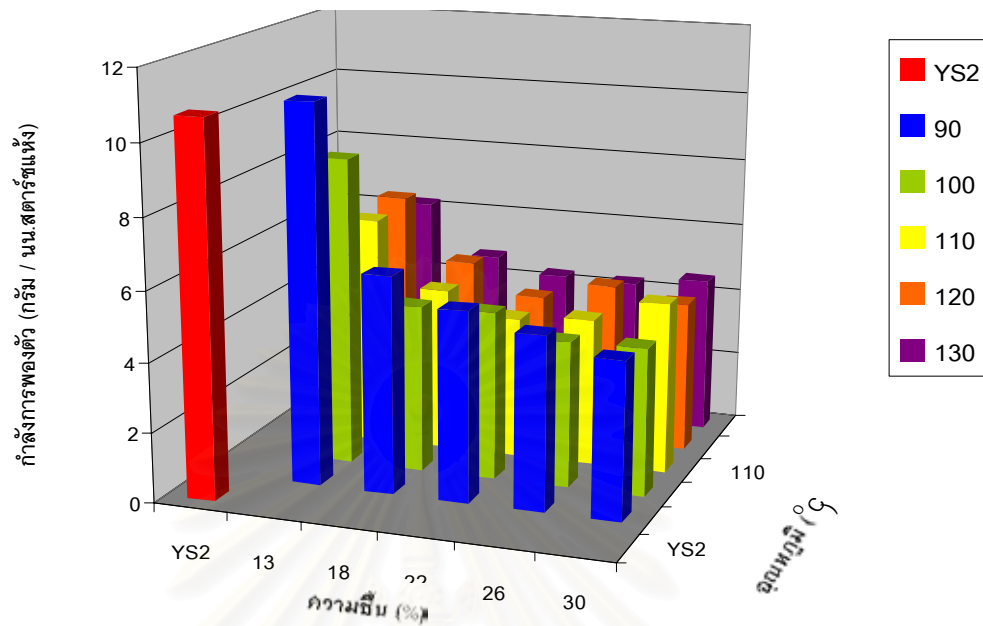
4.3.3 กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจาก กลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนชื้น

กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ที่อุณหภูมิในการทดสอบ 80 และ 90 องศาเซลเซียสของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนชื้นทุกสภาวะในการดัดแปร มีค่าต่ำกว่าสตาร์ชจากกลอยที่ไม่ผ่านการดัดแปร ดังแสดงในรูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.10 เนื่องจากการดัดแปรด้วยความร้อนชื้นทำให้สายโซ่ตรงของอะมิโลเพคตินเกิดอันตรกิริยากับ อะมิโลสมากขึ้นทำให้โมเลกุลของน้ำแทรกเข้าไปในระหว่างสายอะมิโลเพคตินได้น้อยลงจึงทำให้ กำลังการพองตัวต่ำลง นอกจากนี้สายอะมิโลสสามารถเกิดอันตรกิริยาด้วยตัวเองทำให้ปริมาณ อะมิโลสที่แพร่ออกจากแกรนูลน้อยลง ส่งผลให้ปริมาณ amylose leaching ต่ำลง (Hoover และ Vasanthan, 1994 และ Hoover และ Gunaratne, 2002)

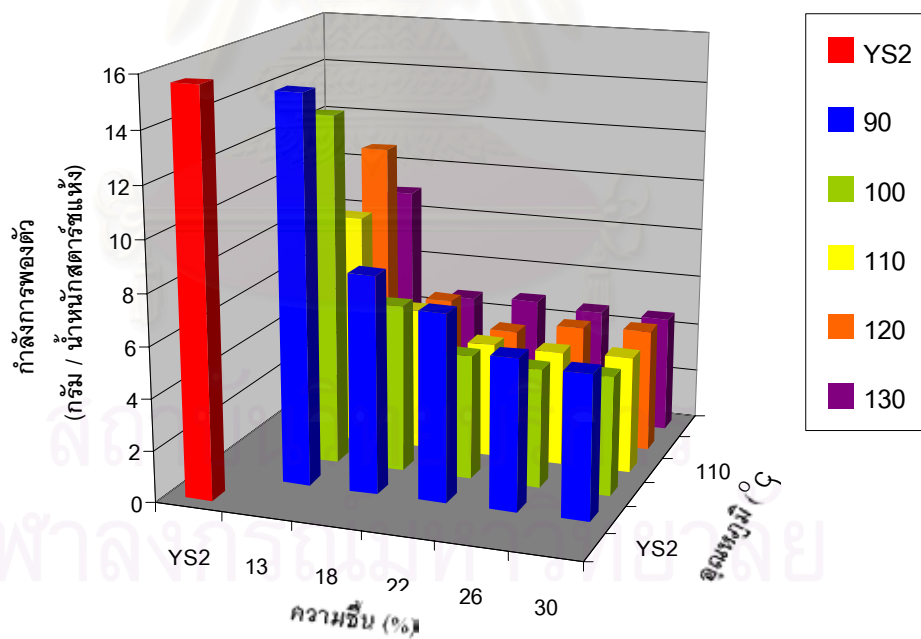
สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะที่มีระดับความชื้นต่ำที่สุดคือ ร้อยละ 13 ทุกช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปร พบว่ามีค่ากำลังการพองตัวสูงกว่าสตาร์ชจากกลอย ข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะที่มีระดับความชื้นสูงกว่า เนื่องจากปริมาณความชื้นที่ใช้ในการดัดแปรสูงขึ้น ทำให้มีปริมาณน้ำซึ่งทำหน้าที่เป็น plasticizer มากขึ้น โอกาสที่สายเกลียวคู่เคลื่อนที่ เข้าใกล้กันและเกิดอันตรกิริยากันมากขึ้นทำให้สตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะดังกล่าวมี กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ต่ำกว่าสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะอื่น ๆ

เมื่อพิจารณาปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการ ดัดแปรด้วยความร้อนชื้นที่สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นสูงและอุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปรสูง พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสันนิษฐานว่าการดัดแปรที่สภาวะดังกล่าวอาจทำให้ผิวหน้าของสตาร์ช แกรนูลเกิดรอยร้าวขึ้น ส่งผลให้อะมิโลสสามารถแพร่ออกมาจากรอยร้าวดังกล่าวได้ ทำให้ปริมาณ amylose leaching สูงขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



a

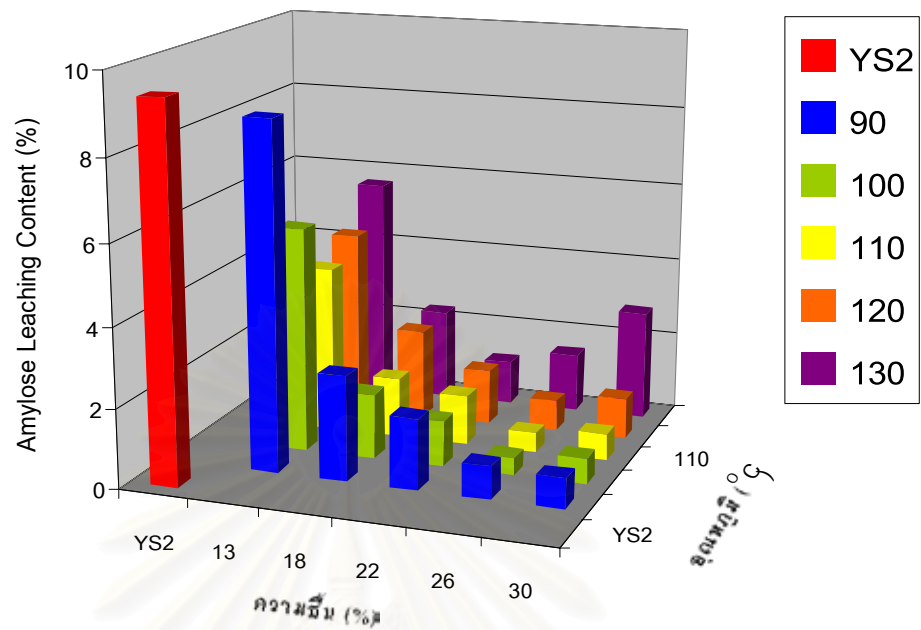


b

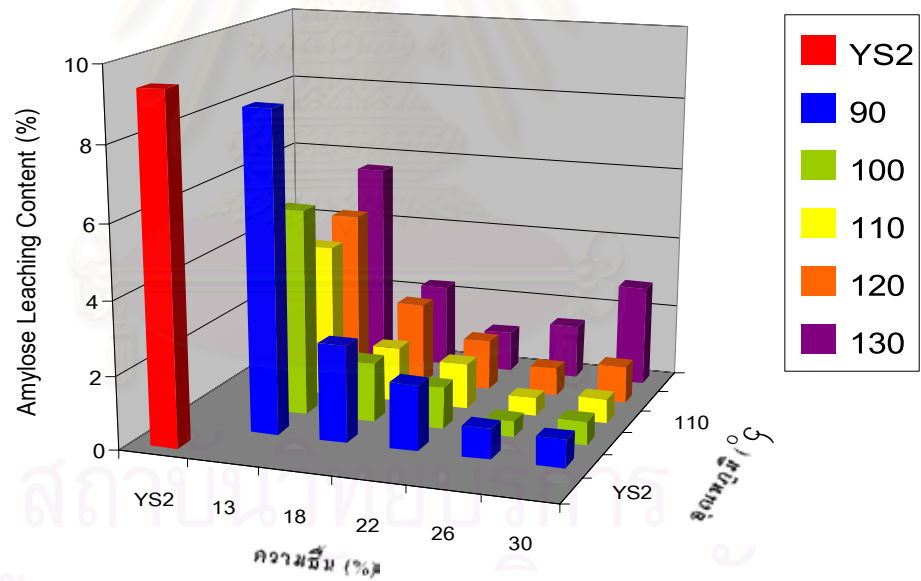
รูปที่ 4.10 กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

a. กำลังการพองตัวที่ 80 °C

b. กำลังการพองตัวที่ 90 °C



c



d

รูปที่ 4.10 (ต่อ) กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

c. ปริมาณ amylose leaching ที่ 80 °C d. ปริมาณ amylose leaching ที่ 90 °C

ตารางที่ 4.10 กำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ที่อุณหภูมิการทดสอบ 80 และ 90 °C

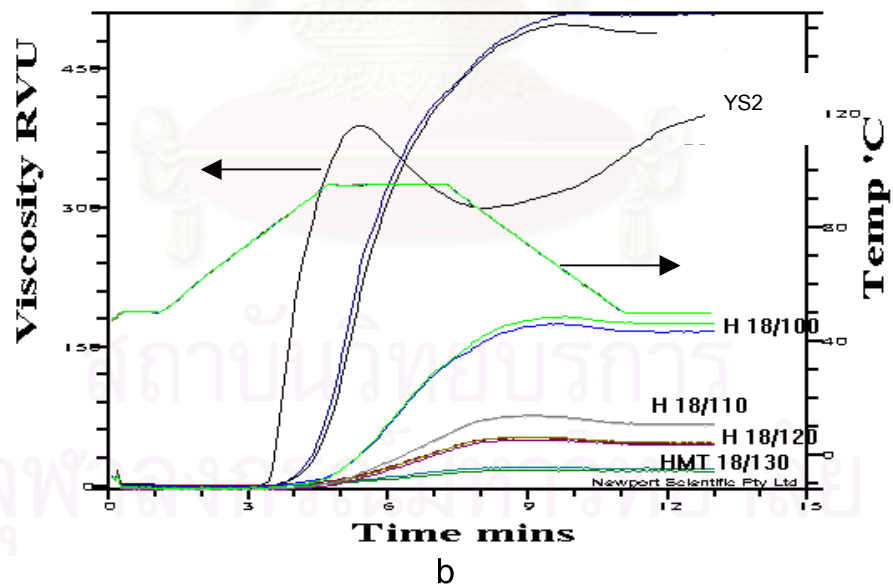
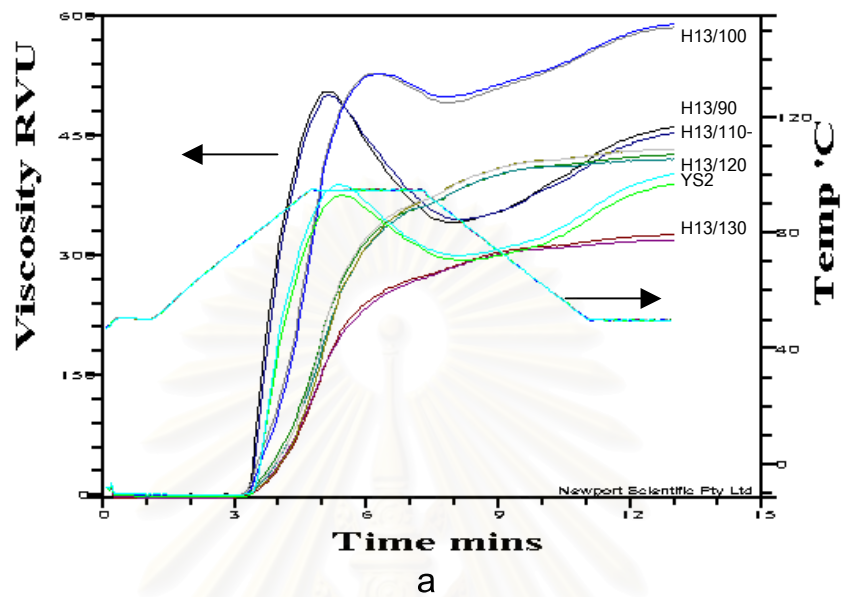
ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (°C)	กำลังการพองตัว (กรัม / น้ำหนักสารแห้ง)		ปริมาณ amylose leaching (ร้อยละ)	
		80 °C	90 °C	80 °C	90 °C
13	90	10.8 ^{Dc} ±0.21	15.0 ^{Dc} ±0.94	8.7 ^{Dc} ±0.19	13.7 ^{De} ±0.19
13	100	8.9 ^{Db} ±0.26	13.7 ^{Cc} ±1.01	5.6 ^{Eb} ±0.15	9.5 ^{Ec} ±0.35
13	110	6.6 ^{Ca} ±0.16	9.1 ^{Ba} ±0.11	4.2 ^{Ca} ±0.21	7.3 ^{Ca} ±0.29
13	120	6.9 ^{Da} ±0.12	11.3 ^{Db} ±1.13	4.6 ^{Ea} ±0.08	8.1 ^{Db} ±0.28
13	130	6.2 ^{Aa} ±0.18	9.0 ^{Ba} ±0.16	5.6 ^{Cb} ±0.51	10.4 ^{Dd} ±0.54
18	90	6.2 ^{Cb} ±0.07	8.4 ^{Cc} ±0.19	2.6 ^{Cb} ±0.41	5.1 ^{Cc} ±0.47
18	100	4.8 ^{Ca} ±0.09	6.6 ^{Bb} ±0.09	1.6 ^{Da} ±0.09	3.2 ^{Da} ±0.14
18	110	4.7 ^{Ba} ±0.16	5.6 ^{Aa} ±0.09	1.5 ^{Ba} ±0.11	2.9 ^{Ba} ±0.25
18	120	5.1 ^{Ca} ±0.26	5.3 ^{Aa} ±0.09	2.3 ^{Db} ±0.16	3.9 ^{Cb} ±0.12
18	130	4.7 ^{Aa} ±0.49	4.7 ^{Aa} ±0.11	2.3 ^{Bb} ±0.18	4.4 ^{Bb} ±0.11
22	90	5.4 ^{Bc} ±0.04	7.3 ^{Bd} ±0.16	1.8 ^{Bd} ±0.04	3.6 ^{Bd} ±0.07
22	100	4.8 ^{Cd} ±0.21	4.9 ^{Ac} ±0.08	1.2 ^{Ca} ±0.12	2.1 ^{Ca} ±0.16
22	110	4.1 ^{Aa} ±0.38	4.5 ^{Ab} ±0.11	1.3 ^{Bab} ±0.1	2.5 ^{Bb} ±0.14
22	120	4.2 ^{Aa} ±0.34	4.3 ^{Aa} ±0.02	1.4 ^{Bb} ±0.08	2.9 ^{Ac} ±0.16
22	130	4.3 ^{Aa} ±0.08	4.8 ^{Ac} ±0.17	1.1 ^{Aa} ±0.04	2.7 ^{Ab} ±0.06
26	90	4.9 ^{ABb} ±0.44	5.9 ^{Ac} ±0.15	0.8 ^{Ab} ±0.04	2.0 ^{Ac} ±0.13
26	100	4.2 ^{Aa} ±0.03	4.7 ^{Aab} ±0.09	0.4 ^{Aa} ±0.02	1.1 ^{Aa} ±0.07
26	110	4.3 ^{Aa} ±0.05	4.5 ^{Aa} ±0.03	0.5 ^{Aa} ±0.05	1.5 ^{Ab} ±0.07
26	120	4.7 ^{BCbc} ±0.38	4.7 ^{Ab} ±0.10	0.8 ^{Ab} ±0.07	2.0 ^{Ac} ±0.14
26	130	4.3 ^{Aa} ±0.21	4.6 ^{Aab} ±0.03	1.5 ^{Ac} ±0.07	2.9 ^{Ad} ±0.04
30	90	4.5 ^{Aa} ±0.32	5.6 ^{Ac} ±0.22	0.8 ^{Ab} ±0.07	1.8 ^{Ab} ±0.06
30	100	4.2 ^{Ba} ±0.09	4.6 ^{Aa} ±0.01	0.6 ^{Ba} ±0.04	1.6 ^{Ba} ±0.04
30	110	4.9 ^{Bb} ±0.04	4.6 ^{Aab} ±0.03	0.7 ^{Aab} ±0.02	1.8 ^{Ab} ±0.03
30	120	4.4 ^{ABa} ±0.04	4.9 ^{Aa} ±0.09	1.0 ^{Bc} ±0.06	2.3 ^{Ac} ±0.09
30	130	4.5 ^{Aa} ±0.14	4.6 ^{Ab} ±0.12	2.8 ^{Bd} ±0.07	5.2 ^{Cd} ±0.12

A, B, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับความชื้นที่อุณหภูมิเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

a, b, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับอุณหภูมิที่ความชื้นเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

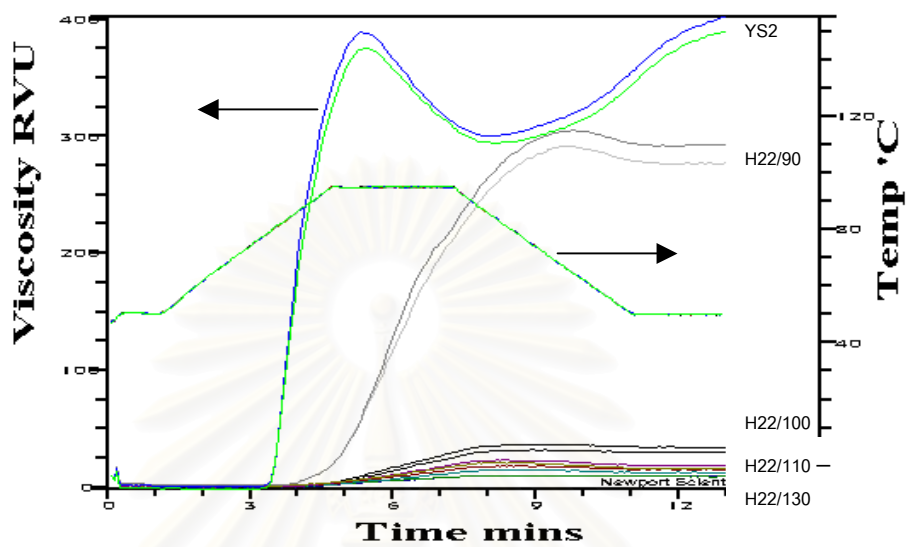
4.3.4 สมบัติทางความเหนียวของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

เมื่อทดสอบสมบัติทางความเหนียวด้วยเครื่อง RVA ดังแสดงในรูปที่ 4.11 และตารางที่ 4.11 พบว่าสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความเหนียวสูงขึ้น เนื่องจากการที่สตาร์ชของตัวได้น้อยลง ประกอบกับมีปริมาณ amylose leaching ต่ำ ส่งผลให้อุณหภูมิเริ่มเกิดความเหนียวสูงขึ้น เมื่อพิจารณาค่าความเหนียวสูงสุดพบว่าสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะที่มีระดับความชื้นร้อยละ 13 มีค่าความเหนียวสูงสุดสูงชัน ส่วนที่สภาวะอื่น ๆ มีค่าต่ำลง เมื่อความร้อนในการทดสอบสูงขึ้นไปถึง 95 องศาเซลเซียส ประกอบกับมีแรงกวนจากใบพัดกวนอย่างสม่ำเสมอพบว่าสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรทุกสภาวะ ยกเว้นสภาวะที่มีระดับความชื้นร้อยละ 13 อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีช่วง breakdown ต่ำลง แสดงถึงสตาร์ชมีความคงทนต่อแรงเฉือนและอุณหภูมิที่สูง ความคงทนดังกล่าวเกิดจากการเคลื่อนที่ของสายเกลียวคู่เข้าใกล้กันและเกิดอันตรกิริยากันด้วยพันธะไฮโดรเจนมากขึ้น ทำให้สตาร์ชมีโครงร่างที่แข็งแรงมากขึ้น (Hoover และ Vasanthan, 1994) ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงร่างผลึกดังที่กล่าวในหัวข้อ 4.3.2 นั่นคือสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะดังกล่าวเปลี่ยนโครงร่างผลึกจาก B เป็น A หรือ C โดยในสภาวะการดัดแปรที่อุณหภูมิเดียวกัน เมื่อระดับความชื้นเพิ่มขึ้น ช่วง breakdown จะต่ำลงตามลำดับ เมื่ออุณหภูมิในการทดสอบด้วยเครื่อง RVA ลดลงถึง 50 องศาเซลเซียส สตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะที่มีระดับความชื้นร้อยละ 13 ทุกช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปร และสภาวะที่มีระดับความชื้นร้อยละ 18 และ 22 ที่อุณหภูมิในการดัดแปร 90 องศาเซลเซียส มีช่วง setback สูงขึ้น แสดงถึงการมีแนวโน้มในการเกิดการคืนตัวหรือ retrogradation มากขึ้น

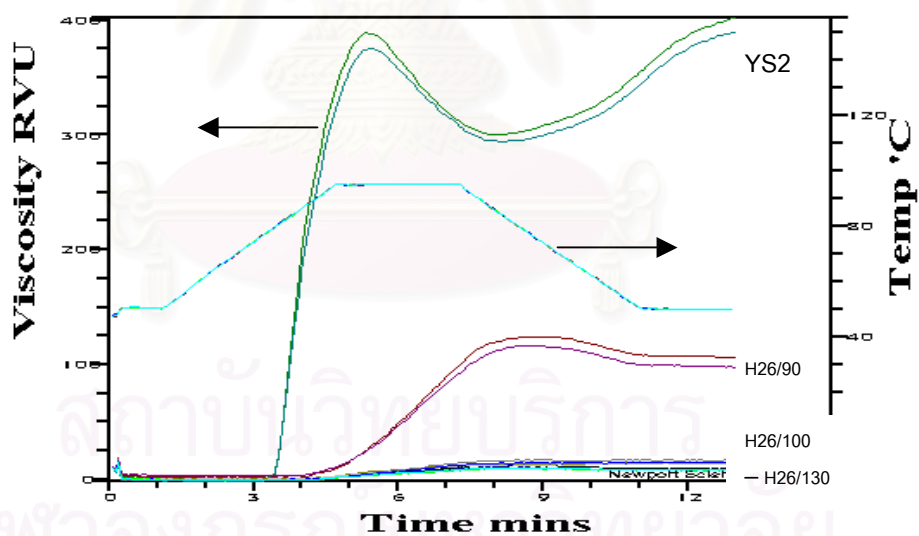


รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นวัดด้วยเครื่อง RVA

- สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 13
- สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 18



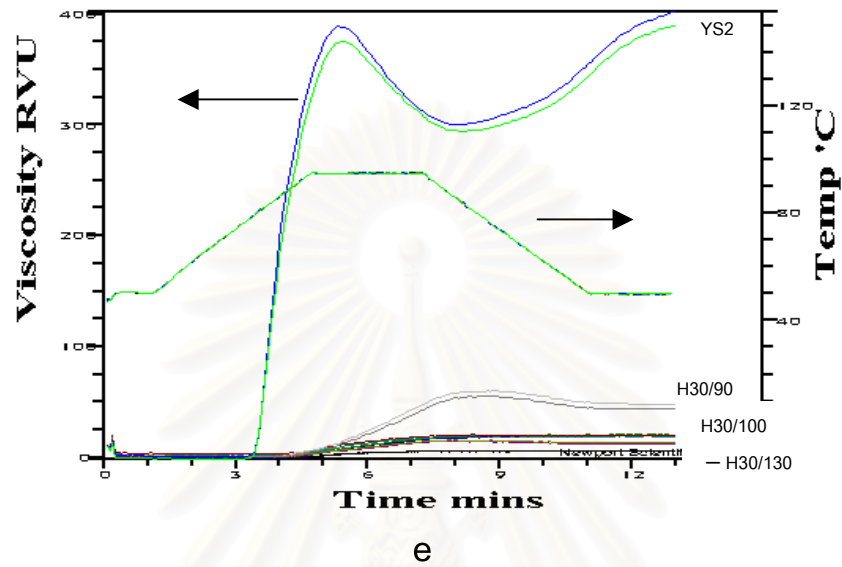
c



d

รูปที่ 4.11 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นวัดด้วยเครื่อง RVA

- c. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 22
- d. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 26



รูปที่ 4.11 (ต่อ) การเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นวัดด้วยเครื่อง RVA
 e. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 30

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.11 ผลวิเคราะห์สมบัติทางความหนืดของสตาร์ชกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (°C)	Peak viscosity (RVU)	Trough (RVU)	Break down (RVU)	Final viscosity (RVU)	Setback (RVU)	Pasting Temp. (°C)
13	90	495 ^{Ec} ±7.9	339 ^{Dc} ±8.9	156 ^{Ed} ±0.9	457 ^{Dd} ±5.5	117 ^{Cd} ±3.8	79 ^{Ac} ±0.7
13	100	526 ^{Dd} ±2.5	495 ^{Cd} ±5.6	28 ^{Ca} ±0.1	587 ^{De} ±3.1	95 ^{Bbj} ±1.1	89 ^{Ad} ±0.0
13	110	362 ^{Eb} ±1.3	329 ^{Dbc} ±3.1	43 ^{Cc} ±2.4	432 ^{Ec} ±0.06	108 ^{Cc} ±2.9	77 ^{Aab} ±1.1
13	120	356 ^{Eb} ±0.5	318 ^{Cb} ±5.8	34 ^{Db} ±0.1	423 ^{Db} ±3.9	105 ^{Dc} ±1.9	76 ^{Aa} ±0.6
13	130	268 ^{Da} ±2.4	234 ^{Ca} ±5.9	27 ^{Da} ±1.9	318 ^{Da} ±2.5	82 ^{Ea} ±0.5	78 ^{Abc} ±0.6
18	90	409 ^{De} ±4.4	311 ^{De} ±1.2	79 ^{De} ±0.9	507 ^{Ee} ±7.3	177 ^{Ee} ±0.7	89 ^{Ba} ±7.7
18	100	122 ^{Cd} ±1.7	70 ^{Bd} ±1.6	52 ^{Dd} ±0.1	171 ^{Cb} ±5.8	101 ^{Ed} ±4.2	95 ^{Ca} ±0.0
18	110	48 ^{Dc} ±0.5	27 ^{Cc} ±0.2	22 ^{Bc} ±0.3	66 ^{Dc} ±1.4	39 ^{Bc} ±1.2	95 ^{Ba} ±0.0
18	120	34 ^{Db} ±1.6	19 ^{Bb} ±1.6	15 ^{Cb} ±0.0	45 ^{Cb} ±1.7	26 ^{Cb} ±0.1	95 ^{Ba} ±0.0
18	130	14 ^{Ba} ±2.2	9 ^{ABa} ±1.8	5 ^{Ba} ±0.4	17 ^{Ba} ±2.0	8 ^{Ca} ±0.2	95 ^{Ba} ±0.0
22	90	203 ^{Cc} ±7.3	129 ^{Cb} ±8.5	74 ^{Cd} ±1.2	285 ^{Cc} ±11.1	156 ^{Dc} ±2.9	90 ^{Ba} ±0.6
22	100	17 ^{Bab} ±1.2	11 ^{Aa} ±0.4	6 ^{Bb} ±0.8	18 ^{Ba} ±1.9	7 ^{Aa} ±1.5	95 ^{Bb} ±0.0
22	110	13 ^{Ba} ±1.8	8 ^{Aa} ±1.4	4 ^{Aab} ±0.4	14 ^{Ba} ±2.0	6 ^{Aab} ±0.6	95 ^{Bb} ±0.0
22	120	8 ^{Aa} ±0.1	6 ^{Aa} ±0.2	2 ^{Aa} ±0.1	9 ^{Aa} ±0.5	4 ^{Bb} ±0.6	95 ^{Bb} ±0.0
22	130	25 ^{Cb} ±2.8	16 ^{Ba} ±2.2	9 ^{Cc} ±0.6	32 ^{Cb} ±2.9	16 ^{Bab} ±0.7	95 ^{Bb} ±0.0
26	90	86 ^{Bb} ±4.2	50 ^{Bb} ±1.8	36 ^{Bb} ±2.4	102 ^{Bb} ±6.1	52 ^{Bc} ±4.4	95 ^{Ba} ±0.0
26	100	9 ^{Aa} ±0.6	6 ^{Aab} ±0.1	3 ^{Aa} ±0.6	9 ^{Aa} ±0.8	2 ^{Aa} ±0.7	95 ^{Bb} ±0.0
26	110	8 ^{Aa} ±0.6	5 ^{Aa} ±0.3	2 ^{Aa} ±0.3	8 ^{Aa} ±0.3	3 ^{Aab} ±0.1	95 ^{Bb} ±0.0
26	120	12 ^{Ba} ±1.1	8 ^{Ab} ±0.7	5 ^{Ba} ±0.4	16 ^{Aa} ±1.5	8 ^{Bb} ±0.8	95 ^{Bb} ±0.0
26	130	11 ^{Ba} ±0.2	8 ^{ABb} ±0.3	3 ^{ABa} ±0.1	14 ^{Db} ±0.5	5 ^{Bab} ±0.2	95 ^{Bb} ±0.0
30	90	40 ^{Ac} ±3.6	23 ^{Ad} ±2.3	17 ^{Ac} ±1.3	46 ^{Ae} ±2.9	23 ^{Ae} ±0.6	95 ^{Ba} ±0.0
30	100	13 ^{Bb} ±0.8	9 ^{Ab} ±0.3	4 ^{ABb} ±0.5	13 ^{Ab} ±0.3	4 ^{Ab} ±0.1	95 ^{Bb} ±0.0
30	110	17 ^{Cb} ±1.0	14 ^{Bc} ±0.8	3 ^{Ab} ±0.2	19 ^{Ac} ±0.3	5 ^{Ac} ±0.4	95 ^{Bc} ±0.0
30	120	15 ^{Cb} ±0.6	11 ^{Ab} ±0.4	4 ^{Bb} ±0.2	20 ^{Bd} ±0.9	9 ^{Bd} ±0.6	95 ^{Bd} ±0.0
30	130	5 ^{Aa} ±0.1	4 ^{Aa} ±0.2	1 ^{Aa} ±0.2	6 ^{Aa} ±0	2 ^{Aa} ±0.2	95 ^{Be} ±0.0

A, B, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับความชื้นที่อุณหภูมิเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

a, b, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับอุณหภูมิที่ความชื้นเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.5 สมบัติเชิงความร้อนของการเกิดเจลและการคืนตัวของสตาร์ชจากกลอย ข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

เมื่อศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.12 พบว่าสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรที่ระดับความชื้นร้อยละ 13 ทุกช่วงอุณหภูมิในการดัดแปรมีค่า T_0 , T_p และ T_c ต่ำกว่าสตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปร ในขณะที่สตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะอื่นๆ มีค่า T_0 , T_p และ T_c สูงกว่า เมื่อพิจารณาค่า $T_c - T_0$ พบว่าสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรทุกสภาวะมีค่าสูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปร การดัดแปรสตาร์ชด้วยความร้อนขึ้นทำให้ส่วนที่เป็นโครงสร้างผลึกในสตาร์ชแกรนูลบางส่วนถูกทำลายไปในระหว่างการดัดแปร แต่อย่างไรก็ตามการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นนี้ก็ทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่สตาร์ชในส่วนอสัณฐานขึ้น (Hoover และ Vasanthan, 1994) โดยสตาร์ชที่ดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นสูงทำให้สายโซ่สตาร์ชมีโอกาสเคลื่อนที่แล้วเกิดอันตรกิริยากันได้มากกว่าสตาร์ชที่ดัดแปรในสภาวะที่มีความชื้นต่ำ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะที่มีความชื้นสูง มีค่า T_0 , T_p และ T_c สูงกว่าสตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปร

เมื่อพิจารณาค่า ΔH พบว่า สตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นทุกสภาวะมีค่า ΔH ต่ำกว่าสตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปร เนื่องจากสายเกลียวคู่บางส่วนถูกทำลายไปในระหว่างการดัดแปร โดยพบว่าเมื่อระดับความชื้น และ/หรือ อุณหภูมิที่ใช้ในการดัดแปรเพิ่มมากขึ้น ΔH มีค่าลดลง ทั้งนี้เกิดจากปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งเสริมให้สายเกลียวคู่มีโอกาสเคลื่อนที่ได้มากขึ้นซึ่งทำให้มีโอกาสถูกทำลายได้มากขึ้นด้วย (Gunaratne และ Hoover, 2002) และการดัดแปรที่อุณหภูมิสูงทำให้สายเกลียวคู่ถูกทำลายได้มากกว่าการดัดแปรที่อุณหภูมิต่ำกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ความชื้นและอุณหภูมิสูงทำให้แสดงลักษณะที่เป็น biphasic endotherm คือเกิด peak 2 peak โดยอาจจะรวมอยู่ใน peak เดียวกันซึ่งจะสังเกตเห็นว่า peak นั้นมีลักษณะปานหรือกว้างกว่าปกติหรือ peak ที่เกิดขึ้นทั้ง 2 peak นั้นแยกออกจากกันอย่างชัดเจน การเกิด biphasic endotherm บ่งบอกถึงการมีโครงสร้าง 2 แบบเกิดขึ้น (Donovan และคณะ, 1987) ซึ่งสันนิษฐานว่าเกิดจากการเกิดเจลาติไนเซชันบางส่วน (partial gelatinization) ของสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในสภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นและอุณหภูมิสูง นั่นคือการสูญเสียการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบของโครงสร้างผลึกบางส่วนไปนั่นเอง

ตารางที่ 4.12 ผลวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วย
ความร้อนขึ้น

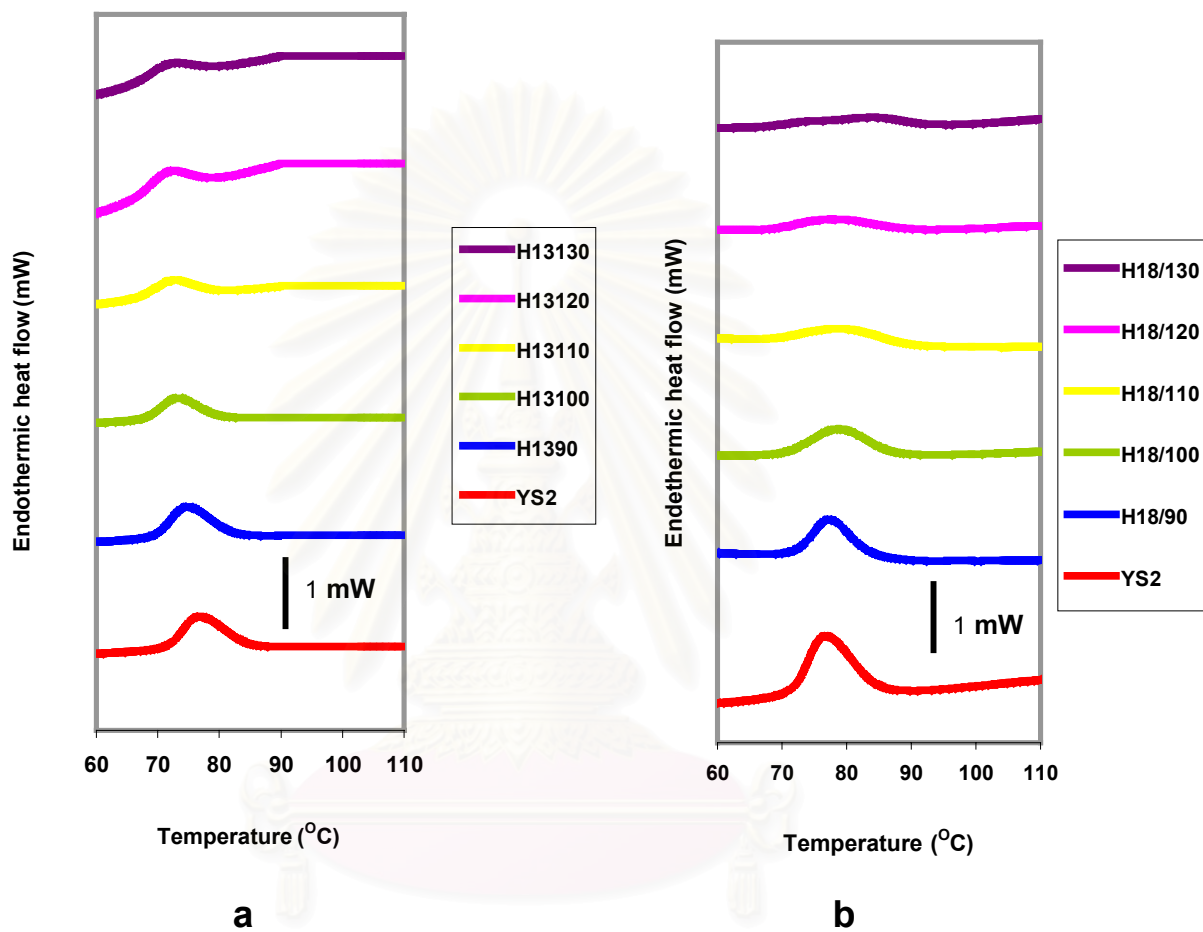
ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (°C)	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	T _c - T _o (°C)	ΔH (J/g)
13	90	69.5 ^{Ad} ±0.04	74.5 ^{Ad} ±0.13	81.9 ^{Abc} ±0.37	12.4 ^{Bca} ±0.33	11.9 ^{Bb} ±2.5
13	100	67.6 ^{Ac} ±0.16	73.0 ^{Ac} ±0.12	79.8 ^{Abc} ±0.13	12.1 ^{Aa} ±0.29	7.2 ^{Ca} ±1.3
13	110	66.3 ^{Ab} ±0.22	72.3 ^{Ab} ±0.34	79.1 ^{Aa} ±1.1	12.8 ^{Aa} ±1.4	6.8 ^{Ca} ±1.3
13	120	65.3 ^{Aa} ±0.08	71.6 ^{Aa} ±0.12	80.1 ^{Aabc} ±1.8	14.8 ^{Aa} ±1.8	10.3 ^{Cab} ±0.16
13	130	65.1 ^{Aa} ±0.07	71.8 ^{Aab} ±0.24	82.7 ^{Ac} ±0.36	17.6 ^{Ab} ±0.29	8.35 ^{Bab} ±0.11
18	90	71.9 ^{Bd} ±0.18	77.2 ^{Ba} ±0.11	83.5 ^{Ba} ±0.33	11.6 ^{Aa} ±0.5	7.0 ^{Abc} ±2.5
18	100	70.3 ^{Bc} ±0.3	78.6 ^{Bbc} ±0.1	86.7 ^{Bb} ±0.4	16.3 ^{Cb} ±0.1	7.2 ^{Bc} ±1.4
18	110	68.1 ^{Bb} ±0.2	79.2 ^{Bc} ±0.4	89.3 ^{Bc} ±0.0	21.2 ^{Cc} ±0.2	4 ^{Bab} ±0.0
18	120	68.3 ^{Bb} ±0.2	77.8 ^{Bab} ±0.7	88.7 ^{Bc} ±0.2	20.4 ^{Bc} ±0.0	2.9 ^{Aa} ±0.5
18	130	66.7 ^{Ca} ±0.4	83.5 ^{Cd} ±0.2	92.5 ^{Bd} ±0.1	25.8 ^{Cd} ±0.6	3.4 ^{Aa} ±0.7
22	90	75.2 ^{Cc} ±0.3	81.6 ^{Cb} ±0.0	89.3 ^{Ca} ±1.1	14.1 ^{Ca} ±1.4	12.6 ^{Bb} ±2.4
22	100	75.9 ^{Cc} ±0.4	83.8 ^{Cc} ±0.2	91.0 ^{Cab} ±0.0	15.1 ^{Ba} ±0.4	3.9 ^{Aa} ±0.3
22	110	71.6 ^{Cb} ±0.6	84.3 ^{Ccd} ±0.4	92.6 ^{Cb} ±0.5	20.9 ^{Cb} ±1.1	1.8 ^{ABa} ±1.1
22	120	71.5 ^{Cb} ±0.8	85.0 ^{Ed} ±0.2	97.9 ^{Cc} ±1.0	26.4 ^{Cc} ±0.2	5.5 ^{Ba} ±0.3
22	130	68.5 ^{Ca} ±0.2	77.0 ^{Ba} ±0.4	96.1 ^{Cc} ±0.5	27.6 ^{Cc} ±0.3	3.5 ^{Aa} ±3.0
26	90	79.3 ^{De} ±0.0	85.1 ^{Dc} ±0.1	91.8 ^{Da} ±0.5	12.5 ^{Bca} ±0.4	6.6 ^{Ac} ±0.8
26	100	78.9 ^{Dd} ±0.0	85.7 ^{Dcd} ±0.0	93.9 ^{Dab} ±0.0	15.1 ^{Bb} ±0.1	3.6 ^{Ab} ±0.6
26	110	77.0 ^{Dc} ±0.1	86.0 ^{Dd} ±0.1	95.2 ^{Dbc} ±0.0	18.2 ^{Bc} ±0.1	1.1 ^{Aa} ±0.4
26	120					
Peak ที่ 1		50.5±1.2	60.0±0.2	66.7±0.1	16.1±1.3	0.28±0.1
Peak ที่ 2		73.0 ^{Db} ±0.1	81.6 ^{Ca} ±0.1	97.2 ^{Cc} ±0.7	24.2 ^{Cd} ±0.8	2.9 ^{Ab} ±1.1
26	130					
Peak ที่ 1		51.2±0.1	59.6±0.2	66.7±0.3	15.2±0.4	0.4±0.0
Peak ที่ 2		71.8 ^{Da} ±0.3	83.9 ^{Cb} ±0.5	97.8 ^{Cdc} ±2.1	26.0 ^{Cd} ±1.8	2.7 ^{Ab} ±0.2

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) ผลวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร
ด้วยความร้อนขึ้น

ความชื้น (ร้อยละ)	อุณหภูมิ (°C)	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	T _c - T _o (°C)	ΔH (J/g)
30	90	80.8 ^{Ec} ±0.1	86.4 ^{Eb} ±0.0	93.5 ^{Ea} ±0.1	12.7 ^{BCa} ±0.2	11.5 ^{Ac} ±1.4
30	100	80.8 ^{Ec} ±0.1	88.3 ^{Ec} ±0.1	98.3 ^{Ebc} ±0.8	17.5 ^{Cb} ±0.9	6.1 ^{Ab} ±1.1
30	110					
Peak ที่ 1		50.3±0.9	60.4±0.8	72.2±0.1	21.9±1.0	1.3±0.5
Peak ที่ 2		81.1 ^{Ec} ±0.4	90.1 ^{Ed} ±0.7	100.6 ^{Ec} ±1.5	19.5 ^{BCbc} ±1.1	2.8 ^{Ba} ±1.0
30	120					
Peak ที่ 1		51.2±0.6	60.0±0.4	68.1±0.1	16.8±0.6	1.1±0.4
Peak ที่ 2		73.9 ^{Da} ±0.4	83.8 ^{Da} ±1.2	97.1 ^{Cb} ±1.5	23.2 ^{BCd} ±1.9	4.2 ^{Ba} ±0.1
30	130					
Peak ที่ 1		51.2±0.6	60.3±0.5	70.5±0.9	19.3±1.6	0.7±0.1
Peak ที่ 2		78.1 ^{Eb} ±0.4	88.6 ^{Dc} ±0.1	99.7 ^{Dbc} ±0.4	21.7 ^{Bcd} ±0.0	2.7 ^{Aa} ±0.1

A, B, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับความชื้นที่อุณหภูมิเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

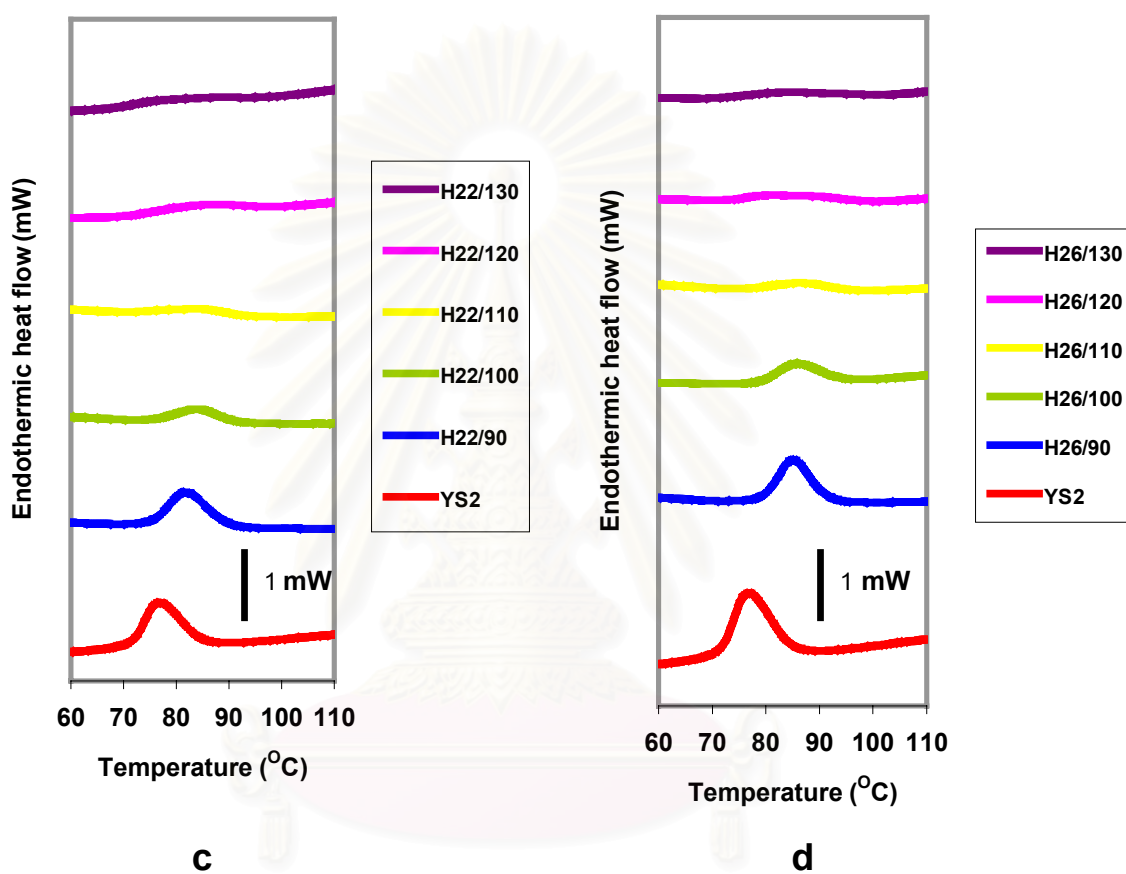
a, b, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับอุณหภูมิที่ความชื้นเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.12 Endothermic peak ของสตาร์ชจากถั่วเขียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

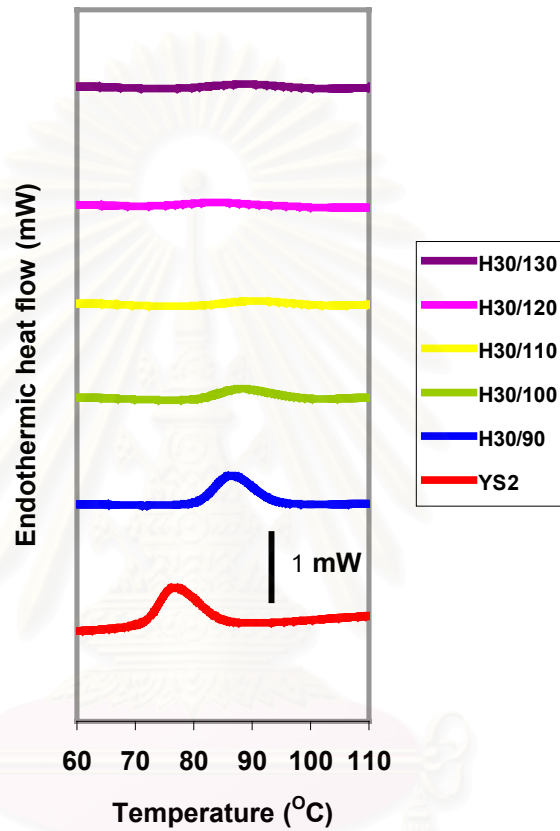
a. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 13

b. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 18



รูปที่ 4.12(ต่อ) Endothermic peak ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

- c. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 22
 d. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 26



e

รูปที่ 4.12 (ต่อ) Endothermic peak ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

e. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 30

เมื่อศึกษาการเกิด retrogradation ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น เมื่อเก็บเจลของสตาร์ชไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน ดังแสดงในตารางที่ 4.13 และ 4.14 และรูปที่ 4.13 พบว่า เจลของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีค่า $T_c - T_0$ สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ $T_c - T_0$ ของการเกิดเจลอะดิโนแซน เมื่อพิจารณาค่า ΔH_R พบว่าสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นทุกสภาวะมีค่า ΔH_R ต่ำกว่า ΔH_R ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการดัดแปร หมายถึงสตาร์ชหลังผ่านการดัดแปรมีความโน้มในการคืนตัวต่ำกว่าเจลของสตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นร้อยละ 22 26 และ 30 และช่วงอุณหภูมิในการดัดแปรเป็น 110 120 และ 130 องศาเซลเซียส มีค่า ΔH_R มากกว่าค่า ΔH ในการเกิดเจลอะดิโนแซนซึ่งสามารถบ่งบอกได้ว่าโครงร่างตาข่ายที่จัดเรียงตัวขึ้นใหม่นี้มีความแข็งแรงมากกว่าการจัดเรียงโครงร่างผลึกในสตาร์ชแกรนูลก่อนเกิดเจลอะดิโนแซน

ตารางที่ 4.13 Gelatinization temperature range ($T_c - T_0$) จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของเจลสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

Temp ($^{\circ}\text{C}$) MC (%)	90	100	110	120	130
13	25.0 ^{ABb} ±1.5	21.6 ^{Aa} ±1.1	24.2 ^{BCab} ±0.1	25.7 ^{BCb} ±0.6	25.5 ^{Bb} ±1.1
18	22.9 ^{Aa} ±1.8	23.1 ^{Aa} ±0.6	20.6 ^{ABa} ±0.7	21.2 ^{Aa} ±0.4	21.4 ^{Aa} ±0.1
22	27.1 ^{ABb} ±1.8	19.8 ^{Aa} ±0.4	19.4 ^{Aa} ±1.2	26.3 ^{Cb} ±0.1	21.3 ^{Aa} ±2.5
26	23.1 ^{Aab} ±1.6	23.0 ^{Aab} ±0.3	20.7 ^{ABa} ±0.2	23.5 ^{ABb} ±1.3	23.8 ^{ABb} ±0.9
30	28.3 ^{Ba} ±1.3	27.4 ^{Ba} ±3.2	26.3 ^{Ca} ±3.5	27.5 ^{Ca} ±1.5	26.6 ^{Ba} ±0.2

A, B, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับความชื้นที่อุณหภูมิเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

a, b, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับอุณหภูมิที่ความชื้นเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.14 Enthalpy of retrogradation (ΔH_R) จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของ
เจลสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

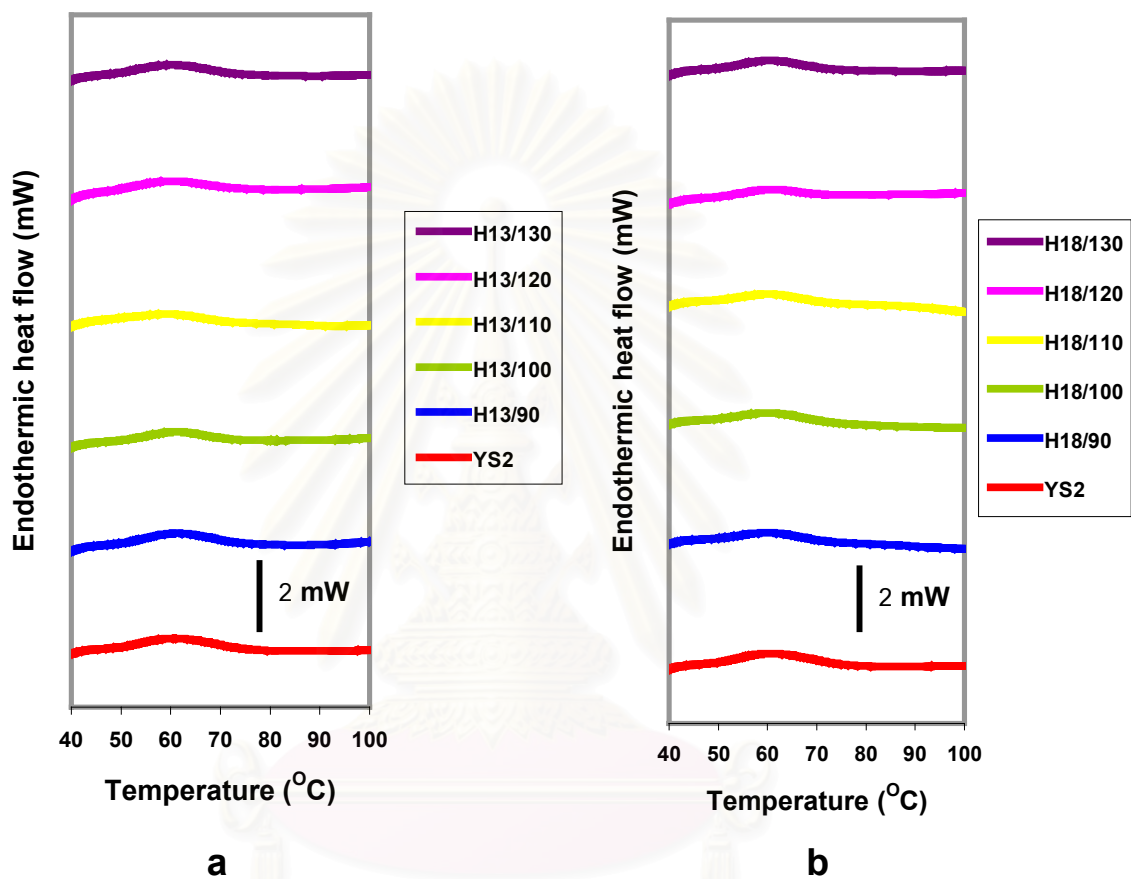
Temp ($^{\circ}$ C)	90	100	110	120	130
MC (%)					
13	7.9 ^{Bc} ±0.4	4.4 ^{ABa} ±1.2	5.3 ^{Bab} ±1.3	7.2 ^{Cbc} ±0.1	7.4 ^{Abc} ±0.2
18	3.5 ^{Ab} ±0.5	5.0 ^{ABb} ±0.8	3.2 ^{ABa} ±0.2	2.9 ^{Aa} ±0.8	4.2 ^{Ab} ±0.7
22	7.6 ^{Ba} ±1.1	2.9 ^{Aa} ±0.3	1.9 ^{Aa} ±1.0	8.3 ^{ABa} ±0.0	5.6 ^{Aa} ±4.8
26	2.9 ^{Aa} ±0.1	2.9 ^{Aa} ±0.6	1.5 ^{Aa} ±0.3	5.7 ^{ABb} ±1.8	7.3 ^{Ab} ±0.5
30	6.4 ^{Ba} ±1.2	8.1 ^{Ba} ±2.8	5.5 ^{Ba} ±2.3	9.3 ^{Ca} ±1.5	6.7 ^{Aa} ±0.2

A, B, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับความชื้นที่อุณหภูมิเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

a, b, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับอุณหภูมิที่ความชื้นเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



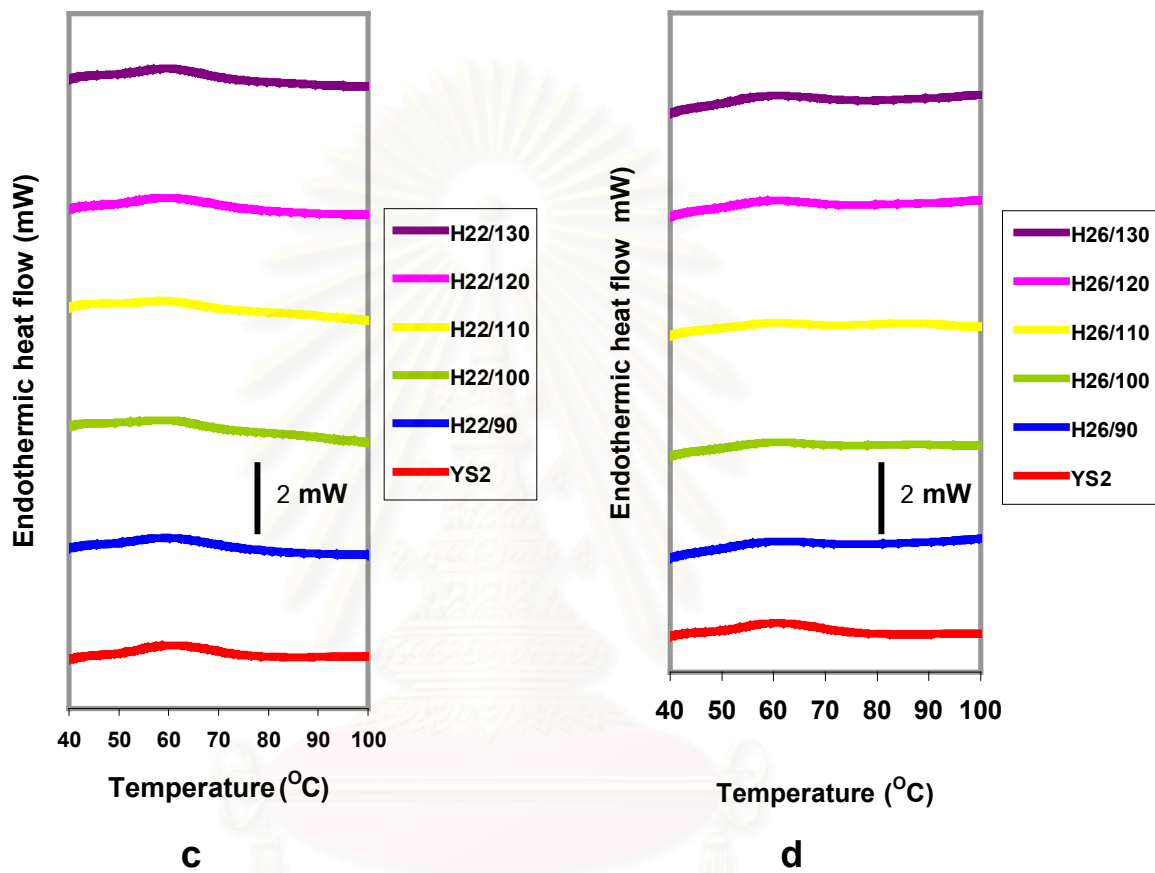
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 Endothermic peak ของเจลสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

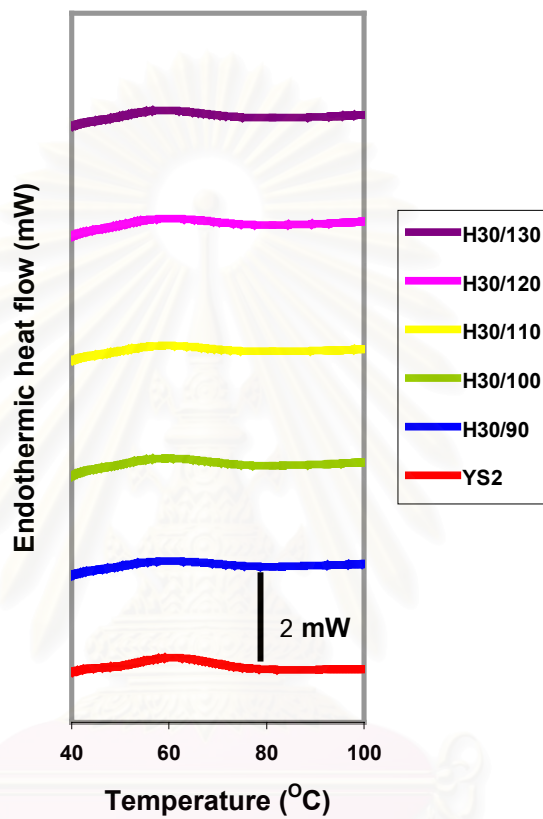
a. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 13

b. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 18



รูปที่ 4.13 (ต่อ) Endothermic peak ของเจลสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

- c. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 22
- d. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 26



e

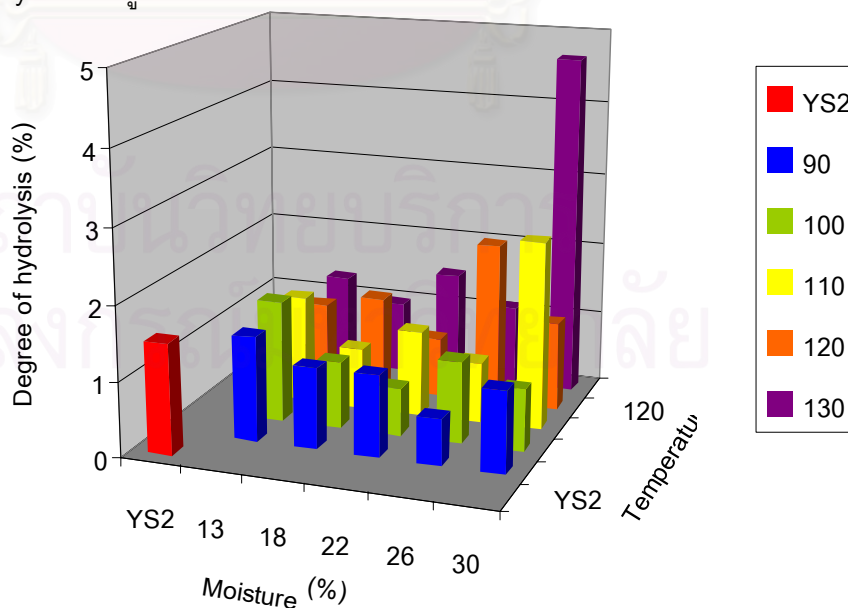
รูปที่ 4.13 (ต่อ) Endothermic peak ของเจลสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

e. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 30

4.3.6 ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียว ที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

Gallant (1974) กล่าวว่า ปัจจัยที่จำกัดขอบเขตความสามารถในการย่อยของเอนไซม์ คือพื้นผิวหน้าของสตาร์ชแกรนูลซึ่งเกี่ยวข้องกับความเป็นผลึก ต่อมา Planchot และคณะ (1997) พบว่าความเป็นผลึกเป็นปัจจัยสำคัญของอัตราเร็วและความสามารถในการย่อยของเอนไซม์ สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นเกือบทุกสภาวะการดัดแปรมีค่า degree of hydrolysis ต่ำกว่าสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการดัดแปร ยกเว้นสภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นและอุณหภูมิสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสภาวะการดัดแปรที่มีความชื้นร้อยละ 30 ที่อุณหภูมิการดัดแปร 130 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีค่า degree of hydrolysis สูงอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปแบบที่ 4.14 และตารางที่ 4.15

การเปลี่ยนโครงร่างผลึกของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นจากแบบ B เป็น A หรือ C ซึ่งทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างสายอะมิโลสกับสายอะมิโลส ด้วยกันเองหรือกับสายโซ่ตรงของอะมิโลเพคติน ส่งผลให้เอนไซม์เข้าไปตัดพันธะ α -1,4 glucosidic linkage ได้ยากขึ้น ทำให้ degree of hydrolysis ต่ำลง แต่การดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นในสภาวะที่มีระดับความชื้นและอุณหภูมิสูง ทำให้ผิวหน้าของแกรนูลของสตาร์ชเกิดรอยร้าวขึ้น (Gunaratne และ Hoover, 2002) และอาจเกิดจากสตาร์ชบางส่วนเกิด pregelatinization ขึ้นในระหว่างการดัดแปร ส่งผลให้เอนไซม์เข้าไปตัดพันธะ α -1,4 glucosidic linkage ที่อยู่ภายในแกรนูลได้มากขึ้น ทำให้ degree of hydrolysis มีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



รูปที่ 4.14 Degree of hydrolysis ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

ตารางที่ 4.15 Degree of hydrolysis ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร ด้วยความร้อนขึ้น

Temp (°C) MC (%)	90	100	110	120	130
13	1.4 ^{Dc} ±0.08	1.6 ^{Dd} ±0.06	1.5 ^{Cc} ±0.11	1.1 ^{Ba} ±0.06	1.3 ^{Cb} ±0.07
18	1.1 ^{Cd} ±0.04	0.9 ^{Bb} ±0.01	0.8 ^{Aa} ±0.00	1.3 ^{Ce} ±0.05	1.0 ^{Ac} ±0.02
22	0.9 ^{Bb} ±0.17	0.6 ^{Aa} ±0.05	1.1 ^{Bc} ±0.02	0.8 ^{Ab} ±0.02	1.5 ^{Dd} ±0.07
26	0.6 ^{Aa} ±0.03	1.1 ^{Cc} ±0.10	0.8 ^{Ab} ±0.07	2.2 ^{Dd} ±0.10	1.1 ^{Bc} ±0.00
30	1.1 ^{Cb} ±0.08	0.8 ^{Ba} ±0.05	2.5 ^{Dc} ±0.14	1.2 ^{BCb} ±0.02	4.7 ^{Ed} ±0.08

A, B, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับความชื้นที่อุณหภูมิเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

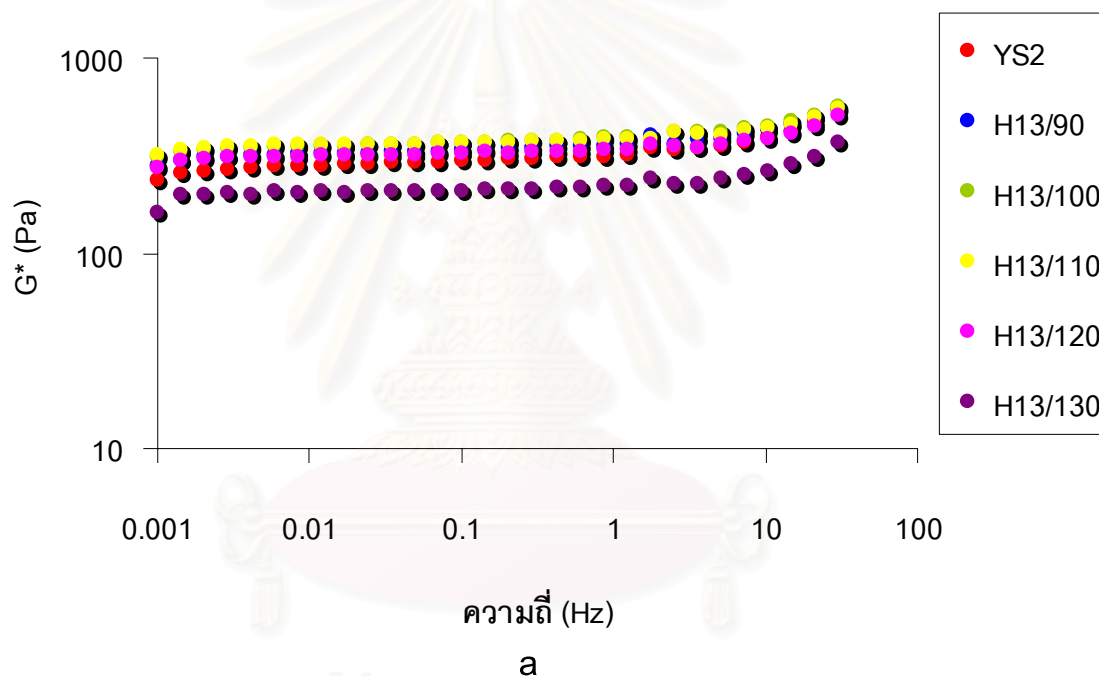
a, b, ... ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับอุณหภูมิที่ความชื้นเดียวกันหมายถึงค่าเฉลี่ยต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3.7 สมบัติทางการไหลของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร ด้วยความร้อนขึ้น

เจลของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะที่มีระดับความชื้นร้อยละ 13 ที่อุณหภูมิในการดัดแปร 90 100 110 และ 120 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.15 มีความแข็งแรงและคงทนต่อแรงกระทำมากกว่าเจลของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ไม่ผ่านการดัดแปร โดยมีค่า G^* สูงกว่าและคงที่ตลอดช่วงความถี่ ผลการทดลองนี้ชี้ให้เห็นว่าสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะ เหล่านี้ให้เพสต์ที่มีความแข็งแรงมากขึ้นซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกในหัวข้อ 4.3.2 กล่าวคือการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างผลึกจากแบบ B เป็น A หรือ C ของสตาร์ชจากกลอยที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นเกิดจาก dehydration หรือ vaporization ของโมเลกุลน้ำในช่องว่างของ unit cell ทำให้สายเกลียวคู่ที่อยู่ใกล้กันนั้นหันมาเกิดอันตรกิริยากันด้วยพันธะไฮโดรเจนมากขึ้นและการเกิดโครงสร้างผลึกอย่างไม่สมบูรณ์ในส่วนอสัณฐานอันเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยากันระหว่างสายอะมิโลสด้วยกันเองหรือสายอะมิโลสกับสายไซโตรงของอะมิโลเพคตินส่งผลให้โครงสร้างผลึกแข็งแรงขึ้นซึ่งทำให้เจลของสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรด้วยสภาวะดังกล่าวมีความแข็งแรงมากกว่าเจลของสตาร์ชที่ไม่ผ่านการดัดแปร

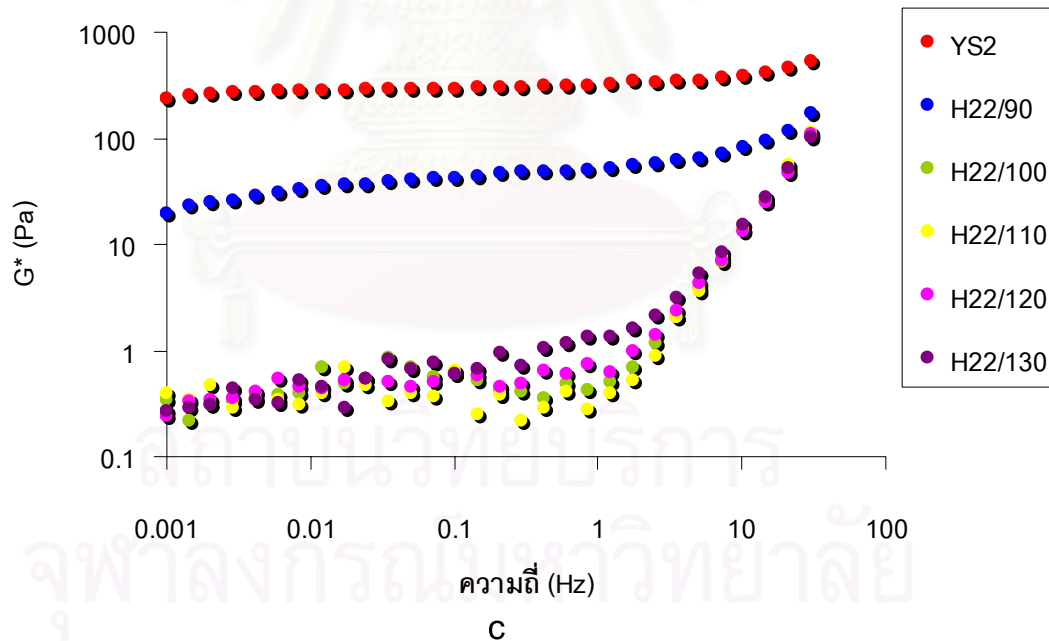
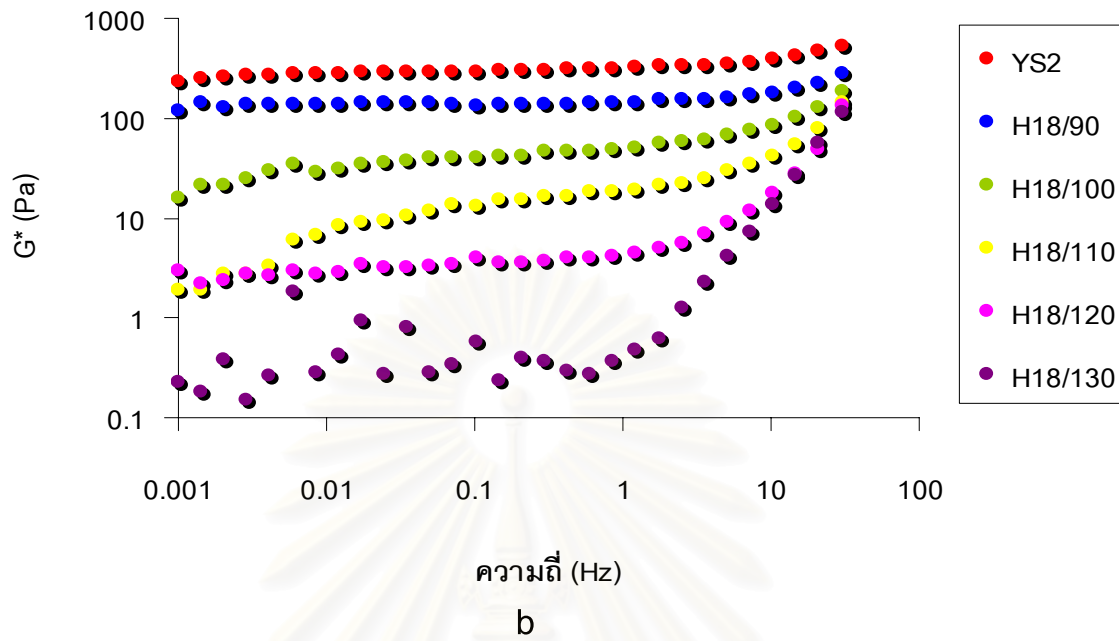
เจลของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นและอุณหภูมิสูงขึ้นมีค่า G^* ต่ำลงและไม่คงที่ตลอดช่วงความถี่ แสดงถึงเจลมีความแข็งแรงและคงทนต่อแรงกระทำน้อยลงและมีลักษณะคล้าย starch suspension

โดยสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรในช่วงความชื้นร้อยละ 18 ถึง 30 พบว่าที่ระดับความชื้นเดียวกัน เมื่ออุณหภูมิในการดัดแปรสูงขึ้น ค่า G^* ต่ำลงและเริ่มไม่คงที่ตลอดช่วงความถี่และเจลของสตาร์ชที่ผ่านการดัดแปรที่ระดับอุณหภูมิเดียวกันเมื่อระดับความชื้นเพิ่มขึ้น ค่า G^* ลดลงและไม่คงที่ตลอดช่วงความถี่เช่นเดียวกัน



รูปที่ 4.15 Complex modulus (G^*) ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

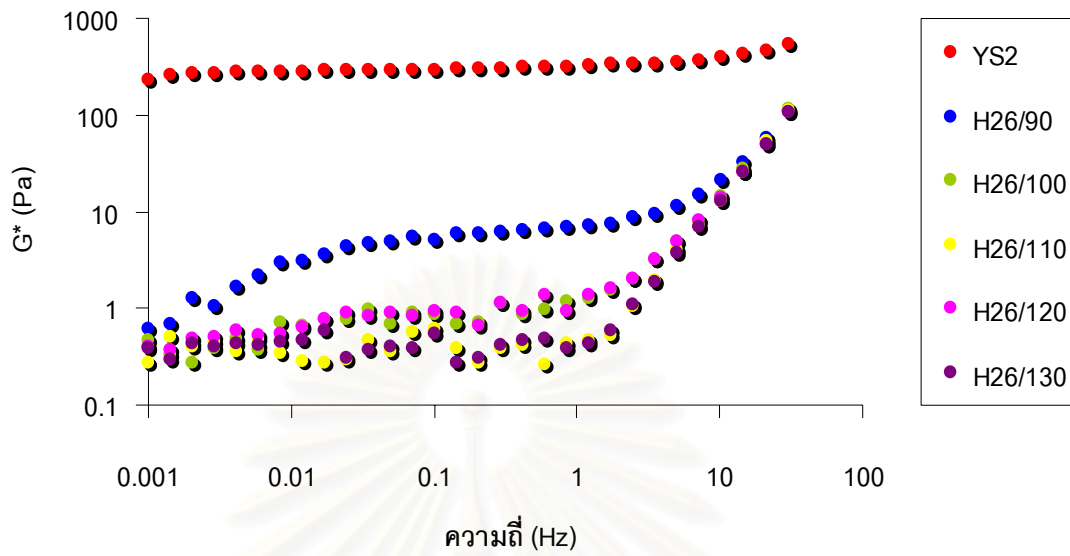
a. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 13



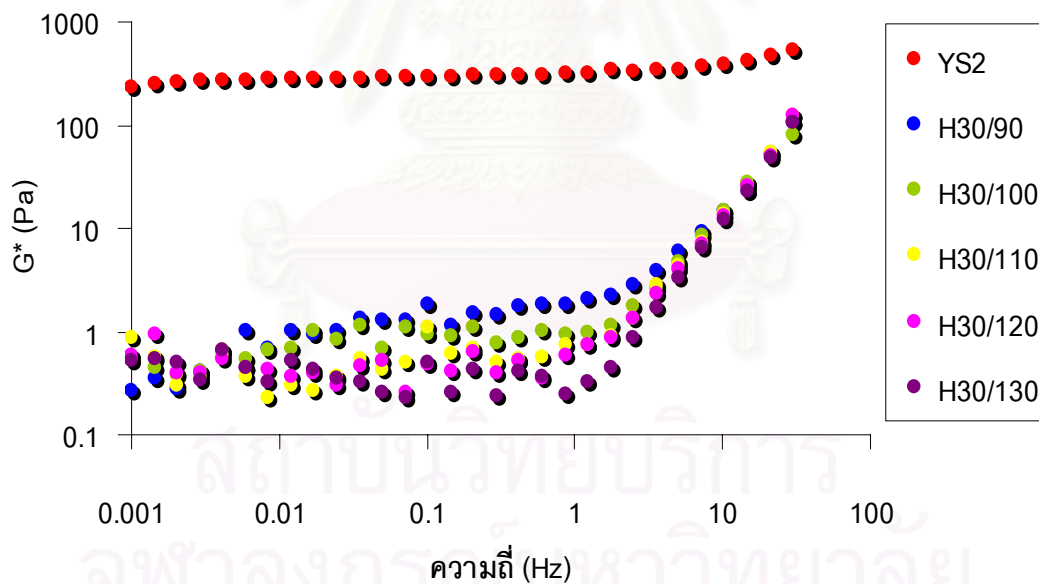
รูปที่ 4.15 (ต่อ) Complex modulus (G^*) ของสตาร์ซจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปร ด้วยความร้อนขึ้น

b. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 18

c. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 22



d



e

รูปที่ 4.15 (ต่อ) Complex modulus (G^*) ของสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้น

d. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 26

e. สภาวะการดัดแปรที่มีระดับความชื้นร้อยละ 30

แม้ว่าการตัดแปรสสารจากกลอยข้าวเหนียวด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะต่างๆ ไม่ทำให้ลักษณะและรูปร่างของสสารขุ่นเปลี่ยนไป แต่การตัดแปรดังกล่าวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพันธะภายในของสายอะมิโลสและอะมิโลเพคตินที่สามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างผลึกซึ่งส่งผลให้สมบัติทางกายภาพด้านต่างๆของสสารจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการตัดแปรด้วยความร้อนขึ้นเปลี่ยนแปลงไป



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอนแนะ

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิดที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นมีปริมาณอะมิโลสสูงอยู่ในช่วงร้อยละ 37 ถึง 40 โดยอยู่ในรูปของ amylose-lipid complex น้อยกว่าร้อยละ 1.5 มีขนาดแกรนูลเฉลี่ย 3.7 ถึง 4.0 ไมครอน โครงร่างผลึกเป็นแบบ B มีกำลังการพองตัวและปริมาณ amylose leaching ที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียสต่ำกว่าร้อยละ 16 และ 15 ตามลำดับ เอนไซม์อะมิเลสและอะมิโลกลูโคซิเดสย่อยสตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิดนี้ได้น้อย โดยมีค่า degree of hydrolysis ประมาณร้อยละ 1.5 ถึง 1.8 เท่านั้น สตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิดต้องการอุณหภูมิสูงและปริมาณความร้อนสูงเพื่อทำให้เกิดเจลลิตีในเซชัน โดยอุณหภูมิของการเกิดเจลลิตีในเซชันอยู่ในช่วง 71 ถึง 85 องศาเซลเซียส และมีค่า ΔH ประมาณ 14 ถึง 16 J/g การเกิดเจลลิตีในเซชันของสารแขวนลอยสตาร์ชที่ความเข้มข้นร้อยละ 7 (w/w) ให้เจลที่มีค่า G^* ประมาณ 400 Pascal ในช่วงความถี่ 0.001 ถึง 30 Hz. ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งผลการทดลองเหล่านี้บ่งว่าภายในสตาร์ชแกรนูลของกลอยมีพันธะระหว่างสายโซ่ของอะมิโลสกับสายโซ่ตรงของอะมิโลเพคตินบางส่วนทั้งในส่วนอสัณฐานและส่วนผลึก ซึ่งคาดว่าพันธะนี้ในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังบ่งว่ามีปริมาณสายเกลียวคู่ที่เกิดจากสายโซ่ตรงของอะมิโลเพคตินที่อยู่ด้านนอกสุดและการจัดเรียงโครงร่างผลึกมีความเป็นระเบียบมาก ส่งผลให้ความแข็งแรงของผลึกสูง สตาร์ชจากกลอยทั้ง 2 ชนิดมีอุณหภูมิลำดับเริ่มเกิดความเหนียวข้นสูง คือ 79.6 ถึง 78.3 องศาเซลเซียส ในขณะที่ความเหนียวข้นสูงสุด ความคงทนต่อแรงเฉือนและความร้อนปานกลาง และมีค่าการคืนตัวต่ำค่า ΔH เมื่อทดสอบด้วย DSC อยู่ในช่วง 14.3 – 16.4 J/g และหลังจากเก็บเจลสตาร์ชที่อุณหภูมิ 4 °C 14 วัน พบว่ามีค่า ΔH_R อยู่ในช่วง 7.7 – 8.8 J/g

การดัดแปรสตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะต่างกัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงร่างผลึกซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพด้านต่างๆ โดยสามารถจำแนกการเปลี่ยนแปลงได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะที่มีระดับความชื้นร้อยละ 13 อุณหภูมิในการดัดแปรตั้งแต่ 90 ถึง 130 องศาเซลเซียส มีโครงร่างผลึกเปลี่ยนไปเป็นแบบ C และ A ส่งผลให้สตาร์ชมีช่วง breakdown ต่ำลง และมีช่วง setback สูงขึ้น เจลของ

สตาร์ซมีค่า G^* สูงขึ้นและคงที่ตลอดช่วงความถี่ แสดงถึงสตาร์ซจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะดังกล่าวมีความสามารถในการเกิดเจลได้ดีขึ้น จากผลการทดลองนี้สามารถสรุปได้ว่าการดัดแปรในสภาวะที่มีความชื้นร้อยละ 13 และอุณหภูมิในช่วง 90 ถึง 130 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกิดการเพิ่มปริมาณอันตรกิริยาระหว่างสายเกลียวคู่ของอะมิโลเพคติน นอกจากนี้พบว่าการเกิดโครงร่างผลึกอย่างไม่สมบูรณ์ในส่วนอสัณฐาน อันเนื่องมาจากการเกิดอันตรกิริยากันระหว่างสายอะมิโลสด้วยกันเองหรือสายอะมิโลสกับสายไซโตรงของอะมิโลเพคตินซึ่งช่วยเสริมสร้างความแข็งแรงของสตาร์ซแกรนูล

สตาร์ซจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่สภาวะที่มีระดับความชื้นในช่วงร้อยละ 18 ถึง 30 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีโครงร่างผลึกเป็นแบบ B เช่นเดิมไม่เปลี่ยนแปลง สตาร์ซมีค่า setback ต่ำ และไม่มีความสามารถในการเกิดเจลที่แข็งแรงโดยมีค่า G^* ต่ำและไม่คงที่ตลอดช่วงความถี่ในการทดสอบ ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ในสตาร์ซที่ผ่านการดัดแปรที่สภาวะที่มีระดับความชื้นในช่วงร้อยละ 18 ถึง 30 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส มีสายเกลียวคู่ของอะมิโลเพคตินบางส่วนถูกทำลายไปในระหว่างการดัดแปร และบางส่วนส่งผลให้เกิดอันตรกิริยากันผ่านทาง hydrate water bridge เนื่องจากปริมาณความชื้นที่สูงในการดัดแปร ทำให้ความแข็งแรงของสตาร์ซแกรนูลลดลง

จากสมบัติด้านต่างๆของสตาร์ซจากกลอยทั้ง 2 ชนิดที่ไม่ผ่านการดัดแปร โดยเฉพาะการมีช่วง breakdown และ setback ที่ต่ำ ซึ่งแสดงถึงสตาร์ซจากกลอยมีความคงทนต่อแรงกวนและความร้อนสูงได้ดี แต่เกิดการคืนตัวยากจึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ประกอบอาหารประเภทซุ๊ปข้นหรือซอสได้ สำหรับสตาร์ซจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นร้อยละ 13 ที่อุณหภูมิในช่วง 90 ถึง 120 องศาเซลเซียสซึ่งมีแนวโน้มในการเกิดการคืนตัวเพิ่มขึ้นสามารถนำไปใช้ทำอาหารประเภทที่เป็นเส้น เช่น วุ้นเส้นหรือเส้นก๋วยเตี๋ยว โดยอาจใช้ทดแทนสตาร์ซอื่นที่ใช้อยู่บางส่วนได้

รายการอ้างอิง

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ธัญชาติและพืชหัว. กรุงเทพฯ : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ดุษฐ์ พลภัทรพิเศษกุล และ ศิริวรรณ ลือดัง. 2544. กลอยเป็นพืช. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์
สาธารณสุข กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์[online]. Available from : <http://www.moph.go.th>.
[2002, Jan, 25]
- ทิพย์พรรณ สดากร. กันยายน - ตุลาคม 2536. กลอย. กสิกร. 491-492.
- มอก. 274 – 2521. มาตรฐานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์
อุตสาหกรรม. กระทรวงอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร.
- ศิริพร เหลียงประกอบกิจ. 2541. กลอย พืชพืชที่รับประทานได้. จุลสารข้อมูลสมุนไพร ปีที่ 15 ฉบับที่
4 กรกฎาคม. Available from : <http://www.medplant.mahidol.ac.th>. [2002, April 19]
- ศิริพรรณ หวังอารีย์ และ นพรัตน์ แซ่อึ้ง. 2528. การศึกษาค้นคว้าข้อมูลเกี่ยวกับแป้งภายในประเทศ.
งานวิจัยโครงการเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์ระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชา
เทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักงานปลัดกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและการพลังงาน. 2533. ผลิตภัณฑ์กลอย. รายงาน
กิจกรรมกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 48 :141-148.
- สมพร สุริยันต์. พฤกษิกายน - ธันวาคม 2543. กลอย พืชพื้นบ้าน. กสิกร. 628-630.
- สมสุข ศรีจักรวาท และ ปราโมทย์ เกิดศิริ. 2543. วิจัยการเจริญเติบโตและผลผลิตของกลอย. การ
ประชุมวิชาการกองพิษศาสตร์และวัชพืชเรื่องความก้าวหน้างานวิจัยด้านความหลากหลาย
ทางชีวภาพ สมุนไพรและวัชพืช 2543 : 276-277.
- Anthony, U., The yam tuber in storage. 1st ed. (Benin : Posthavest Research Unit
Department of Biochemistry University of Benin, 1992)
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official method of analysis.
The Association of Official Analytical Chemists. Virginia.
- Chrastil, J. 1986. Improved colorimetric determination of amylose in starches of flours.
Carbohydr. Res. 159 : 157-158.

- Ciacco, C., F., and D'Appolonia, B. L. 1978. Baking studies with cassava and yam. II. Rheological and baking studies of tuber - wheat flour blends. Cereal Chem. 55(4) : 423-425.
- Collado, L. S., Mabesa, L. B., and Corke, H. 2001. Bihon - type noodles from heat – moisture - treated sweet potato starch. J. Food Sci. 66 : 604-609.
- Coursey, D. G. 1967. Yams. London : Tropical Product Institute.
- Donovan, J. w. 1979. Phase transitions of starch – water system. Biopolymers. 18 : 263-375.
Cited in Hoover, R. and Manuel, H. 1996. Effect of heat – moisture treatment on the structure and physicochemical properties of legume starches. Food Res. Inter. 29(8) : 731-750.
- Donovan, J. W., Lorenz, K., and Kulp, K. 1983. Differential scanning calorimetry of heat – moisture treated wheat and potato starches. Cereal Chem. 60(5) : 381-387.
- Eerlingen, R. C., Jacobs, H., Block, K. and Delcour, J. A. 1997. Effects of hydrothermal treatments of the rheological properties of potato starch. Carbohydr. Res. 297 : 347-356.
- Farhat, I. A., Oguntona, T. and Neale, R. J. 1999. Characterisation of starches from west Africa yam. J. Sci food Agric. 79 : 2105-2112.
- Freilas, R. A., Paula, R. C., Feitosa, J. P. A., Rocha, S. and Sierakowski, M. R. 2004. Amylose contents, rheological properties and gelatinization kinetics of yam (*Dioscorea alata*) and cassava (*Manihot utilissima*) starches. Carbohydr. Polym. 55(1) : 3-8.
- Gallant, D. J. 1974. Contribution à l'étude de la structure et de l' ultra structure de l' amidon. Thèse de Doctorat d' Etat : Univ. Paris. Cited in Gunaratne ,A. and Hoover, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. Carbohydr. Polym. 49(4) : 425-437.
- Gebre-Mariam, T., and Schmidt, P. C. 1998. Some physico-chemical properties of Dioscorea starch from Ethiopia. Starch / Stärke. 50(6) : 241-246.

- Gunaratne ,A. and Hoover, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. Carbohydr. Polym. 49(4) : 425-437.
- Hoover, R., and Vasanthan, T. 1994. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume and tuber starches. Carbohydr. Res. 252 : 33-53.
- Hoover, R., Vasanthan, T., Senanayake, N. J., and Martin, A. M. 1994. Effect of defatting and heat - moisture treatment on the retrogradation of starch gels from wheat, oat, potato and lentil. Carbohydr. Res. 261 : 13-24.
- Imberty, A., Chanzy, H. and Pe'rez, S. 1987. New three-dimensional structure for A-type starch. Macromolecules. 20 : 2634.
- Imberty, A. and Pe'rez, S. 1988. A revisit to the three-dimensional structure of B-type starch. Biopolymers. 27 : 1205.
- Imberty, A. and Pe'rez, S. 1989. Conformational analysis and molecular modeling of the branching point of amylopectin. International Journal of Macromolecules, 11 : 177-185. Cited in Gunaratne ,A. and Hoover, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. Carbohydr. Polym. 49(4) : 425-437
- Jacobs, H. and Delcour, J. A. 1998. Hydrothermal modifications of granule starch, with retention of granule structure : A Review. J. Agric. Food Chem. 46(8) : 2895-2905.
- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Sci. Today. 16(10) : 334-336.
- Karim, A. A., Norziah, M. H. and Seow, C. C. 2000. Methods for the study of starch retrogradation. Food Chem. 71 : 9-36.
- Kawabata, A., Takase, N., Miyoshi, E., Tokyo, Sawayama, S., Kimura, T., Saitama, and Kudo, K. 1994. Microscopic observation and X-ray diffractometry of heat / moisture - treated starch granules. Starch / Stärke. 46 : 463-469.
- Leach, H. W., McCowen, L. D. and Schoch, T. J. 1959. Structure of the starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. Cereal Chem. 36 : 534-544.

- Manners, D. J. 1989. Recent developments in our understanding of amylopectin structure. Carbohydr. Polym. 11 : 87-112
- Martin, F. W., and Ruberts, R. 1975. Flours made from yams (*Dioscorea spp.*) as a substitute for wheatflour. J. of Agr. Univ. Puerto Ricco. 59 : 255-263. Cited in Anthony, U. The yam tuber in storage. 1st ed. (Benin : Posthavest Research Unit Department of Biochemistry University of Benin, 1992)
- Nelson, N. 1994. Determination of glucose. J. Biol. Chem. 153 : 375 – 380.
- Norbert, U. H., Mintus, T., and Detmold, D. W. 1995. Viscosity measurement of potato starch paste with Rapid Visco Analyzer. Starch / Stärke. 47 : 123-126.
- Planchot, V., Colonna, P., Buleon, A. and Gallant, D. 1997. Amylolysis of starch granules and α -glucan crystallites. Cited in Gunaratne ,A. and Hoover, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. Carbohydr. Polym. 49(4) : 425-437.
- Rasper, V., Resper, J., and Mabey, G. L. 1974. Functional properties of non-wheat flour substitutes in composite flour.I. The effect of non-wheat starches in composite dough. Can. Inst. Food Sci.Technol. J. 7 : 86. Cited in Anthony, U. The yam tuber in storage. 1st ed. (Benin : Posthavest Research Unit Department of Biochemistry University of Benin, 1992)
- Steffe, J. F, Rheological methods in food process engineering, 2nd ed (USA: Freeman Press, 1996), p.324-330.
- Stute, R., and Heilbronn. 1992. Hydrothermal modification of starches : the difference between annealing and heat / moisture – treatment. Starch / Stärke. 44 : 205-214.
- Violeta, B. S., Lawrence. R. Mal, S., and Harold, C. 1998. Genetic variation in physical properties of flour from selected Asian yams (*Dioscorea spp.*). Tropical Agriculture(Trinidad). 75(2) : 212-216.
- Wang, W. J., Powell, A. D., and Oates, C. G. 1995. Pattern of enzyme hydrolysis in raw sago starch : effects of processing history. Carbohydr. Polym. 26 : 91-97.
- Yu, B., Fujii, S. and Kishihara, S. 1999. Physicochemical property of Huaishan (*Rhizoma Dioscorea*) and Matai (*Eleocharis dulcis*) starches. Starch / Stärke. 51 : 5-10.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก. 1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC 925.10 (1995)

อุปกรณ์

ตู้อบลมร้อน WTE Binder รุ่น E-53

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 – 5 กรัม ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมซึ่งอบแห้งและทราบน้ำหนักแล้ว
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ 100 ± 2 องศาเซลเซียส โดยเปิดฝาไว้ เป็นเวลา 16 – 18 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ยังอยู่ในตู้อบ แล้วทิ้งให้เย็นใน desiccator และชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาค่าความชื้นจากสมการ

$$\text{ความชื้น (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

ก. 2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC 920.87 (1995)

อุปกรณ์

1. Gerhardt Kjeldatherm Digestion Unit
2. Gerhardt Vapodest

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 1.5 กรัม ใส่ใน Kjeldahl tube แล้วใส่ antibumping beads 2 – 3 เม็ด
2. เติมนสารเร่งปฏิกิริยา(คอปเปอร์ซัลเฟต 7 กรัม กับ โบแตสเซียมซัลเฟต 100 กรัม) 3 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิลิตร
3. นำไปย่อยด้วยเครื่อง Kjeldatherm ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในการย่อยเป็นช่วงที่ 1 ใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 – 20 นาที

ช่วงที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 – 2.0 ชั่วโมง หรือจนตัว
อย่างใดเป็นสีเขียวย่อนหรือไม่มีสี แล้วปล่อยให้เย็นไปอีก 30 นาที

4. ทิ้งให้เย็นแล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่น 30 มิลลิลิตร ต่อกjeldahl tube เข้ากับเครื่อง
Vapodest I เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 50% จนตัวอย่างกลายเป็น
สีดำ
5. รองรับสารที่กลั่นด้วยสารละลายกรดบอริกที่มีความเข้มข้น 4 % ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
ซึ่งเติมอินดิเคเตอร์ (เมทริลเรดจำนวน 0.125 กรัม และ เมธิลสีนบูล จำนวน 0.0825 กรัม
ในเอทานอล(90 %) ปริมาตร 100 มิลลิลิตร) 3 – 4 หยด
6. กลั่นตัวอย่างจนในขวดรองรับมีสารละลายปริมาตร 200 มิลลิลิตร
7. หยุดกลั่นแล้วนำสารละลายในขวดรองรับมาไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดร
คลอริก ความเข้มข้น 0.1 N จนสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วง
8. คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีน

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน(\%)} = \frac{\text{ปริมาณกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้} \times \text{ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก(N)} \times 14}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง(กรัม)} \times 10}$$

$$\text{ปริมาณโปรตีน(\%)} = \text{ปริมาณไนโตรเจน} \times 6.25$$

ก. 3 การวิเคราะห์ไขมัน ตามวิธีของ AOAC (1995)

อุปกรณ์

Soxtec Automatic รุ่น 2050

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 ใส่ใน thimble
2. ใส่ thimble ซึ่งมีตัวอย่างผลิตภัณฑ์บรรจุอยู่ในถ้วยอลูมิเนียมสำหรับสกัดที่แห้งสนิทและ
ทราบน้ำหนักแน่นอน
3. เติม petroleum ether ซึ่งใช้เป็นตัวสกัด 80 มิลลิลิตร ลงในถ้วยสกัด
4. สกัดไขมันเป็นเวลา 3 – 4 ชั่วโมงโดยควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส
5. ระเหยส่วนของ petroleum ether ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบถ้วยสกัดที่อุณหภูมิ
100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่

6. ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักถ้วยสกัด คำนวณปริมาณไขมัน

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

ก. 4 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย ตามวิธีของ AOAC 978.10(1995)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (oven) WTE Binder รุ่น E 53
2. เตาเผา (muffle furnace carbolite รุ่น Mel 11 – 2)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 2 กรัม ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 ml
2. เติมกรดซัลฟูริกความเข้มข้น 1.25 % ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ต้มให้สารละลายเดือดตลอดเวลา 30 นาที และสังเกตไม่ให้ปริมาตรของสารละลายลดลง หากลดลงให้เติมน้ำร้อนลงไป
3. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วยกรดผ่านกรวยบุชเนอร์เซรามิกที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 mmHg ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด
4. นำกากที่ได้มาย่อยต่อด้วยสารละลายไฮเดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25 % ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ในบีกเกอร์โดยต้มให้สารละลายเดือดตลอดเวลา 30 นาที และควบคุมปริมาตรเช่นเดียวกับข้อ 2
5. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วยด่างผ่านกรวยบุชเนอร์ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 mmHg ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ด่าง
6. ละลายตัวอย่างกากที่ติดกระดาษกรองด้วยน้ำกลั่นที่ร้อน แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
7. ล้างกากที่ได้ด้วยแอลกอฮอล์ปริมาตร 25 มิลลิลิตร อีก 2 ครั้ง
8. นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ $130 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
9. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักจะได้เป็นน้ำหนักก่อนเผา
10. นำตัวอย่างใส่ใน crucible ที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
11. เผา crucible พร้อมตัวอย่างที่อุณหภูมิ $600 \pm 15^\circ\text{C}$ จนได้เถ้าเป็นสีขาว

12. ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
13. ชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา คำนวณหาปริมาณเส้นใย

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

ก. 5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC 923.03 (1995)

อุปกรณ์

เตาเผา (muffle furnace carbolite รุ่น Mel 11 – 2)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างน้ำหนัก 2 กรัม ใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
2. นำตัวอย่างไปเผาบน hot plate จนหมดควัน
3. นำไปเผาต่อในเตาเผาที่ 600 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จนเถ้าเปลี่ยนเป็นสีขาว
4. ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator
5. ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณเถ้า

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

ก. 6 การหาปริมาณคาร์โบไฮเดรต

วิธีคำนวณ

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

สถาบันวิจัยปศุสัตว์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก. 7 การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส ดัดแปลงจากวิธีของ Juliano (1971), Chrastil (1986) และ Gunaratne and Hoover (2002)

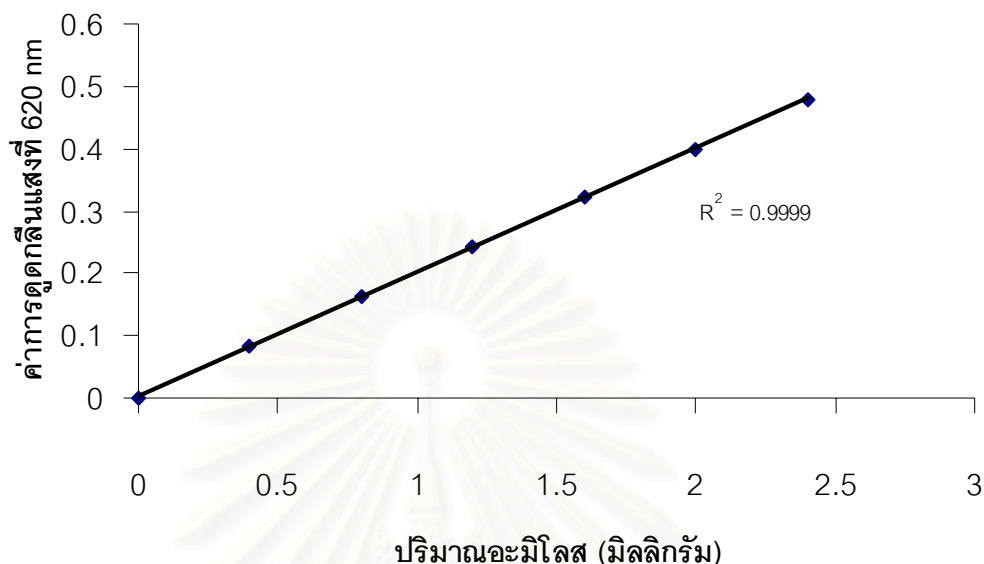
อุปกรณ์

เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Lambda 25 UV/VIS spectrometer)

วิธีทดลอง

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งอะมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง น้ำหนักแน่นอน 0.0400 กรัม ใส่ในพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. เตรียม Blank โดยเติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตรและเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ให้ความร้อนกับสารละลายในข้อ 1 และ 2 ในอ่างน้ำเดือด 5 – 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะสารละลายอะมิโลสในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะสารละลายอะมิโลสออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 ปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร 5 ขวด
6. ปิเปตสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรทั้ง 5 ใบตามลำดับ
7. เติมน้ำละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
8. ชะ Blank ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นปิเปตสารละลายมา 5 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายกรดอะซิติก ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ Blank
10. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณอะมิโลส ดังภาพ



รูปที่ 4.16 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส

การวิเคราะห์ปริมาณ apparent amylose

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างสตาร์ชซึ่งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh แล้วประมาณ 100 มิลลิกรัม ใส่ในพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 – 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ใช้น้ำแบ่งใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นหรือน้ำแบ่งออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรโดยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N มา 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ Blank

7. จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ นำไปอ่านค่าจากกราฟแล้วคำนวณหาปริมาณอะมิโลสดังสมการต่อไปนี้

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

การวิเคราะห์ปริมาณ total amylose

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างซึ่งร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh แล้ว ประมาณ 100 มิลลิกรัม ใส่ในหลอด centrifuge
2. เติมเมธานอล 85% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ต้มในอ่างน้ำเดือดอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้แท่งแก้วคนบางครั้งคราว แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ rpm เป็นเวลา นาที เทส่วนที่เป็นเมธานอลทิ้งไป
4. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และ เอธิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอด centrifuge ที่มีตะกอนสตาร์ชที่สกัดเอาไขมันออกแล้ว เขย่าให้เข้ากัน
8. ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 – 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
9. ชะน้ำแบ่งใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะน้ำแบ่งออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรโดยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
10. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N มา 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
11. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ Blank
12. จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ นำไปอ่านค่าจากกราฟแล้วคำนวณหาปริมาณอะมิโลส

การวิเคราะห์ปริมาณ amylose – lipid complex

วิธีคำนวณ

$$\text{amylose – lipid complex} = \frac{(\text{total amylose} - \text{apparent amylose})}{\text{total amylose}} \times 100$$

ก. 8 ลักษณะรูปร่างของสสารขัณฑ์กรณูลโดยใช้ Scanning Electron Microscope(SEM) ตามวิธีการวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) JEOL รุ่น JSM-5800 LV
2. เครื่องฉาบทอง (Ion sputter) Balzers Union รุ่น SCD 040

วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างแบ่งติดบน stub โดยใช้เทปกาวสองหน้าหรือกาว
2. ฉาบด้วยทองหนา 20-30 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง Ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V Sputter Coater
3. บันทึกภาพโครงสร้างของตัวอย่างด้วย SEM ความดันที่ 20 kV ใช้กำลังขยาย 5,000 และ 15,000 เท่า
4. วิเคราะห์พื้นผิวของสสารขัณฑ์กรณูลจากภาพที่บันทึกได้

ก. 9 ขนาดของสสารขัณฑ์กรณูลโดยเครื่อง Laser light scattering particle size analyzer ตามวิธีการวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์

Laser light scattering particle size analyzer (Marvern Technology)

วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายตัวอย่างสสารขัณฑ์กรณูลความเข้มข้น 0.0320 – 0.0550%(w/v)
2. ประกอบเครื่องโดยใส่เลนส์(300RF) และเซลล์ใส่ตัวอย่างเข้ากับตัวเครื่อง
3. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 15 นาที(warming) เพื่อให้แสงเลเซอร์เข้าสู่สมดุล
4. ใช้น้ำกลั่นในการปรับค่า background ของเครื่องก่อนวิเคราะห์ตัวอย่าง
5. นำสารละลายสสารขัณฑ์กรณูลใส่ในเซลล์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง รอจนกว่าค่า obscuration อยู่ระหว่าง 10 – 30 %

6. ประมวลผลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ หาขนาดอนุภาคสสารที่มีมากที่สุดและสร้างกราฟการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเม็ดสสาร

ก. 10 ศึกษาโครงสร้างผลึกของสสารแกรนูล โดยใช้เครื่อง X-ray diffractometer และวิเคราะห์ pattern ตามวิธีวิเคราะห์ของสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ
อุปกรณ์

X-ray diffractometer (JEOL รุ่น JDX-8030)

วิธีทดลอง

- นำตัวอย่างสสารโรยบน sample plate แล้วกด sample plate ให้สสารแกรนูลเรียงตัวอัดกันแน่น
- นำ sample plate ใส่เข้าเครื่อง X-ray diffractometer ที่ช่อง sample holder แล้วเปิดเครื่อง (warming) ทิ้งไว้ อย่างน้อย 15 นาที
- วัดค่าในช่วงมุมที่ต้องการ โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมสถานะโดยมีรายละเอียดดังนี้

Target	:	Cu
KV	:	45.0 kV
MA	:	35.0 mA
Start angle	:	5.00 deg.
Stop angle	:	45 deg.
Step angle	:	0.040 deg.
M.time	:	1.50 sec.

- วิเคราะห์ X-ray diffraction pattern โดยเทียบค่า 2θ , d-spacing, และ Intensity ที่ได้กับลักษณะโครงสร้างผลึกของสสารที่เป็น pattern มาตรฐานดังตาราง ก. 1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งที่เป็นแบบ A , B และ C

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

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

ที่มา : Zobel (1964)

ก. 11 กำลังการพองตัว (Swelling power) ตัดแปลงมาจากวิธีของ Schoch (1964)

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge thermo IEC รุ่น IEC MultiRF)
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)
3. ตู้อบลมร้อน (oven) (WTE Binder รุ่น E 53)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างสตาร์ช 0.5 กรัม (น้ำหนักแห้ง) ใส่หลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยง (ทราบน้ำหนักแล้ว)
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร
3. แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส กวนเป็นระยะๆ เป็นเวลานาน 30 นาที

4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 2,200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
5. เทของเหลวส่วนบนในใส่ภาชนะที่ทราบน้ำหนักให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ และนำไปอบให้แห้งในตู้อบไฟฟ้าอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
6. ชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนแบ่งเปียกในหลอดนำมาชั่งเป็นน้ำหนักสตาร์ชที่พองตัว คำนวณค่ากำลังการพองตัว

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

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักแบ่งที่พองตัวแล้ว} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

ก. 12 ปริมาณ amylose leaching ดัดแปลงจากวิธีของ Juliano (1971) และ Hoover and Manuel (1996)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Lambda 25 UV/VIS spectrometer)
2. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge thermo IEC รุ่น IEC MultiRF)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างสตาร์ช 60 มิลลิกรัม (น้ำหนักแห้ง) ลงในหลอด centrifuge
2. เติมน้ำกลั่น 15 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนผสมให้เข้ากัน
3. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยใช้แท่งแก้วคนเบาๆเป็นระยะๆ เป็นเวลา 30 นาที
4. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2000xg เป็นเวลา 10 นาที
5. ดูดส่วนที่เป็น supernatant มา 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
6. เติมสารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไฮโดรคลอริก 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที

7. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
8. จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ นำไปอ่านค่าจากกราฟมาตรฐาน (ภาคผนวก ก.7) แล้วคำนวณหาปริมาณอะมิโลส
9. คำนวณปริมาณ amylose leaching

ปริมาณ amylose leaching = $\frac{\text{ปริมาณอะมิโลสที่คำนวณจากกราฟมาตรฐาน(มิลลิกรัม)} \times 100}{\text{ปริมาณอะมิโลสที่มีอยู่ในสตาร์ชแห้ง 60 มิลลิกรัม (มิลลิกรัม)}}$

ก. 13 ความสามารถในการถูกย่อยด้วยเอนไซม์ของสตาร์ชดิบ ดัดแปลงจากวิธีของ Wang และคณะ(1995)

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (centrifuge thermo IEC รุ่น IEC MultiRF)
2. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Lambda 25 UV/VIS spectrometer)
3. อ่างน้ำแบบเขย่าที่ควบคุมอุณหภูมิได้ (water bath shaker)

เตรียมสารรีเอเจนต์

1. 0.1 M sodium acetate buffer pH 5.0 โดยชั่ง sodium acetate 13.608 กรัม ละลายในน้ำกลั่นและปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร หลังจากนั้นใช้กรดอะซิติกเข้มข้น 0.1 M ในการปรับค่า pH ให้มีค่าเท่ากับ 5.0
2. $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 40 ppm. โดยชั่ง CaCl_2 0.147 กรัม ต่อสารละลาย sodium acetate buffer 1 ลิตร
3. สารละลายเอนไซม์ 1% termamyl (120 unit / ml) และ 1% amyloglucosidase (300 unit/ml) คิดเป็นปริมาตรเอนไซม์ที่ใช้ต่อน้ำหนักสตาร์ชที่ทดสอบ โดยนำเอนไซม์แต่ละชนิดมาเจือจาง 10 เท่าด้วยสารละลาย 0.1M sodium acetate buffer
4. สารละลาย HgCl_2 เข้มข้น 4 mM โดยชั่ง 1.086 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 1 ลิตร ก่อนนำมาใช้เพื่อทำหน้าที่หยุดปฏิกิริยาจะต้องเจือจาง 10 เท่า ให้มีความเข้มข้นเป็น 0.4 mM.

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างสตาร์ช 0.08 กรัม แล้วเติมสารละลาย 0.1 M sodium acetate buffer pH 5.0 ที่มี $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 40 ppm. ปริมาตร 4.0 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายเอนไซม์ 1% termamyl และ 1% amyloglucosidase ที่เจือจางแล้ว 10 เท่าด้วย 0.1 M sodium acetate buffer pH 5.0 โดยเติมเอนไซม์ชนิดละ 8 ไมโครลิตรต่อหลอด ผสมให้เข้ากัน นอกจากนี้ยังต้องทำ blank substrate (คือสารละลายแบ่งจากข้อ 1 แต่ไม่เติมเอนไซม์) และ blank enzyme (โดยเติมสารละลายเอนไซม์ชนิดละ 8 ไมโครลิตรลงในสารละลาย 0.1 M sodium acetate buffer pH 5.0 ที่มี $\text{CaCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 40 ppm.)
3. ปิดปากหลอดทดลองด้วยแผ่น parafilm ให้แน่น และนำไปบ่มในอ่างน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 35 องศาเซลเซียส ที่ความเร็วรอบการเขย่า 174 รอบต่อนาที โดยเก็บตัวอย่างที่ 0 1 3 24 และ 48 ชั่วโมง
4. นำหลอดที่เก็บตัวอย่างครบตามกำหนด มาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 6000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที เพื่อแยกส่วนใสมาหยุดปฏิกิริยาของเอนไซม์ด้วยสารละลาย HgCl_2 0.4 mM โดยใช้ส่วนใส 3 มิลลิลิตรต่อ 0.04 mM HgCl_2 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันและนำมาต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 20 นาที
5. นำสารละลายในข้อ 4 มาวิเคราะห์หาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Somogyi – Nelson และนำตัวอย่างสตาร์ชมาคำนวณหาปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดตามสมการในภาคผนวก ก. 6
6. นำค่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ และปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดมาคำนวณหา degree of hydrolysis ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Degree of hydrolysis} = \frac{\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์} - \text{blank substrate} - \text{blank enzyme}}{\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด}} \times 100$$

ปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด

ก. 14 การวิเคราะห์การเกิดเจลลาติโนเซชันและสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ดัดแปลงจากวิธีของ Norbert และคณะ (1995)

เครื่องมือ

1. เครื่อง RVA รุ่น 4 D(Newport Scientific, Pty. Ltd.) พร้อมด้วย Can อลูมิเนียมที่มีใบพัดกวน
2. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA ทิ้งไว้ นาน 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง RVA
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และ run ซอฟต์แวร์ควบคุม RVA โดยเลือกเงื่อนไขใน profile ป้อนลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ตั้งชื่อไฟล์แล้วเซฟไว้ โดยเลือกเงื่อนไขดังนี้

- Temperature profile
1. ให้ความร้อนที่ 50 °C เป็นเวลา 1.25 นาที
 2. ให้ความร้อนที่ 50 ถึง 95 °C ด้วยอัตราเร็ว 12 องศาเซลเซียสต่อนาที (เป็นเวลา 3.75 นาที)
 3. ให้ความร้อนที่ 95 °C เป็นเวลา 2.50 นาที
 4. ให้ความร้อนที่ 50 ถึง 95 °C ด้วยอัตราเร็ว 12 องศาเซลเซียสต่อนาที (เป็นเวลา 3.75 นาที)
 5. ให้ความร้อนที่ 95 °C เป็นเวลา 1.25 นาที

โดยความเร็วรอบในการกวนมอเตอร์เท่ากับ 160 รอบต่อนาที

3. ตวงน้ำปริมาตร 25.00 ± 0.1 มิลลิลิตร (สำหรับตัวอย่างที่มีความชื้น 14 %) ใส่ลงใน can ของ RVA
4. ชั่งตัวอย่าง 3.00 กรัม ใส่ลงใน can ที่มีน้ำอยู่แล้ว ปริมาณตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดตัวอย่าง โดยทั่วไปแนะนำตามตารางที่ ก. 2

ตารางที่ 4.17 ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA

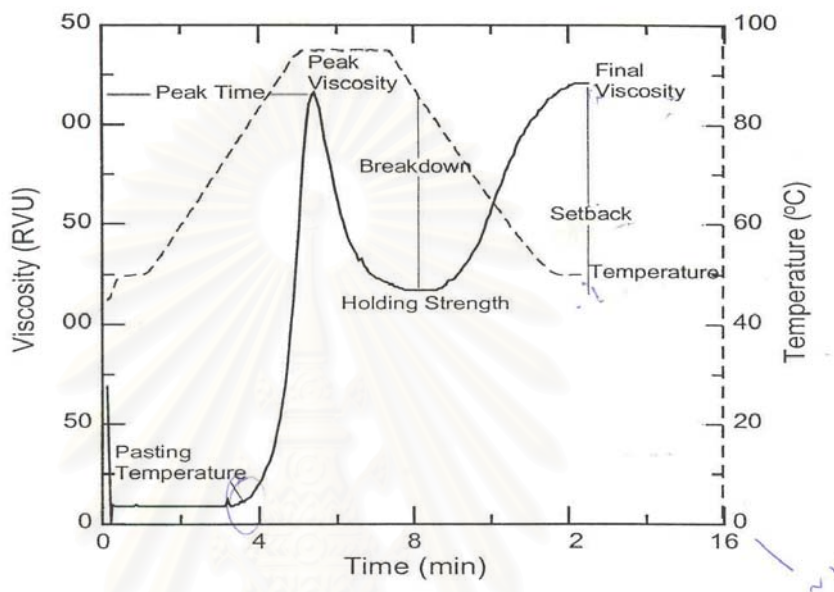
ตัวอย่าง	จำนวน(กรัม)
เมล็ดพืชทั้งหมด(บดรวมเปลือก)	4.00
แป้ง (Flour)	3.50
สตาร์ชปกติ (Native starch)	
จากธัญชาติชนิดไม่มียาง (Non-waxy cereal)	3.00
จากธัญชาติชนิดมียาง (Waxy cereal)	3.00
มันฝรั่ง	2.00 ¹
มันสำปะหลัง	2.50
สตาร์ชดัดแปลง (Modified starch)	
Acid modified	2.00 – 4.00 ²
Oxidized	2.00 – 4.00 ²
Substituted	2.50
Cross-linked	2.50

¹ ใช้ 1.2 กรัม ถ้าเป็นสตาร์ชที่ไม่ได้ผลิตมาเพื่อวัตถุประสงค์ในเชิงพาณิชย์

² จำนวนที่ใช้ขึ้นอยู่กับ degree of modification

5. ใส่ใบพัดกวน (paddle) ลงใน can หมุนใบพัดกวนไปมาแรงๆ และตั้งขึ้นเพื่อกวนตัวอย่างแรงๆ ประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกันเป็นก้อนที่ผิวหน้าหรือติดที่ใบพัดกวนให้ทำซ้ำอีกครั้ง
6. นำ can ที่ใส่ใบพัดกวนไว้แล้วสอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้ RVA ทำงานเสร็จแล้วนำ can ออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ (หน่วย RVU) ดังนี้ (รูปที่ ก. 2)
 1. เวลาที่เกิด peak ของความหนืด(peak time) มีหน่วยเป็นนาที
 2. อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรือมีความความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
 3. อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
 4. ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น RVU

5. ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
6. ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด peak (setback from peak) มีหน่วยเป็น RVU
7. ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วย RVU



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA

ก. 15 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลและการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช

อุปกรณ์

1. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Diamond DSC Perkin-Elmer)
2. volatile aluminium DSC pan
3. เครื่องมือสำหรับปิดผนึก DSC pan (climber)
4. ตู้อบลมร้อน WTE Binder รุ่น E-53

วิธีทดลอง

การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสตาร์ช

1. เปิดเครื่อง DSC ทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่ออุ่นเครื่อง
2. เตรียม starch slurry โดยใช้อัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำเท่ากับร้อยละ 35 : 65

3. หยด starch slurry ลงใน volatile aluminium pan ด้วยไมโครปิเปต โดยให้มีน้ำหนักของ starch slurry ประมาณไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25 ของความจุ pan โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักทศนิยม 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
4. ปิดฝา pan ให้สนิทด้วยเครื่องมือปิดผนึก (climber) บ่ม Pan ไว้ที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน เพื่อให้ความชื้นภายใน pan เข้าสู่ภาวะสมดุล ชั่งน้ำหนักและบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
5. นำ Pan ใส่ในช่อง sample ของเครื่อง DSC และวาง reference pan (pan เปล่า) และตั้งค่าให้เครื่อง scan ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30 ถึง 120 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
6. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์โดยใช้ระบบ autocalculation และบันทึกค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับ การเกิดเจลาติไนเซชัน ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนเซชัน (onset temperature, T_o °C) อุณหภูมิที่ ΔH สูงสุด (peak temperature, T_p °C) อุณหภูมิสิ้นสุดในการเกิดเจลาติไนเซชัน (conclusion temperature, T_c °C) พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลาติไนเซชัน (enthalpy of gelatinization, ΔH J/g)

การวิเคราะห์การเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ช

1. นำ pan ที่ผ่านการทดสอบสมบัติทางความร้อนแล้ว เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน
2. นำออกมาวางที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
3. นำ pan ใส่ในช่อง sample ของเครื่อง DSC และวาง reference pan แล้วตั้งค่าของเครื่องโดยให้เครื่อง scan ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30 ถึง 120 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที
4. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์ โดยใช้ระบบ autocalculation และบันทึกค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนเซชันอีกครั้ง ได้แก่ T_o , T_p , T_c และ ΔH_R (ΔH ในการเกิดรีโทรเกรดชัน)
5. นำ pan ที่ผ่านการทดสอบแล้วมาเจาะรูด้วยเข็มแล้วนำไปอบแห้งที่ตู้อบลมร้อน อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทิ้งไว้ใน desiccator ให้เย็น นำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่แท้จริงของสตาร์ชแห้งใน pan เพื่อนำไปคำนวณค่า ΔH และ ΔH_R ที่ถูกต้อง

ก. 16 การวิเคราะห์สมบัติทางการไหลของเจลสตาร์ช

อุปกรณ์

1. เครื่อง rheometer (Bohlin rheometer รุ่น C-VOR) พร้อมชุด geometry
2. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง rheometer
3. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath)

วิธีทดลอง

1. เตรียมเจลสตาร์ชความเข้มข้นร้อยละ 7 โดยน้ำหนักแห้ง ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
2. ใส่ geometry (parallel plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 มิลลิเมตร) เข้ากับตัวเครื่อง
3. เข้าโปรแกรม oscillation และตั้งค่าตัวแปรต่างๆดังต่อไปนี้
 - 3.1 gap size ขนาด 500 ไมครอน
 - 3.2 strain rate เท่ากับร้อยละ 0.5 (เป็นค่าที่อยู่ในช่วง Linear Viscoelastic Range; LVR)
 - 3.3 ความถี่ ตั้งแต่ 0.001 ถึง 30 Hz.
 - 3.4 อุณหภูมิคงที่ ที่ 25 องศาเซลเซียส ตลอดการทดสอบ
4. load ตัวอย่างเจลสตาร์ชที่เตรียมไว้ในข้อ 1 ลงบนส่วนที่เป็น stage ของเครื่อง และปรับให้ geometry อยู่ในระดับเท่ากับค่า gap size ที่ตั้งไว้
5. หยด parafine oil รอบๆตัวอย่างเพียงเล็กน้อยเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในตัวอย่างระหว่างการทดสอบ
6. สั่งให้เครื่องทำการทดสอบโดยคลิกที่ปุ่ม start
7. บันทึกค่า complex modulus (G^*) ที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดช่วงความถี่

ภาคผนวก ข

ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชจากกลอยและสตาร์ชจากกลอย
ข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นด้วย

Wide – angle X – ray diffraction

ข. 1 สตาร์ชจากกลอยข้าวเจ้า

Sample identification: Y1
Data measured at: 22-Aug-2003 22:06:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1%
Receiving slit: 0.1
Monochromator used: YES

Start angle [2θ]: 3.015
End angle [2θ]: 34.995
Step size [2θ]: 0.030
Maximum intensity: 324.0000
Time per step [s]: 1.000
Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative of peak
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 9

Angle [2θ]	d-value Å1 [Å]	d-value Å2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.800	15.2254	15.2629	0.720	41	64	12.6	2.79
11.520	7.6752	7.6941	0.600	34	112	10.4	0.93
14.470	6.1164	6.1315	0.960	135	123	41.5	0.79
15.355	5.7658	5.7800	0.180	177	125	54.6	0.86
17.220	5.1454	5.1580	0.600	324	130	100.0	5.38
19.950	4.4470	4.4579	0.720	137	139	42.2	1.51
22.225	3.9967	4.0065	0.840	161	146	49.8	2.68
23.990	3.7065	3.7156	0.720	139	154	43.0	1.10
26.465	3.3652	3.3735	0.360	61	161	18.8	0.99

ข. 2 สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียว

Sample identification: Y1
Data measured at: 22-Aug-2003 22:06:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1/4
Receiving slit: 0.1
Monochromator used: YES

Start angle [2θ]: 3.015
End angle [2θ]: 34.995
Step size [2θ]: 0.030
Maximum intensity: 324.0000
Time per step [s]: 1.000
Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative of peak
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 9

Angle [2θ]	d-value λ_1 [Å]	d-value λ_2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.800	15.2254	15.2629	0.720	41	64	12.6	2.79
11.520	7.6752	7.6941	0.600	34	112	10.4	0.93
14.470	6.1164	6.1315	0.960	135	123	41.5	0.79
15.355	5.7658	5.7800	0.180	177	125	54.6	0.86
17.220	5.1454	5.1580	0.600	324	130	100.0	5.38
19.950	4.4470	4.4579	0.720	137	139	42.2	1.51
22.225	3.9967	4.0065	0.840	161	146	49.8	2.68
23.990	3.7065	3.7156	0.720	139	154	43.0	1.10
26.465	3.3652	3.3735	0.360	61	161	18.8	0.99

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.3 สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นในการ
ดัดแปรร้อยละ 13 และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (H13/90)

Sample identification: H1
Data measured at: 22-Aug-2003 22:50:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1%
Receiving slit: 0.1
Monochromator used: YES

Start angle [2θ]: 3.015
End angle [2θ]: 34.995
Step size [2θ]: 0.030
Maximum intensity: 262.4400
Time per step [s]: 1.000
Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative of peak
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 9

Angle [2θ]	d-value Å1 [Å]	d-value Å2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.430	16.2620	16.3021	0.090	123	38	46.9	3.68
14.635	6.0479	6.0627	0.960	71	128	26.9	6.12
17.180	5.1572	5.1699	0.300	262	130	100.0	1.08
17.710	5.0041	5.0164	0.300	240	130	91.5	1.07
19.850	4.4692	4.4802	0.720	117	132	44.4	2.42
22.440	3.9588	3.9686	0.960	128	135	48.7	1.92
24.200	3.6748	3.6838	0.840	102	137	38.9	2.29
26.450	3.3671	3.3753	0.960	31	137	11.9	0.87
31.605	2.8286	2.8356	0.480	12	139	4.7	0.81

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.4 สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นในการ
ดัดแปรร้อยละ 13 และอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (H13/100)

Sample identification: H2
Data measured at: 22-Aug-2003 23:10:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1%
Receiving slit: 0.1
Monochromator used: YES

Start angle [2θ]: 3.015
End angle [2θ]: 34.995
Step size [2θ]: 0.030
Maximum intensity: 171.6100
Time per step [s]: 1.000
Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative of peak
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 5

Angle [2θ]	d-value Å1 [Å]	d-value Å2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
3.205	27.5449	27.6127	0.360	18	34	10.8	1.00
8.865	9.9671	9.9916	0.090	52	50	30.2	0.97
14.660	6.0376	6.0524	0.960	41	149	23.9	2.66
17.295	5.1232	5.1358	0.600	172	185	100.0	3.09
22.390	3.9676	3.9773	0.960	28	210	16.4	1.39

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. 5 สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นในการ
ดัดแปรร้อยละ 13 และอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (H13/110)

Sample identification: H3
Data measured at: 22-Aug-2003 23:31:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1X
Receiving slit: 0.1
Monochromator used: YES

Start angle [2θ]: 3.015
End angle [2θ]: 34.995
Step size [2θ]: 0.030
Maximum intensity: 129.9600
Time per step [s]: 1.000
Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative of peak
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 4

Angle [2θ]	d-value Å1 [Å]	d-value Å2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
8.285	10.6635	10.6897	0.090	64	58	49.2	0.83
17.295	5.1232	5.1358	0.720	130	256	100.0	3.62
19.875	4.4636	4.4746	0.360	26	256	20.0	0.78
22.140	4.0118	4.0217	0.960	26	266	20.0	0.82

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.6 สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นในการ
ดัดแปรร้อยละ 13 และอุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส (H13/120)

```

Sample identification: H4
Data measured at: 22-Aug-2003 23:50:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
\ Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1%
Receiving slit: 0.1
Monochromator used: YES

Start angle [2θ]: 3.015
End angle [2θ]: 34.995
Step size [2θ]: 0.030
Maximum intensity: 110.2500
Time per step [s]: 1.000
Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative of peak
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 5

```

Angle [2θ]	d-value Å1 [Å]	d-value Å2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
9.415	9.3860	9.4091	0.120	94	83	85.3	0.92
17.055	5.1948	5.2075	0.960	110	272	100.0	6.15
22.025	4.0325	4.0424	0.720	56	240	51.0	2.10
23.695	3.7519	3.7612	0.720	59	213	53.8	0.79
25.975	3.4275	3.4360	0.090	53	180	48.3	1.40

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.7 สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นในการ
ดัดแปรร้อยละ 13 และอุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส (H13/130)

Sample identification: H5
Data measured at: 23-Aug-2003 0:13:00

Diffraction type: PW3710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1%
Receiving slit: 0.1
Monochromator used: YES

Start angle [2θ]: 3.015
End angle [2θ]: 34.995
Step size [2θ]: 0.030
Maximum intensity: 153.7600
Time per step [s]: 1.000
Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative of peak
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 5

Angle [2θ]	d-value Å1 [Å]	d-value Å2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
16.840	5.2606	5.2735	0.720	154	246	100.0	3.38
18.885	4.6953	4.7068	0.360	55	234	35.6	0.83
19.750	4.4916	4.5026	0.960	55	231	35.6	0.81
21.960	4.0443	4.0542	0.960	83	216	53.9	1.41
23.770	3.7403	3.7495	0.960	59	207	38.6	1.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.8 สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นในการ
ดัดแปรร้อยละ 18 และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (H18/90)

Sample identification: H6
Data measured at: 23-Aug-2003 · 0:32:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1%
Receiving slit: 0.1
Monochromator used: YES

Start angle [2θ]: 3.015
End angle [2θ]: 34.995
Step size [2θ]: 0.030
Maximum intensity: 225.0000
Time per step [s]: 1.000
Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative of peak
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 7

Angle [2θ]	d-value Å1 [Å]	d-value Å2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.580	15.8252	15.8642	0.480	35	64	15.5	0.87
6.850	12.8938	12.9255	0.090	225	64	100.0	5.80
14.015	6.3140	6.3295	0.720	36	193	16.0	1.65
17.165	5.1617	5.1744	0.360	190	259	84.6	1.59
22.235	3.9949	4.0047	0.360	86	228	38.4	1.49
23.845	3.7287	3.7378	0.960	79	207	35.2	1.71
26.490	3.3621	3.3703	0.720	25	174	11.1	1.52

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.9 สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นในการ
ดัดแปรร้อยละ 22 และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (H22/90)

Sample identification: H7
Data measured at: 23-Aug-2003 3:28:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1 $\frac{1}{2}$
Receiving slit: 0.1
Monochromator used: YES

Start angle [2 θ]: 3.015
End angle [2 θ]: 34.995
Step size [2 θ]: 0.030
Maximum intensity: 228.0100
Time per step [s]: 1.000
Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative of peak
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 7

Angle [2 θ]	d-value Å1 [Å]	d-value Å2 [Å]	Peak width [2 θ]	Peak int. [counts]	Back. int. [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.640	15.6570	15.6955	0.480	48	64	20.9	1.49
15.145	5.8453	5.8597	0.720	69	188	30.2	1.47
17.080	5.1872	5.2000	0.960	228	185	100.0	8.54
19.710	4.5006	4.5117	0.720	83	180	36.3	1.54
22.020	4.0334	4.0433	0.600	114	174	50.2	1.27
24.155	3.6815	3.6906	0.960	106	169	46.5	1.80
26.315	3.3840	3.3923	0.720	37	164	16.3	1.55

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. 10 สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นในการ
ดัดแปรร้อยละ 26 และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (H26/90)

Sample identification: H8
Data measured at: 23-Aug-2003 7:10:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1½
Receiving slit: 0.1
Monochromator used: YBS

Start angle [2θ]: 3.015
End angle [2θ]: 34.995
Step size [2θ]: 0.030
Maximum intensity: 249.6400
Time per step [s]: 1.000
Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative of peak
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 9

Angle [2θ]	d-value Å1 [Å]	d-value Å2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.635	15.6709	15.7094	0.480	41	61	16.4	1.50
10.940	8.0808	8.1007	0.090	204	112	81.9	3.54
15.020	5.8937	5.9082	0.600	72	196	28.9	0.98
16.510	5.3650	5.3782	0.090	139	190	55.8	0.84
17.215	5.1468	5.1595	0.540	250	188	100.0	3.58
19.475	4.5544	4.5656	0.720	96	182	38.5	2.01
22.005	4.0361	4.0460	0.960	112	174	45.0	0.93
23.920	3.7171	3.7263	0.600	123	169	49.4	1.38
26.200	3.3986	3.4070	0.720	38	161	15.4	0.85

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข. 11 สตาร์ชจากกลอยข้าวเหนียวที่ผ่านการดัดแปรด้วยความร้อนขึ้นที่ระดับความชื้นในการ
ดัดแปรร้อยละ 30 และอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (H30/90)

```

Sample identification: H9
Data measured at: 23-Aug-2003 7:47:00

Diffractometer type: PW3710 BASED
Tube anode: Cu
Generator tension [kV]: 40
Generator current [mA]: 30
Wavelength Alpha1 [Å]: 1.54060
Wavelength Alpha2 [Å]: 1.54439
Intensity ratio (alpha2/alpha1): 0.500
Divergence slit: 1%
Receiving slit: 0.1
Monochromator used: YES

Start angle [2θ]: 3.015
End angle [2θ]: 34.995
Step size [2θ]: 0.030
Maximum intensity: 441.0000
Time per step [s]: 1.000
Type of scan: CONTINUOUS

Peak positions defined by: Minimum of 2nd derivative of peak
Minimum peak tip width: 0.00
Maximum peak tip width: 1.00
Peak base width: 2.00
Minimum significance: 0.75
Number of peaks: 6

```

Angle [2θ]	d-value Å1 [Å]	d-value Å2 [Å]	Peak width [2θ]	Peak int [counts]	Back. int [counts]	Rel. int [%]	Signif.
5.760	15.3311	15.3688	0.480	30	64	6.9	0.82
14.140	6.2584	6.2738	0.090	441	164	100.0	0.77
15.210	5.8205	5.8348	0.480	102	177	23.1	0.96
17.120	5.1752	5.1879	0.720	222	199	50.3	4.43
19.790	4.4826	4.4936	0.360	62	228	14.2	1.10
24.045	3.6981	3.7072	0.600	48	240	10.8	1.09

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธาริน นาคศรีอาภรณ์ เกิดวันที่ 12 มกราคม 2521 ที่กรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2542 เข้าทำงานที่บริษัทยูโนเด็ด ฟูดส์ จำกัด (มหาชน) ในตำแหน่ง QC/R&D Supervisor เป็นเวลา 9 เดือน และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคปลาย ปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย