สมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วยไทยบางชนิด

นายวสันต์ ศิริวงศ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0566-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF STARCH ISOLATED FROM SOME THAI BANANAS

Mr. Wasan Siriwong

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Food Technology

Department of Food Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0566-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วยไทยบางชนิด
โดย	นายวสันต์ ศิริวงศ์
ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร. เยาวภา ไหวพริบ

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณะบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. เยาวภา ไหวพริบ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วสันต์ ศิริวงศ์ : สมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วยไทยบางชนิด (PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF STARCH ISOLATED FROM SOME THAI BANANAS) อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร. วรรณา ตุลยธัญ, อ. ที่ปรึกษาร่วม : อ. ดร. เยาวภา ไหวพริบ 122 หน้า. ISBN 974-13-0566-4

การผลิตสตาร์ชจากกล้วยดิบ ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ สายพันธุ์และสารละลายที่ใช้ในการสกัด โดยสายพันธุ์ที่ศึกษาได้แก่ กล้วยหักมุก กล้วยน้ำว้าค่อม และกล้วยตานี ส่วนสารละลายที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไบซัลไฟต์ และน้ำ ผลผลิตของสตาร์ชอยู่ในช่วง 11-34% (db) มีปริมาณโปรตีน 0.25-1.73% (db) และค่าดัชนีความขาวอยู่ในช่วง 84.41-96.26 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแปรดังกล่าวข้างต้น สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.05 N) เป็นสารละลายที่เหมาะสมในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสำหรับศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ สมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากกล้วยมีค่าแตกต่างกันตามสายพันธุ์ของกล้วยที่ใช้ในการผลิตสตาร์ช โดยมีปริมาณความชื้น 11.47-11.76%, โปรตีน 0.22-0.93% (db), เถ้า 0.07-0.17%(db), ฟอสฟอรัส 0.016-0.025(db), สตาร์ช 95.68-99.46%(db) และ อะมิโลส 30.90-31.98% (db) สำหรับสมบัติทางกายภาพที่สำคัญคือ เม็ดสตาร์ชมีรูปร่างและขนาดแตกต่างกัน รูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชเป็นแบบ 2 ขั้นตอน อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์วัดด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานีมีค่า 71.97 °C และ 71.67 °C ตามลำดับ และมีค่ามากกว่าสตาร์ชจากกล้วยหักมุก (70.96 °C) เมื่อศึกษาโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชด้วยเครื่อง X-ray powder diffraction ของกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมพบว่ามีรูปแบบเดียวกันคือ B-type ส่วนสตาร์ชจากกล้วยตานีเป็นผลึกผสมระหว่าง B-type และ C-type แล้วเมื่อศึกษา Pasting properties ของสตาร์ชจากกล้วย (6%, db) ในน้ำกลั่น (pH 6.9) ด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph สตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีกราฟเป็นแบบเม็ดสตาร์ชที่มีการพองตัวน้อย (Restricted-swelling starch) แต่เมื่อใช้ buffer ในการเตรียมน้ำแป้งที่ค่า pH 3.5-7.0 ค่าความหนืดและ Pasting temperature ของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์มีค่าลดลงตามค่า pH ที่ลดลง ค่า Breakdown ของสตาร์ชเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อค่า pH ลดลงจาก 4.5 เป็น 3.5 ค่า Setback ที่ pH 4.5 ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานีจะมีค่าสูงที่สุด แต่สตาร์ชจากกล้วยหักมุกมีค่า Setback ลดลงตามค่า pH ที่ลดลงจาก 7.0 เป็น 3.5 นอกจากนี้ยังนำแป้งเปียก (Starch paste) ที่ได้จากการวัดความหนืดมาศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis: TPA) หลังจากเก็บแป้งเปียกที่อุณหภูมิ 4±1°C เป็นเวลา 1 และ 3 วัน

ภาควิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา	2543	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4172436023: MAJOR FOOD TECHNOLOGY
KEY WORD : STARCH / BANANA / BANANA STARCHES / PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES
WASAN SIRIWONG : PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF STARCH ISOLATED FROM SOME THAI BANANAS THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. VANNA TULYATUN, Ph.D., THESIS COADVISOR : YOAWAPHA WAIPRIB, Ph.D., 122 pp. ISBN 974-13-0566-4

This research investigated the production of banana starch. Three varieties of Thai bananas (Kluai Hak Muk, Kluai Nam Wa Kom, and Kluai Ta Nee), and three extracting solutions (sodium hydroxide, sodium bisulfite, and water) were studied. The yield of starch was 11-34% (db); the starch composed of 0.25-1.73% (db) protein, and the white index was 84.41-96.26, depended on verities of banana and extracting solution. Sodium hydroxide (0.05 N) was the most suitable solution for isolation of banana starch. The physicochemical properties of starches were different. Banana starches were composed of 11.47-11.76% moisture content, 0.22-0.93% (db) protein content, 0.07-0.17% (db) ash content, 0.016-0.025% (db) phosphorus content, and 95.68-99.46% (db) of starch content. Amylose content of starches were 30.90-31.98% on a dry weight basis. The shape and size of starch granules were different among verities. Swelling power and solubility of starches in water were a two-stage pattern. The initial gelatinization temperature (T_o) obtained by DSC of Kluai Nam Wa Kom starch and Kluai Ta Nee starch were 71.97 ^{o}C and 71.67 ^{o}C respectively, and were higher than Kluai Hak Muk starch (70.96 ^{o}C). X-ray powder diffraction technique indicated that Kluai Hak Muk starch and Kluai Nam Wa Kom starch were B-type starch while that of Kluai Ta Nee starch was mixed B-type and C-type starch. Brabender viscoamylograph of the three starch pastes (6% db) in distilled water (pH 6.9) showed restricted-swelling patterns. Apparent viscosity and pasting temperature of starch paste decreased with decreasing pH from 7.0 to 3.5. Breakdown of the starch pastes markedly increased as pH was decreased from 4.5 to 3.5. Kluai Nam Wa Kom and Kluai Ta Nee starch pastes were highest setback at pH 4.5, but Kluai Hak Muk starch paste decreased with decreasing pH from 7.0 to 3.5. Retrogradation of the cold starch paste, held at temperature 4$\pm$ 1^{o}C for 1 to 3 days, were also examined by Texture Profile Analysis (TPA).

Department	Food Technology	Student's signature……..……..
Field of study	Food Technology	Advisor's signature……..…...
Academic year	2000	Co-advisor's signature……..…….

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วรรณา ตุลยธัญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. เยาวภา ไหวพริบ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของงานวิจัยด้วยดีตลอดจนแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร. รมณี สงวนดีกุล รองศาสตราจารย์ ดร. ชัยยุทธ ธัญพิทยากุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรพงศ์ นวังคสัตถุศาสน์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาและเสียสละเวลาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ ของภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่กรุณาให้ใช้สถานที่ทำการทดลองและให้คำปรึกษาต่างๆ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่กรุณาประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย ซึ่งเป็นรากฐานอย่างดียิ่งในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. นงนุช ใจบุญ ที่กรุณาให้คำปรึกษา ช่วยแปลผล และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่อง X-ray diffraction สำหรับงานวิจัยนี้อย่างดียิ่ง

ขอขอบคุณเพื่อนๆ และน้องทุกคน ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ขอขอบใจน้องสาวทั้งสองคน และเพื่อนเก่าสมัยเรียนอยู่มหาวิทยาลัยบูรพา ที่เป็นกำลังใจและคอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านอย่างดียิ่ง

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้ความช่วยเหลือทุกอย่างแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนกระทั่งสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ
กิตติกรรมประกาศ .....ฉ
สารบัญ .....ช
สารบัญตาราง .....ซ
สารบัญรูป .....ญ
บทที่
1 บทนำ 1
2 วารสารปริทัศน์ 3
3 การทดลอง 39
4 ผลการทดลอง.....46
5 วิจารณ์ผลการทดลอง 75
6 สรุปผลการทดลอง 87
รายการอ้างอิง 90
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. 96
ภาคผนวก ข. 120
ประวัติผู้เขียน 122

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 พื้นที่ปลูกและปริมาณการผลิตกล้วยในประเทศไทยในปีเพาะปลูกปี 2538.....2

2.1 การนับจำนวนวันกล้วยที่ระยะต่างๆ ของกล้วยแต่ละสายพันธุ์ 7

2.2 การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้า 3 พันธุ์ และกล้วยหักมุก.....9

2.3 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของเนื้อกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆ.....10

2.4 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของแป้งกล้วยจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์.....11

2.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชที่แยกได้จากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ.....15

2.6 สมบัติที่แตกต่างกันของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน.....16

2.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชที่แยกได้จากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ.....20

2.8 ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชชนิดต่างๆ.....21

2.9 ขนาดของเม็ดสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วย plantain และ cooking banana.....22

2.10 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชั่นของสตาร์ชที่สกัดจาก plantains และ cooking banana.....31

4.1 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์.....46

4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน อายุกล้วย น.น.กล้วยต่อผล อัตราส่วนเนื้อต่อเปลือก และน้ำตาลรีดิวซ์ซิง ของกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์.....46

4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกล้วยดิบสายพันธุ์ต่างๆ.....47

4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า ความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ของกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์.....47

4.5 ผลของสารละลายต่างชนิดที่มีต่อการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ.....48

4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีน และดัชนีความขาว ของสตาร์ชกล้วยที่แปรสายพันธุ์กล้วยและชนิดของสารละลาย.....49

4.7 การเปรียบเทียบผลการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ที่ปริมาณการผลิต ที่ต่างกัน.....52

4.8 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์.....53

4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า ความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน และฟอสฟอรัส ของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์.....53

4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า pH สตาร์ช อะมิโลส และอะมิโลเพคตินของสตาร์ช จากกล้วยแต่ละสายพันธุ์กล้วย.....53

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

4.11 ผลการวิเคราะห์รูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ.....59
4.12 ผลวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ จากเครื่อง DSC.....61
4.13 Brabender viscoamylograph ของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกที่ค่า pH ต่างๆ 63
4.14 Brabender viscoamylograph ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมที่ค่าpH ต่างๆ.....64
4.15 Brabender viscoamylograph ของสตาร์ชจากกล้วยตานีที่ค่า pH ต่างๆ.....64
4.16 ผลวิเคราะห์ค่า Hardness Cohesiveness และ Gumminess ของเจลสตาร์ชจากกล้วยที่ค่า pH ระดับต่างๆ.....71
4.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวน Hardness Cohesiveness และ Gumminess ของเจล สตาร์ชกล้วยที่แปรสายพันธุ์กล้วย ค่า pH และวันที่เก็บเจลสตาร์ช.....72
ก.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่เป็นแบบ A, B และ C-type.....116
ก.2 อัตราส่วนในการเตรียมสารละลาย buffer.....117

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 การจัดจำแนกพันธุกรรมกล้วย....3

2.2 รูปร่างตามขวางของผลกล้วยเมื่ออายุต่างกัน....6

2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสตาร์ช ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณน้ำในเนื้อกล้วย และการทนต่อแรงกลของผลกล้วยของกล้วย Giant Cavendish (AAA group) ที่ระยะต่างๆ หลังการเก็บเกี่ยว....8

2.4 โครงสร้างของอะมิโลส....17

2.5 ภาพจำลองการจับตัวของอะมิโลสกับสารอินทรีย์....18

2.6 แบบจำลองโครงสร้างอะมิโลสที่อยู่ร่วมกับอะมิโลเพคตินและไขมัน....18

2.7 โครงสร้างอะมิโลเพคติน....19

2.8 ลักษณะโครงสร้างอะมิโลเพคตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน....20

2.9 Photomicrographs of (A) Horn plantain (IHITISIM) starch and (B) Cooking banana (FOUGAMOU) starch. Magnification x 100....22

2.10 Photographs of the starch granules of banana: A, under normal light ; B, under polarized light. 23

2.11 Scanning electron micrograph of banana starch : A, green ; B, ripe....24

2.12 Swelling patterns of various starches....27

2.13 Solubilization patterns of various starches 27

2.14 Relationship between swelling power and solubility of various starches....28

2.15 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชในระหว่างการหุงต้ม....29

2.16 Scanning electron micrographs at about 1100x magnification of banana Starch granule. A: Room temperature, B: 65°C , C: 70°C , D: 75°C , E: 80°C , F: 90°C....32

2.17 แบบจำลองโครงสร้างของอะมิโลเพคตินในสตาร์ช a: waxy maize starch (A-type) b: potato starch (B-type) 33

2.18 จุดที่สำคัญในการวัดความหนืดด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph....35

2.19 รูปแบบความหนืดของสตาร์ชสุกชนิดต่างๆ เมื่อแบ่งตามกำลังการพองตัว....37

2.20 Brabender amylograms of 6% green plantain starches (Ihitisim ; Obino L'Ewai) and green cooking banana (Bluggoe ; Fougamou) 38

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

2.21 Brabender amylograms of 4, 5, 6, 7, and 8% green plantain hybrid 548/4 starch....38
3.1 กระบวนการผลิตสตาร์ชจากกล้วยดิบ....41
4.1 ผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ต่อปริมาณผลผลิต..50
4.2 ผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ต่อปริมาณโปรตีน...50
4.3 ผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ต่อค่าสีของสตาร์ช...51
4.4 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ที่ได้จากเครื่อง SEM....55
4.5 ลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ที่กำลังขยาย 400 เท่า....57
4.6 ลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยตานีที่กำลังขยาย 1000 เท่า....58
4.7 ลักษณะการกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ....58
4.8 รูปแบบกำลังการพองตัวของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ....60
4.9 รูปแบบการละลายของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ....60
4.10 DSC thermogram การเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชจากล้วยสายพันธุ์ต่างๆ....61
4.11 X-ray powder diffractograms ของสตาร์ชจากล้วยสายพันธุ์ต่างๆ....62
4.12 Brabender viscoamylograph เมื่อใช้น้ำกลั่น pH 6.9 ของสตาร์ชจากกล้วย แต่ละสายพันธุ์ (ที่ 6% starch, db) 65
4.13 Brabender viscoamylograph ของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกเมื่อใช้ Buffer ค่า pH ต่างๆ....66
4.14 Brabender viscoamylograph ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมเมื่อใช้ Buffer ค่า pH ต่างๆ....66
4.15 Brabender viscoamylograph ของสตาร์ชจากกล้วยตานีเมื่อใช้ Buffer ค่า pH ต่างๆ....67
4.16 ความสัมพันธ์ของค่า pH กับสายพันธุ์กล้วยต่อค่า Pasting temperature ของแป้งเปียก....68
4.17 ความสัมพันธ์ของค่า pH กับสายพันธุ์กล้วยต่อค่า Breakdown ของแป้งเปียก....68
4.18 ความสัมพันธ์ของค่า pH กับสายพันธุ์กล้วยต่อค่า Setback ของแป้งเปียก....69
4.19 ลักษณะของเจลสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ....70

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.20 ค่า Hardness ของเจลสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ที่ระดับ pH ต่างๆ.....73
4.21 ค่า Cohesiveness ของเจลสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ที่ระดับ pH ต่างๆ.....73
4.22 ค่า Gumminess ของเจลสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ที่ระดับ pH ต่างๆ.....74

ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟอสฟอรัสกับค่าการดูดกลืนแสง....106
ก.2 การดูดกลืนแสงของไอโอดีน อะมิโลส อะมิโลเพคติน และส่วนผสมของอะมิโลสกับ อะมิโลเพคติน ที่ความยาวคลื่นต่างๆ.....109
ก.3 กราฟของลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากการวัดแบบ TPA 119
ข.1 ตัวอย่างการนับอายุกล้วยหักมุก.....120
ข.2 วัตถุดิบกล้วยที่ใช้ในการทดลอง.....121
ข.3 ลักษณะเม็ดของเนื้อกล้วยตานี.....121

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

กล้วย (*Musa* spp.) เป็นพืชที่มีแหล่งกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (Simmonds, 1966) ซึ่งประเทศไทยอยู่ในเขตพื้นที่ที่เหมาะแก่การเพาะปลูกกล้วย และให้ผลผลิตมากในแถบเอเชีย โดยทุกภาคของประเทศไทยสามารถปลูกกล้วยได้ และการที่กล้วยเป็นพืชล้มลุกที่ให้ผลผลิตได้ตลอดปี จึงทำให้ง่ายต่อการส่งเสริมการปลูกหากต้องการเพิ่มผลผลิต นอกจากนั้นกล้วยเป็นพืชที่สามารถนำส่วนต่างๆ นอกจากผลไปใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย ในช่วงที่ผลผลิตของกล้วยสุกมีมากจะทำให้บริโภค หรือทำเป็นผลิตภัณฑ์ไม่ทัน หรืออาจทำเป็นผลิตภัณฑ์ได้เพียงไม่กี่ชนิด บางครั้งผลิตภัณฑ์ที่ทำก็มีมากเกินความต้องการของตลาดจึงส่งผลให้ราคากล้วยถูกลงมาก ในขณะที่เป็นกล้วยดิบจะมีสตาร์ชอยู่มากกว่า 15% ของกล้วยดิบทั้งผล (Simmonds, 1966) หากสามารถสกัดสตาร์ชเก็บไว้ก่อนที่จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลได้จะทำให้เก็บไว้ได้นาน สามารถใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้มากชนิดกว่ากล้วยสุกและเป็นการเพิ่มมูลค่าของวัตถุดิบ นอกจากนี้ยังเป็นทางเลือกให้เกษตรกรนำกล้วยมาใช้ประโยชน์เพิ่มขึ้น และเป็นแนวทางการนำสตาร์ชกล้วยไปทดแทนสตาร์ชชนิดอื่นที่มีราคาแพง เนื่องจากต้นทุนวัตถุดิบกล้วยมีราคาถูกกว่าวัตถุดิบชนิดอื่นบางตัว เช่น มันฝรั่ง หรือข้าวโพด เป็นต้น

กล้วยยังเป็นผลไม้สำคัญชนิดหนึ่งของประเทศไทย ประการแรก ประเทศไทยเป็นแหล่งกำเนิดของกล้วย โดยเฉพาะกล้วยป่าและกล้วยปลูกที่กลายพันธุ์มาจากกล้วยป่า สำหรับกล้วยตานีไม่พบในป่าประเทศไทย จึงเข้าใจว่ากล้วยตานีมีถิ่นกำเนิดในประเทศอื่นและนำมาปลูกในประเทศไทยแต่กลายเป็นกล้วยที่ปลูกตามบ้าน เพื่อใช้ประโยชน์จากใบและรับประทานผลอ่อน ประการที่สอง ประเทศไทยมีการปลูกกล้วยเป็นการค้าหลายพันธุ์ เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยหอม กล้วยไข่ และกล้วยหักมุกเป็นต้น ประการที่สาม ประเทศไทยมีศักยภาพในการผลิตเพื่อการส่งออก ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่มีการปลูกกล้วยเพื่อส่งออกขายต่างประเทศ (กฤษดา สังข์สิงห์, 2536)

กล้วยเป็นผลไม้ที่มีความสำคัญเป็นอันดับสองในตลาดผลไม้ของโลก รองจากส้ม มีปลูกกันในประเทศต่างๆ มากกว่า 130 ประเทศ (วิจิตร วังใน, 2530) กล้วยที่ปลูกเป็นการค้าแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กล้วย (banana) และกล้วยกล้าย (plantain) จากรายงานของ FAO (1993) ในปี 1992 ทั่วโลกผลิตกล้วยได้ประมาณ 49,630,000 เมตริกตัน และผลิตกล้วยกล้ายได้ประมาณ 26,797,000 เมตริกตัน หากพิจารณาจากปริมาณการผลิตกล้วยและกล้วยกล้ายจะพบว่าเอเชีย

และแอฟริกาเป็นแหล่งผลิตที่ใหญ่ที่สุดตามลำดับ ส่วนการผลิตกล้วยของไทยจากสถิติของกรมส่งเสริมการเกษตร 2538 ประเทศไทยผลิตกล้วยรวมกันทั้งหมดได้ 1,441,751 ตัน จากพื้นที่ปลูกทั้งหมด 887,609 ไร่ แยกเป็นกล้วยน้ำว้า กล้วยหอม และกล้วยไข่ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 พื้นที่ปลูกและปริมาณการผลิตกล้วยในประเทศไทยในปีการเพาะปลูก 2538

พันธุ์	พื้นที่เพาะปลูก (ไร่)	ผลผลิตรวม (ตัน)	ราคา (บาท/กก.)
กล้วยไข่	92,355	149,260	4.56
กล้วยน้ำว้า	731,006	1,180,465	3.30
กล้วยหอม	64,248	112,025	5.10
รวม	887,609	1,441,751	3.57

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร (2538)

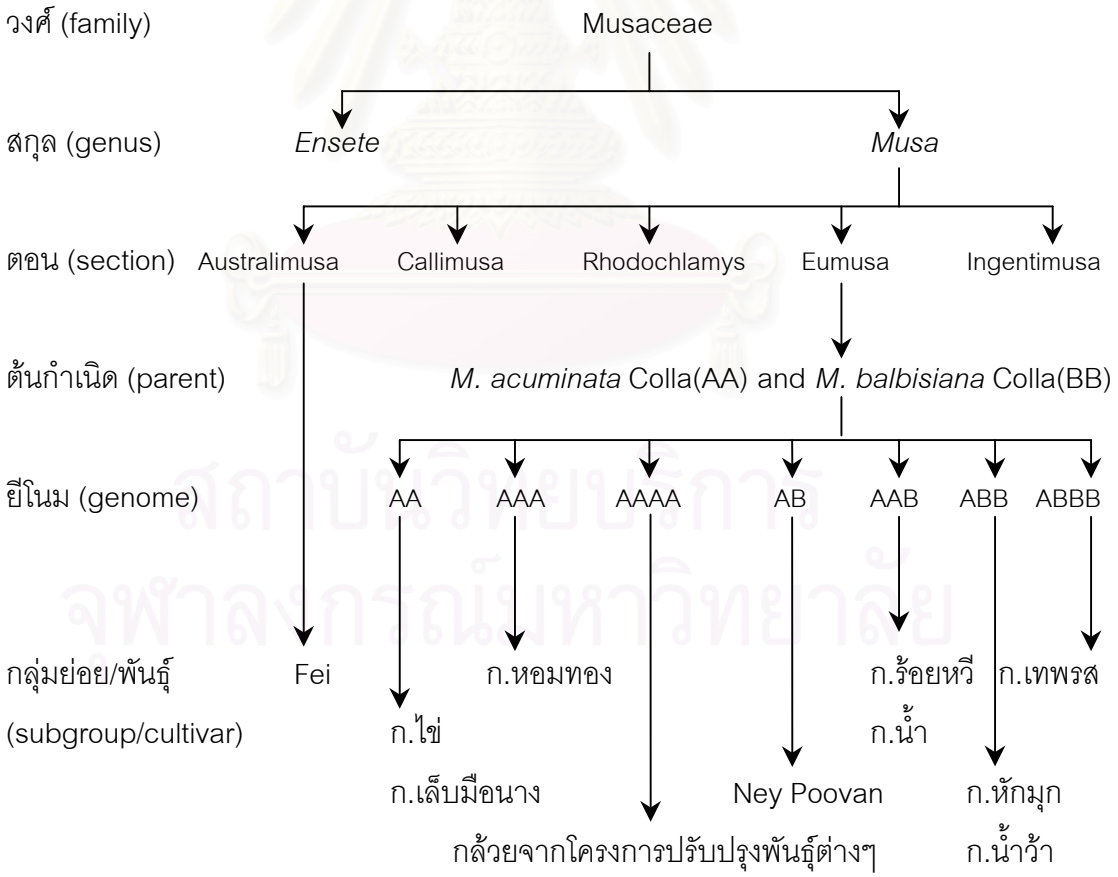
ในประเทศไทยได้มีผู้วิจัยพยายามที่จะศึกษาสมบัติของสตาร์ชกล้วยน้ำว้าดิบ แต่ยังไม่มีการศึกษาสตาร์ชจากกล้วยดิบสายพันธุ์อื่นๆ งานวิจัยนี้จึงได้เลือกกล้วยของไทยที่น่าสนใจสายพันธุ์อื่นนอกเหนือจากกล้วยน้ำว้า เช่น กล้วยหักมุก และกล้วยตานี เนื่องจากกล้วยหักมุกจะปลูกได้ทั่วทุกภาคของไทยแต่ไม่มากนักเพราะจะปลูกเพื่อทำกล้วยฉาบ ไม่นิยมบริโภคสด ส่วนใหญ่จะต้องทำให้สุกด้วยการต้ม หรือ ย่าง ก่อนบริโภค ส่วนกล้วยตานีจะปลูกเพื่อใช้ใบสำหรับห่ออาหารคาวและหวาน แต่ผลจะไม่นิยมมาบริโภคเพราะเนื้อกล้วยจะมีเมล็ดอยู่มาก จะเห็นได้ว่ากล้วยทั้งสองสายพันธุ์นี้มีการปลูกเพื่อจุดประสงค์การใช้งานเฉพาะด้าน ดังนั้นถ้านำมาแปรรูปเป็นสตาร์ชน่าจะนำไปใช้ประโยชน์ได้เพิ่มมากขึ้น เช่น นำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารสำเร็จรูป หรือเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์อาหารต่างๆ เป็นต้น ส่วนในต่างประเทศได้มีผู้ทำการศึกษาการผลิตและสมบัติของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าและกล้วยหักมุกเหมือนกันซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ปลูกในต่างประเทศและยังมีงานวิจัยน้อยมาก จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าในการผลิตสตาร์ชจากกล้วย (banana starch) แต่ละวิธีมักนิยมใช้สารละลายสกัดสตาร์ชอยู่ 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Lii และคณะ (1982), Chiang และคณะ (1987), และ Fichtali และคณะ (1999)) และโซเดียมไบซัลไฟต์ (Bello-Perez และคณะ (1998) และ Whistler และคณะ (1998)) ซึ่งยังไม่มีการศึกษาเปรียบเทียบผลของสารละลายทั้งสองชนิด

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการที่จะศึกษาผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากผลกล้วยดิบ และสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชจาก กล้วยหักมุก กล้วยน้ำว้า และกล้วยตานี เพื่อเป็นแนวทางการใช้สตาร์ชจากกล้วยในอุตสาหกรรมอาหาร

บทที่ 2
วารสารปริทัศน์

2.1 สายพันธุ์กล้วย

กล้วยที่ปลูกกันมากอยู่ในวงศ์ Musaceae ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 สกุล คือ *Musa* (กล้วยแตกกอ) และ *Ensete* (กล้วยไม่แตกกอ) *Musa* เป็นสกุลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ ซึ่งแบ่งออกเป็น 5 หมวด คือ Eumusa, Australimusa, Callimusa, Rhodochlamys, และ Ingentimusa ซึ่งหมวด Eumusa เป็นกล้วยที่กินได้ โดยถือกำเนิดมาจากกล้วยป่า *Musa acuminata* Colla และกล้วยตานี *M. balbisiana* Colla ซึ่งกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์สามารถผสมข้ามต้นได้จึงทำให้เกิดลูกผสมมากมายในธรรมชาติ และสามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มโดยดูจากจำนวนชุดของยีโนมเป็นสำคัญได้เป็นกลุ่ม AA, AAA, AAAA, AB, AAB, ABB, ABBB, BB, และ BBB แสดงดังรูปที่ 2.1 (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2538)



รูปที่ 2.1 การจัดจำแนกพันธุกรรมกล้วย

กล้วยปลูกที่รับประทานผลมี 2 ประเภท คือ กล้วยที่รับประทานผลสดเมื่อสุก กล้วยชนิดนี้รสหอมหวาน เรียกว่า banana บางทีเรียกว่า sweet banana หรือ dessert banana หรือ table banana เช่น กล้วยน้ำว้า กล้วยหอม และอีกประเภทเป็นกล้วยที่รับประทานผลสุกหลังจากที่นำไปต้มหรือเผาไฟเสียก่อน กล้วยชนิดนี้ผลสดเมื่อสุกจะกระด้าง รสค่อนข้างจืด ไม่หวาน รับประทานไม่อร่อย เรียกว่า plantain หรือ cooking banana เช่น กล้วยหักมุก กล้วยกล้าย (โชติ สุวัตถิ, 2505)

พันธุ์กล้วยปลูกที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้คือ กล้วยหักมุก กล้วยน้ำว้า และกล้วยตานี ซึ่งกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ สามารถแยกกลุ่มตามยีโนมและลักษณะแต่ละสายพันธุ์ได้ ดังนี้

2.1.1 กล้วยหักมุก

กล้วยหักมุก [*Musa* (ABB group) “Kluai Hak Muk” กลุ่มย่อย Bluggoe] ชื่อสามัญ: Silver Bluggoe ชื่อพ้องที่สำคัญ: กล้วยส้ม Pisang abukeling (มาเลเซีย), P.batu (Java), Jamani (ฟิจิ), Puataelo, Pata Samoa (ซามัว), Largo (ฮาวาย), Saba (ฟิลิปปินส์), Hpi gyan (พม่า), Nalla Samoa (อินเดียใต้), Mondan (ศรีลังกา), Mkojosi, Bokoboko, Koroboi, Muskat, Punda (อาฟริกาตะวันออก), Whitehouse plantain, Chamaluco, Poteau, Cacambou, Moko, Bluggoe, Buccament, Mafoubay (อินดิสตะวันตก), Cacha, Cuatrofilos, Largo, Majoncho, Apple plantain, Chato (อเมริกา) (Simmonds, 1966)

กล้วยหักมุกมี 2 ชนิด คือ ชนิดมีนวล (หักมุกขาว) และไม่มีนวล (หักมุกเขียว) กล้วยหักมุกชนิดมีนวลกลายพันธุ์มาจากหักมุกเขียว แต่มีลักษณะที่ดีกว่าจึงถูกคัดเลือกไว้เป็นพันธุ์ปลูก ส่วนกล้วยหักมุกเขียวผิวเปลือกมีสีดำประปราย เนื้อไม่ค่อยแน่น บางครั้งพบการกลายพันธุ์ในเครือเดียวกันมีทั้ง 2 ชนิด (พานิชย์ ยศปัญญา, 2541) กล้วยหักมุกมีลำต้นสูง 2.5-3.5 m ลำต้นแข็งแรง กาบลำต้นด้านนอกมีประดำบ้างเล็กน้อย มีนวลมาก ด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบและมีปีก เส้นกลางใบสีเขียวมีนวลทางด้านล่าง ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบประดับค่อนข้างป้อมม้วนงอขึ้น ปลายป้าน ด้านบนมีนวลหนา ด้านล่างสีแดงเข้ม เครือหนึ่งมีประมาณ 7 หวี หวีละ 10-16 ผล ผลขนาดใหญ่กว้าง 4-5 cm ยาว 11-19 cm ก้านผลยาวคล้ายกล้วยน้ำว้า แต่ปลายผลลีบลงมากกว่า และเห็นเหลี่ยมชัดเจน เปลือกหนา เมื่อสุกมีสีเหลืองอมน้ำตาล มีนวลหนา เนื้อสีส้มหยาบ กล้วยหักมุกมีการปลูกทั่วไปในทุกภาคแต่ไม่มากนัก มีการปลูก

เป็นการค้าที่จังหวัดเพชรบุรี เพื่อทำเป็นกล้วยฉาบ ไม่นิยมกินสด ส่วนใหญ่จะเผาหรือฉาบน้ำตาล ซึ่งเนื้อจะเหลืองสวยกว่ากล้วยน้ำว้า (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2538)

2.1.2 กล้วยน้ำว้า

กล้วยน้ำว้า [*Musa* (ABBgroup) "Kluai Namwa"] ชื่อสามัญ: Pisang Awak ชื่อพ้องที่สำคัญ: กล้วยใต้ (เชียงใหม่, เชียงราย) กล้วยตานีอ่อง (อุบลราชธานี) กล้วยมะลิอ่อง (จันทบุรี) กล้วยอ่อง (ชัยภูมิ) (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2538) Katali (ฟิลิปปินส์), Pisang Awak (อินโดนีเซีย, มาเลเซีย), Yava (นิวกินี), Ducasse (ควีนส์แลนด์), Yakhine (พม่า), Pey kunnan, Kostha bontha, Monohar, Sail kolo (อินเดีย), Seenikehel (ศรีลังกา), Nyeupe (เคนยา) (Simmonds, 1966)

กล้วยน้ำว้าสามารถแบ่งตามลักษณะแกนของผลกล้วยหรือที่เรียกว่า ไส้กลาง ที่มีสีเหลือง ชมพู หรือขาว ซึ่งทำให้แบ่งออกได้เป็น กล้วยน้ำว้าไส้เหลือง กล้วยน้ำว้าไส้แดง และกล้วยน้ำว้าไส้ขาว นอกจากนี้ยังมีกล้วยน้ำว้าที่ต้นเตี้ยกว่า 2.5 m เรียกว่า กล้วยน้ำว้าค่อม โดยทั่วไปแล้วกล้วยน้ำว้ามีลำต้นเทียมสูงไม่เกิน 3.5 m กาบลำต้นด้านนอกมีสีเขียวอ่อน มีประดำเล็กน้อย ด้านในสีเขียวอ่อน ก้านใบมีร่องค่อนข้างแคบ เส้นกลางใบสีเขียว ก้านช่อดอกไม่มีขน ใบประดับรูปไข่ค่อนข้างป้อม ม้วนงอขึ้นปลายบาน ด้านบนสีแดงอมม่วงมีนวล ด้านล่างสีแดงเข้ม เครือหนึ่งมี 7-10 หวี หวีหนึ่งมี 10-16 ผล ผลกว้าง 3-4 cm ยาว 11-13 cm มีเหลี่ยม ก้านผลยาว กล้วยน้ำว้านิยมปลูกทั่วไปในประเทศไทย กินกันมากในทุกๆ ภาค ปลูกเป็นการค้าทั่วไปในภาคกลาง ภาคเหนือปลูกมากที่จังหวัดพิษณุโลก เนื้อกล้วยน้ำว้ามีคุณค่าทางอาหารมาก ใช้เป็นอาหารเด็กอ่อน กินสด และทำเป็นขนมหลายชนิด เช่น ขนมกล้วย กล้วยทอด กล้วยบวดชี กล้วยตาก กล้วยฉาบ และกล้วยกวน กล้วยตากทำเป็นสินค้าไปขายต่างประเทศ (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2538)

2.1.3 กล้วยตานี

กล้วยตานี (*Musa balbisiana* Colla) มีจีโนม BB ชื่ออื่นๆ กล้วยงู (พิจิตร) กล้วยตานีใน, กล้วยป่า, กล้วยเมล็ด (สุรินทร์) กล้วยพองลา (ใต้) กล้วยตานีมีลำต้นเทียมสูง 3.5-4.0 m เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 cm สีเขียว ไม่มีปื้นดำ กาบลำต้นด้านในสีเขียว ก้านใบสีเขียว เส้นกลางใบสีเขียวไม่มีร่อง ก้านช่อดอกสีเขียว ไม่มีขน ใบประดับรูปค่อนข้างป้อม มีความกว้าง

มากปลายมน ด้านบนสีแดงอมม่วง มีนวล ด้านล่างสีแดง เข้มสดใส เมื่อใบประดับกางขึ้นจะตั้งฉากกับช่อดอกและไม่ม้วนงอ ใบประดับแต่ละใบซ้อนกันลึก เครือหนึ่งมีประมาณ 8 หวี หวีหนึ่งมี 10-14 ผล ผลป้อมขนาดใหญ่ มีเหลี่ยมเห็นชัดเจน ลักษณะคล้ายกล้วยหักมุกแต่ปลายทู่ ก้านผลยาวเมื่อสุกเปลี่ยนเป็นสีเหลือง เนื้อมีรสหวาน มีเมล็ดจำนวนมาก เมล็ดใหญ่สีดำ ผนังหนาแข็ง (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2538) ประโยชน์ของกล้วยตานีมีหลายอย่างเช่น ใช้ประโยชน์จากใบโดยตรงเพื่อการห่อของ ส่วนอื่นของกล้วยที่เห็นได้ชัด คือ ไส้กลางต้นกล้วยนำมาปรุงอาหาร ต้นกล้วยที่หมดอายุแล้วนำมาทำเชือก นำเส้นใยมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นๆ เช่น กระเป๋า ส่วนรากเหง้าของต้นกล้วยเมื่อปล่อยทิ้งไว้จะเป็นตัวปรับโครงสร้างของดินให้ดีขึ้น (พานิชย์ ยศปัญญา, 2541)

2.2 การเก็บเกี่ยวและการเปลี่ยนแปลงของกล้วยหลังการเก็บเกี่ยว

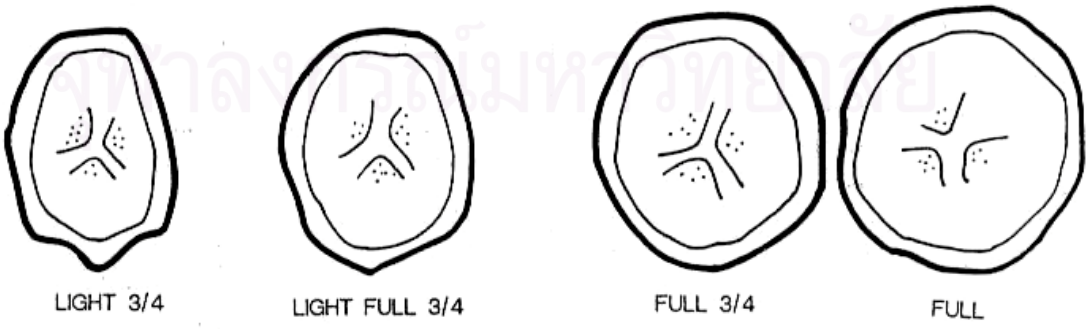
การเก็บเกี่ยวกล้วยมักจะเก็บเกี่ยวเมื่อกล้วยมีความแก่ต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์การนำกล้วยไปใช้ เช่น เพื่อการส่งออกที่ต้องใช้ระยะเวลาเดินทางนานก็จะเก็บเกี่ยวเมื่อผลกล้วยยังมีเหลี่ยมอยู่ คือ ยังแก่ไม่เต็มที่ มีความแก่ประมาณ 70-80% แต่ถ้าส่งภายในประเทศควรเก็บเกี่ยวเมื่อแก่เต็มที่ ซึ่งมีมาตรฐานในการวัดความแก่ของกล้วยหลายวิธี เช่น มาตรฐานความแก่ของกล้วยขึ้นอยู่กับเหลี่ยมของผลกล้วยดัง รูปที่ 2.2 (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2538)

Full หมายถึง ผลที่ไม่มีเหลี่ยมเลยเรียกว่าแก่เต็มที่ 100%

Full ¾ หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมแต่ไม่ชัดเจน มีความแก่ประมาณ 90%

Light Full ¾ หมายถึง ผลที่มีเหลี่ยมเห็นชัด มีความแก่ประมาณ 80%

Light ¾ หมายถึง ผลมีขนาดครึ่งหนึ่งของผลที่โตเต็มที่หรือมีความแก่ประมาณ 70%



รูปที่ 2.2 รูปร่างตามขวางของผลกล้วยเมื่ออายุต่างกัน (เบญจมาศ ศิลาย้อย, 2538)

การเก็บเกี่ยวมักจะเก็บเกี่ยวที่ความแก่ 80-100% ขึ้นอยู่กับตลาดและข้อตกลงซึ่งมีระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย อย่างไรก็ตามการดูความแก่ที่เหลี่ยมนี้จะใช้ได้กับกล้วยที่รับประทานผลสดเท่านั้น เช่น กล้วยไข่ กล้วยหอม แต่ใช้ไม่ได้กับกล้วยหักมุก กล้วยกล้าย กล้วยหิน เพราะกล้วยเหล่านี้จะมีเหลี่ยมชัดเจนถึงแม้จะแก่เต็มที่ ดังนั้นจึงนิยมวัดความแก่ของกล้วยโดยนับจำนวนวันตั้งแต่กล้วยแทงช่อดอกหรือแทงปลีจนถึงวันเก็บเกี่ยว ซึ่งกล้วยแต่ละสายพันธุ์จะมีค่าต่างกันดังตารางที่ 2.1

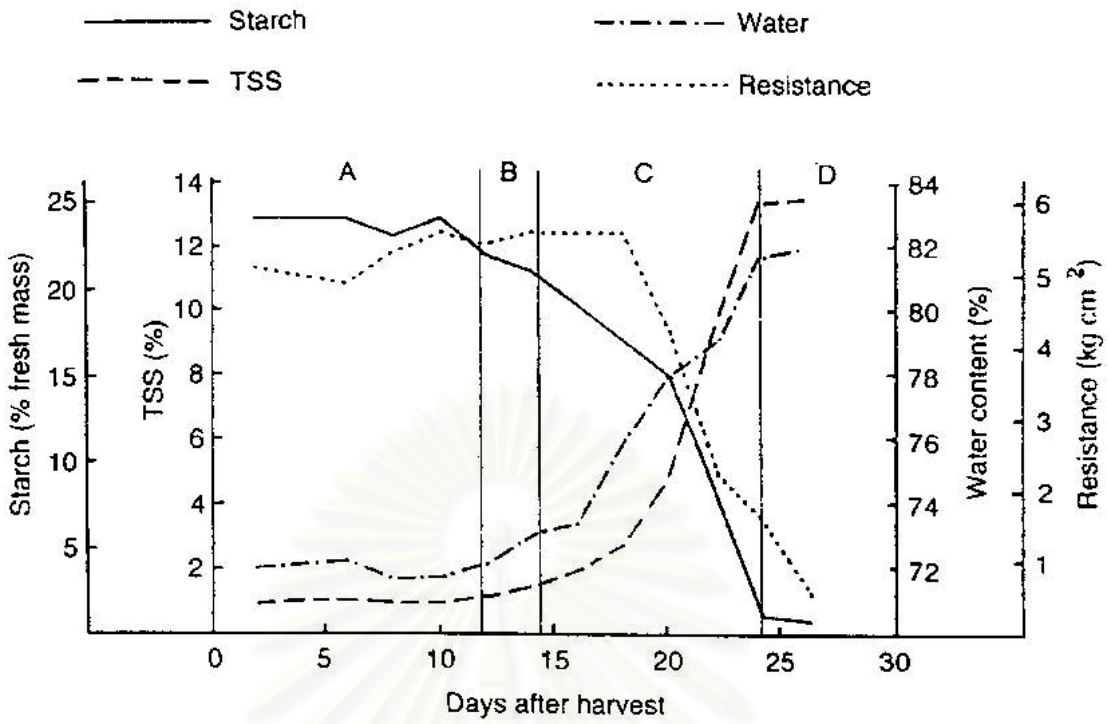
ตารางที่ 2.1 การนับจำนวนวันกล้วยที่ระยะต่าง ๆ ของกล้วยแต่ละสายพันธุ์ *

สายพันธุ์กล้วย	จำแนกตามกลุ่ม (genome)	ออกดอกถึงให้หวีสุดท้าย (วัน)	หวีสุดท้ายถึงวันเก็บเกี่ยว (วัน)	ออกดอกถึงวันเก็บเกี่ยว(วัน)
กล้วยไข่	AA	9.88	70.00	79.88
กล้วยเล็บมือนาง	AA	11.88	74.63	86.51
กล้วยหอมทอง	AAA	10.63	92.63	103.26
กล้วยหอมเขียวค่อม	AAA	15.00	97.88	112.88
กล้วยหักมุกขาว	ABB	14.50	132.50	147.00
กล้วยหักมุกเขียว	ABB	14.63	135.75	150.38
กล้วยน้ำว้าค่อม	ABB	20.50	116.75	137.25
กล้วยน้ำว้าขาว	ABB	19.00	133.88	152.88
กล้วยน้ำว้าแดง	ABB	19.00	128.00	147.00
กล้วยน้ำว้าเหลือง	ABB	21.38	126.00	147.38

ที่มา : กฤษดา สังข์สิงห์ (2536)

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 8 ซ้ำ

ดังนั้นในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยจึงต้องคำนึงถึงความแก่ของกล้วย เพราะเมื่อกล้วยเกิดการสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับผลไม้ที่มีการสุกแบบ climacteric โดยทั่วไปขณะที่ผลเริ่มสุกจะมีอัตราการหายใจเพิ่มขึ้น ระยะแรกของการสุกนี้เรียกว่า pre climacteric เริ่มต้นจากอัตราการหายใจจะเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งสูงสุด (climacteric peak) หลังจากนั้นอัตราการหายใจจะลดลงซึ่งเรียกระยะของการสุกนี้ว่า post climacteric (ripening) ระยะนี้กล้วยจะเริ่มสุกงอมและเสื่อมสภาพ ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 **การเปลี่ยนแปลงปริมาณสตาร์ช** (starch), **ของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด** (TSS), **ปริมาณน้ำ** (water) **ในเนื้อกล้วย และการทนต่อแรงกลของผลกล้วย** (mechanical resistance) **ของกล้วย** Giant Cavendish (AAA group) **ที่ระยะต่าง ๆ หลังการเก็บเกี่ยว** (John และ Marchal, 1995)

จะเห็นได้ว่าระยะการสุกจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง โดยเนื้อกล้วยจะเริ่มนิ่มระหว่างที่สตาร์ชเปลี่ยนเป็นน้ำตาล ทั้งในเนื้อและเปลือกรวมถึงผนังเซลล์ก็จะเสื่อมสลายอย่างช้าๆ ความเข้มข้นของ soluble pectic substance จะเพิ่มขึ้นตามกิจกรรมของเอนไซม์ (enzyme activity) เปลือกก็จะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีเหลืองเนื่องจากคลอโรฟิลล์สลายตัว และระหว่างที่สีเปลือกของกล้วยเปลี่ยนเนื้อก็จะนิ่มลง และความหวานจะเพิ่มตามอัตราส่วนของน้ำตาลต่อสตาร์ชที่มากขึ้น ในระหว่างเริ่มต้นของการสุกอัตราส่วนของน้ำตาล ซูโครส:กลูโคส:ฟรุกโตส เป็น 65:20:15 ซึ่งเป็นการบ่งบอกว่าน้ำตาลซูโครสจะเกิดขึ้นก่อนและสุดท้ายจะได้น้ำตาลฟรุกโตส การเปลี่ยนจากสตาร์ชเป็นซูโครสใช้เวลาประมาณ 2 วันหลังจาก climacteric peak ซึ่งรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของสตาร์ชเป็นน้ำตาลจะเริ่มจากกลางผลไปสู่ผิวของกล้วย ส่วนปริมาณน้ำในเนื้อจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากการหายใจของสตาร์ชหยุดและเกิดการเคลื่อนที่ด้วยแรงดัน osmotic ของน้ำจาก

เปลือกไปสู่เนื้อกล้วยและจะเกิดมากในกล้วยสุก เมื่อกล้วยสุกมากเต็มที่จะมีปริมาณน้ำในเนื้อ 75% ส่วน plantain จะมีอยู่ 66% (John และ Marchal, 1995)

ในประเทศไทยมีผู้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีที่ระยะการสุกต่างๆ ในด้านคุณค่าทางอาหารของกล้วยในกลุ่ม ABB บางชนิด คือ กล้วยน้ำว้า 3 สายพันธุ์ (พันธุ์ไส้ขาว ไส้เหลือง และไส้แดง) และกล้วยหักมุก 1 พันธุ์ ทั้งกล้วยดิบและกล้วยสุกที่ปลูกในสถานีวิจัยปากช่อง ดังแสดงในตารางที่ 2.2 พบว่าขณะที่เกิดการสุกของกล้วยน้ำว้าทั้ง 3 สายพันธุ์ และกล้วยหักมุกจะมีความชื้นเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แต่จะมีปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใย และเถ้าเปลี่ยนแปลงไปเพียงเล็กน้อย เมื่อพิจารณาปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบว่ากล้วยน้ำว้าทั้ง 3 สายพันธุ์ และกล้วยหักมุกที่มีอายุเป็น 75% ของกล้วยสุก จะมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตลดลงทั้งนี้อาจเนื่องจากขณะที่กล้วยยังดิบอยู่องค์ประกอบส่วนใหญ่คือ แป้ง และแป้งนี้จะค่อยๆเปลี่ยนเป็นน้ำตาลมากขึ้น (วิไลลักษณ์ รัตอาภา และคณะ, 2536)

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารของกล้วยน้ำว้า 3 พันธุ์ และกล้วยหักมุก

ตัวอย่างกล้วย	ส่วนประกอบ (% โดยน้ำหนักเปียก)					
%อายุกล้วยสุก	ความชื้น	ไขมัน	เส้นใย	โปรตีน	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต
น้ำว้าไส้ขาว						
75%	64.28	0.29	0.38	0.87	0.73	33.45
90%	64.92	0.31	0.41	0.74	0.87	32.75
กล้วยสุก	69.36	0.38	0.57	0.73	0.95	28.02
น้ำว้าไส้เหลือง						
75%	66.32	0.28	0.38	0.84	0.72	31.45
90%	67.01	0.31	0.43	0.70	0.79	30.76
กล้วยสุก	69.54	0.38	0.59	0.70	0.91	27.87
น้ำว้าไส้แดง						
75%	65.39	0.26	0.34	0.86	0.73	32.41
90%	65.39	0.35	0.46	0.71	0.85	31.37
กล้วยสุก	66.25	0.37	0.55	0.70	0.91	27.92
หักมุก						
75%	63.19	0.25	0.45	1.20	0.65	34.27
90%	66.23	0.34	0.55	0.98	0.75	31.15
กล้วยสุก	69.54	0.35	0.67	0.98	0.93	27.53

ที่มา : วิไลลักษณ์ รัตอาภา และคณะ (2536)

Lii และคณะ (1982) ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีและกายภาพของเนื้อกล้วยในประเทศไต้หวันที่ระยะการสุกต่างๆ โดยแบ่งระยะการสุกจากสีผิวของเปลือกกล้วยเป็น 8 ระยะ ซึ่งระยะที่ 0 และระยะที่ 1 กล้วยยังคงสดอยู่และยังไม่เกิดก๊าซที่ทำให้สุก หลังจากระยะนี้จะเกิดก๊าซ ethylene หรือ acetylene ทำให้กล้วยเริ่มสุกและเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกล้วย ดังตารางที่ 2.3 พบว่าในระหว่างการสุกปริมาณโปรตีน ไขมัน และเส้นใย จะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ส่วนปริมาณเถ้ามีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่ปริมาณสตาร์ชของระยะที่เปลือกยังมีสีเขียว (ระยะที่ 0) อยู่มีค่า 61.74% จากนั้นค่อยๆ ลดลงเป็น 2.58% ในระยะที่เปลือกกล้วยมีสีเหลืองและเริ่มเป็นจุดสีน้ำตาล (ระยะที่ 8) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิงและซูโครสมีค่าสูงขึ้นตามระยะการสุกที่เพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของเนื้อกล้วยที่ระยะการสุกต่างๆ

Stage	Reducing Sugar(%)	Sucrose (%)	Protein (%)	Fat (%)	Fiber (%)	Starch (%)	Ash (%)
0	0.34	1.23	5.30	0.78	0.49	61.74	3.28
1	1.30	6.01	5.62	0.80	0.49	58.58	3.31
2	10.76	18.42	4.88	0.75	0.60	42.42	3.53
3	11.45	21.35	4.93	0.73	0.62	39.78	3.54
4	12.39	27.88	5.38	0.74	0.68	37.59	3.58
5	25.00	53.07	5.77	0.76	0.78	9.70	3.90
6	31.22	51.89	5.65	0.71	0.49	6.30	3.73
7	33.82	51.98	5.60	0.83	0.30	3.33	4.05
8	33.57	53.22	5.52	0.68	0.30	2.58	4.09

Peel color at stage 0-1 : Green , 2 : Green with a trace of yellow , 3 : More green than yellow , 4 : More yellow than green , 5 : Yellow with green tip , 6 : All yellow , 7 : Yellow with a few brown spots , 8 : Yellow with many brown spots

ที่มา : Lii และคณะ (1982)

เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกล้วยดิบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบเดรตจึงได้มีการนำกล้วยดิบมาผลิตเป็นแป้งและศึกษาสมบัติต่างๆ ของแป้งกล้วย (banana flour) ดังตัวอย่างงานวิจัยของ Suntharalingam และ Ravindran (1993) ที่เตรียมตัวอย่างแป้งกล้วยจาก cooking banana สายพันธุ์ Alukehel และ Monthan ได้ปริมาณผลผลิตแป้งกล้วย 31.3% และ 25.5%

ตามลำดับ นอกจากนี้ Mota และคณะ (2000) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของแป้งกล้วยที่สกัดได้จากกล้วยดิบ 8 สายพันธุ์ โดยนำเนื้อกล้วยดิบมาบดและทำแห้งด้วยวิธี freeze drying แล้วบดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 mesh จากนั้นนำมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นได้ผลดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของแป้งกล้วย (banana flour) จากกล้วยแต่ละสายพันธุ์

Variety	Protein (N×6.25)	Water (%)	Fat (%)	Ash (%)	Starch (%)	Soluble fiber (%)	Insoluble fiber (%)
AA group							
Oura da mata	2.80	4.69	0.33	2.60	65.7	2.10	6.85
AAA group							
Nanica	2.80	6.17	0.78	3.50	76.5	2.39	5.37
Nanicao7	2.60	4.17	0.82	3.00	76.1	2.18	4.10
AAB group							
Prata ana	2.90	4.97	0.47	2.90	68.2	2.31	6.55
Mysore	2.60	4.92	0.42	3.20	61.3	2.98	12.56
Maca	3.30	3.91	0.52	2.70	64.9	2.42	8.86
Prata comun	2.50	5.58	0.58	2.80	72.4	3.05	7.41

ที่มา : Mota และคณะ (2000)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การสกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบ

เนื่องจากกล้วยดิบมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักอยู่มากถึง 15% ของกล้วยทั้งผล (Simmonds, 1966) จึงมีผู้สนใจผลิตสตาร์ชจากกล้วยดิบ ซึ่งพบว่าทำได้ 2 วิธี คือ การสกัดสตาร์ชจากการผลิตเป็นแป้ง (flour) ก่อนสกัดเป็นสตาร์ช และการสกัดสตาร์ชจากผลกล้วยดิบโดยตรง

สำหรับการสกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบด้วยวิธีผลิตเป็นแป้งก่อนนำไปสกัดเป็นสตาร์ช Varavinit และ Shobsngob (1996) ได้ทำการทดลองสกัดสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าโดยนำกล้วยไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ 0 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อป้องกันการเกิดสีน้ำตาลในแป้ง หลังจากนั้นนำมาละลายน้ำแข็งที่อุณหภูมิห้อง แล้วตัดเป็นชิ้นเล็กๆ อบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาบดให้เป็นผงและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 80 mesh จะได้เป็นแป้งกล้วย (banana flour) ที่มีโปรตีนประมาณ 2% หลังจากนั้นจึงนำแป้งกล้วยมาละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.3% เพื่อสกัดสตาร์ชแล้วแยกสตาร์ชด้วยเครื่อง centrifuge จากนั้นนำสตาร์ชมาละลายน้ำแล้วปรับ pH ให้ได้ 6.0-6.5 ด้วยสารละลายกรดเกลือเจือจางก่อน centrifuge แยกเอาสตาร์ชขึ้นไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh จะได้สตาร์ชจากกล้วยที่มีปริมาณโปรตีนน้อยกว่า 0.4%

ส่วนการสกัดสตาร์ชจากผลกล้วยดิบโดยตรงได้มีผู้ทำการวิจัยไว้หลายคนทั้งในระดับห้องปฏิบัติการ (lab scale) และระดับโรงงานต้นแบบ (pilot scale) ดังนี้

Lii และคณะ (1982) ได้ทำการสกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบในประเทศไต้หวันในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 N ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยเพื่อนำมาศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพ ซึ่งต่อมา Chiang และคณะ (1987) ได้ทำการสกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบในกลุ่ม ABB ในโรงงานต้นแบบ พบว่าการจุ่มกล้วยดิบทั้งเปลือกในน้ำร้อนอุณหภูมิ 70 °C นาน 5-6 นาที จะทำให้ปอกเปลือกง่ายขึ้น และการบดเนื้อกล้วยกับสารละลายที่อุณหภูมิต่ำจะช่วยลดความหนืดของสารละลายแป้ง และยังพบว่าการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.05 N ในการบดผสมกับเนื้อกล้วยแล้วทิ้งไว้ข้ามคืนก่อนกรองจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดสตาร์ช นอกจากนี้การนำกากที่ได้จากครั้งแรกมาบดและกรองซ้ำอีกครั้งจะช่วยเพิ่มปริมาณผลผลิตสตาร์ชจาก 46% เป็น 70% โดยน้ำหนักแห้ง

Bello-Perez และคณะ (1998) ได้สกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบโดยนำเนื้อกล้วยที่หั่นแล้ว 500 gm มาแช่ในสารละลายโซเดียมซัลไฟต์ความเข้มข้น 1.22 gm/l ปริมาณ 500 gm แล้วบดเนื้อกล้วยกับสารละลายและกรองผ่านตะแกรงเพื่อล้างทำความสะอาดสตาร์ชก่อน centrifuge เอาสตาร์ชขึ้นไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh จะได้สตาร์ชจากกล้วย เพื่อนำไปใช้ศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพเปรียบเทียบกับสตาร์ชที่สกัดได้จาก Amaranth ต่อมา Whistler (1998) ได้คิดค้นและจดสิทธิบัตรวิธีการสกัดสตาร์ชจากกล้วยโดยใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์และเอนไซม์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติในกล้วย ในการทำให้สตาร์ชหลุดออกจากเนื้อกล้วยได้ดียิ่งขึ้น ทำได้โดยนำเนื้อกล้วยดิบมาบดผสมกับสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ความเข้มข้น 0.5-3.0% (w/w) ซึ่งมีค่า pH 3.0-5.0 ที่อุณหภูมิ 20-50 °C เป็นเวลา 2-8 ชั่วโมง กรองกำจัดกากแล้วนำส่วนที่กรองได้ไป centrifuge แยกเอาสตาร์ชขึ้นไปอบแห้งก็จะได้ผลผลิตของสตาร์ชกล้วยที่สูง

Fichtali และคณะ (1999) ได้คิดค้นและจดสิทธิบัตรวิธีการสกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบที่ยังไม่ปอกเปลือกซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ทางการค้า โดยใช้การบดกล้วยที่ยังไม่ปอกเปลือกกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นต่ำกว่า 0.15 N ในอัตราส่วนกล้วยต่อสารละลายเป็น 1:2 ถึง 1:4 ทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง กรองแยกกากด้วยตะแกรงขนาด 30-400 mesh เพื่อล้างสตาร์ชซ้ำ 2-6 ครั้ง แล้ว centrifuge แยกสตาร์ชขึ้นไปทำแห้ง จะได้สตาร์ชกล้วยที่มีสีขาว ความบริสุทธิ์มากกว่า 95% ปริมาณโปรตีนน้อยกว่า 1% ปริมาณเถ้าน้อยกว่า 0.07%

ในงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากผลกล้วยดิบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารละลายแต่ละชนิด เพื่อเลือกสารละลายที่เหมาะสมที่สุดมาผลิตสตาร์ชจากกล้วยสำหรับศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ

2.4 สมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากกล้วย

สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6:10:5 มีสูตรเคมีโดยทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ สตาร์ชเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางตอนปลายของสายโพลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่อัลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่า reducing end group สตาร์ชประกอบด้วยโพลิเมอร์ 2 ชนิด คือ อะมิโลส (โพลิเมอร์เชิงเส้น) และอะมิโลเพคติน (โพลิเมอร์เชิงกิ่ง) วางตัวในแนวรัศมี สตาร์ชจากแหล่งที่ต่างกันจะมีอัตราส่วนของ

อะมิโลสและอะมิโลเพคตินแตกต่างกันทำให้สมบัติของสตาร์ชแต่ละชนิดแตกต่างกัน นอกจากนี้ส่วนประกอบอื่นที่มีผลต่อลักษณะและสมบัติของเม็ดสตาร์ชที่สำคัญได้แก่ ไขมัน โปรตีน และฟอสฟอรัส

สตาร์ชกล้วยมีส่วนประกอบทางเคมีคล้ายกับสตาร์ชจากพืชชนิดอื่นดังแสดงในตารางที่ 2.5 ซึ่งเป็นการรวบรวมผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของสตาร์ชที่ได้จากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ พบว่าค่าที่วิเคราะห์แตกต่างกันทั้งนี้เนื่องมาจากความแตกต่างของสายพันธุ์ วิธีการสกัดและวิธีการวิเคราะห์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาณความชื้น (%MC) มีค่าใกล้เคียงกับสตาร์ชทางการค้า เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง (10-12%) โปรตีนของสตาร์ชกล้วยประเทศแม็กซิโกมีค่าสูงเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากสตาร์ชที่นำมาวิเคราะห์ถูกสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ส่วนสตาร์ชกล้วยชนิดอื่นมีค่าโปรตีนต่ำกว่าเพราะใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดสตาร์ช จึงทำให้โปรตีนละลายออกไปพร้อมกับสารละลาย (Rayas-Duarte และคณะ, 1995) แต่โดยทั่วไปสตาร์ชจะมีโปรตีนเป็นส่วนประกอบต่ำกว่า 1% โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชทำให้เกิดผลกระทบต่อลักษณะของสตาร์ช คือ ทำให้เกิดประจุบนพื้นผิวเม็ดสตาร์ช มีผลต่อการกระจายของเม็ดสตาร์ช ทำให้สตาร์ชมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลาติไนซ์เปลี่ยนแปลงไป นอกจากนั้นโปรตีนยังทำให้เกิด Maillard reaction ระหว่างการทำปฏิกิริยาของโปรตีนกับน้ำตาลรีดิวซ์ซิง ทำให้สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป (โดยส่วนใหญ่ปฏิกิริยาเช่นนี้จะเกิดขึ้นกับสตาร์ชจากธัญพืช เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสูง)

เถ้า (Ash) เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณสารอนินทรีย์ที่มีอยู่ในสตาร์ช เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม สามารถวิเคราะห์หาปริมาณได้จากส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์ ซึ่งปริมาณเถ้านี้อาจจะมีความสัมพันธ์กับหมู่ฟอสเฟตในสตาร์ช เช่น สตาร์ชมันฝรั่ง หรือเถ้าในสตาร์ชจากธัญพืชจะสัมพันธ์กับปริมาณฟอสโฟลิปิด ส่วนปริมาณเถ้าในสตาร์ชกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ มีค่าดังตารางที่ 2.5 พบว่ากล้วยพันธุ์ macho จากประเทศแมกซิโกมีปริมาณเถ้าสูงสุด ซึ่งสันนิฐานได้ว่าสตาร์ชจากกล้วยพันธุ์นี้อาจมีโปตัสเซียมเป็นองค์ประกอบ (Bello-Perez และคณะ, 1999)

ไขมัน (fat) ที่เป็นส่วนประกอบของสตาร์ชกล้วยจะมีค่าแตกต่างกัน เนื่องจากสายพันธุ์ของกล้วย และวิธีการสกัดที่แตกต่างกันดังที่รวบรวมและแสดงในตารางที่ 2.5 พบว่าสตาร์ชกล้วยจากแม็กซิโกมีปริมาณไขมันค่อนข้างสูง แต่โดยทั่วไปสตาร์ชชนิดอื่นจะมีไขมันต่ำกว่า 1% ชนิดและปริมาณไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดสตาร์ชจะส่งผลกระทบต่อลักษณะและสมบัติของสตาร์ช

โดยจะลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และการดูดซับน้ำของแป้ง เนื่องจากไขมันรวมตัวกับอะมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Morrison, 1981) นอกจากนี้กรดไขมันไม่อิ่มตัวที่อยู่บริเวณผิวของเม็ดสตาร์ชจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่นได้ ทำให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์โดยเฉพาะสตาร์ชจากธัญพืช (Maningat และ Juliano, 1980)

ตารางที่ 2.5 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชที่แยกได้จากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ

Varieties	Chemical analysis					
	Moisture (%)	Protein (%)	Ash (%)	Fat (%)	Phosphorus (%)	Fiber (%)
"Valery"(AAA) (Kayisu et al., 1981)	10.80±0.20	0.20±0.00	0.02±0.00	0.20±0.00	ND	ND
Taiwan banana (Lii et al., 1982)	ND	0.09	0.057	0.11	0.070	ND
"Ihitisim"(AAB)	ND	0.94	0.34	ND	0.022	ND
"Fougamou"(ABB) (Eggleston et al., 1992)	ND	1.02	0.35	ND	0.027	ND
"French plantain" (AAB) (Perez-Sira, 1997)	ND	ND	0.02	0.09	ND	0.26
Mexico banana (Bello-Perez et al., 1998)	9.90±0.24	2.03±0.19	0.54±0.06	2.46±0.30	ND	ND
"macho"(Mexico)	12.90±0.30	2.03±0.15	1.30±0.30	2.2±0.05	ND	ND
"criollo"(Mexico) (Bello-Perez et al., 1999)	11.10±0.40	1.95±0.20	0.43±0.06	2.3±0.07	ND	ND

ND : not determined, no sample

ฟอสฟอรัส (phosphorus) ที่อยู่ในสตาร์ชอาจมีได้หลายรูปแบบ เช่น ฟอสฟอรัสที่อยู่ในสตาร์ชจากธัญพืชจะอยู่ในรูปฟอสโฟลิปิดมีปริมาณ 0.02-0.06% หรืออาจจะอยู่ในรูปฟอสเฟตเชื่อมกับหมู่ไฮดรอกซิลที่ C_3 และ C_6 ของหน่วยกลูโคส เช่น สตาร์ชมันฝรั่งมีปริมาณ 0.3-0.4% ซึ่งฟอสฟอรัสนี้จะทำให้มีประจุพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชเป็นลบ แรงผลักระหว่างประจุลบจะทำให้สตาร์ชมันฝรั่งมีสมบัติพองตัวง่าย และมีความหนืดสูงกว่าสตาร์ชชนิดอื่นๆ (Galliard และ Bowler, 1987) ส่วนสตาร์ชกล้วยมีปริมาณฟอสฟอรัสประมาณ 0.02-0.03% แต่ก็เคยมีรายงานว่าสตาร์ช

กล้วยของประเทศไต้หวันมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงถึง 0.07% (Lii และคณะ, 1982) อาจเนื่องจากวิธีการวิเคราะห์ที่ต่างกัน

อะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพคติน (amylopectin) โพลิเมอร์ทั้งสองชนิดนี้เป็นโฮโมโพลิเมอร์คือมีกลูโคสเป็นโมโนเมอร์เหมือนกัน และมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินจะมีค่าคงที่ในแป้งแต่ละชนิด ทั้งอะมิโลสและอะมิโลเพคตินรวมกันจะเท่ากับหรือมากกว่า 99 % โดยน้ำหนักแห้งของสตาร์ช ดังนั้นเมื่อทราบปริมาณสตาร์ชและปริมาณอะไมโลสแล้วจะสามารถหาค่าอะมิโลเพคตินได้ ซึ่งอะมิโลสและอะมิโลเพคตินจะมีสมบัติต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 สมบัติที่แตกต่างกันของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน

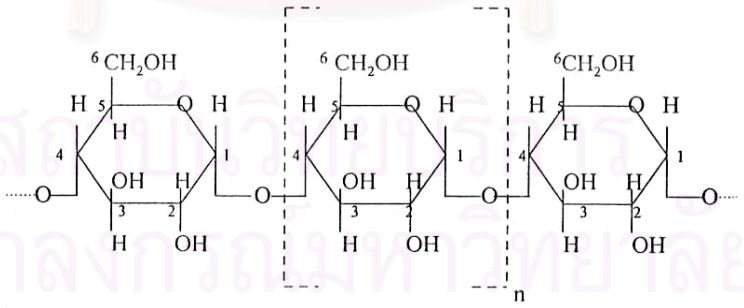
อะมิโลส	อะมิโลเพคติน
1. ละลายน้ำได้น้อยกว่า	1. ละลายน้ำได้ดีกว่า
2. เมื่อต้มในน้ำจะหนืดขึ้นน้อยกว่าแต่ขุ่นกว่า	2. จะหนืดข้นมากกว่าแต่ใส
3. ให้สีน้ำเงินแก่กับสารไอโอดีน	3. ให้สีแดงม่วงหรือน้ำตาล
4. ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α-1,4	4. โมเลกุลต่อกันคล้ายกิ่งไม้ด้วยพันธะ α-1,4 และ α-1,6
5. ประกอบด้วยกลูโคส 200-2000 หน่วย	5. ประกอบด้วยกลูโคสมากกว่า 10000 หน่วย
6. เมื่อให้ความร้อนแล้วทิ้งไว้จะจับเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง	6. ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

ที่มา : Beynum และ Roels (1985)

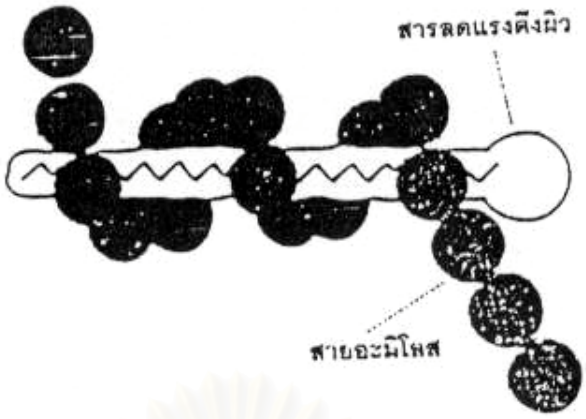
อะมิโลสเป็นโพลิเมอร์สายตรง โดยโมโนเมอร์คือกลูโคสจะเรียงต่อกันเป็นเส้นตรงด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage โครงสร้างแสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ปริมาณอะมิโลสขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ช เช่น สตาร์ชจากธัญพืชได้แก่ ข้าวโพด ข้าวสาลีและข้าวฟ่างจะมีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณ 28% ส่วนสตาร์ชที่ได้จากพืชหัวและราก เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง และสาคู มีปริมาณต่ำประมาณ 20% แต่สตาร์ชจากกล้วยมีปริมาณอะมิโลส 11-20% ในขณะที่ waxy starch จะมีอะมิโลสน้อยมาก และ amylomaize starch จะมีอะมิโลสสูงถึง 80 % น้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลสอยู่ในช่วง 10^5-10^6 ดาลตัน และในสตาร์ชแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกัน เช่นเดียวกับค่า DP(degree of polymerization) ของสตาร์ชแต่ละชนิดก็จะแตกต่างกันด้วย ในธรรมชาติอะมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก อะมิโลสสามารถทำปฏิกิริยากับไอโอดีนและสารประกอบอินทรีย์หลายชนิด ได้แก่ บิวทานอล กรดไขมัน ฟีนอล สารลดแรงตึงผิวหลายชนิดและไฮโดรคาร์บอน ได้สารประกอบเชิงซ้อนซึ่งไม่ละลายน้ำ โดยอะมิโลสจะอยู่ในรูป helix coil

ล้อมรอบสารประกอบอินทรีย์เหล่านี้ดังรูปที่ 2.5 สารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสและไอโอดีนจะให้สีน้ำเงิน ซึ่งสามารถนำมาวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสได้ แต่วิธีหาอะมิโลสด้วยไอโอดีนนี้มีข้อจำกัด Jarvis และ Walker (1993) จึงได้เสนอวิธีวัดปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคตินโดยการวัดสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลส-อะมิโลเพคติน-ไอโอดีน ที่ 6 ความยาวคลื่นและคำนวณปริมาณโดยใช้ multicomponent analysis นอกจากนี้ได้มีการนำเครื่อง DSC (Differential Scanning Calorimetry) (Sievert และ Holm, 1993) และเครื่อง HPSEC (High Performance Size Exclusion Chromatography) มาใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส (Kennedy และคณะ, 1992)

ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดสตาร์ชขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ของสตาร์ช อะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของอะมิโลเพคติน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนอสัณฐาน(amorphous) และส่วนผลึก (crystalline) การศึกษาการเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชมันฝรั่ง (Jane และ Shen, 1993) พบอะมิโลสในส่วนรอบนอกของเม็ดสตาร์ชมากกว่าที่จะอยู่ในส่วนใจกลางเม็ดสตาร์ช อะมิโลสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะพบเป็นเกลียวคู่กับอะมิโลเพคตินอยู่ใจกลางเม็ดสตาร์ช สำหรับอะมิโลสขนาดโมเลกุลเล็กจะพบอยู่ตามขอบเม็ดสตาร์ช (Oates, 1997) แบบจำลองของโครงสร้างอะมิโลสที่อยู่ร่วมกับอะมิโลเพคติน และ monoacyl lipid ในส่วนผลึกของเม็ดสตาร์ชดังรูปที่ 2.6 อะมิโลสภายในเม็ดสตาร์ชมีทั้งอยู่ในสภาพอิสระ สภาพที่อยู่รวมกับไขมัน และอยู่ร่วมกับอะมิโลเพคตินเป็นเกลียวคู่ (double helix) (Blanshard, 1987)

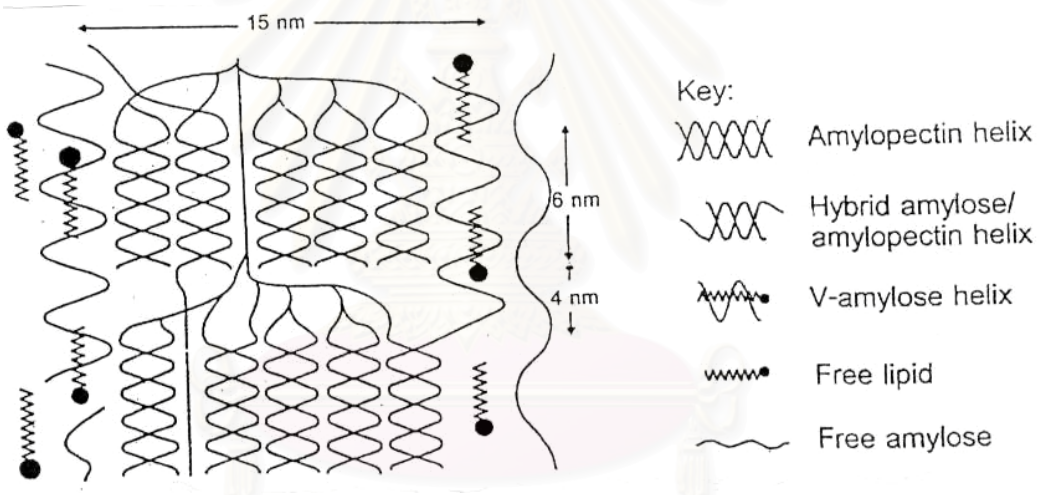


รูปที่ 2.4 โครงสร้างของอะมิโลส



รูปที่ 2.5 ภาพจำลองการจับตัวของอะมิโลสกับสารอินทรีย์

(Galliard และ Bowler, 1987)



รูปที่ 2.6 แบบจำลองโครงสร้างอะมิโลสที่อยู่ร่วมกับอะมิโลเพคตินและไขมัน

(Blanshard, 1987)

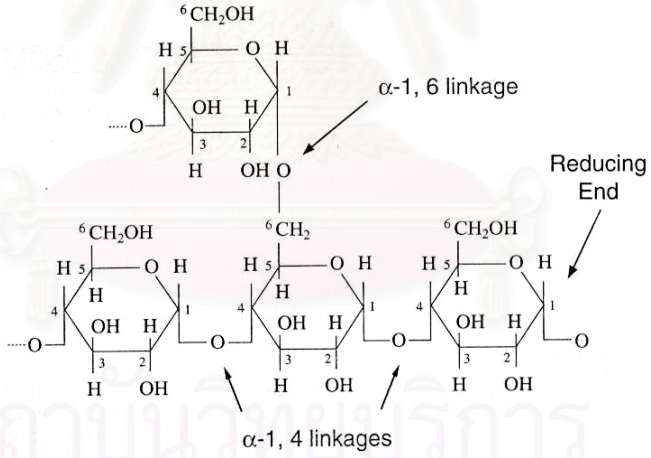
อะมิโลเพคตินเป็นโพลิเมอร์ที่มีกิ่งก้านและแขนงของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α-1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาเป็นโพลิเมอร์กลูโคสของกลูโคสสายสั้น มีค่า DP ในช่วง 10-60 หน่วย เชื่อมต่อด้วยพันธะ α-1,6-glucosidic linkage โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.7 DP ของอะมิโลเพคตินในสตาร์ชแต่ละชนิดจะเท่ากันประมาณ 2 ล้านหน่วย อะมิโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของอะมิโลส คือ ประมาณ 10^7-10^9 ดาลตัน ซึ่งลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพคตินประกอบด้วยสาย (chain) 3 ชนิด ดังนี้ (Robin และคณะ, 1974)

1. สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)

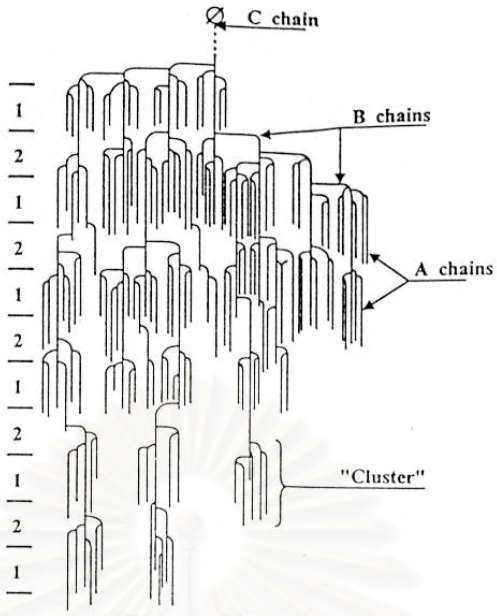
2. สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สาย หรือมากกว่า ซึ่งโครงสร้างอะมิโลเพคตินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 1:1

3. สาย C (C-chain) มีโครงสร้างแบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซ์ซิง 1 หมู่ ในอะมิโลเพคตินแต่ละโมเลกุล ประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

ขนาดโมเลกุลของอะมิโลเพคตินมีตั้งแต่ขนาดเล็ก ซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วยสาย A และสาย B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งมี DP ประมาณ 45 หน่วย ประกอบด้วยสาย B สายยาว สายเหล่านี้อยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน(cluster) Robin และคณะ (1974) ศึกษาโครงสร้างอย่างละเอียดของอะมิโลเพคตินโดยใช้ debranching enzyme และ β-amylase ย่อยอะมิโลเพคตินจากมันฝรั่ง ซึ่งโครงสร้างอะมิโลเพคตินประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งแสดงถึงส่วนผลึก (crystallite region) ส่วนที่สองแสดงส่วนอสัณฐาน (amorphous region) ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.7 โครงสร้างอะมิโลเพคติน



รูปที่ 2.8 ลักษณะโครงสร้างอะมิโลเพคตินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน (Robin และคณะ, 1974)

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในสตาร์ชได้แก่ ชนิดของสตาร์ชและสายพันธุ์ เช่น กล้วยสายพันธุ์ที่แตกต่างกันจะมีปริมาณอะมิโลสต่างกันดังที่รวบรวมและแสดงไว้ในตารางที่ 2.7 ซึ่งปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคตินในสตาร์ชมีผลต่อสมบัติของสตาร์ชหลายด้าน เช่น ลักษณะของ starch paste และการเกิดเจลาติไนซ์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.7 ผลการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชที่แยกได้จากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ

Varieties	Amylose content (%)
"Valery"(AAA) (Kayisu and Hood, 1981)	16.00
"Dwarf Cavendish"(AAA) (Ling และคณะ, 1982)	19.50
"Ihitisim"(AAB)	11.19
"Fougamou"(ABB) (Eggleston และคณะ, 1992)	17.16
"Nam Wa"(ABB) (Varavinit และ Shobsngob, 1996)	35.70

2.5 สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากกล้วย

2.5.1 ลักษณะของเม็ดสตาร์ชกล้วย

เมื่อพืชสังเคราะห์แสงได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวแล้ว จะมีกระบวนการลำเลียงน้ำตาลเหล่านั้นมาสู่ส่วนที่จะเก็บไว้เป็นพลังงานโดยจะรวมน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเหล่านั้นเป็นโพลิเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่และเก็บไว้ในลักษณะกลุ่มก้อนซึ่งเรียกว่า “เม็ดสตาร์ช” สตาร์ชต่างชนิดจะมีลักษณะของเม็ดสตาร์ชแตกต่างกัน ขนาดและรูปร่างจะแปรผันตั้งแต่เม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กรูปร่างหลายมุม เช่น สตาร์ชข้าวเจ้า ไปจนถึงเม็ดสตาร์ชที่มีรูปร่างเป็นรูปไข่มีขนาดใหญ่ เช่น สตาร์ช มันฝรั่ง เป็นต้น ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชชนิดต่าง ๆ

แหล่งของสตาร์ช	ขนาดเม็ด (μm)	ค่าเฉลี่ย (μm)	รูปร่างเม็ดสตาร์ช
มันฝรั่ง	5 – 100	30	กลม รูปไข่มีวงคล้ายเปลือกหอย
ข้าวโพด	3 – 26	15	กลม แบน มีหลายเหลี่ยม คล้ายแท่ง
ข้าวสาลี	1 – 40	10	กลม ค่อนข้างรี
มันสำปะหลัง	4 – 35	20	กลม คล้ายไข่ที่มีรอยตัด
ถั่วเขียว	7 – 26	11	รูปไข่ คล้ายเม็ดถั่ว

ที่มา : ดัดแปลงจาก Ellis และคณะ, 1998 และ Hoover และคณะ, 1997

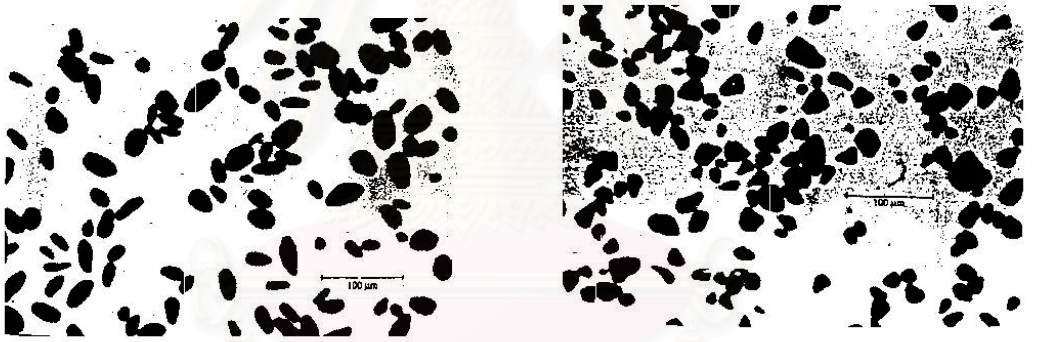
โดยทั่วไปแล้วขนาดและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วย cooking banana และกล้วยกล้ายที่ดิบ มีขนาดแตกต่างกันดังตารางที่ 2.9 และรูปที่ 2.9 ซึ่งเม็ดสตาร์ชกล้วย cooking banana มีขนาด 3.9-76.4 μm และกล้วยกล้ายมีขนาด 7.8-61.3 μm แต่รูปร่างของเม็ดสตาร์ชทั้งสองชนิดเป็นรูปไข่ที่เรียวยาวไม่สม่ำเสมอ (Eggleston และคณะ, 1992)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.9 ขนาดของเม็ดสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วย plantain และ cooking banana

Starch	Granule size (μm)	
	Number average diameter	Range
Plantains		
Ihitisim	26.5	7.8-53.1
Agbagba	26.6	9.7-51.6
Obino L' Ewai	26.0	7.8-61.3
Bobby Tannap	24.1	9.1-56.4
Cooking banana		
Bluggoe	30.9	7.2-76.4
Fougamou	16.4	3.9-50.8

ที่มา : Eggleston และคณะ (1992)



(A) (B)

รูปที่ 2.9 Photomicrographs of (A) Horn plantain (IHITISIM) starch and (B) Cooking banana (FOUGAMOU) starch. Magnification x 100. (Eggleston และคณะ, 1992)

สมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของสตาร์ช คือ เม็ดสตาร์ชจะมีโครงสร้างหรือลักษณะที่เรียกว่า “birefringence“ จากความสามารถในการเบี่ยงเบนระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ และเกิด maltese cross ภายใต้แสงโพลาไรซ์ แขนของ maltase cross จะตัดกันที่ตำแหน่ง hilum เม็ดสตาร์ชซึ่งประกอบด้วยโพลิเมอร์ของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินจะตั้งฉากกับผิวของเม็ดสตาร์ช พื้นที่มืดที่เห็นเมื่อส่องเม็ดสตาร์ชด้วย cross-nicol prism ภายใต้แสงโพลาไรซ์เป็นตำแหน่งเฉลี่ยของสายโพลิเมอร์ของสตาร์ชเมื่ออยู่ในลักษณะตั้งฉากหรือขนานกับระนาบแสงโพลาไรซ์ แต่

เนื่องจากพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชเป็นเส้นโค้ง ดังนั้นจะมีสายโพลิเมอร์บางสายที่ไม่อยู่ในลักษณะตั้งฉากหรือขนานกับระนาบแสงโพลาไรซ์ ทำให้สามารถบิดระนาบแสงและจะเห็นการส่องสว่างของแสงผ่านทาง nicol prism ตัวที่สอง ซึ่งความเข้มของ birefringence ขึ้นอยู่กับความหนาของเม็ดสตาร์ช จำนวนและการจัดเรียงตัวของ crystallite ซึ่ง Lii และคณะ (1982) ได้ศึกษาลักษณะ birefrigence ของเม็ดสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วยในประเทศไต้หวันดังรูปที่ 2.10 โดยพบว่ามีลักษณะของ hilum ไม่อยู่ตรงกลางเม็ดสตาร์ช (excentral) แต่จะค่อนไปด้านใดด้านหนึ่ง

(A) (B)

รูปที่ 2.10 **Photographs of the starch granules of banana: A, under normal light ; B, under polarized light.** (Lii และคณะ, 1982)

การตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์เป็นวิธีที่รวดเร็วและง่ายที่สุดในการตรวจลักษณะของสตาร์ชได้แก่ รูปร่าง ขนาด ตำแหน่งของ hilum และการกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ช แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์ ถ้าผู้ใช้ไม่มีความชำนาญผลที่ได้อาจผิดพลาดได้ นอกจากนี้ในกรณีที่ต้องการดูโครงสร้างพื้นผิวอย่างละเอียดของเม็ดสตาร์ช จะไม่สามารถใช้กล้องจุลทรรศน์ได้เนื่องจากมีกำลังขยายไม่พอ จึงมีการนำ Scanning electron microscope (SEM) มาใช้วิเคราะห์ได้ ซึ่งมีกำลังขยายมากกว่ากล้องจุลทรรศน์หลายร้อยเท่า และสามารถที่จะดูเม็ดสตาร์ชขนาด 70°A หรือเล็กกว่านั้นได้ แต่ข้อจำกัดของเครื่อง SEM คือ เรื่องสีที่ใช้ย้อมเม็ดสตาร์ช ส่วนกล้องจุลทรรศน์สามารถเลือกสีที่ใช้ย้อมได้ ซึ่งขอบเขตของข้อมูลที่ได้รับขึ้นอยู่กับประสบการณ์ และความรู้ในเรื่องสตาร์ชของผู้ใช้กล้องจุลทรรศน์

Kayisu และคณะ (1981) ได้ศึกษาโครงสร้างพื้นผิวอย่างละเอียดของเม็ดสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วย "Valery (AAA Group)" พบว่ารูป Scanning Electron Microscope ของ

กล้วยดิบจะมีพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชที่เรียบ ในขณะที่พื้นผิวของเม็ดสตาร์ชกล้วยสุกจะเห็นเป็นรอยแถบขนานดังรูปที่ 2.11 เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ amylase ระหว่างการสุก

(A) (B)

รูปที่ 2.11 Scanning electron micrograph of banana starch : A, green ; B, ripe (Kayisu และคณะ, 1981)

2.5.2 กำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชกล้วย

แป้งธรรมชาติ (native starch) จะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลสตาร์ชที่อยู่ใกล้ๆ กัน หรือ water bridges แต่เมื่ออุณหภูมิของสารละลายสตาร์ชเพิ่มสูงกว่าช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัว ทำให้เกิดการละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น สมบัติของการเกิด birefringence จะหมดไป ซึ่งกำลังการพองตัวของสตาร์ชจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดสตาร์ชที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดสตาร์ชพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ส่วนปัจจัยที่มีผลต่อการพองตัวและความสามารถในการละลายของสตาร์ชมีหลายประการดังนี้ (Leach, 1965)

1. ชนิดของสตาร์ช

สตาร์ชแต่ละชนิดมีรูปแบบในการพองตัวและการละลายแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาตามความสามารถในการพองตัวและการละลายของสตาร์ชแล้ว สามารถแบ่งสตาร์ชออกเป็น 3 ชนิด คือ สตาร์ชจากธัญพืช สตาร์ชจากส่วนราก และสตาร์ชจากส่วนหัว

1.1 สตาร์ชจากธัญพืช มีรูปแบบกำลังการพองตัวและการละลาย 2 ขั้นตอน แสดงถึงแรงของพันธะภายในเม็ดสตาร์ชที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ พันธะบริเวณผลึก และบริเวณอสัณฐานของเม็ดสตาร์ช สตาร์ชจำพวกนี้มีจำนวนพันธะสูงสุดแต่มีกำลังการพองตัวและการละลายต่ำสุด เนื่องจากมีปริมาณอะมิโลสสูง ซึ่งสายอะมิโลสจะจับตัวกันแน่นในร่างแหของเม็ดสตาร์ชทำให้เม็ดสตาร์ชแข็งแรงขึ้น ดังนั้นการพองตัวจึงต่ำ

1.2 สตาร์ชจากส่วนรากหรือ pith เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง มีการพองตัวเพียงขั้นเดียว กำลังการพองตัวและการละลายมีค่าสูงกว่าสตาร์ชจากธัญพืช เนื่องจากมีจำนวนพันธะน้อยกว่า ดังนั้นสตาร์ชจากรากจะเกิดการเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิต่ำกว่าสตาร์ชจากธัญพืช

1.3 สตาร์ชจากส่วนหัว เช่น สตาร์ชมันฝรั่ง จะมีการพองตัวที่สูงเนื่องจากพันธะภายในร่างแหอ่อนแอ นอกจากนี้หมู่ฟอสเฟตภายในสตาร์ชมันฝรั่งยังทำให้เกิดการพองตัวสูงขึ้น เนื่องจากสามารถเกิดแรงผลักดันทางไฟฟ้าได้ การพองตัวในสตาร์ชจากส่วนหัวจะเกิดเพียงขั้นเดียว และเกิดขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ รูปแบบนี้จะเป็นลักษณะของสตาร์ชที่เป็นโพลิอิเล็กโทรไลต์(polyelectrolyte)

2. ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดสตาร์ช

ความแข็งแรงและลักษณะของร่างแหภายในเม็ดสตาร์ช หรืออีกนัยหนึ่งคือ จำนวนและชนิดของพันธะภายในเม็ดสตาร์ช ในระดับโมเลกุลมีปัจจัยหลายปัจจัยที่มีผลกระทบต่อจำนวนของพันธะ ได้แก่ ขนาดรูปร่าง ส่วนประกอบและการกระจายตัวของร่างแหภายในเม็ดสตาร์ช อัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน น้ำหนักโมเลกุล การกระจายตัวของโมเลกุล จำนวนกิ่งก้านสาขา การจัดเรียงตัว และความยาวของสาขาในอะมิโลเพคติน

3. สิ่งเจือปนในเม็ดสตาร์ชที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต

เป็นปัจจัยสำคัญต่อการพองตัวของเม็ดสตาร์ช เช่น สตาร์ชข้าวโพดที่ถูกสกัดไขมันออกจะมีการพองตัวอย่างอิสระดีกว่าสตาร์ชข้าวโพดปกติ เนื่องจากกรดไขมันในธรรมชาติของสตาร์ชข้าวโพดปกติจะยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช โดยเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลส (lipid-amylose complex) และการใส่ potassium palmitate และ stearate จะลดกำลังการพองตัวของสตาร์ชมันสำปะหลัง ในขณะที่การใส่ sodium sulfate ก็จะลดกำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชเช่นกัน นอกจากนี้การใส่สารลดแรงตึงผิวในสตาร์ชจะมีผลต่อกำลังการพองตัวของเม็ดสตาร์ชด้วย

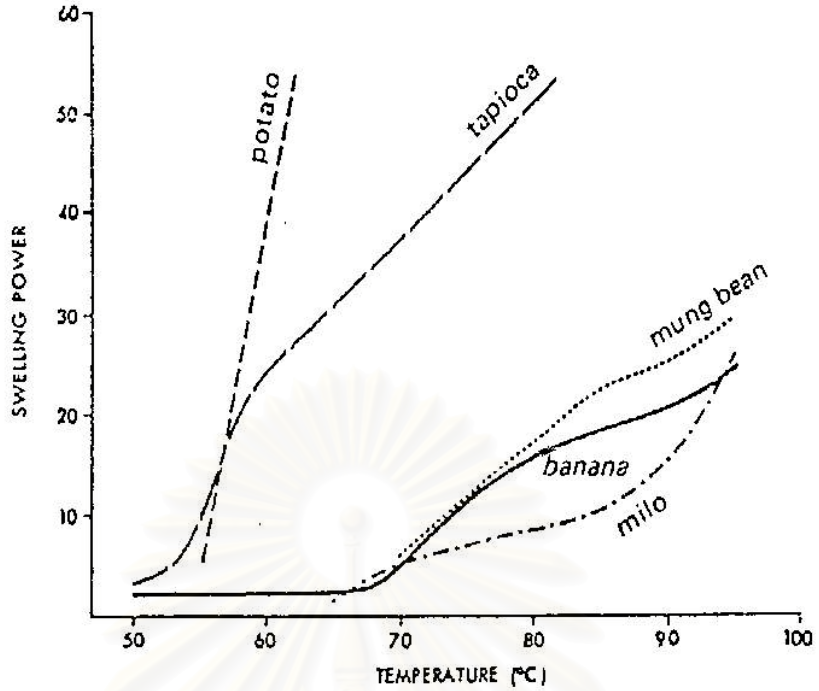
4. สมบัติหลังการดัดแปรทางเคมี

สมบัติการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจะเปลี่ยนไปเมื่อมีการดัดแปรทางเคมี การดัดแปรด้วยกรดหรือการเกิดออกซิไดซ์ด้วย hypochlorite จะทำให้เกิดการแตกออกของพันธะภายในร่างแห ทำให้เม็ดสตาร์ชแตกออกเป็นชิ้นเล็กๆ การละลายและการพองตัวสูงขึ้น สำหรับการดัดแปรด้วยปฏิกิริยาเอสเทอร์ริฟิเคชั่นหรืออีเทอร์ริฟิเคชั่น จะเกิดการแทนที่ของหมู่อื่นภายในโมเลกุลของ สตาร์ชทำให้พันธะภายในเม็ดสตาร์ชอ่อนแอลง อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ต่ำลง การพองตัวเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนและธรรมชาติของหมู่ที่มาแทนที่ การทำครอสลิงซ์จะทำให้ความแข็งแรงของพันธะภายในเม็ดสตาร์ชเพิ่มขึ้น ความสามารถในการพองตัวและการละลายลดลง

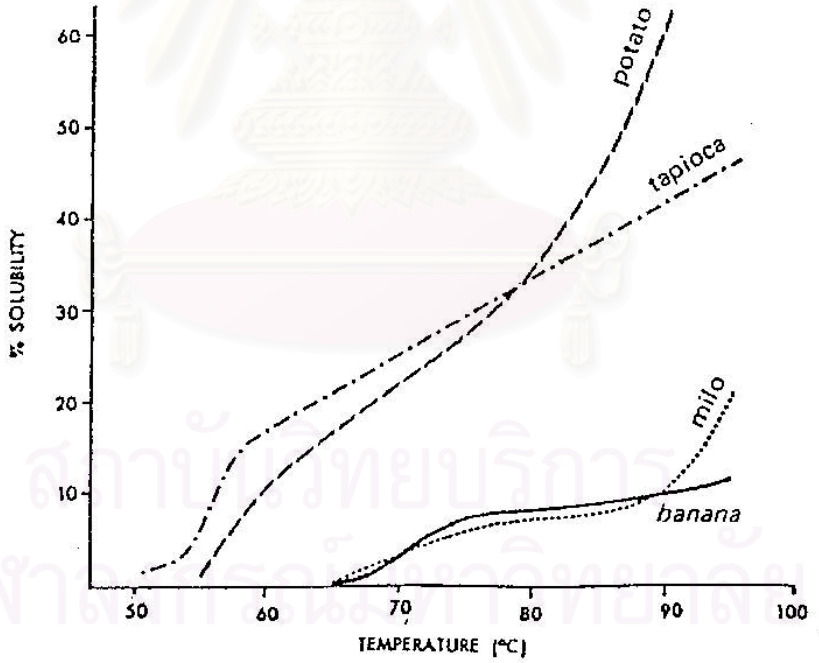
5. ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัว

ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในสภาวะที่เกิดการพองตัวมีผลต่อการพองตัวและการละลาย สารละลายที่มีปริมาณสตาร์ชต่ำกว่า 20% ค่าการละลายจะสูงกว่าเมื่อมีสตาร์ชสูงกว่า 20% การพองตัวอย่างอิสระและการละลายที่สูงขึ้นจะถูกยับยั้งในสภาพที่สารละลายมีปริมาณน้ำน้อย สารประกอบอื่นๆ เช่น ซูโครส กลูโคส และสารอิเล็คโทรไลต์ (เช่น sodium chloride) มีผลกระทบต่อการพองตัวของสตาร์ช

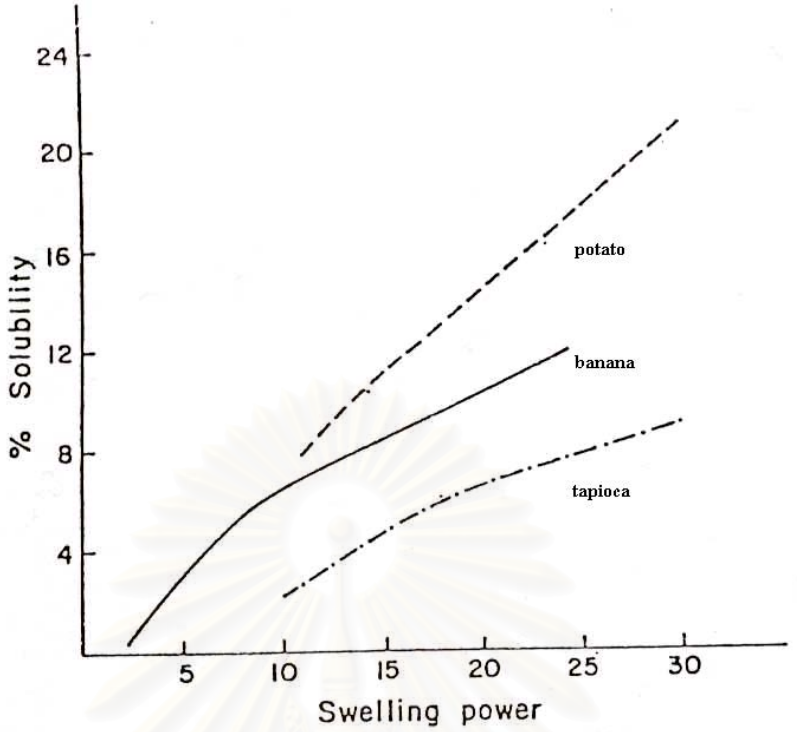
สมบัติการพองตัวและการละลายมีความสัมพันธ์กัน รูปแบบการพองตัวและการละลายของสตาร์ชชนิดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.12 และรูปที่ 2.13 ตามลำดับ ซึ่งมีความคล้ายกันมากโดยสตาร์ช กล้วยจะมีรูปแบบการพองตัวคล้ายคลึงกับสตาร์ชถั่วเขียว คือ มีลักษณะเป็นแบบ 2 ขั้นตอน (Schoch และ Maywald, 1968) ส่วนรูปแบบการละลายของสตาร์ชกล้วยจะใกล้เคียงกับสตาร์ชไมโล (milo starch) แต่จะต่ำกว่าสตาร์ช มันสำปะหลัง และ สตาร์ชมันฝรั่ง เมื่อเปรียบเทียบระดับการละลายที่ระดับการพองตัวที่เท่ากันดังรูปที่ 2.14 พบว่ากราฟการละลายของสตาร์ช กล้วยจะอยู่ระหว่างสตาร์ช มันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลัง (Kayisu และคณะ, 1981)



รูปที่ 2.12 Swelling patterns of various starches (Kayisu และคณะ, 1981)



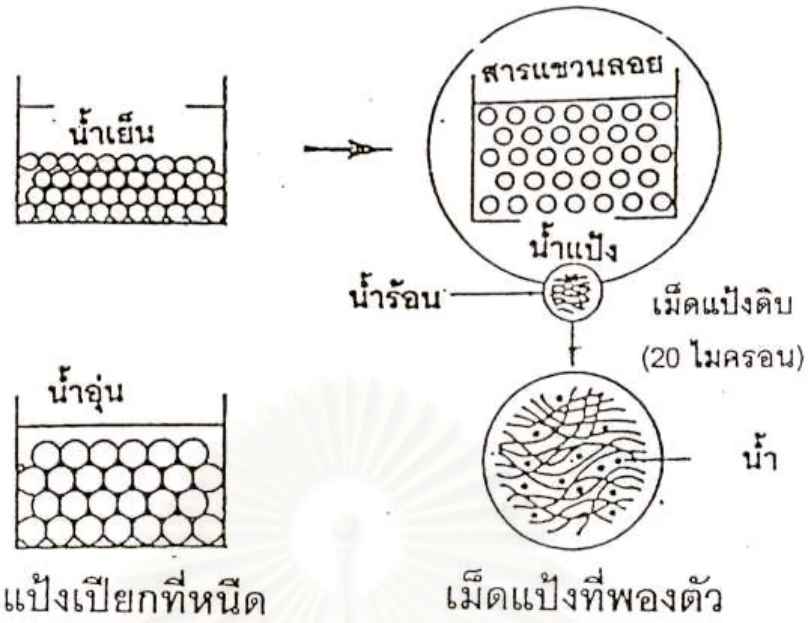
รูปที่ 2.13 Solubilization patterns of various starches (Kayisu และคณะ, 1981)



รูปที่ 2.14 Relationship between swelling power and solubility of various starches (Kayisu และคณะ, 1981)

2.5.3 การเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชกล้วย

โมเลกุลของเม็ดสตาร์ชประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) แต่เนื่องจากเม็ดสตาร์ชอยู่ในรูปของร่างแห micelles ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดสตาร์ชละลายในน้ำเย็นได้ยาก ในขณะที่สตาร์ชอยู่ในน้ำเย็นเม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับสารละลายสตาร์ช พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดสตาร์ชจะดูดน้ำแล้วพองตัวดังแสดงในรูปที่ 2.15 ส่วนผสมของสารละลายสตาร์ชจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืดปรากฏการณ์นี้เรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ เมื่อตรวจวัดโดยเครื่องมือวัดความหนืดมักเรียกจุดนี้ว่า อุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting temperature) หรือเวลาที่เริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืด (pasting time) ซึ่งในสตาร์ชแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน สตาร์ชจากพืชหัว เช่น สตาร์ชมันสำปะหลัง และสตาร์ชมันฝรั่ง จะมีอุณหภูมิเริ่มเจลาติไนซ์ต่ำกว่าอุณหภูมิจากสตาร์ชจากธัญพืช



รูปที่ 2.15 การเปลี่ยนแปลงของเม็ดสตาร์ชในระหว่างการหุงต้ม (Sanders, 1996)

การเกิดเจลาติไนซ์ของเม็ดสตาร์ชแบ่งได้ 3 ระยะ คือ ระยะแรกเม็ด สตาร์ชจะดูดซึมน้ำเย็นได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหระหว่าง micelles ยืดหยุ่นได้จำกัด ความหนืดของสารแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัด เม็ดสตาร์ชยังคงรักษารูปร่างและโครงสร้างแบบ birefringence ได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับสารละลายสตาร์ชจนถึงประมาณ 65°C (อุณหภูมิแท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของสตาร์ช) จะเริ่มเข้าสู่ระยะที่สองเม็ดสตาร์ชจะพองตัวอย่างรวดเร็ว ร่างแหระหว่าง micelles ภายในเม็ดสตาร์ชจะอ่อนแอลงเนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย เม็ดสตาร์ชจะดูดซึมน้ำเข้ามามากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่า การเกิดเจลาติไนเซชั่น เม็ดสตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้าง birefrigence ความหนืดของสารละลายสตาร์ชจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่สาม รูปร่างเม็ดสตาร์ชจะไม่แน่นอน การละลายของสตาร์ชจะเพิ่มขึ้น ความหนืดสูงสุดของสารละลายสตาร์ชในระหว่างเจลาติไนซ์จะแปรเปลี่ยนไปตามชนิดของสตาร์ช และระดับอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์จะแตกต่างกันไปตามชนิดและองค์ประกอบของสตาร์ช

การเกิดเจลาติไนซ์ไม่ได้เกิดเฉพาะที่อุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่ง แต่เกิดเป็นช่วงอุณหภูมิประมาณ 8-12°C ดังนั้นการตรวจสอบกระบวนการเกิดเจลาติไนเซชั่น นอกจากใช้การสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้าง birefringence ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ เช่น Kofler gelatinization temperature range แล้วสามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณ

ความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการเกิดเจลาติไนซ์ ได้แก่เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) จะวัดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพในรูปฟังก์ชั่นกับอุณหภูมิ โดยทั่วไปโพลิเมอร์ต่างๆ ในรูปผลึกและอสัณฐานจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะได้เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งสตาร์ชก็เช่นเดียวกันในสภาพที่มีน้ำน้อยเมื่อได้รับความร้อนจะมีอุณหภูมิหลอมละลาย T_m ที่สูงมาก คืออยู่ในช่วง 160 - 200 °C แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำมากขึ้นอุณหภูมิของการหลอมละลายก็จะลดลง เมื่อปริมาณน้ำมีประมาณ 70 ส่วนหรือมากกว่าการหลอมละลาย คือ การเกิดเจลาติไนเซชั่น ช่วงของอุณหภูมิที่เริ่มเปลี่ยนแปลง (onset temperature) และอุณหภูมิของการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (peak temperature) ของความร้อน คือ ช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์เฉลี่ยนั่นเอง สำหรับการวัดลักษณะการเกิดเจลาติไนเซชั่นของแป้งด้วยเครื่อง DSC ทำได้โดยให้ความร้อนแก่สารผสมของแป้งกับน้ำในอัตราส่วน 30 : 70 จนถึงอุณหภูมิที่คาดว่าเลยช่วงการเกิดเจลาติไนเซชั่นจะได้ thermogram เป็นกราฟระหว่าง heat flow และอุณหภูมิ ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชั่น (ΔH) ได้จากพื้นที่ใต้กราฟหารด้วยน้ำหนักสตาร์ช (Swinkels, 1985)

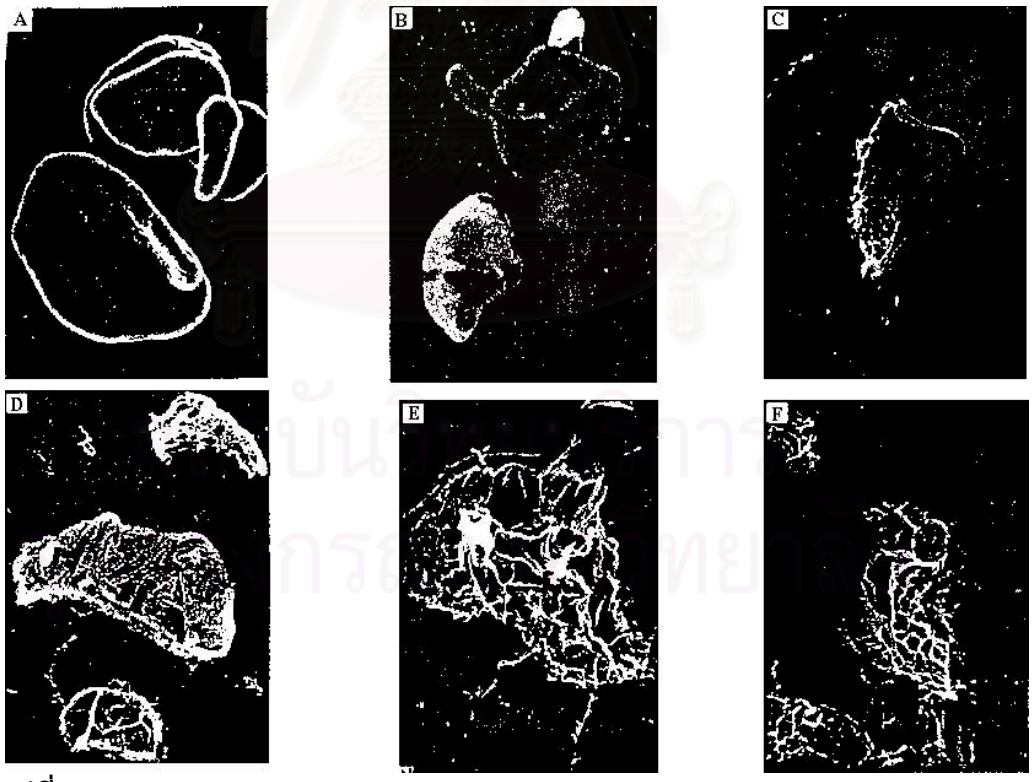
ในการศึกษาสตาร์ชกล้วย Lii และคณะ (1982) ได้รายงานอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชจากกล้วยโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (light microscope) พบว่า dessert banana อยู่ในช่วง 74-80°C ส่วนรายงานของ Ling และคณะ (1982) พบว่าอยู่ในช่วง 70.0-74.6°C นอกจากนี้ในปี 1992 Eggleston และคณะ ได้ศึกษาอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชกล้วย plantain และ cooking banana ในสายพันธุ์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.10 โดยใช้กล้องจุลทรรศน์พบว่าสตาร์ชจากกล้วยทั้ง plantain และ cooking banana มีค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์ต่ำกว่าสตาร์ชจากกล้วย dessert banana เนื่องจากเม็ดสตาร์ชมีส่วนที่เป็นอสัณฐานมากกว่า สตาร์ชจากกล้วย dessert banana แต่ถ้าเปรียบเทียบระหว่าง cooking banana กับ plantain จะพบว่า cooking banana มีค่าอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์สูงกว่ากล้วย plantain แสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาร์ชจะมีส่วนที่เป็นผลึกมากกว่าสตาร์ชจากกล้วย plantain

นอกจากมีการศึกษาถึงอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์แล้ว Ling และคณะ (1982) ยังได้ศึกษาถึงโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชกล้วยที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะเกิดการเจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยสุ่มตัวอย่างมาทำแห้งด้วยไนโตรเจนเหลวแล้วศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้วยเครื่อง SEM ดังรูปที่ 2.16 พบว่าเม็ดสตาร์ชมีการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดและรูปร่างโดยที่อุณหภูมิ 65 °C ผิวของเม็ดสตาร์ชกล้วยเริ่มแตกและพองตัวมากขึ้นทำให้รูปร่างเปลี่ยนแปลงแล้วเกิดการแตกสลายของเม็ดสตาร์ชในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 70 °C ถึง 90 °C

ตารางที่ 2.10 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชั่นของสตาร์ชที่สกัดจาก plantains และ cooking banana

Starch	Gelatinization temperature Range (°C)	Transition mid-point Temperature T_m (°C)
Plantains		
Ihitisim	63.6 – 66.6	65.1
Agbagba	61.9 – 66.3	64.1
Obino L'Ewai	62.0 – 64.0	63.0
Bobby Tannap	61.2 – 65.7	63.5
Cooking bananas		
Bluggoe	65.8 – 67.2	66.5
Fougamou	66.7 – 68.7	66.7

ที่มา : Eggleston และคณะ (1992)



รูปที่ 2.16 Scanning electron micrographs at about 1100x magnification of banana Starch granule. A: Room temperature, B: 65°C , C: 70°C , D: 75°C , E: 80°C , F: 90°C (Ling และคณะ,1982)

2.5.4 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช

เนื่องจากเม็ดสตาร์ชมีโครงสร้างเป็น semicrystalline มีส่วนที่เป็นผลึก (crystallite) และส่วนอสัณฐาน (amorphous) เมื่อสายโพลิเมอร์มาเรียงขนานกัน จะเกิดพันธะไฮโดรเจนเชื่อมระหว่าง 2 สายหรือเกิดการรวมตัวกับน้ำ (hydrate bridge) เกิดเป็นพื้นที่ส่วนที่เรียกว่าผลึกหรือ micelle (crystallite) ส่วนที่เกิดเป็นผลึกนี้เกิดจากอะมิโลเพคตินแต่ละโมเลกุลในหลายๆ micelles เชื่อมกันเป็นร่างแห 3 มิติ (network) ด้วยพันธะไฮโดรเจน ความแข็งแรงของร่างแหขึ้นอยู่กับจำนวนโมเลกุลที่มาเชื่อมต่อกันและการจัดเรียงโมเลกุลของเม็ดแป้ง กล่าวได้ว่าผลึกเกิดจากการจัดเรียงตัวของเกลียวอะมิโลเพคตินที่วางขนานกัน ซึ่งในการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างผลึก (crystal structure) ของสตาร์ชจะใช้เครื่อง X-ray diffractometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์โดยไม่ทำลายตัวอย่าง (non-destructive analysis) เพื่อศึกษาการจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบต่างๆ ทั้งในเชิงคุณภาพ (qualitative) และเชิงปริมาณ (quantitative) โดยอาศัยการเลี้ยวเบน การกระเจิงของรังสีเอกซ์และความรู้เกี่ยวกับวิชาโครงสร้างผลึก (crystallography) (วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ, 2543)

โดยทั่วไปเม็ดสตาร์ชของแป้งธรรมชาติ (native starch) จะมีรูปแบบของ X-ray diffraction เป็น 3 ลักษณะ (type) ดังนี้ (Hizukuri, 1986)

1. A-type ได้แก่สตาร์ชจากธัญพืช เช่น waxy maize, maize, rice และ wheat จะมีลักษณะเป็น A-type ซึ่งมีอะมิโลเพคตินที่มีความยาวของสายแขนงสั้น DP 23-29 (short branch chain lengths)

2. B-type ได้แก่สตาร์ชประเภท amylomaize (อะมิโลสสูงกว่า 40-45%), ae waxy maize, potato, canna, และ tulip ซึ่งมีอะมิโลเพคตินที่มีความยาวของสายแขนงยาว DP 30-44

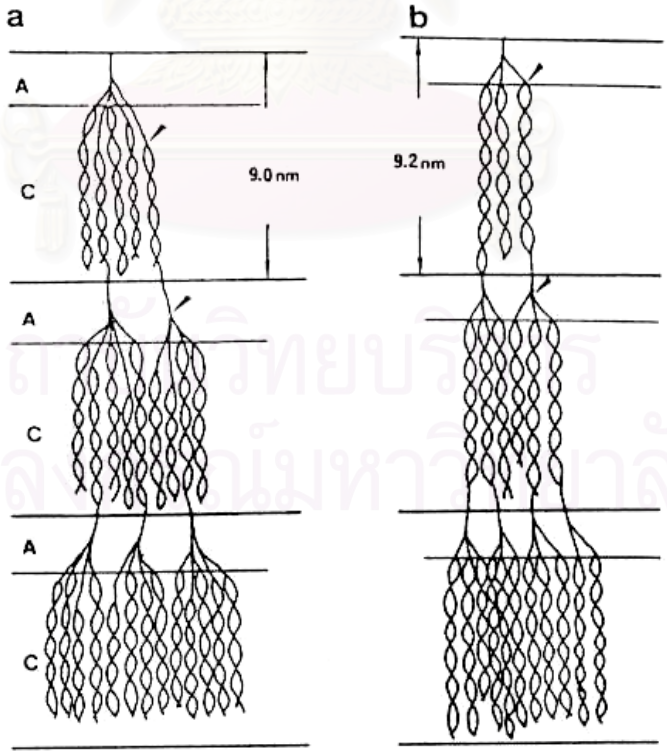
3. C-type ได้แก่สตาร์ชที่มี อะมิโลเพคตินที่มีความยาวแขนงอยู่ระหว่าง A-type และ B-type ซึ่งมี DP 26-30 เช่น สตาร์ชจากมันสำปะหลัง

4. V-type ได้แก่สตาร์ชที่มีลักษณะเพิ่มจาก A-type และ B-type ได้จากสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลสกับโมเลกุลของสารอินทรีย์ที่มีขั้ว (Zobel, 1964)

Hanashiro และคณะ (1996) ศึกษาการกระจายตัวของความยาวสายแขนงโดยใช้ high-performance anion-exchange chromatrography กับ pulsed amperometric detection พบว่าสามารถแบ่งการกระจายตัวของความยาวของสายแขนงเป็น A-chain

(DP 6-12), B_1-chain (DP 13-24), B_2-chain (DP 25-36), B_3-chain (DP > 37) ซึ่งสตาร์ชที่มีลักษณะของ X-ray diffraction แบบ A-type จะมี A-chain มาก ขณะที่ B-type จะมีน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าโครงสร้างผลึกจะขึ้นอยู่กับ ความยาวของสาย ความเข้มข้น อุณหภูมิ และตัวถูกละลายกับตัวทำละลาย

Jane และคณะ (1997) ได้ศึกษาความแตกต่างของ branch-structure ในสตาร์ช โดยใช้ Naegeli dextrins ที่เตรียมจากแป้งดิบเป็นแบบจำลองในการศึกษา X-ray diffraction ของ A-type และ B-type พบว่าโครงสร้างของอะมิโลเพคตินในสตาร์ช A-type และ B-type ใน waxy maize และ potato ตามลำดับ มีแบบจำลองดังรูปที่ 2.17 โดยส่วนที่เป็นอสัณฐานและผลึกมีระยะทาง 9.0 nm และ 9.2 nm ตามลำดับ โครงสร้างอะมิโลเพคตินมีอัตราส่วนของ short chain ต่อ long chain เป็น 11 และ 6 ตามลำดับ ซึ่งเม็ดสตาร์ชรูปแบบ A-type จะมีความไวต่อการ hydrolyze มากกว่า B-type เนื่องจากในบริเวณส่วนที่เป็นผลึกของ A-type จะมี A-chain สั้นๆ คล้ายกับกิ่งก้าน (α-1,6 lingkage) แทรกอยู่ทำให้เป็นจุดที่ไวต่อการ hydrolyze ด้วย enzyme (weak point) เกิดเป็นรูเล็กๆ (pin hole หรือ pit) ส่วนเม็ดสตาร์ชรูปแบบ B-type จะมีตำแหน่งที่เป็นสาขา (cluster branching point) น้อยกว่าแต่มีการพัฒนาโครงเหมือนกับการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของอะมิโลสจึงทำให้เม็ดสตาร์ชทนต่อการ hydrolyze ของเอนไซม์และกรด



รูปที่ 2.17 แบบจำลองโครงสร้างของอะมิโลเพคตินในสตาร์ช a: waxy maize starch (A-type) b: potato starch (B-type) (Jane และคณะ, 1997)

Bello-Perez และคณะ (1999) ได้ศึกษาลักษณะ X-ray diffraction ของสตาร์ชจากกล้วยในรัฐ Guerrero ประเทศแม็กซิโกสายพันธุ์ macho และ criollo พบว่ามีลักษณะเป็น A-type ซึ่งโดยทั่วไปแล้วลักษณะ A-type จะเป็นสตาร์ชที่ได้จากธัญพืช ส่วน Lii และคณะ (1982) และ Faisant และคณะ (1995) ได้มีการศึกษา X-ray diffraction ของสตาร์ชกล้วยเช่นกันแต่พบว่ามีลักษณะเป็น B-type ในขณะที่ Jane และคณะ (1997) พบว่าสตาร์ชกล้วยจะให้ลักษณะเป็น C-type ซึ่ง Zobel (1988) ได้เสนอว่าลักษณะ X-ray diffraction ของสตาร์ชจากกล้วยอาจมีความแตกต่างกันได้ เนื่องจากกล้วยมีความหลากหลายของสายพันธุ์มาก ดังนั้นจะต้องมีการศึกษาด้วยเอนไซม์เพิ่มเพื่อช่วยสนับสนุนผลของลักษณะ X-ray diffraction

2.6 สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกล้วย

ความหนืดเป็นสมบัติทางกลที่สำคัญและมีผลกระทบกับสมบัติของสตาร์ช ซึ่งความหนืดเป็นสมบัติในการต้านทานการไหลของของไหล มีนิยามว่า ความหนืดเท่ากับอัตราการไหลของๆ ไหลต่อแรง 1 หน่วย (deMan, 1990) ในการวัดความหนืดของสตาร์ชมีเครื่องมือหลายชนิดที่สามารถวัดได้ แต่การเลือกใช้เครื่องมือที่เหมาะสมจะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการวัด

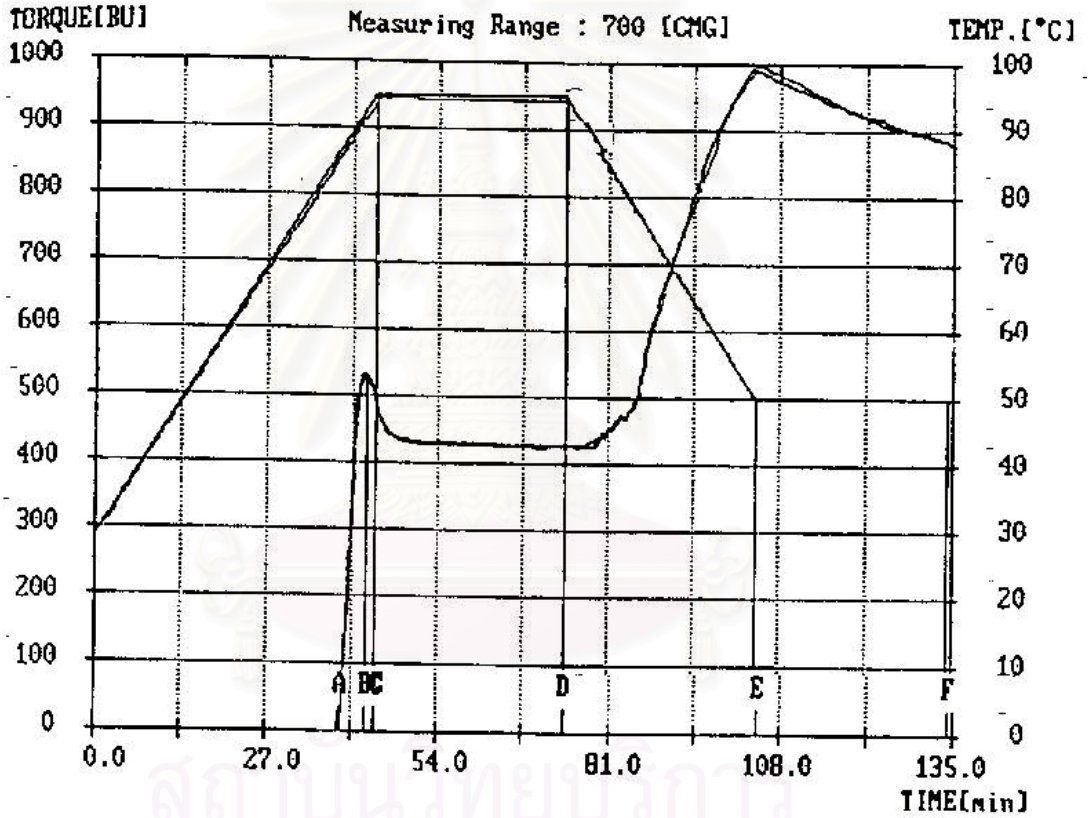
วิธีการตรวจวัดความหนืดมีเครื่องมือในการวัดหลายชนิด แต่ละชนิดมีหลักการทำงานและการอ่านค่าความหนืดต่างกันดังนี้

1. การใช้เครื่อง Brookfiled viscometer สามารถวัดความหนืดได้ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ โดยหลักการทำงานของเครื่องเกิดจากการหมุนของวัตถุทรงกระบอกหรือแผ่นจานในของเหลวด้วยอัตราเร็วคงที่ ค่าความหนืดของของเหลววัดได้จากค่าความต้านทานการหมุนของของเหลวที่อัตราเร็วคงที่ แรงต้านจะทำให้สปริงเกิดการยืดตัวโดยแสดงด้วยเข็มบนหน้าปัดเครื่อง ค่านี้จะคูณด้วยค่าคงที่ตามความเร็ว ขนาด และชนิดของเครื่อง Brookfield viscometer เครื่องนี้ได้หน่วยความหนืดของของเหลวเป็นเซนติพอยส์(centipoise)

2. การใช้เครื่อง Capillary viscometer สามารถใช้วัดความหนืดได้ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ เท่านั้น ได้หน่วยของความหนืดเป็น mPa.s

3. การใช้เครื่อง Brabender viscoamylograph ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมแพร่หลาย หลักการทำงานคือการเปลี่ยนแปลงความหนืดของสตาร์ชในระหว่างการทำให้ร้อนจนถึงขั้นการทำให้เย็นติดตามผลและแสดงผลในรูปกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงได้หน่วยความหนืดเป็น BU (Brabender Unit) ความหนืดค่าต่างๆ จะแสดงให้เห็นถึงลักษณะที่สำคัญของ สตาร์ชแต่ละชนิดดังรูปที่ 2.18

เมื่อเม็ดสตาร์ชได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบๆ เม็ดสตาร์ชเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดสตาร์ชเคลื่อนไหวได้ยาก เกิดความหนืดขึ้น อุณหภูมิที่กราฟเริ่มเกิดความหนืดเรียกว่า pasting temperature (อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่เรียกว่า peak viscosity (จุดที่มีความหนืดสูงสุด) เป็นจุดที่เม็ดสตาร์ชพองตัวเต็มที่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีกรวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่องจะทำให้โครงสร้างภายในแตกออก ความหนืดลดลง จากนั้นการลดอุณหภูมิลงทำให้เกิดรีโทรเกรเดชั่น ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะมิโลสที่หลุดออกจากเม็ดสตาร์ช



รูปที่ 2.18 **จุดที่สำคัญในการวัดความหนืดด้วยเครื่อง** Brabender viscoamylograph

จุด A แสดงความหนืดที่เริ่มเกิดเจลาติไนซ์

จุด B แสดงความหนืดสูงสุด(peak viscosity) เป็นความหนืดสูงสุดในช่วงการให้ความร้อนเป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่

จุด C แสดงความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 95 °C ชี้ให้เห็นถึงความยากง่ายในการหุงต้ม

จุด D แสดงความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 95 °C ชี้ให้เห็นถึงความคงตัวของเม็ดสตาร์ช

จุด E แสดงความหนืดเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 50 °C ชี้ให้เห็นถึงการเกิดรีโทรเกรเดชั่น เนื่องจากการทำให้เย็น

จุด F แสดงความหนืดสุดท้ายที่อุณหภูมิ 50 °C ชี้ให้เห็นถึงความคงตัวของสารละลายสตาร์ชสุกที่ผ่านการหุงต้มและทิ้งไว้ให้เย็นแล้ว

การแบ่งประเภทของสตาร์ชตามกราฟแสดงความหนืด โดยวิธีของ Schoch และ Maywald (1968) สามารถแบ่งรูปแบบความหนืดของสตาร์ชสุกที่วัดด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph ตามกำลังการพองตัวของสตาร์ช แบ่งเป็น 4 แบบ ดังรูปที่ 2.19

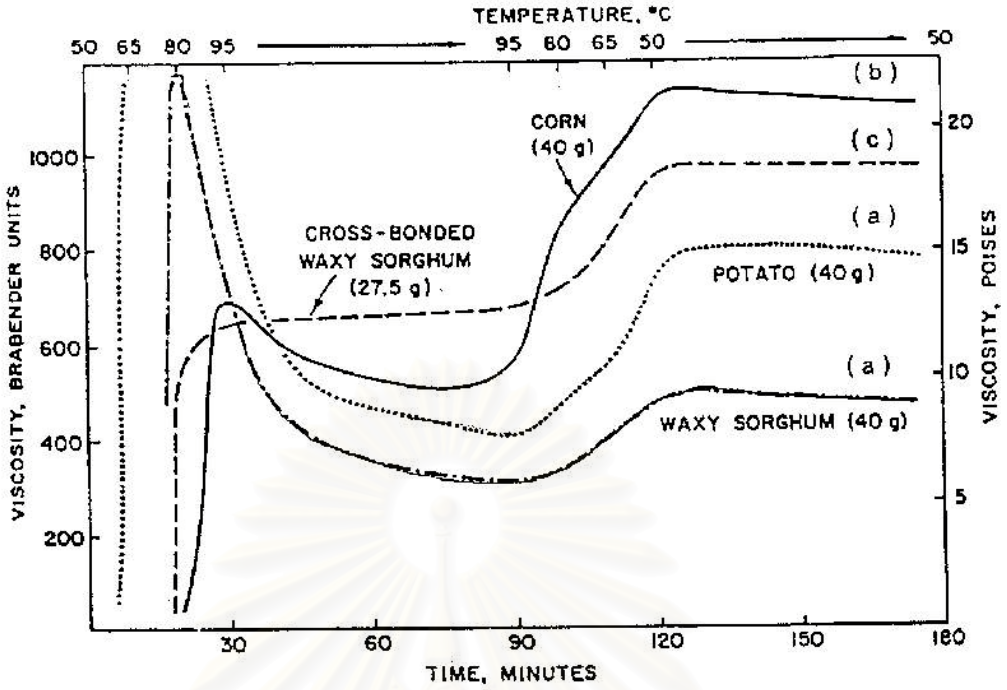
แบบ a : กราฟจากเม็ดสตาร์ชที่มีกำลังการพองตัวสูง(high-swelling starches) เช่น สตาร์ช มันสำปะหลัง สตาร์ชข้าวฟ่าง สตาร์ชจากธัญพืช เมื่อให้ความร้อนแก่สตาร์ช เม็ดสตาร์ชจะมีกำลังการพองตัวสูง ทำให้แรงที่ยึดกันภายในโมเลกุลอ่อนตัวลง เม็ดสตาร์ชแตกออกเมื่อได้รับแรงเฉือน ลักษณะกราฟความหนืดจึงสูงชันแล้วลดลงอย่างรวดเร็วระหว่างการต้มสุก

แบบ b : กราฟจากเม็ดสตาร์ชที่มีกำลังการพองตัวปานกลาง(moderate-swelling starches) ได้แก่ สตาร์ชจากธัญพืชต่างๆ เม็ดสตาร์ชไม่พองตัวมากถึงขั้นแตกออก จึงได้ลักษณะกราฟความหนืดที่สูงชันน้อยกว่า และเกิดการสลายตัวระหว่างการต้มสุกน้อยกว่า

แบบ c : กราฟจากเม็ดสตาร์ชที่มีกำลังการพองตัวน้อย(restricted-swelling starches) ได้แก่ สตาร์ชจากถั่วต่างๆ และสตาร์ชดัดแปรแบบครอสลิงค์ วิธีการคลอสลิงค์ทำให้การพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชลดลง ทำให้เม็ดสตาร์ชที่พองตัวมีความเสถียรภาพมากขึ้น ลักษณะกราฟความหนืดจึงไม่ปรากฏเป็นยอดสูงสุด มีค่าความหนืดสูงซึ่งอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างต้มสุก

แบบ d : กราฟจากเม็ดสตาร์ชที่มีการพองตัวน้อยมาก(highly-restricted swelling starches) ได้แก่ สตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง เช่น amylomaize starch มีอะมิโลสสูงถึง 50-80% ในรูปไม่มีเนื่องจากสตาร์ชไม่เกิดการพองตัวจึงไม่ปรากฏความหนืดให้เห็น

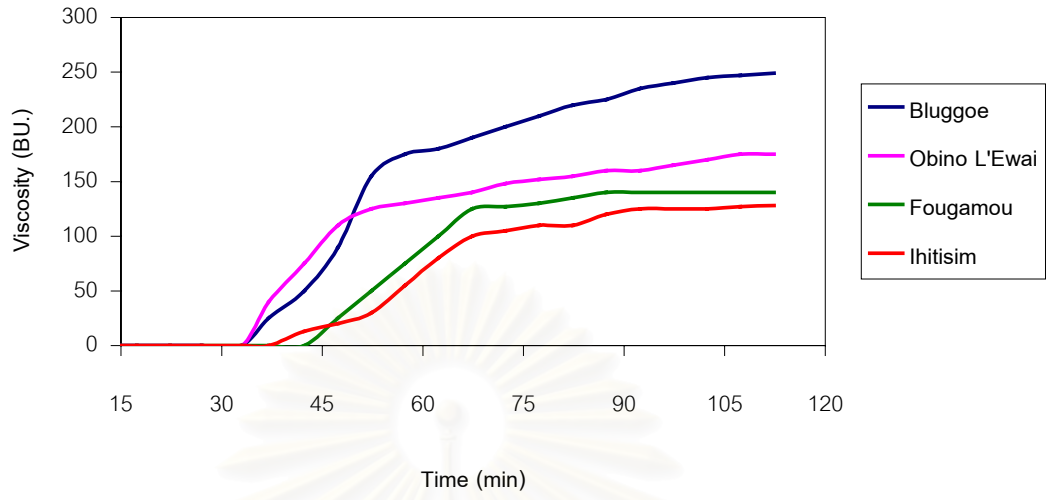
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



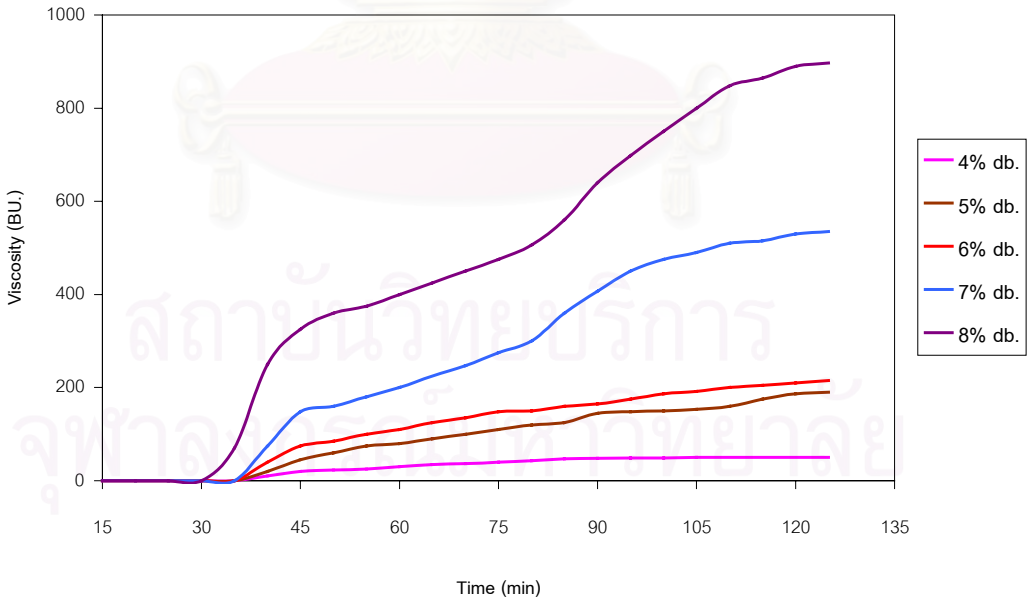
รูปที่ 2.19 **รูปแบบความหนืดของสตาร์ชสุกชนิดต่างๆ เมื่อแบ่งตามกำลังการพองตัว** (Leach, 1965)

สตาร์ชจากกล้วยมีรูปแบบความหนืดตามกำลังการพองตัวของสตาร์ชแบบ c ดังรูปที่ 2.20 ซึ่งจะเห็นได้ว่าสตาร์ชจากกล้วย plantain และ cooking banana ในสายพันธุ์ต่างๆ จะมีรูปแบบความหนืดคล้ายคลึงกัน โดยจะไม่มีความหนืดสูงสุด แสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาร์ชมีกำลังการพองตัวน้อย นอกจากนี้ยังได้ศึกษาผลความเข้มข้นของสารละลายสตาร์ชกับความหนืด พบว่าสตาร์ชกล้วย plantain พันธุ์ลูกผสม 548/4 จะไม่มีค่าความหนืดสูงสุด (peak viscosity) แม้ว่าจะเปลี่ยนความเข้มข้นของสตาร์ชจาก 4 ถึง 8% ดังรูปที่ 2.21 (Eggleston และคณะ, 1992)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.20 Brabender amylograms of 6% green plantain starches (Ihitisim ; Obino L'Ewai) and green cooking banana (Bluggoe ; Fougamou) (Eggleston และคณะ, 1992)



รูปที่ 2.21 Brabender amylograms of 4, 5, 6, 7, and 8% green plantain hybrid 548/4 starch (Eggleston และคณะ, 1992)

บทที่ 3
การทดลอง

3.1 การเตรียมกล้วยแต่ละสายพันธุ์และการวิเคราะห์เกณฑ์ที่ใช้ในการเก็บเกี่ยว

นำกล้วยดิบทั้ง 3 สายพันธุ์ที่ควบคุมแหล่งปลูก โดยนำกล้วยหักมุก *Musa* (ABB group) "Kluai Hak Muk" และกล้วยตานี *Musa balbisiana* Colla (BB group) "Kluai Ta Nee" จากสวน ตำบลท่าอิฐ จังหวัดนนทบุรี ส่วนกล้วยน้ำว้าค่อม *Musa* (ABB group) "Kluai Nam Wa Kom" จากสวน ตำบลคลองพระอุดม จังหวัดปทุมธานี และระยะเวลาเก็บเกี่ยว (อายุกล้วย) โดยนับจำนวนวันตั้งแต่กล้วยแทงช่อดอกหรือแทงปลีออกมาจนถึงวันเก็บเกี่ยวของกล้วยแต่ละชนิด ซึ่งจะเก็บเกี่ยวกล้วยหักมุกเมื่ออายุ 110-115 วัน กล้วยน้ำว้าค่อม 115-120 วัน และกล้วยตานี 110-115 วัน ให้เหมือนกันตลอดการทดลอง หลังจากนั้นนำมาแยกเอาเฉพาะผลกล้วยจากแต่ละหวีมารวมกันทั้งหมดและทำความสะอาดก่อน แล้วนำมาวิเคราะห์ดัชนีการเก็บเกี่ยวดังนี้

ก. อายุกล้วย โดยนับจำนวนวันตามวิธีในภาคผนวก ก.1

ข. น้ำหนักผลกล้วยต่อผล โดยใช้เครื่องชั่งตามวิธีในภาคผนวก ก.2

ค. อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักเปลือก ตามวิธีของ Von Loesecke (1950) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.3

ง. ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิง (reducing sugar) ตามวิธีของ Lane-Eynon's volumetric method รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.4

การศึกษาดัชนีการเก็บเกี่ยวของกล้วยสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบแต่ละสายพันธุ์ได้ทดลอง 5 ซ้ำวางแผนทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985)

3.2 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

นำกล้วยดิบทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่วิเคราะห์ดัชนีการเก็บเกี่ยวแล้ว มาปอกเปลือกหั่นเป็นแว่นตามขวางหนาประมาณ 2-3 mm และนำไปอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนหมุนเวียนแบบถาด (tray dryer) ที่อุณหภูมิ 50 $^{\circ}$C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาบดให้ละเอียด และนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (proximate analysis) ของเนื้อกล้วย ตามวิธีของ AOAC, 1995 ดังนี้

ก. ปริมาณความชื้น โดยใช้ moisture analyzer ตามวิธีในภาคผนวก ก.5

ข. ปริมาณโปรตีน ตามวิธีในภาคผนวก ก.6

ค. ปริมาณเถ้า ตามวิธีในภาคผนวก ก.7

ง. ปริมาณไขมัน ตามวิธีในภาคผนวก ก.8

จ. ปริมาณเส้นใย ตามวิธีในภาคผนวก ก.9

ฉ. ปริมาณคาร์โบไฮเดรต โดยใช้วิธีคำนวณผลต่าง ตามวิธีในภาคผนวก ก.10

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยสำหรับใช้เป็นวัตถุดิบแต่ละสายพันธุ์ได้ทดลอง 5 ซ้ำวางแผนทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985)

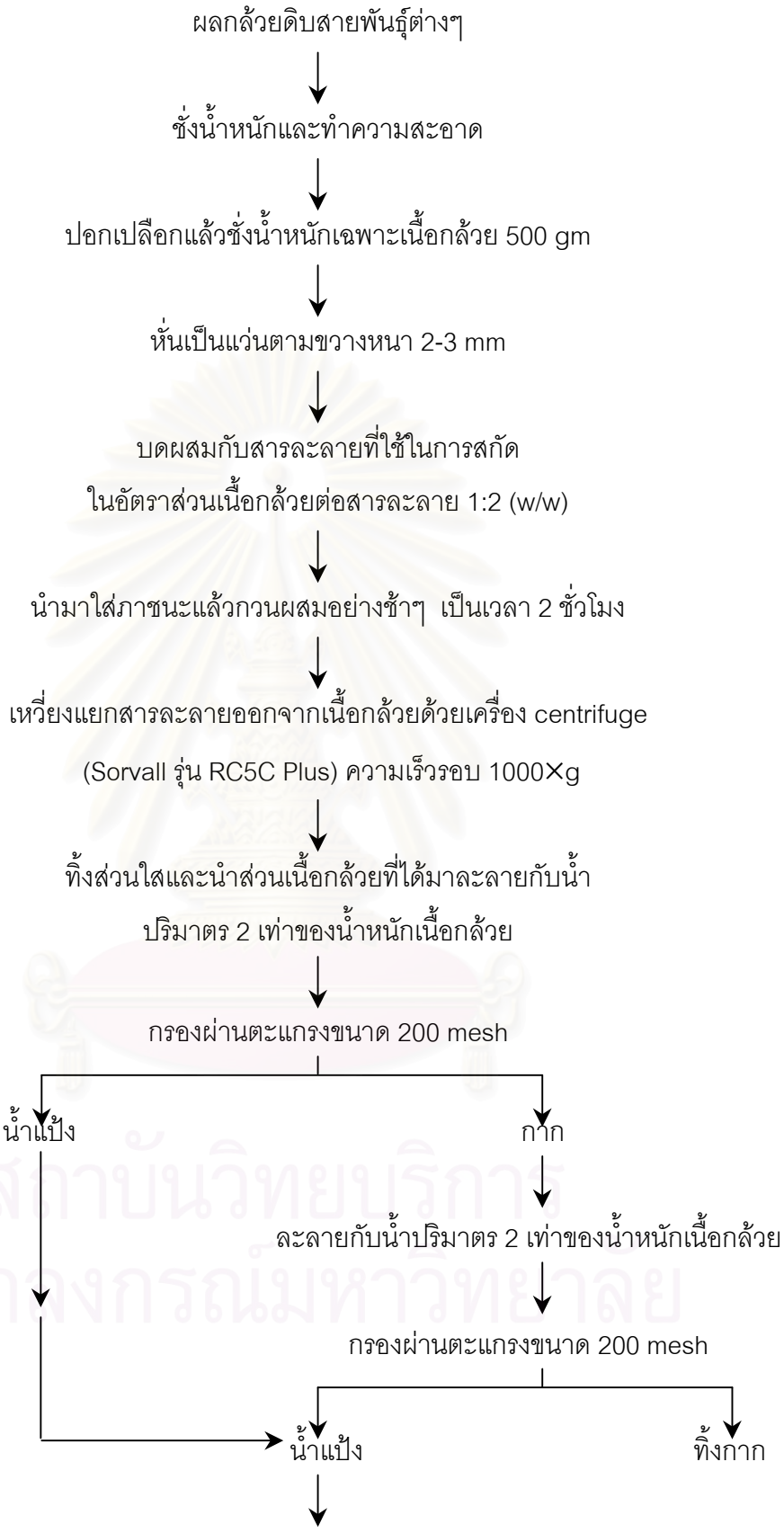
3.3 การเปรียบเทียบชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

นำกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์จากข้อ 3.1 มาปอกเปลือกชั่งน้ำหนักเฉพาะเนื้อกล้วย 500 gm มาหั่นเป็นแว่นตามขวางหนาประมาณ 2-3 mm แล้วนำมาบดกับสารละลายที่ใช้ในการสกัดในอัตราส่วนเนื้อกล้วยต่อสารละลาย 1:2 (w/w) สารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชมี 3 ชนิด คือ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.05 N (pH 11.84-11.95) สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ($NaHSO_3$) 1% โดยน้ำหนัก (pH 4.26-4.32) และน้ำ (pH 6.98-7.34) ซึ่งใช้เป็นตัวเปรียบเทียบโดยใช้การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ตามวิธีของ Whistler (1998) และดัดแปลงวิธีการสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ของ Fichtali และคณะ (1999) จากเดิมซึ่งใช้กล้วยดิบทั้งผลโดยไม่ปอกเปลือกเป็นใช้เนื้อกล้วยดิบที่ปอกเปลือกแล้ว ดังรูปที่ 3.1 แล้วนำสตาร์ชที่สกัดได้จากสารละลายแต่ละชนิดมาวิเคราะห์ผล ดังนี้

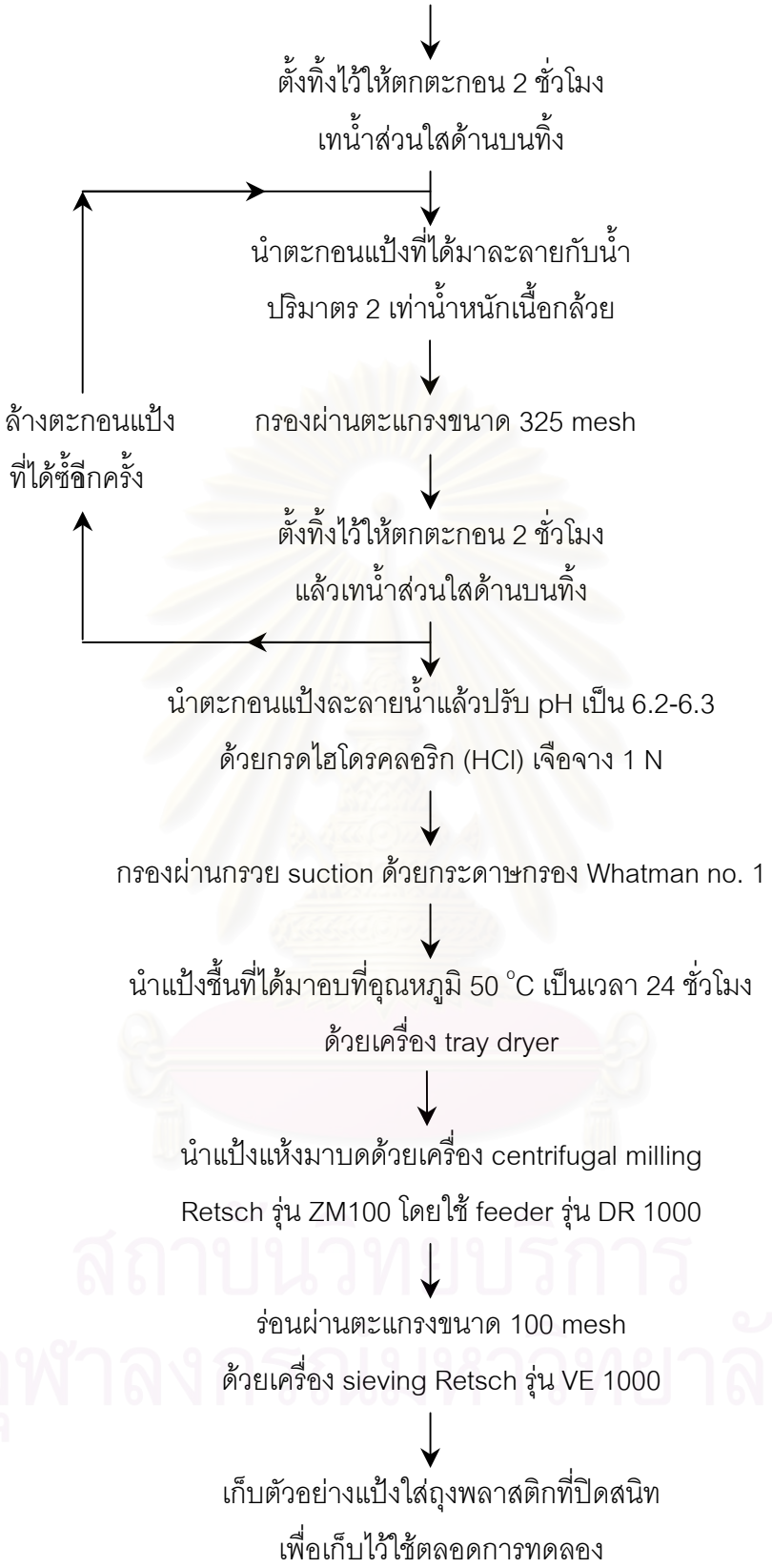
ก. ปริมาณผลผลิต (yield) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.11

ข. ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC, 1995 รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.6

ค. ค่าดัชนีความขาว (white index) โดยใช้ colorimeter ระบบ Hunter ตามวิธีของ Chen และคณะ (1999) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.12



รูปที่ 3.1 **กระบวนการผลิตสตาร์ชจากกล้วยดิบ**



รูปที่ 3.1 **กระบวนการผลิตสตาร์ชจากกล้วยดิบ (ต่อ)**

การศึกษาเปรียบเทียบชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์ทดลอง 5 ซ้ำ(ใช้เนื้อกล้วยครั้งละ 500 gm) วางแผนทดลองแบบ Symmetrical Factorial Design =ขนาด 3×3 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985) เลือกชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์ โดยใช้ผลการวิเคราะห์ปริมาณผลผลิต โปรตีน และดัชนีความขาว เป็นเกณฑ์ในการพิจารณา จากนั้นจึงนำกล้วยดิบทั้งเครือมาทำการสกัดสตาร์ชตามรูปที่ 3.1 เพื่อใช้ในการศึกษาสมบัติของสตาร์ชต่อไป

3.4 ศึกษาสมบัติของสตาร์ชจากกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

3.4.1 ทางเคมี

นำสตาร์ชที่สกัดได้จากสารละลายที่เหมาะสมสำหรับกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์ โดยเลือกจากข้อ 3.3 มาทำการศึกษาสมบัติทางเคมีของสตาร์ชดังนี้

ก. ปริมาณความชื้น โดยใช้ moisture analyzer รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.5

ข. ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC, 1995 รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.6

ค. ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC, 1995 รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.7

ง. ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC, 1995 ในภาคผนวก ก.8

จ. ค่า pH ตามวิธีของ AOAC, 1995 รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.13

ฉ. ปริมาณฟอสฟอรัส โดยใช้ spectrophotometer ตามวิธีของ Smith และ Caruso (1964) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.14

ช. ปริมาณสตาร์ช โดยใช้ polarimeter ตามวิธีของ AOAC, 1995 รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.15

ซ. ปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคติน โดยใช้ spectrophotometer ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Jarvis และ Walker (1993) และ Juliano (1971) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.16

การศึกษาสมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์ทดลอง 5 ซ้ำ วางแผนทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985)

3.4.2 ทางกายภาพ

นำสตาร์ชที่สกัดได้จากสารละลายที่เหมาะสมสำหรับกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์ โดยเลือกจากข้อ 3.3 มาทำการศึกษาสมบัติทางเคมีของสตาร์ชดังนี้

ก. ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ช โดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.17

ข. ลักษณะ birefringence โดยใช้ microscopic method รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.18

ค. วัดการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดสตาร์ชโดยใช้ Laser particle size analyzer รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.19

ง. รูปแบบกำลังการพองตัว (swelling power) และการละลาย (solubility) ตามวิธีของ Schoch (1964) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.20

จ. สมบัติทางความร้อนของสตาร์ช โดยใช้ Differential Scanning Calorimeter (DSC) ตามวิธีของ Kim และคณะ (1995) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.21

ฉ. ศึกษาโครงสร้างผลึก (crystal structure) ของเม็ดสตาร์ช โดยใช้ X-ray diffractometer และวิเคราะห์ pattern ตามวิธีของ Zobel (1964) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.22

3.5 ศึกษาผลของค่า pH ที่มีต่อสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

นำสตาร์ชกล้วยมาศึกษาสมบัติด้านความหนืดที่ค่า pH ระดับต่างๆ ด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph ทำการแปรค่า pH ในการเตรียมน้ำแป้งเป็น 4 ระดับ โดยใช้สารละลายค่า pH มาตรฐาน (buffer) ที่ค่า pH 3.5, 4.5, 5.5, 7.0 และน้ำกลั่นซึ่งใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ การเตรียม buffer จะใช้ตามวิธีของ Food Chemicals Codex, 1981 รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.23

วิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชที่ความเข้มข้นของน้ำแป้ง 6% (db) จำนวน 500 gm ใช้ sensitivity cartridge 700 cmg โดยใช้เครื่อง Brabender viscoamylograph ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Mazurs และคณะ (1957) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.24 บันทึกอุณหภูมิที่ความหนืดของแป้งเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงในช่วง heating ซึ่งถือเป็นอุณหภูมิแป้งสุก (pasting temperature) ของสตาร์ช และบันทึกความหนืดของแป้งที่อุณหภูมิหรือเวลาต่างๆ โดยหน่วยของความหนืดที่วัดได้จะเรียกว่า Brabender Unit (BU)

3.6 ศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis : TPA) ของเจลสตาร์ชที่ค่า pH ระดับต่าง ๆ

นำแป้งเปียก (starch paste) ที่ค่า pH 3 ระดับ คือ 3.5, 4.5 และ 5.5 ของสตาร์ชกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph จากข้อ 3.5 ปริมาณ 50 gm มาใส่ในภาชนะพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์ 55 mm สูง 20 mm ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วปิดฝา หลังจากนั้นจึงนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4±1 °C เป็นเวลา 1 และ 3 วัน แล้วจึงนำเจลสตาร์ชออกจากภาชนะมาวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง texture analyzer รุ่น TA.XT2 เลือกการวัดเป็นแบบ Texture Profile Analysis (TPA) รายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ก.25 บันทึกค่า Hardness, Cohesiveness และ Gumminess ของเจลสตาร์ชจากกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

การศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชที่ค่า pH ระดับต่างๆ ทดลอง 5 ซ้ำวางแผนทดลองแบบ Asymmetrical Factorial ขนาด 3×3×2 วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS for Windows เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Cochran และ Cox, 1985)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลอง

4.1 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

ในการผลิตสตาร์ชจากกล้วยดิบได้มีการควบคุมแหล่งปลูกและระยะเวลาการเก็บเกี่ยวของกล้วยดิบสายพันธุ์ต่างๆ โดยทำการวัดดัชนีการเก็บเกี่ยวไว้เป็นข้อมูลพื้นฐานของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลอง ซึ่งแสดงดัง ตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์ *

ดัชนีการเก็บเกี่ยว	กล้วยหักมุก	กล้วยน้ำว้าค่อม	กล้วยตานี
อายุกล้วย (วัน)	$111.0^{b}\pm1.3$	$119.0^{a}\pm1.1$	$112.0^{b}\pm2.3$
น.น.กล้วยต่อผล (g)	$133.3^{a}\pm14.2$	$112.2^{b}\pm4.0$	$110.8^{b}\pm6.3$
อัตราส่วนเนื้อต่อเปลือก	$1.50^{b}\pm0.10$	$2.27^{a}\pm0.11$	$1.51^{b}\pm0.10$
น้ำตาลรีดิวซ์ซิง (%)	$1.77^{b}\pm0.67$	$1.95^{b}\pm0.53$	$3.05^{a}\pm0.76$

a และ b ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวนอนเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ $\pm$ SD

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน อายุกล้วย น้ำหนักกล้วยต่อผล อัตราส่วนเนื้อต่อเปลือกและน้ำตาลรีดิวซ์ซิง ของกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

SOV	df	MS			
		อายุกล้วย	น.น.กล้วยต่อผล	อัตราส่วนเนื้อต่อเปลือก	น้ำตาลรีดิวซ์ซิง
สายพันธุ์กล้วย	2	99.467*	799.528*	0.965*	2.404*
Error	12	2.733	85.534	0.010	0.434

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติของดัชนีการเก็บเกี่ยวกล้วยดิบทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าแตกต่างกัน ($p\leq0.05$) โดยอายุเก็บเกี่ยวของกล้วยน้ำว้าค่อมมีค่ามากกว่ากล้วยหักมุกและกล้วยตานี ส่วนน้ำหนักกล้วยต่อผลของกล้วยหักมุกจะมากกว่ากล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานี สำหรับอัตราส่วนเนื้อต่อเปลือกของผลกล้วยดิบจะเป็นค่าที่แสดงความแก่อ่อนของ

กล้วยดิบ พบว่ากล้วยน้ำว้าค่อมมีอัตราส่วนเนื้อต่อเปลือกสูงกว่ากล้วยหักมุกและกล้วยตานี ในขณะที่เปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ซิงในเนื้อกล้วยตานีมีค่าสูงกว่ากล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อม ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยวและมีค่าแปรผกผันกับปริมาณสตาร์ชในเนื้อกล้วยดิบ (John และ Marchal, 1995)

4.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

นอกจากการวัดค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของกล้วยดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบแล้ว ยังได้วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของเนื้อกล้วยดิบสายพันธุ์ต่างๆ ที่นำมาใช้ในการผลิตสตาร์ชจากกล้วย ได้ผลแสดงดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกล้วยดิบสายพันธุ์ต่าง ๆ*

องค์ประกอบทางเคมี	กล้วยหักมุก	กล้วยน้ำว้าค่อม	กล้วยตานี
ความชื้น (%)	$67.71^{a}\pm1.24$	$63.83^{b}\pm0.82$	$69.56^{a}\pm2.06$
โปรตีน** (%)	$3.20^{b}\pm0.11$	$2.48^{c}\pm0.05$	$4.58^{a}\pm0.12$
เถ้า** (%)	$3.37^{b}\pm0.13$	$2.87^{c}\pm0.10$	$3.68^{a}\pm0.20$
ไขมัน** (%)	$0.21^{b}\pm0.06$	$0.14^{c}\pm0.03$	$0.37^{a}\pm0.02$
เส้นใย** (%)	$0.78^{b}\pm0.08$	$0.71^{b}\pm0.08$	$10.53^{a}\pm0.40$
คาร์โบไฮเดรต*** (%)	$92.44^{a}\pm0.11$	$93.80^{a}\pm0.15$	$82.85^{b}\pm4.62$

a, b, c… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวนอนเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ $\pm$ SD

** ข้อมูลโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis)

*** โดยวิธีคำนวณจากผลต่าง

ตารางที่ 4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า ความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน เส้นใย และคาร์โบไฮเดรต ของกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

SOV	df	MS					
		ความชื้น	โปรตีน	เถ้า	ไขมัน	เส้นใย	คาร์โบไฮเดรต
สายพันธุ์กล้วย	2	42.816*	5.662*	0.843*	0.070*	159.539*	178.251*
Error	12	2.151	0.010	0.021	0.002	0.056	7.117

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติขององค์ประกอบทางเคมีของกล้วยดิบทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าเนื้อกล้วยน้ำว้าค่อมดิบมีค่าความชื้นต่ำกว่ากล้วยหักมุกและกล้วยตานี ส่วนปริมาณโปรตีน เถ้า และไขมัน ของกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าแตกต่างกัน โดยกล้วยตานีมีค่ามากกว่ากล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมตามลำดับ สำหรับปริมาณเส้นใยของเนื้อกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยปริมาณเส้นใยของเนื้อกล้วยตานีมีค่าสูงที่สุด ซึ่งเป็นผลทำให้เนื้อกล้วยตานีมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุดด้วย

4.3 การเปรียบเทียบชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์

จากงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่มีการเปรียบเทียบผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ โดยใช้ค่าปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีน และค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 ผลของสารละลายต่างชนิดที่มีต่อการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ*

สายพันธุ์	สารละลาย	ปริมาณผลผลิต**(%)	ปริมาณโปรตีน**(%)	ดัชนีความขาว
กล้วยหักมุก	NaOH	$33.72^{a} \pm 5.93$	$0.28^{f} \pm 0.06$	$96.08^{a} \pm 0.91$
	$NaHSO_3$	$13.90^{c} \pm 3.52$	$0.37^{ef} \pm 0.05$	$92.39^{b} \pm 0.92$
	Water	$12.01^{c} \pm 2.71$	$0.46^{de} \pm 0.08$	$90.82^{c} \pm 0.94$
กล้วยน้ำว้าค่อม	NaOH	$34.09^{a} \pm 6.57$	$0.25^{f} \pm 0.02$	$96.26^{a} \pm 1.55$
	$NaHSO_3$	$10.90^{c} \pm 3.45$	$0.46^{de} \pm 0.06$	$90.49^{c} \pm 0.56$
	Water	$11.74^{c} \pm 3.26$	$0.55^{d} \pm 0.04$	$88.37^{d} \pm 0.77$
กล้วยตานี	NaOH	$21.07^{b} \pm 2.55$	$1.00^{c} \pm 0.08$	$85.96^{e} \pm 1.09$
	$NaHSO_3$	$16.01^{bc} \pm 4.25$	$1.44^{b} \pm 0.18$	$85.65^{e} \pm 1.71$
	Water	$12.34^{c} \pm 1.34$	$1.73^{a} \pm 0.14$	$84.41^{e} \pm 1.44$

a, b, c… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวตั้งเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ ± SD

** ข้อมูลโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis)

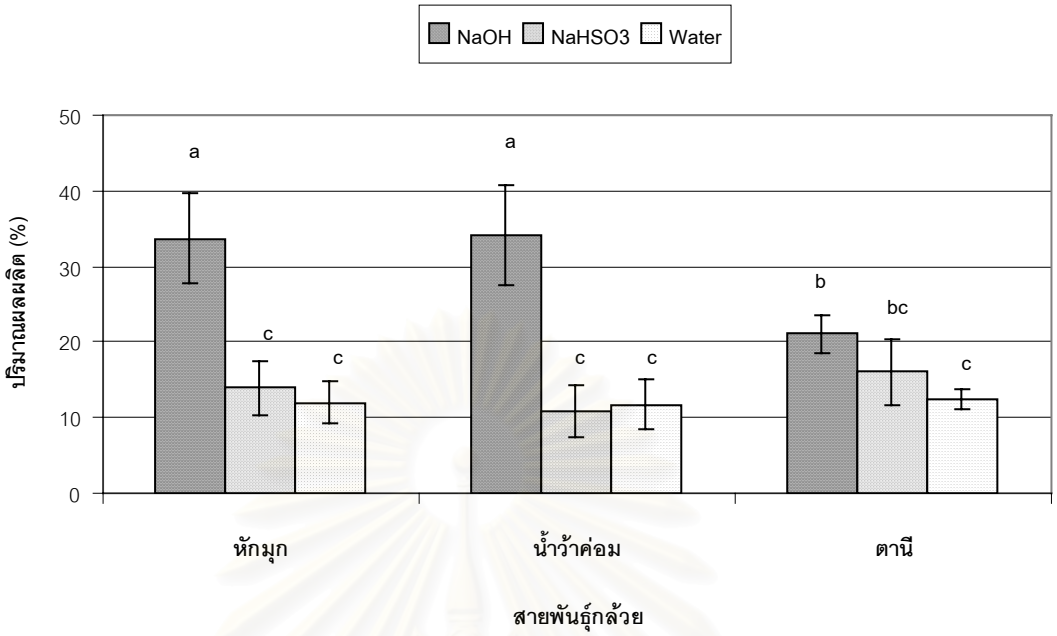
ตารางที่ 4.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวน ปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีน และดัชนีความขาวของสตาร์ชกล้วยที่แปรสายพันธุ์กล้วยและชนิดของสารละลาย

SOV	df	MS		
		ปริมาณผลผลิต	ปริมาณโปรตีน	ดัชนีความขาว
สายพันธุ์กล้วย(A)	2	46.243	4.964*	256.496*
ชนิดสารละลาย(B)	2	1422.660*	0.617*	93.457*
A × B	4	131.018*	0.107*	14.961*
Error	36	16.313	0.009	1.337

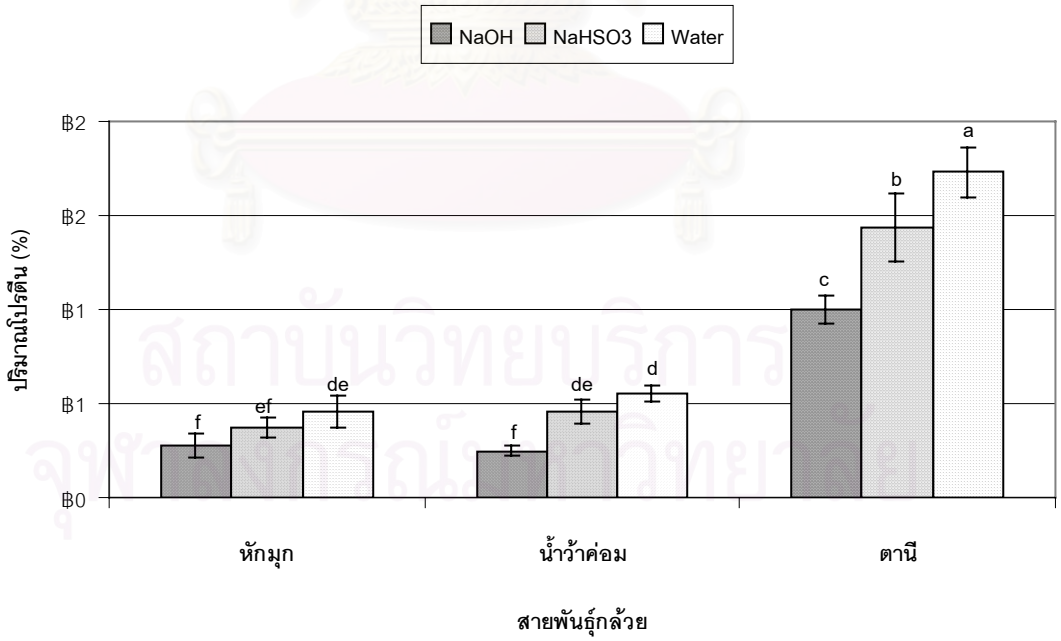
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 4.6 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดกับสายพันธุ์กล้วย มีผลต่อปริมาณผลผลิตของสตาร์ชที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำค่าปริมาณผลผลิตของสตาร์ชมาสร้างกราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์กับชนิดของสารละลายและสายพันธุ์ ดังรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์จะให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใช้น้ำหรือสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าปริมาณผลผลิตสตาร์ชของกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และเมื่อใช้น้ำหรือสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ จะให้ปริมาณผลผลิตสตาร์ชมีค่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดกับสายพันธุ์กล้วย มีผลต่อปริมาณโปรตีนของสตาร์ชที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำค่าปริมาณโปรตีนของสตาร์ชมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์กับชนิดของสารละลายและสายพันธุ์ดังรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ จะให้สตาร์ชที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าการใช้น้ำหรือสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ ($p \leq 0.05$) และพบว่าเมื่อใช้สารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชทั้ง 3 ชนิดสกัดสตาร์ชจากกล้วยตานีจะให้ปริมาณโปรตีนสูงกว่าสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อม ($p \leq 0.05$) โดยสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมมีปริมาณโปรตีนที่ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

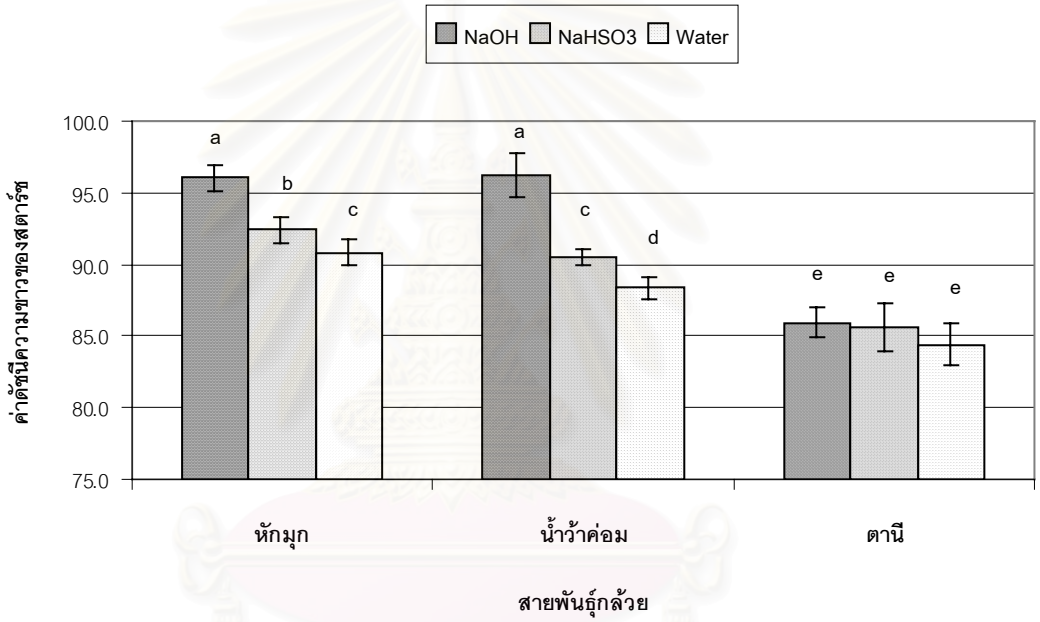


รูปที่ 4.1 ผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ ต่อปริมาณผลผลิต



รูปที่ 4.2 ผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ ต่อปริมาณโปรตีน

ผลการวิเคราะห์ทางสถิติในตารางที่ 4.6 พบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดกับสายพันธุ์กล้วย มีผลต่อค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) และเมื่อนำค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชมาสร้างกราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์กับชนิดของสารละลายและสายพันธุ์ ดังรูปที่ 4.3 พบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมจะให้ค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชมีค่ามากกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์และน้ำตามลำดับ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชจากกล้วยตานีมีค่าน้อยที่สุด โดยสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชทั้ง 3 ชนิด ให้ค่าดัชนีความขาวไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)



รูปที่ 4.3 ผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ ต่อค่าสีของสตาร์ช

จากค่าปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีน และค่าดัชนีความขาวของสตาร์ช ที่ใช้เป็นเกณฑ์เปรียบเทียบในการพิจารณาเลือกสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายที่เหมาะสมในการผลิตสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ จึงได้นำวัตถุดิบกล้วยแต่ละสายพันธุ์ทั้งเครือมาทำการสกัดเพื่อใช้ในการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพต่อไป และเมื่อพิจารณาผลการผลิตสตาร์ชจากเนื้อกล้วยปริมาณ 500 gm ในขั้นตอนศึกษาผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัด เปรียบเทียบกับการผลิตสตาร์ชจากเนื้อกล้วยแต่ละสายพันธุ์ทั้งเครือ เพื่อนำไปใช้ในการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพพบว่าให้ปริมาณผลผลิต

ปริมาณโปรตีน และสีของสตาร์ชแตกต่างกัน ดังตารางที่ 4.7 พบว่าเมื่อใช้ปริมาณเนื้อกล้วยมากขึ้นสตาร์ชจากกล้วยหักมุก กล้วยน้ำว้า และกล้วยตานี มีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.72, 10.93 และ 0.39 ตามลำดับ ส่วนปริมาณโปรตีนมีค่าลดลง และดัชนีความขาวมีค่าสูงขึ้น ยกเว้นค่าดัชนีความขาวของกล้วยตานี

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปริมาณการผลิตที่ต่างกัน*

สายพันธุ์	ปริมาณเนื้อกล้วย	ปริมาณผลผลิต** (%)	ปริมาณโปรตีน** (%)	ดัชนีความขาว
กล้วยหักมุก	ตัวอย่าง 500 gm	33.72±5.916	0.28±0.063	96.08±0.905
	ทั้งเครือ (4.7 kg)	37.44±1.530	0.22±0.007	97.30±0.041
กล้วย	ตัวอย่าง 500 gm	34.09±6.573	0.25±0.022	96.26±1.547
น้ำว้าค่อม	ทั้งเครือ (6.9 kg)	45.02±1.812	0.23±0.008	97.80±0.038
กล้วยตานี	ตัวอย่าง 500 gm	21.07±2.545	1.00±0.079	85.96±1.094
	ทั้งเครือ (5.8 kg)	21.46±1.109	0.93±0.053	81.19±0.292

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ ± SD

** ข้อมูลโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis)

4.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์

4.4.1 ทางเคมี

เมื่อนำสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งเป็นสารละลายที่เหมาะสมในการผลิตสตาร์ชจากกล้วย มาศึกษาสมบัติทางเคมีในด้านต่างๆ ได้ผลดังตารางที่ 4.8 - 4.10

ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์*

องค์ประกอบทางเคมี	กล้วยหักมุก	กล้วยน้ำว้าค่อม	กล้วยตานี
ความชื้น**(%)ns	11.47±0.045	11.76±0.218	11.50±0.321
โปรตีน**(%) (N×6.25)	0.22^{b}±0.007	0.23^{b}±0.008	0.93^{a}±0.053
เถ้า**(%)	0.08^{b}±0.008	0.07^{b}±0.011	0.17^{a}±0.011
ไขมัน**(%)	0.11^{a}±0.005	0.07^{b}±0.020	0.09^{ab}±0.019
ฟอสฟอรัส**(%)	0.016^{b}±0.0006	0.017^{b}±0.0007	0.025^{a} ±0.0005
ค่า pH	6.49^{b}±0.016	6.72^{a}±0.050	6.29^{c}±0.050
สตาร์ช**(%)	99.46^{a}±0.464	98.67^{b}±0.448	95.68^{c}±1.156
อะมิโลส**(%)	30.94^{b}±0.733	31.98^{a}±0.399	31.92^{a}±0.447
อะมิโลเพคติน**(%)	69.06^{a}±0.733	68.02^{b}±0.399	68.08^{b} ±0.447

a, b, c… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกันจากแถวนอนเดียวกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ ± SD

** ข้อมูลโดยน้ำหนักแห้ง (dry basis)

ตารางที่ 4.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า ความชื้น โปรตีน เถ้า ไขมัน และฟอสฟอรัส ของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์

SOV	df	MS				
		ความชื้น	โปรตีน	เถ้า	ไขมัน	ฟอสฟอรัส
สายพันธุ์กล้วย	2	0.128	0.827*	0.0144*	0.0016*	0.0001*
Error	12	0.051	0.001	0.0001	0.0002	0.0000

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนค่า pH สตาร์ช อะมิโลส และอะมิโลเพคติน ของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์กล้วย

SOV	df	MS			
		pH	สตาร์ช	อะมิโลส	อะมิโลเพคติน
สายพันธุ์กล้วย	2	0.236*	19.907*	1.697*	1.697*
Error	12	0.002	0.145	0.298	0.298

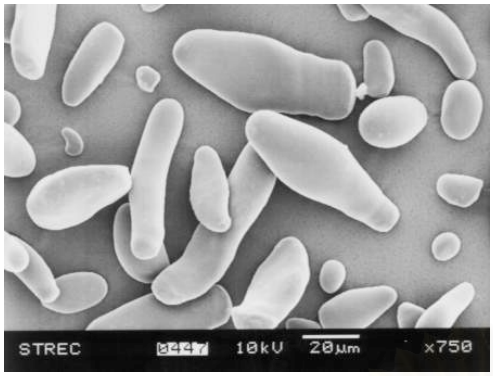
* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.9 และ 4.10 พบว่าปริมาณความชื้นของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) เนื่องจากมีการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งของสตาร์ชทั้ง 3 สายพันธุ์เท่ากัน เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีน เถ้า และฟอสฟอรัส ของสตาร์ชจากกล้วยตานีจะมีค่าสูงกว่าสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อม ($p\leq0.05$) ค่า pH ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าแตกต่างกัน ($p\leq0.05$) ส่วนปริมาณสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าแตกต่างกัน ($p\leq0.05$) โดยปริมาณสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วยหักมุกมีมากกว่าสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานีตามลำดับ โดยสตาร์ชจากกล้วยตานีมีปริมาณต่ำที่สุด และสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานีมีปริมาณอะมิโลสมากกว่าสตาร์ชจากกล้วยหักมุก ($p\leq0.05$)

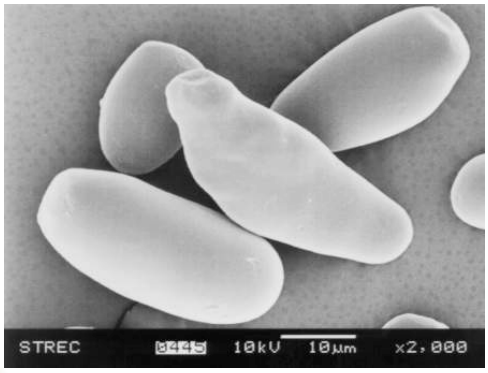
4.4.2 ทางกายภาพ

เมื่อนำสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์มาศึกษาลักษณะของเม็ดสตาร์ช (starch morphology) ที่สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อประกอบการพิจารณาแยกตามความแตกต่างของกล้วยแต่ละสายพันธุ์ โดยศึกษาลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 750 เท่า พบว่าเม็ดสตาร์ชมีลักษณะแตกต่างกัน ดังรูปที่ 4.4 โดยเม็ดสตาร์ชจากกล้วยหักมุกมีรูปร่างเป็นแท่ง (rod) แท่งยาวรี (rod-like lenticular) ส่วนกล้วยน้ำว้าค่อมมีรูปร่างคล้ายเปลือกหอย (oyster-shell like) และกล้วยตานีมีลักษณะรูปร่างเป็นแบบ bimodal คือเม็ด สตาร์ชมีความแตกต่างกันทั้งขนาดและรูปร่าง โดยจะมีรูปร่างทั้งแบบคล้ายเปลือกหอยและรูปหลายเหลี่ยม (polygonal) ซึ่งรูปร่างหลายเหลี่ยมจะมีขนาดเล็กกว่ารูปร่างที่คล้ายเปลือกหอย

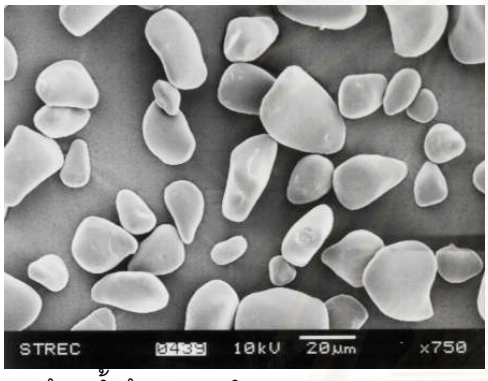
เมื่อพิจารณาลักษณะเม็ดสตาร์ชด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 2000 เท่า เพื่อดูลักษณะพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช พบว่าเม็ดสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีพื้นผิวที่เรียบไม่มีรอยแตกร้าวแสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาร์ชที่สกัดได้มีความสมบูรณ์และไม่ถูกทำลายในระหว่างขั้นตอนการสกัดหรือการบดร่อน ซึ่งเม็ดสตาร์ชที่มีความสมบูรณ์จะให้สมบัติทางเคมีกายภาพที่ถูกต้อง



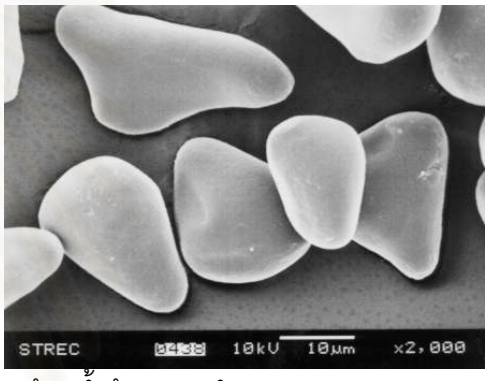
กล้วยหักมุก (กำลังขยาย 750 เท่า)



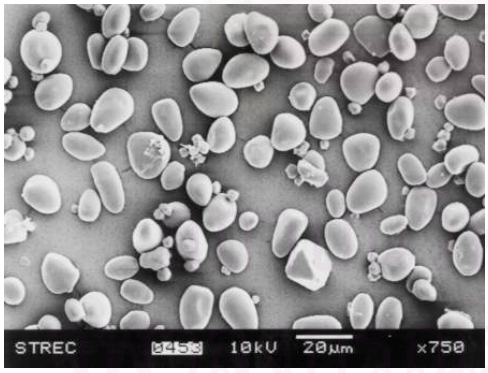
กล้วยหักมุก (กำลังขยาย 2000 เท่า)



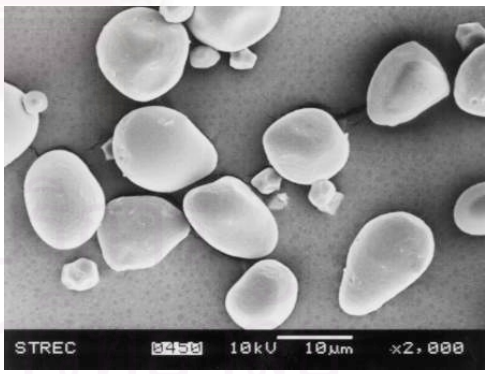
กล้วยน้ำว้าค่อม (กำลังขยาย 750 เท่า)



กล้วยน้ำว้าค่อม (กำลังขยาย 2000 เท่า)



กล้วยตานี (กำลังขยาย 750 เท่า)



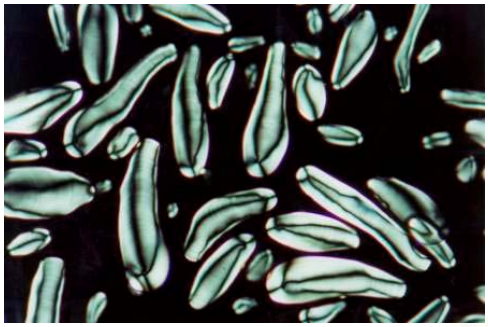
กล้วยตานี (กำลังขยาย 2000 เท่า)

รูปที่ 4.4 **ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่ได้จากเครื่อง** SEM

นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาลักษณะ birefringence โดยดัดแปลงแหล่งกำเนิดแสงของกล้องจุลทรรศน์ด้วยแผ่นฟิล์ม polaroid เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงระนาบเดียว (polarize light) เมื่อส่องผ่านเม็ดสตาร์ชที่กำลังขยาย 400 เท่า จะเกิดการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ทำให้เกิดแนวสีดำของลักษณะ birefringence ดังรูปที่ 4.5 ซึ่งแนวสีดำนี้จะเกิดขึ้นตามแกนในการหักเหของเม็ดสตาร์ชและจะตัดกันที่ hilum ทำให้ทราบลักษณะการจัดเรียงตัวของสายโมเลกุลภายในเม็ดสตาร์ช และได้นำสตาร์ชจากกล้วยตานีมาศึกษาลักษณะ birefringence ที่กำลังขยายเพิ่มขึ้นเป็น 1000 เท่า ดังรูปที่ 4.6 พบว่าอนุภาคขนาดเล็กที่ปนอยู่กับสตาร์ชจากกล้วยตานีเป็นเม็ด สตาร์ช เนื่องจากเกิดลักษณะ birefringence อย่างชัดเจนอยู่ตรงกลางเม็ดสตาร์ช

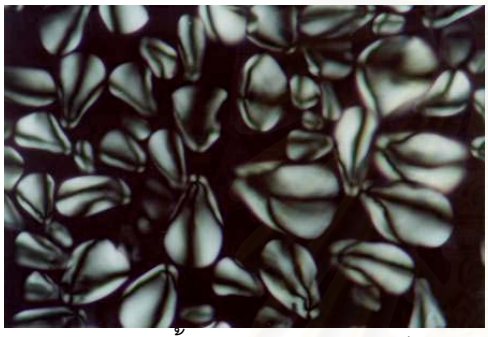
เมื่อนำเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ มาศึกษาการกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ชด้วยเครื่อง Laser particle size analyzer จะให้ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ดังรูปที่ 4.7 จะพบว่าเม็ดสตาร์ชจากกล้วยหักมุก กล้วยน้ำว้าค่อม และกล้วยตานี มีขนาดเม็ดสตาร์ชอยู่ในช่วง 13.20 – 66.71 , 15.23 – 55.07 และ 7.93 – 24.63 μm ตามลำดับ และขนาดเม็ดสตาร์ชที่มีมากที่สุดคือ 30.81 , 30.12 และ 15.23 μm ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

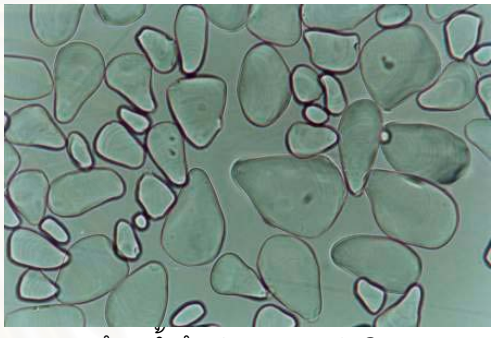


กล้วยหักมุก (แสงโพลาไรซ์)

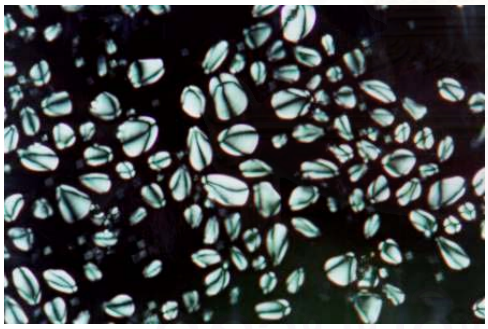
กล้วยหักมุก (แสงปกติ)



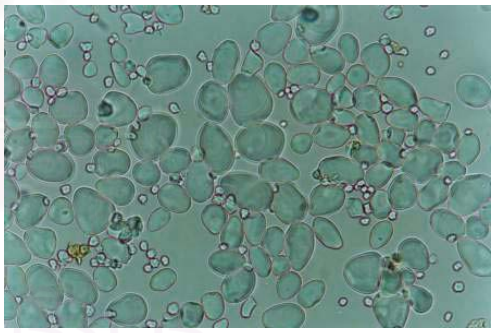
กล้วยน้ำว้าค่อม (แสงโพลาไรซ์)



กล้วยน้ำว้าค่อม (แสงปกติ)

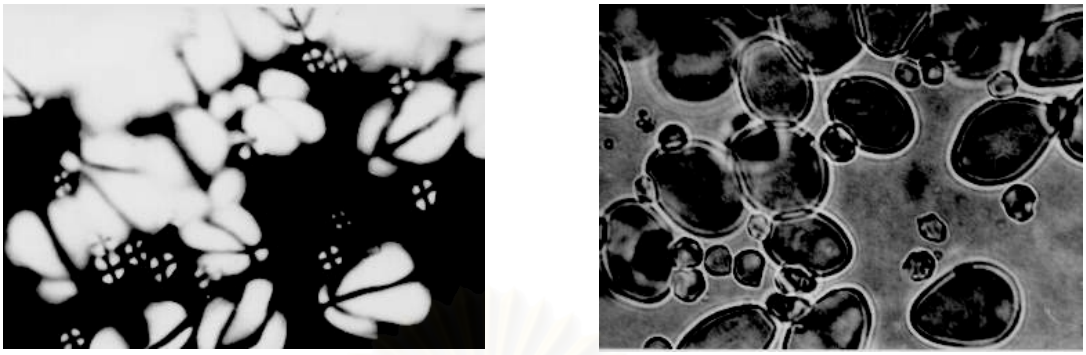


กล้วยตานี (แสงโพลาไรซ์)



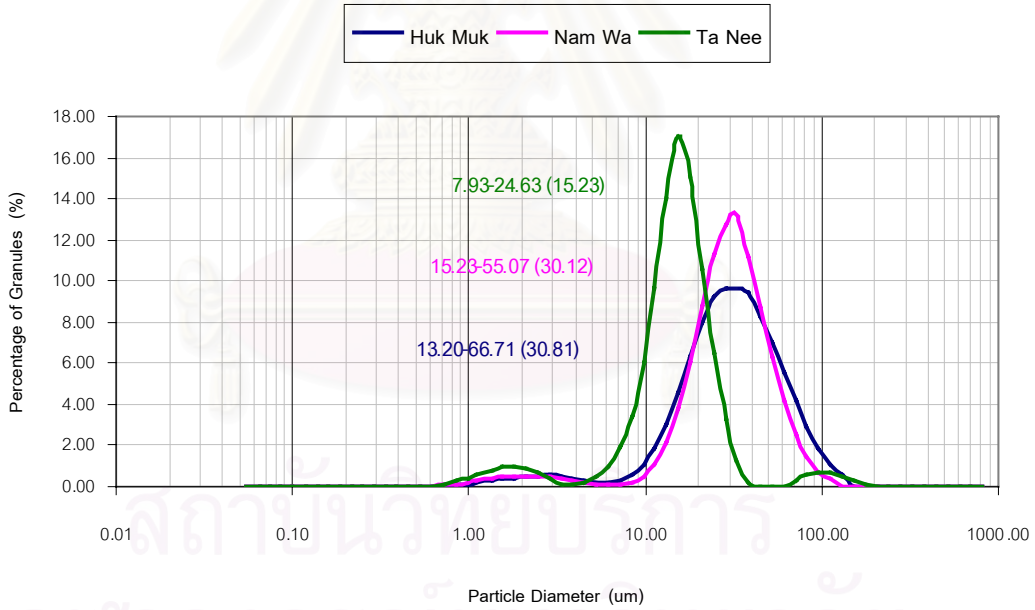
กล้วยตานี (แสงปกติ)

รูปที่ 4.5 **ลักษณะ** birefringence **ของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ ที่กำลังขยาย** 400 **เท่า**



กล้วยตานี (แสงโพลาไรซ์) กล้วยตานี (แสงปกติ)

รูปที่ 4.6 **ลักษณะ** birefringence **ของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยตานีที่กำลังขยาย** 1000 **เท่า**



รูปที่ 4.7 **ลักษณะการกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ**

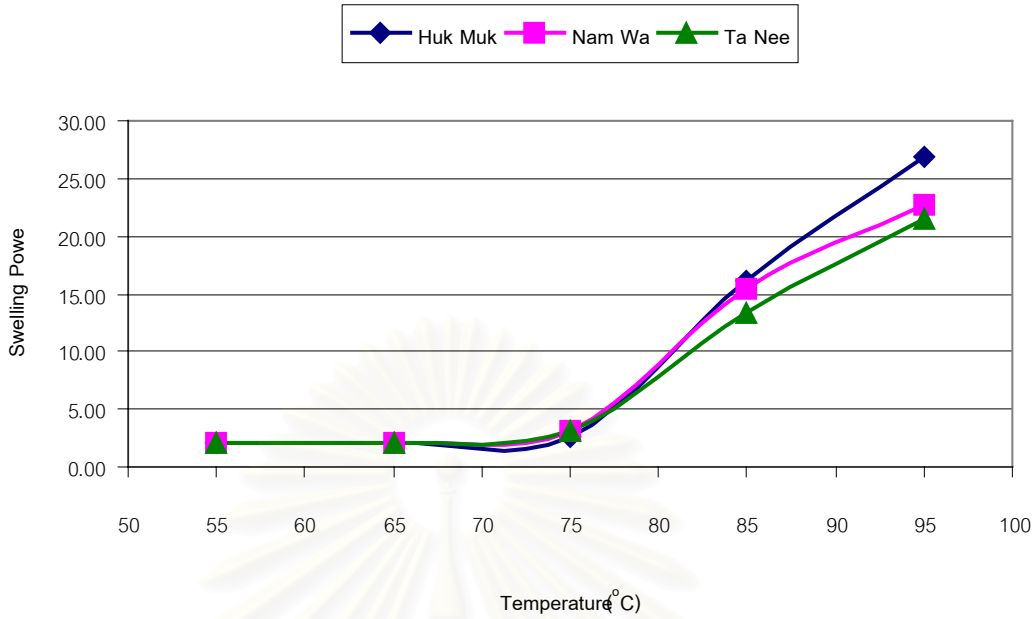
สมบัติการดูดซับน้ำโดยวิเคราะห์จากรูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 55, 65, 75, 85 และ 95 °C ได้ผลดังตารางที่ 4.11 และเมื่อสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังการพองตัวและการละลายที่อุณหภูมิต่างๆ ดังรูปที่ 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ มีรูปร่างที่คล้ายกันคือเป็นแบบ 2 ขั้นตอน

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์รูปแบบกำลังการพองตัว(swelling power) และการละลาย (solubility) ของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ*

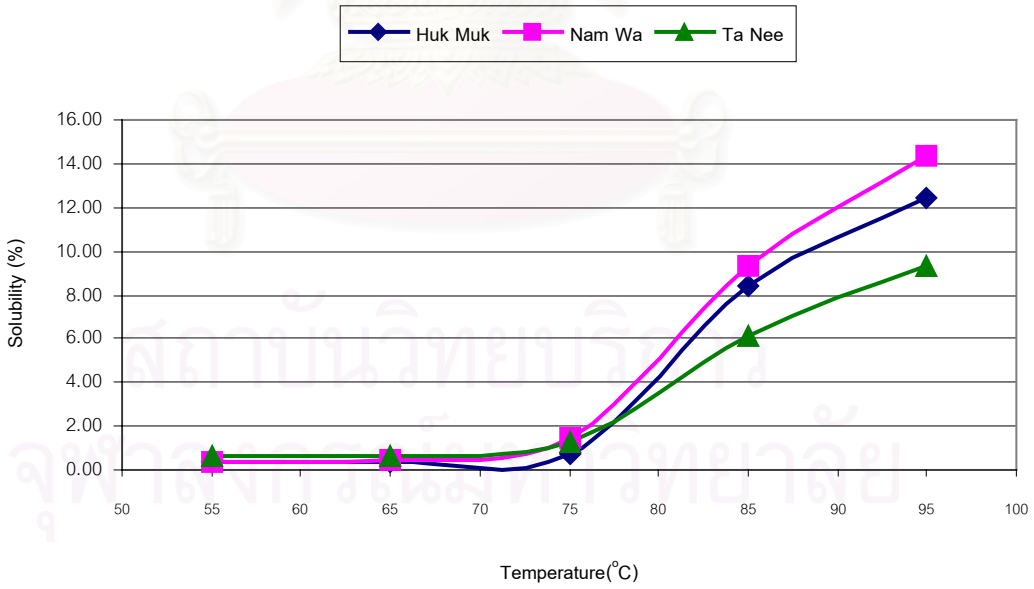
อุณหภูมิ (°C)	กล้วยหักมุก	กล้วยน้ำว้าค่อม	กล้วยตานี
	swelling power		
55	2.02±0.035	2.03±0.043	2.11±0.039
65	2.06±0.025	2.07±0.091	2.15±0.051
75	2.64±0.029	3.14±0.235	3.08±0.088
85	16.07±0.152	15.45±0.609	13.4±0.849
95	26.91±0.991	22.67±0.645	21.43±0.328
	Solubility (%)		
55	0.40±0.074	0.34±0.047	0.63±0.118
65	0.37±0.057	0.45±0.059	0.61±0.102
75	0.72±0.055	1.44±0.301	1.30±0.282
85	8.44±0.318	9.32±0.883	6.10±0.214
95	12.42±1.969	14.35±3.003	9.36±1.371

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

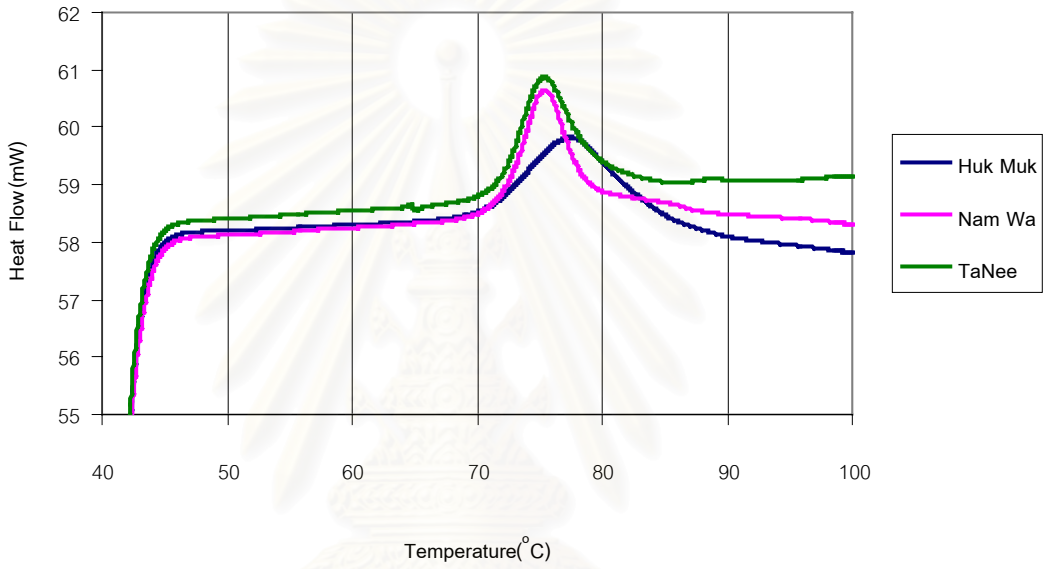


รูปที่ 4.8 **รูปแบบกำลังการพองตัว** (swelling power) **ของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ**



รูปที่ 4.9 **รูปแบบการละลาย** (% solubility) **ของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ**

สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC แสดงผลเป็นกราฟระหว่างปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงกับอุณหภูมิ ซึ่ง thermogram ที่ได้เป็นแบบ endothermic ดังรูปที่ 4.10 และมีค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชดัง ตารางที่ 4.12 พบว่าอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของกล้วยหักมุก กล้วยน้ำว้าค่อม และกล้วยตานี มีค่าเท่ากับ 70.96±0.10 °C , 71.97±1.16 °C และ 71.67±0.77 °C ตามลำดับ และค่าเอ็นทาลปีในการเกิด เจลาติไนซ์มีค่าเท่ากับ 22.18±2.51 , 18.61±2.87 และ 22.66±0.32 (J/g) ตามลำดับ



รูปที่ 4.10 DSC thermogram การเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ

ตารางที่ 4.12 ผลวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ จากเครื่อง DSC

แหล่งของสตาร์ช	สมบัติทางความร้อน*			
	To (°C)[1]	Tp (°C)[2]	Tc (°C)[3]	Enthalpy (J/g)[4]
กล้วยหักมุก	70.96±0.10	77.47±0.19	85.47±0.19	22.18±2.51
กล้วยน้ำว้าค่อม	71.97±1.16	75.26±0.57	82.40±2.26	18.61±2.87
กล้วยตานี	71.67±0.77	75.30±0.13	84.80±0.47	22.66±0.32

1 To (onset temperature) คือ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์

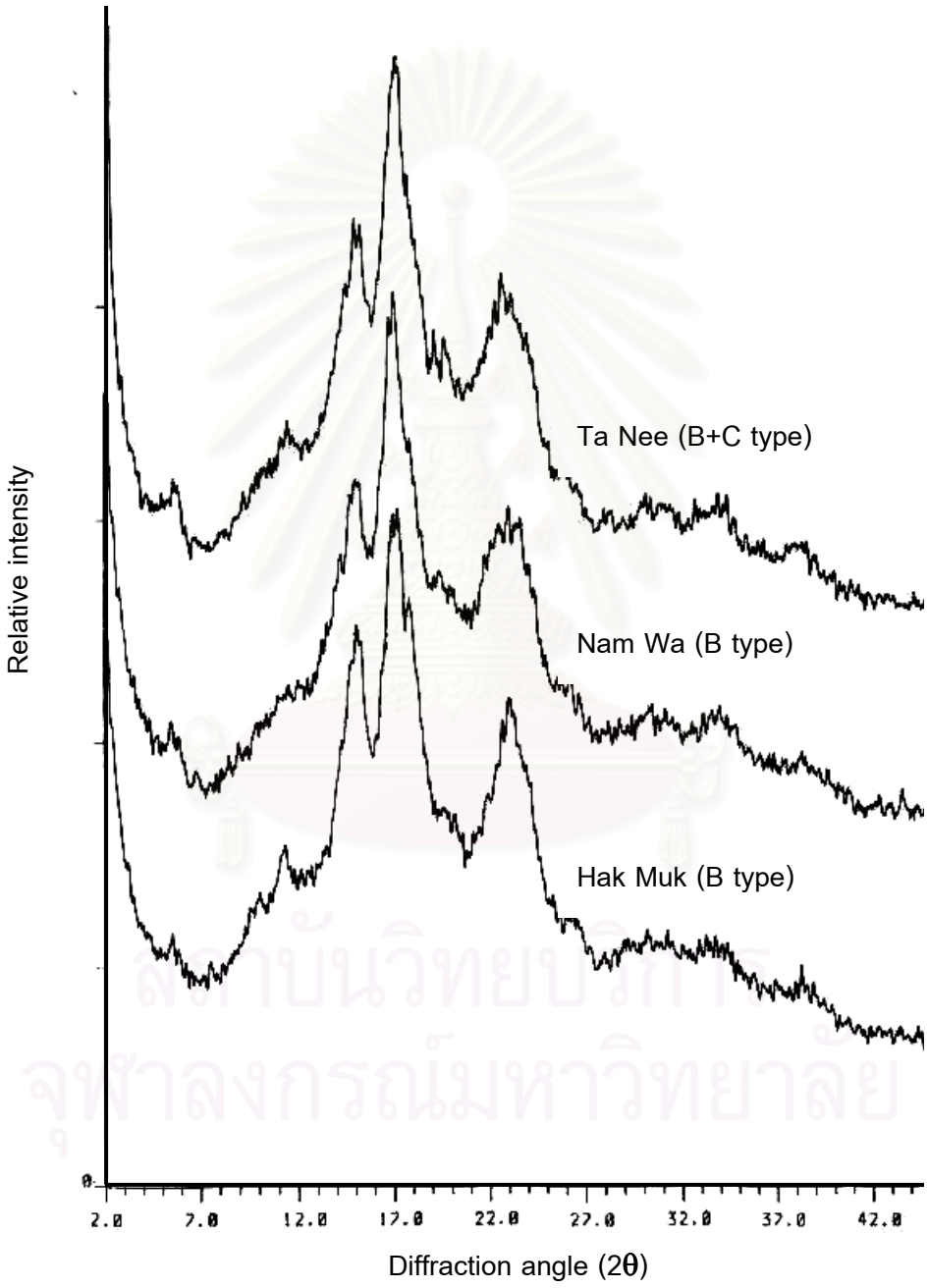
2 Tp (peak temperature) คือ อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนซ์

3 Tc (conclusion temperature) คือ อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนซ์

4 enthalpy (ΔH) คือ พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลาติไนซ์

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± SD

เมื่อนำสตาร์ชทั้ง 3 สายพันธุ์ มาศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช โดยใช้เครื่อง X-ray powder diffraction และวิเคราะห์ pattern ตามวิธีของ Zobel (1964) พบว่าลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมมีรูปแบบเดียวกันคือ เป็นผลึกแบบ B และ สตาร์ชจากกล้วยตานีเป็นผลึกผสมระหว่างแบบ B และ C ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 X-ray powder diffractograms **ของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่าง ๆ**

4.5 ผลของค่า pH ที่มีต่อสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

ในการนำสตาร์ชไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆ อย่างด้วยกัน เช่น pH ของอาหาร, ลักษณะเนื้อสัมผัส และกระบวนการผลิต เป็นต้น จึงได้นำสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์มาศึกษาค่า pH ที่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืดที่ความเข้มข้น 6% โดยน้ำหนักแห้ง ทำการศึกษาด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph โดยใช้สารละลาย buffer ที่ค่า pH 3.5, 4.5, 5.5, 7.0 และน้ำกลั่น ซึ่งใช้เป็นตัวเปรียบเทียบให้ผลดังตารางที่ 4.13 – 4.15

ตารางที่ 4.13 Brabender viscoamylograph **ของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกที่ค่า pH ต่าง ๆ**

ค่าที่ประเมิน	น้ำกลั่น	สารละลาย Buffer			
	pH 6.9*	pH 3.5*	pH 4.5*	pH 5.5*	pH 7.0**
อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	78.8±0.18	78.5±0.07	79.6±0.18	81.8±0.05	85.1±0.21
ความหนืด (BU)					
ที่จุดสูงสุด (P)	680±10.6	659±9.6	691±10.8	710±10.0	708±10.6
ที่ 95 °C (S)	674±5.5	605±10.0	664±7.4	699±5.5	700±7.1
ที่ 95 °C 30 นาที (H)	734±8.9	372±30.3	647±4.5	678±5.7	630±7.1
ที่ 50 °C (C)	1250±18.7	563±55.5	1012±18.2	1175±12.2	1128±3.5
ที่ 50 °C 30 นาที (F)	1200±23.2	543±54.0	997±12.5	1135±5.0	1105±21.2
Breakdown |H-S|	60±10.5	233±18.6	17±4.0	21±2.0	70±0.0
Setback |C-H|	516±9.2	191±22.7	364±15.8	497±9.3	498±7.5

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ ± SD

** ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± SD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.14 Brabender viscoamylograph **ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมที่ค่า pH ต่าง ๆ**

ค่าที่ประเมิน	น้ำกลั่น pH 6.9*	สารละลาย Buffer			
		PH 3.5*	pH 4.5*	pH 5.5*	pH 7.0**
อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	78.3±0.21	77.4±0.06	78.6±0.21	81.6±0.18	84.5±0.00
ความหนืด (BU)					
ที่จุดสูงสุด (P)	640±7.9	612±6.8	643±10.4	634±8.9	630±0.0
ที่ 95 °C (S)	637±9.1	579±3.7	639±11.1	630±10.6	623±3.5
ที่ 95 °C 30 นาที (H)	707±5.7	458±4.0	661±15.4	619±5.5	583±3.5
ที่ 50 °C (C)	1387±44.2	747±11.2	1128±62.0	989±18.2	908±10.6
ที่ 50 °C 30 นาที (F)	1508±23.6	768±27.3	1215±53.2	1064±20.4	960±7.1
Breakdown |H-S|	70±7.1	121±3.7	23±10.3	11±7.3	40±0.0
Setback |C-H|	680±35.4	289±8.0	466±41.4	370±11.8	325±5.0

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ ± SD

** ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± SD

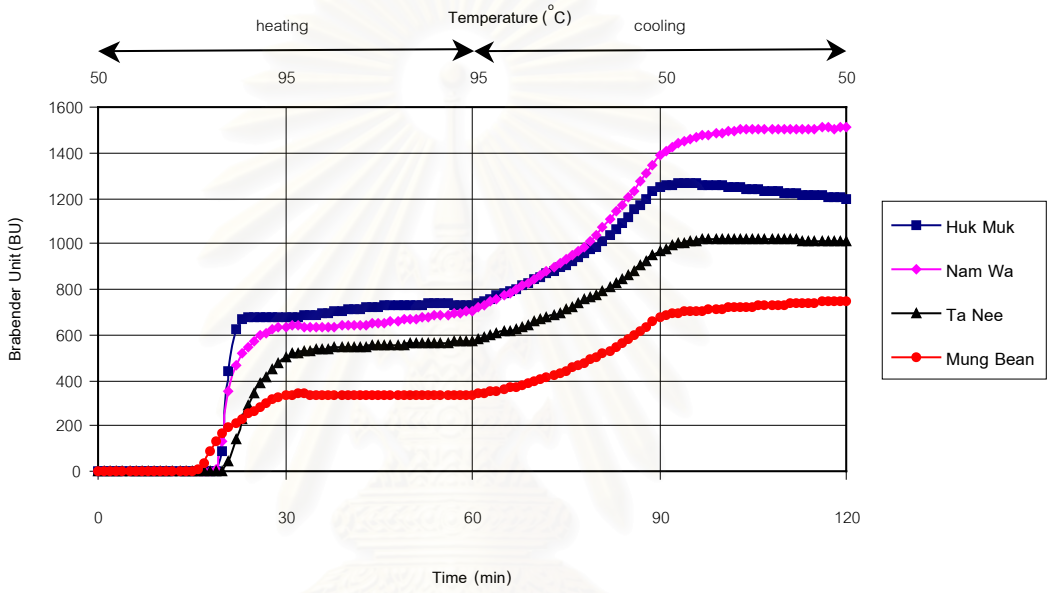
ตารางที่ 4.15 Brabender viscoamylograph **ของสตาร์ชจากกล้วยตานีที่ค่า pH ต่าง ๆ**

ค่าที่ประเมิน	น้ำกลั่น pH 6.9*	สารละลาย Buffer			
		pH 3.5*	pH 4.5*	pH 5.5*	pH 7.0**
อุณหภูมิแป้งสุก (°C)	80.6±0.33	78.9±0.07	80.4±0.11	83.7±0.07	87.5±0.00
ความหนืด (BU)					
ที่จุดสูงสุด (P)	-	547±5.7	557±8.4	-	-
ที่ 95 °C (S)	499±8.9	543±5.7	549±8.2	424±9.6	323±3.5
ที่ 95 °C 30 นาที (H)	574±7.4	377±11.5	510±5.0	512±5.7	405±0.0
ที่ 50 °C (C)	970±15.8	636±27.5	825±7.1	762±16.0	548±3.5
ที่ 50 °C 30 นาที (F)	1009±21.6	614±28.8	840±9.4	741±11.9	525±7.1
Breakdown |H-S|	75±3.2	166±7.5	17±4.0	88±6.0	83±2.5
Setback |C-H|	398±8.0	259±15.0	365±15.8	250±11.4	143±2.5

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 5 ซ้ำ ± SD

** ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± SD

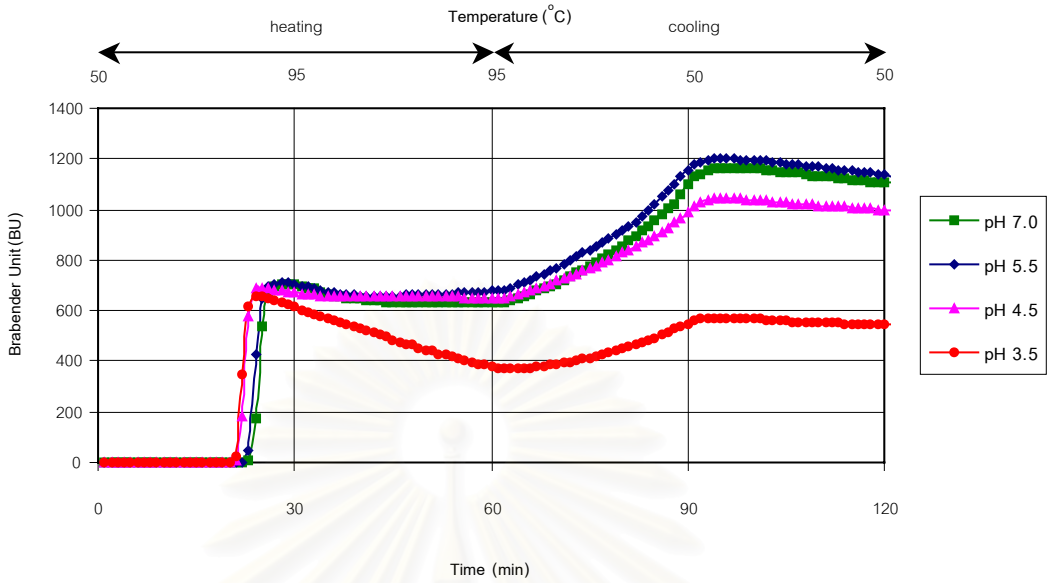
เมื่อใช้น้ำกลั่นค่า pH 6.9 มาศึกษาสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยเตรียมน้ำแป้งที่ความเข้มข้น 6% โดยน้ำหนักแห้ง แล้ววัดความหนืดด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph ให้ผลดังรูปที่ 4.12 พบว่าลักษณะกราฟ (pattern) ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าแตกต่างกัน โดยในช่วง heating กราฟของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกจะมีค่าสูงกว่ากล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานี ตามลำดับ แต่ในช่วง cooling กราฟของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมจะมีค่าสูงกว่ากล้วยหักมุกและกล้วยตานี ตามลำดับ



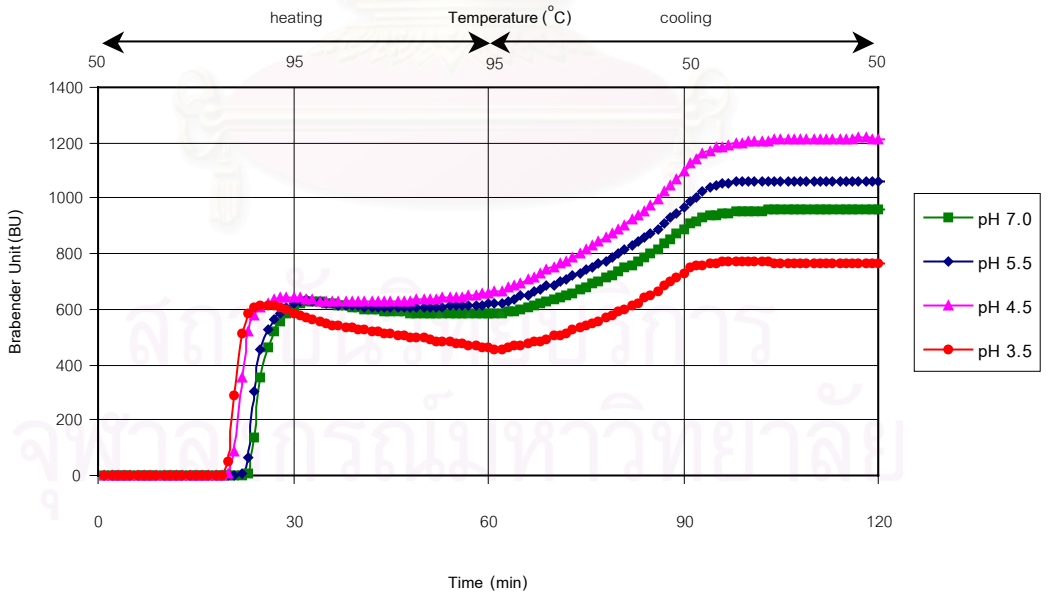
รูปที่ 4.12 Brabender viscoamylograph **เมื่อใช้น้ำกลั่น** pH 6.9 **ของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ (ที่** 6% starch, db)

เมื่อพิจารณาสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยในรูปที่ 4.12 เปรียบเทียบกับสตาร์ชจากแหล่งวัตถุดิบอื่นๆ พบว่าลักษณะของ Brabender viscoamylograph ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ คล้ายกับสตาร์ชจากถั่วเขียวมากที่สุด โดยมีความแตกต่างที่ลักษณะกราฟของสตาร์ชจากถั่วเขียวมีค่าต่ำกว่าสตาร์ชจากกล้วยตานี กล้วยน้ำว้าค่อม และกล้วยหักมุก ตามลำดับ

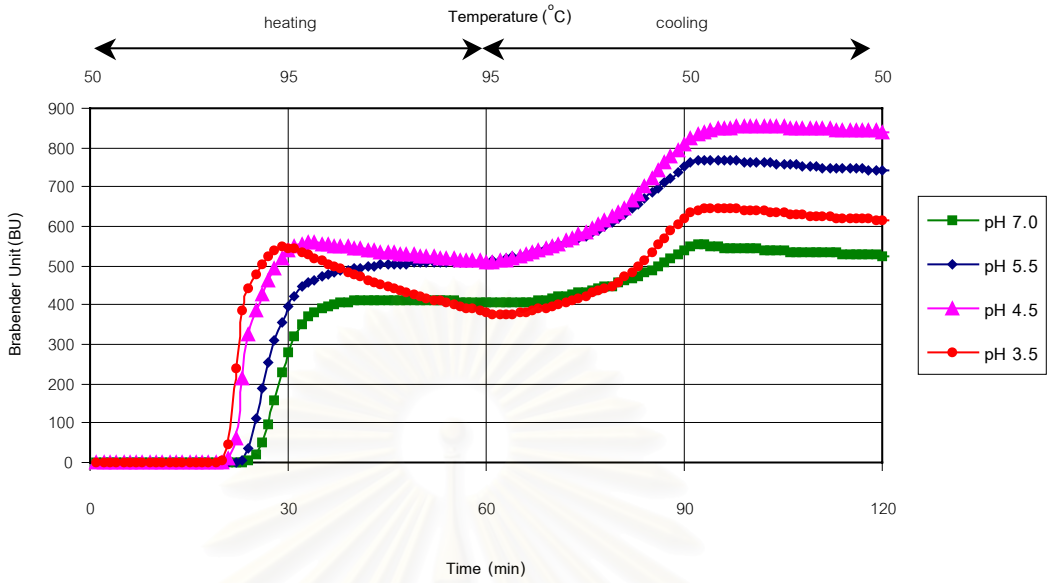
เมื่อนำผลการศึกษาสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph ซึ่งเตรียมน้ำแป้งโดยใช้สารละลาย buffer ที่ค่า pH 3.5, 4.5, 5.5 และ 7.0 มาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ที่ค่า pH ระดับต่างๆ ดังแสดงรูปที่ 4.13-4.15



รูปที่ 4.13 Brabender viscoamylograph **ของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกเมื่อใช้** Buffer **ค่า** pH **ต่าง ๆ**



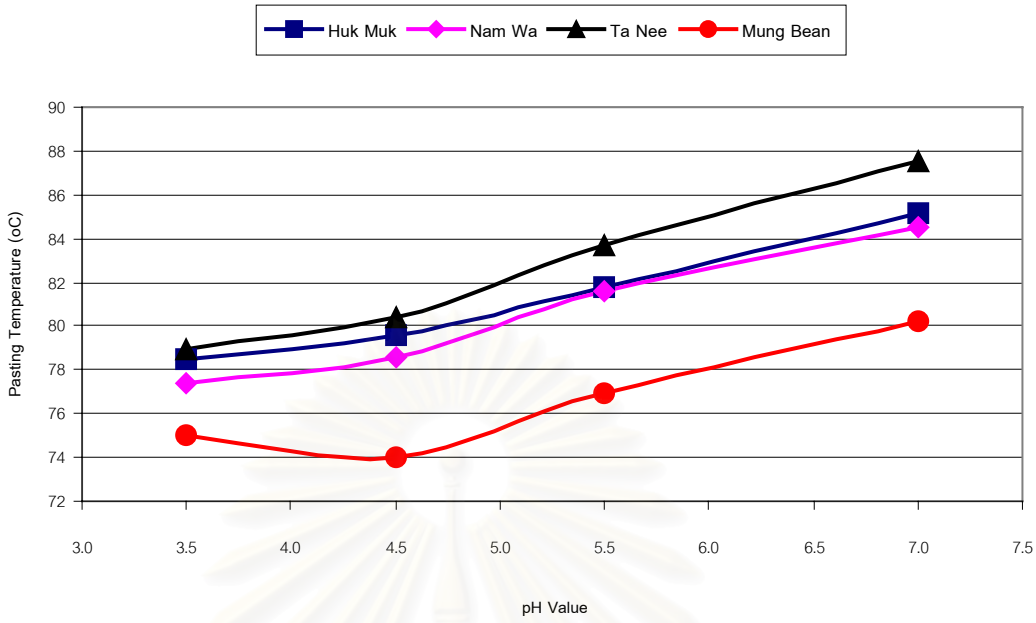
รูปที่ 4.14 Brabender viscoamylograph **ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมเมื่อใช้** Buffer **ค่า** pH **ต่าง ๆ**



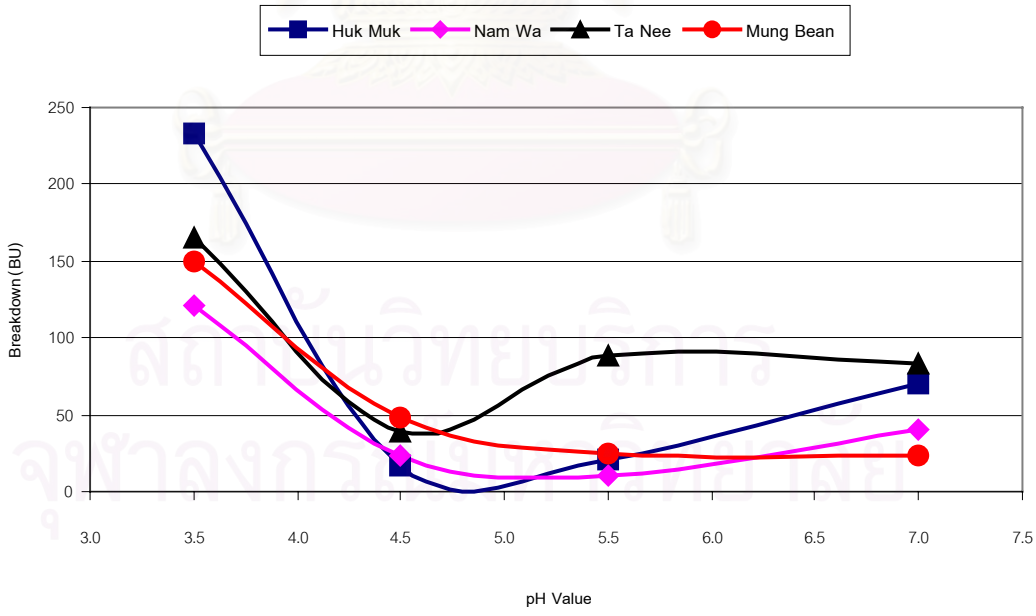
รูปที่ 4.15 Brabender viscoamylograph **ของสตาร์ชจากกล้วยตานีเมื่อใช้** Buffer **ค่า** pH **ต่าง ๆ**

จากกราฟ รูปที่ 4.13-4.15 แสดงให้เห็นว่าค่า pH ของน้ำแป้งมีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยลักษณะกราฟจะมีแนวโน้มลดต่ำลงตามค่า pH ที่ลดลง และยังพบว่าในช่วงของการ Heating ลักษณะกราฟที่ค่า pH 4.5 และ 5.5 ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับกราฟที่ค่า pH 7.0 ส่วนลักษณะกราฟที่ค่า pH 3.5 จะมีลักษณะกราฟต่ำที่สุด

เนื่องจากลักษณะกราฟที่ได้จาก Brabender viscoamylograph ของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ มีรูปแบบกราฟที่คล้ายคลึงกันจึงได้นำค่า pasting temperature, breakdown และ setback มาสร้างกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์กับค่า pH ของน้ำแป้ง แสดงดังรูปที่ 4.16-4.18



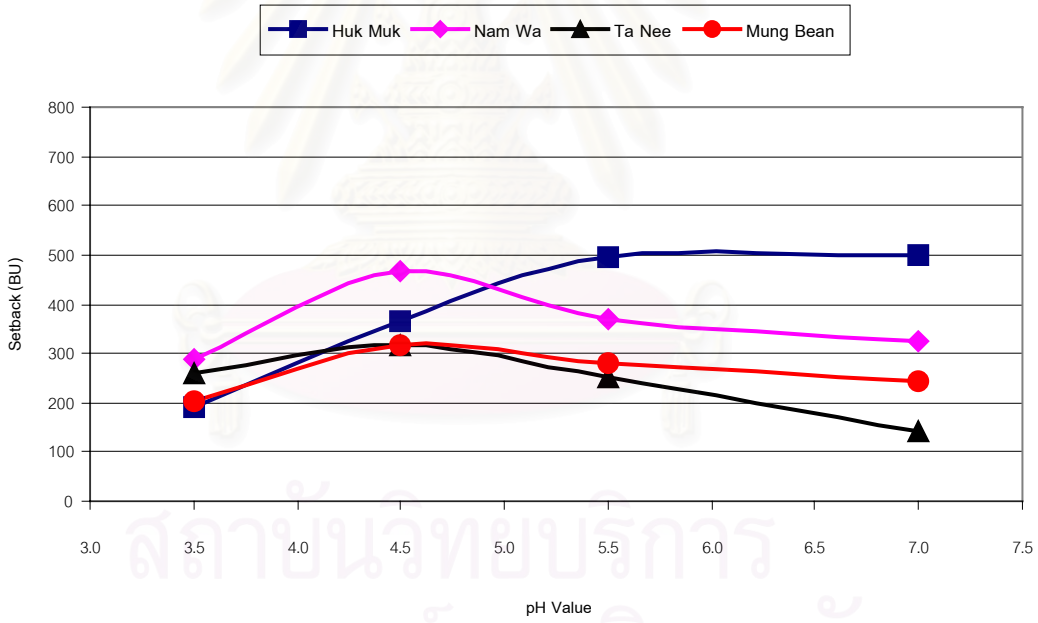
รูปที่ 4.16 **ความสัมพันธ์ของค่า** pH **กับสายพันธุ์กล้วยต่อค่า** Pasting temperature **ของแป้งเปียก**



รูปที่ 4.17 **ความสัมพันธ์ของค่า** pH **กับสายพันธุ์กล้วยต่อค่า** Breakdown **ของแป้งเปียก**

จากกราฟรูปที่ 4.16 พบว่าเมื่อค่า pH ของน้ำแป้งลดลงจาก 7.0 เป็น 3.5 จะทำให้ค่า pasting temperature ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าลดลง โดยค่า pasting temperature ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้ามีค่าต่ำกว่ากล้วยหักมุกและกล้วยตานีตามลำดับ แต่เมื่อพิจารณาร่วมกับสตาร์ชจากถั่วเขียวพบว่าสตาร์ชจากกล้วยมีค่า pasting temperature สูงกว่าสตาร์ชจากถั่วเขียวและมีรูปแบบการเปลี่ยนแปลงของกราฟที่คล้ายคลึงกับสตาร์ชจากถั่วเขียว

เมื่อพิจารณากราฟรูปที่ 4.17 พบว่าค่า Breakdown ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อค่า pH ลดลงจาก 4.5 เป็น 3.5 และเมื่อพิจารณาค่า Breakdown ของน้ำแป้งที่ค่า pH 7.0, 5.5 และ 4.5 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่า Breakdown อยู่ระหว่าง 11-88 BU ซึ่งเป็นค่าที่น้อยเมื่อเปรียบเทียบกับที่ค่า pH 3.5 นอกจากนี้ยังพบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่า Breakdown ของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมที่ค่า pH ต่างๆ มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับสตาร์ชจากถั่วเขียว

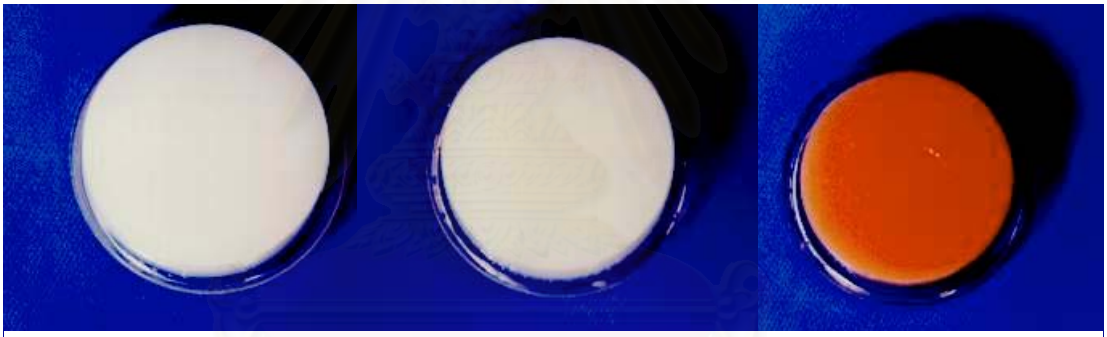


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ของค่า pH กับสายพันธุ์กล้วยต่อค่า Setback ของแป้งเปียก

จากกราฟรูปที่ 4.18 พบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่า Setback ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อม กล้วยตานี และสตาร์ชจากถั่วเขียว มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน โดยพบว่าเมื่อน้ำแป้งมีค่า pH 4.5 ค่า Setback ของสตาร์ชมีค่าสูงกว่าที่ค่า pH จุดอื่นๆ ซึ่งต่างจากสตาร์ชกล้วยหักมุกที่ค่า Setback ที่ค่า pH 7.0 และ 5.5 มีค่าใกล้เคียงกัน และเริ่มมีค่าลดลงเมื่อค่า pH ลดลงจาก 5.5 เป็น 3.5

4.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชที่ค่า pH ระดับต่างๆ

เมื่อนำแป้งเปียกที่เตรียมจาก buffer ค่า pH 3 ระดับ คือ 3.5, 4.5 และ 5.5 ของสตาร์ชกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph ปริมาณ 50 gm มาใส่ในภาชนะพลาสติกทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์ 55 mm สูง 20 mm ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วปิดฝาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4±1 °C เป็นเวลา 1 และ 3 วัน พบว่าเจลของสตาร์ชหลังจากเก็บไว้ 3 วัน มีลักษณะดังรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าเจลของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมมีลักษณะเป็นเจลสีขาวขุ่นคล้ายกัน ส่วนเจลของสตาร์ชจากกล้วยตานีมีลักษณะเป็นเจลสีน้ำตาล และเมื่อศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัส (TPA) ของเจลสตาร์ชที่ค่า pH ระดับต่างๆ หลังจากเก็บที่อุณหภูมิ 4±1°C เป็นเวลา 1 และ 3 วัน ด้วยเครื่อง texture analyzer พบว่าเจลของสตาร์ชมีค่า Hardness Cohesiveness และ Gumminess ดังตารางที่ 4.16 และ 4.17



รูปที่ 4.19 **ลักษณะของเจลสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.16 ผลวิเคราะห์ค่า Hardness Cohesiveness และ Gumminess ของเจลสตาร์ชจากกล้วยที่ค่า pH ระดับต่างๆ

TPA value	วันที่เก็บ	ค่า pH	กล้วยหักมุก	กล้วยน้ำว้าค่อม	กล้วยตานี
Hardness (gm)	วันที่ 1	3.5	$127.4^{j}\pm6.44$	$216.7^{gh}\pm9.50$	$191.9^{hi}\pm7.72$
		4.5	$144.8^{j}\pm5.63$	$287.5^{e}\pm12.22$	$256.2^{f}\pm15.91$
		5.5	$235.6^{fg}\pm19.15$	$381.3^{c}\pm26.41$	$312.5^{de}\pm13.63$
	วันที่ 3	3.5	$180.4^{i}\pm42.65$	$314.3^{de}\pm30.00$	$222.1^{gh}\pm19.66$
		4.5	$204.2^{hi}\pm20.18$	$332.0^{d}\pm22.56$	$333.0^{d}\pm10.54$
		5.5	$502.1^{b}\pm25.13$	$601.8^{a}\pm43.59$	$506.0^{b}\pm22.63$
Cohesiveness	วันที่ 1	3.5	$0.876^{i}\pm0.017$	$0.947^{fg}\pm0.009$	$0.918^{h}\pm0.007$
		4.5	$0.944^{g}\pm0.008$	$0.975^{bc}\pm0.005$	$0.967^{cde}\pm0.009$
		5.5	$0.989^{a}\pm0.003$	$0.976^{abc}\pm0.001$	$0.957^{defg}\pm0.009$
	วันที่ 3	3.5	$0.959^{def}\pm0.017$	$0.929^{h}\pm0.011$	$0.918^{h}\pm0.008$
		4.5	$0.969^{bcd}\pm0.017$	$0.974^{bc}\pm0.010$	$0.981^{ab}\pm0.005$
		5.5	$0.955^{efg}\pm0.005$	$0.979^{abc}\pm0.002$	$0.967^{cde}\pm0.003$
Gumminess	วันที่ 1	3.5	$111.9^{l}\pm5.44$	$202.5^{i}\pm5.32$	$173.9^{j}\pm5.06$
		4.5	$137.2^{k}\pm4.29$	$277.1^{g}\pm7.12$	$248.0^{h}\pm15.04$
		5.5	$232.8^{h}\pm18.34$	$367.1^{c}\pm21.79$	$298.9^{ef}\pm12.34$
	วันที่ 3	3.5	$151.4^{k}\pm3.48$	$283.0^{fg}\pm13.20$	$198.0^{i}\pm8.82$
		4.5	$198.2^{i}\pm22.35$	$317.8^{de}\pm15.67$	$324.1^{d}\pm8.98$
		5.5	$485.7^{b}\pm15.34$	$589.1^{a}\pm33.18$	$496.3^{b}\pm31.70$

a, b, c… ตัวเลขที่มีอักษรกำกับต่างกัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p\leq0.05$)

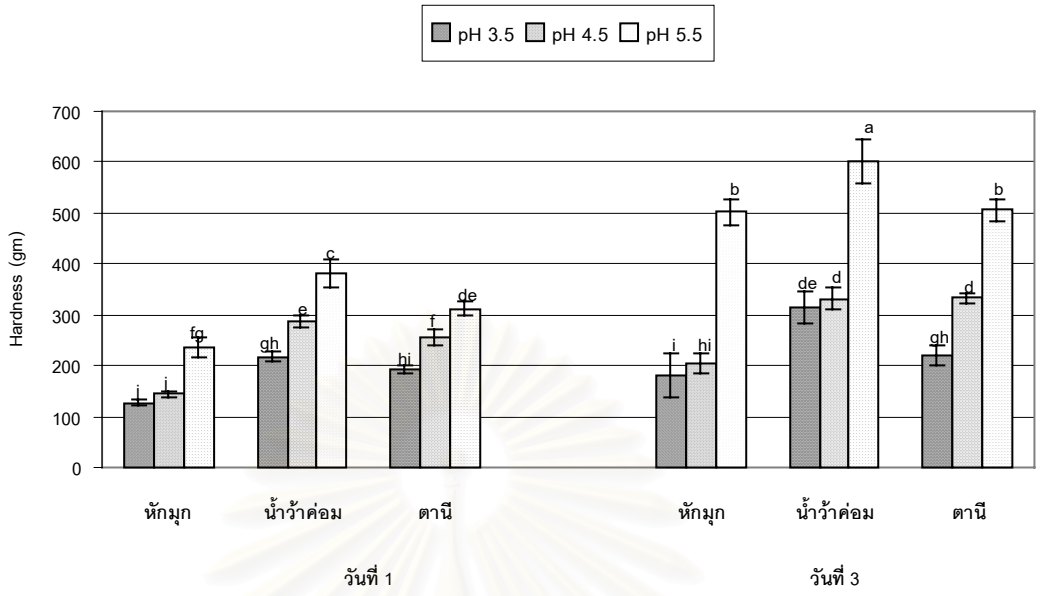
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวน Hardness Cohesiveness และ Gumminess ของเจลสตาร์ชกล้วยที่แปร สายพันธุ์กล้วย ค่า pH และวันที่เก็บเจลสตาร์ช

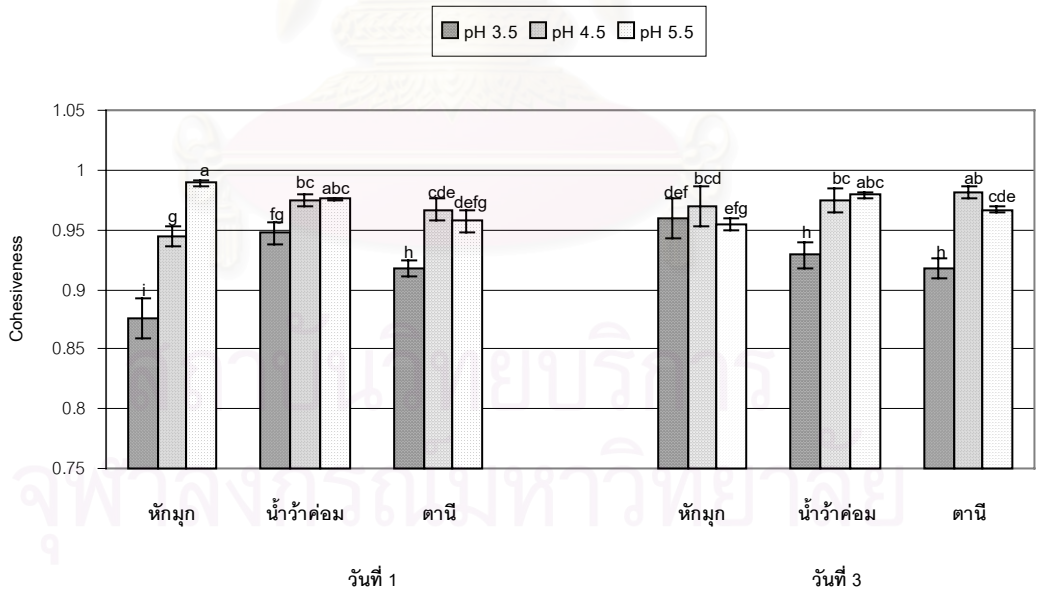
SOV	df	MS		
		Hardness	Cohesiveness	Gumminess
สายพันธุ์กล้วย (A)	2	114726.51*	0.0019*	108855.40*
ค่า pH (B)	2	376572.71*	0.0204*	403118.15*
วันที่เก็บ (C)	1	301615.93*	0.0019*	274570.87*
A × B	4	5225.56*	0.0006*	5187.60*
A × C	2	1426.34	0.0017*	737.28
B × C	2	69370.31*	0.0016*	72876.11*
A × B × C	4	2784.00*	0.0037*	2051.68*
Error	72	502.88	0.0001	265.17

* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

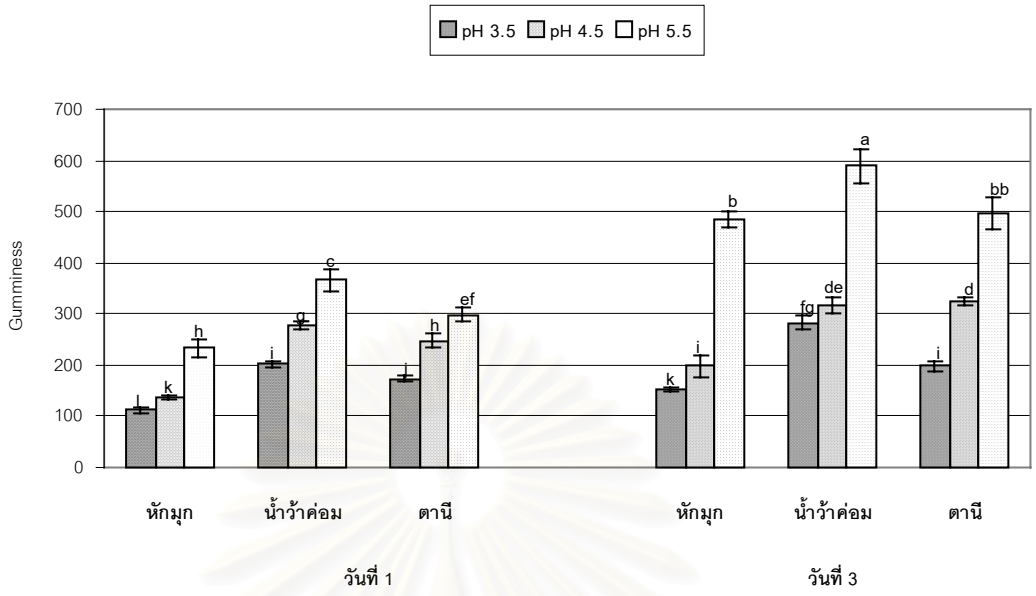
จากตารางที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าผลการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่าอิทธิพลร่วมระหว่างสายพันธุ์กล้วย ค่า pH ของน้ำแป้ง และวันที่เก็บเจลสตาร์ช มีผลต่อค่า Hardness Cohesiveness และ Gumminess ของเจลสตาร์จากกล้วยแต่ละสายพันธุ์อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) จึงได้นำค่า Hardness, Cohesiveness และ Gumminess ของเจลสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์มาสร้างกราฟแท่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสายพันธุ์กล้วย ค่า pH ของน้ำแป้ง และวันที่เก็บเจลสตาร์ช ดังรูปที่ 4.20-4.22 พบว่ากราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่า Hardness และ Gumminess มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ดังรูปที่ 4.20 และ 4.22 โดยเจลสตาร์ชจากกล้วยที่เก็บไว้ 3 วัน มีค่า Hardness และ Gumminess สูงกว่าเจลที่เก็บไว้ 1 วัน และพบว่าเมื่อค่า pH ของเจลสตาร์ชจากกล้วยมีค่าเพิ่มขึ้นค่า Hardness และ Gumminess ของเจลสตาร์ชจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเจลของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าเจลของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมมีค่า Hardness และ Gumminess ของเจลสูงที่สุด เมื่อพิจารณารูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าสามารถแยกความแตกต่างของอิทธิพลร่วมทางสถิติได้ แต่ไม่สามารถระบุแนวโน้มของอิทธิพลร่วมได้ และพบว่าเจลสตาร์ชกล้วยที่อิทธิพลร่วมต่างๆ มีค่า Cohesiveness สูงกว่า 0.9 ยกเว้นเจลสตาร์ชกล้วยหักมุกที่ค่า pH 3.5 เมื่อเก็บไว้ 1 วัน



รูปที่ 4.20 **ค่า** Hardness **ของเจลสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ที่ระดับ** pH **ต่าง ๆ**



รูปที่ 4.21 **ค่า** Cohesiveness **ของเจลสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ที่ระดับ** pH **ต่าง ๆ**



รูปที่ 4.22 **ค่า** Gumminess **ของเจลสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ที่ระดับ** pH **ต่าง ๆ**

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
วิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 ดัชนีการเก็บเกี่ยวของกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

ในการผลิตสตาร์ชจากกล้วยดิบได้มีการควบคุมแหล่งปลูกและระยะเวลาการเก็บเกี่ยวของกล้วยดิบสายพันธุ์ต่างๆ โดยทำการวัดดัชนีการเก็บเกี่ยวไว้เป็นข้อมูลพื้นฐานของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 4.1) จะเห็นได้ว่ากล้วยน้ำว้าค่อมมีอายุการเก็บเกี่ยวที่ยาวนานกว่ากล้วยหักมุกและกล้วยตานี ในขณะที่กล้วยหักมุกมีค่าน้ำหนักกล้วยต่อผลมากที่สุด ซึ่งค่านี้จะสามารถใช้เป็นค่าที่แสดงถึงความสมบูรณ์ในการเพาะปลูกกล้วยสายพันธุ์เดียวกัน แต่สภาวะการเพาะปลูกต่างกัน สำหรับอัตราส่วนเนื้อต่อเปลือกของผลกล้วยดิบจะเป็นค่าที่แสดงความแก่อ่อนของกล้วยดิบเฉพาะของแต่ละสายพันธุ์ โดยถ้าเปรียบเทียบกล้วยชนิดเดียวกันกล้วยที่อ่อนอยู่จะมีค่าต่ำแต่เมื่อกล้วยแก่มากขึ้นปริมาณเนื้อจะมีมากกว่าเปลือกจึงทำให้มีค่าสูงขึ้น ในขณะที่ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิงในเนื้อกล้วยดิบเป็นค่าที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงภายหลังการเก็บเกี่ยว โดยค่าน้ำตาลรีดิวซ์ซิงจะมีค่าแปรผกผันกับปริมาณสตาร์ชในเนื้อกล้วยดิบ (John และ Marchal, 1995)

ค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นค่าที่มีความเฉพาะสำหรับกล้วยแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และสภาวะการเพาะปลูก ได้แก่ สภาพดิน น้ำ อากาศ และฤดูกาล ดังนั้นค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวที่ทำการศึกษานี้น่าจะเป็นแนวทางในการควบคุมความสม่ำเสมอและเป็นข้อมูลพื้นฐานของวัตถุดิบทางการเกษตรที่นำมาใช้ในการทดลอง และยังเป็นข้อมูลที่ใช้ประโยชน์ในการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบสำหรับการซื้อขายได้ต่อไปในอุตสาหกรรม

5.2 องค์ประกอบทางเคมีของกล้วยดิบแต่ละสายพันธุ์

นอกจากการวัดค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวของกล้วยดิบแล้ว ยังต้องมีการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นของเนื้อกล้วยดิบสายพันธุ์ต่างๆ (ตารางที่ 4.3) ที่นำมาใช้ในการผลิตสตาร์ชกล้วย จะพบว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตของเนื้อกล้วยน้ำว้าค่อมมีค่าสูงที่สุด ในขณะที่กล้วยตานีมีค่าต่ำที่สุด ซึ่งเนื่องมาจากปริมาณโปรตีน เถ้า และไขมัน ของกล้วยตานีมีค่าสูงกว่ากล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยหักมุก สำหรับปริมาณเส้นใยของเนื้อกล้วยตานีมีค่าสูงมาก อาจเนื่องมาจากกล้วยตานีมีเมล็ดอยู่มากจึงไม่ได้แยกออกจากเนื้อกล้วยก่อนนำมาผลิตสตาร์ช เป็นผลทำให้เนื้อกล้วยตานีมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตน้อยที่สุดด้วย

ดังนั้นองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นจะเป็นค่าที่แสดงถึงแนวโน้มของปริมาณผลผลิต (%yield) และสมบัติต่างๆ ของสตาร์ชที่ผลิตได้ โดยเนื้อกล้วยดิบที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำ หรือมีองค์ประกอบอื่นๆ อยู่มากจะมีผลต่อประสิทธิภาพในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบสายพันธุ์ต่างๆ ที่แตกต่างกัน

5.3 การเปรียบเทียบชนิดของสารละลายที่ใช้สกัดสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์

ในงานวิจัยการสกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบที่ผ่านมา พบว่ามีการใช้สารละลายในการสกัดอยู่ 2 ชนิด คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Lii และคณะ (1982), Chiang และคณะ (1987), และ Fichtali และคณะ (1999)) และโซเดียมไบซัลไฟด์ (Bello-Perez และคณะ (1998) และ Whistler และคณะ (1998)) ซึ่งยังไม่มีงานวิจัยที่แสดงการเปรียบเทียบผลของสารละลายทั้ง 2 ชนิด ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ โดยใช้ค่าปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีน และค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา

จากผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ต่อปริมาณผลผลิตของสตาร์ชที่สกัดได้ (รูปที่ 4.1) พบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ จะให้ปริมาณผลผลิตสูงกว่าการใช้น้ำหรือสารละลายโซเดียมไบซัลไฟด์ เนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารที่สามารถย่อยผนังเซลล์ของเนื้อเยื่อกล้วยได้ (Chiang และคณะ, 1987) ดังนั้นเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดสตาร์ชจึงทำให้ผนังเซลล์ที่ห่อหุ้มสารต่างๆ ภายในเซลล์ถูกทำลายสตาร์ชจึงสามารถหลุดออกมาได้ง่ายกว่าสารละลายชนิดอื่น ส่วนปริมาณผลผลิตสตาร์ชที่ได้จากน้ำหรือสารละลายโซเดียมไบซัลไฟด์ ได้มาจากผลของการบดทำลายเนื้อเยื่อกล้วยให้สตาร์ชหลุดออกมาเพียงอย่างเดียวเท่านั้น และเมื่อพิจารณาสายพันธุ์ของกล้วยกับปริมาณผลผลิต พบว่ากล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมมีปริมาณผลผลิตสตาร์ชสูงกว่ากล้วยตานี เนื่องจากปริมาณคาร์โบไฮเดรตในเนื้อของกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าเริ่มต้นมีค่ามากกว่ากล้วยตานี

จากผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ต่อปริมาณโปรตีนของสตาร์ชที่สกัดได้ (รูปที่ 4.2) พบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ จะให้สตาร์ชที่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่าการใช้น้ำหรือสารละลายโซเดียมไบซัลไฟด์ เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถล้างเอาโปรตีนที่เกาะอยู่กับ

เม็ดสตาร์ชให้ละลายออกมาอยู่ในสารละลายได้มากกว่าน้ำหรือสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ จึงทำให้โปรตีนละลายออกไปพร้อมกับสารละลาย (Rayas-Duarte และคณะ, 1995) และเมื่อพิจารณาสายพันธุ์ของกล้วยกับปริมาณโปรตีน พบว่าสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วยตานีมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อม เนื่องมาจากกล้วยตานีมีปริมาณโปรตีนในเนื้อกล้วยดิบเริ่มต้นสูงกว่ากล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อม และกระบวนการสกัดสตาร์ชได้ควบคุมการล้างให้เหมือนกันหมด ดังนั้นถ้าต้องการสตาร์ชที่บริสุทธิ์มากกว่านี้จะต้องทำการล้างสตาร์ชจากกล้วยตานีระหว่างกระบวนการสกัดสตาร์ชเพิ่มมากขึ้น

จากผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ต่อค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชที่สกัดได้ (รูปที่ 4.3) พบว่าเมื่อใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมจะให้ค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชมากกว่าการใช้สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์และน้ำ เนื่องจากสตาร์ชที่ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดมีองค์ประกอบอื่นที่ปนเปื้อนเหลืออยู่น้อยกว่าการใช้น้ำหรือสารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ จึงทำให้สตาร์ชมีค่าดัชนีความขาวสูง และเมื่อพิจารณาค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชจากกล้วยตานีที่ใช้สารละลายทั้ง 3 ชนิดในการสกัด พบว่ามีค่าดัชนีความขาวต่ำที่สุดเนื่องมาจากการปนเปื้อนจากเมล็ดสีดำที่มีอยู่มากในเนื้อกล้วยและไม่สามารถกำจัดออกได้หมดขณะล้าง

จากผลการเปรียบเทียบชนิดของสารละลายที่ใช้ในสารสกัดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ พบว่าโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายที่เหมาะสมในการสกัดสตาร์ชจากจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ เนื่องจากให้ปริมาณผลผลิตสูง ปริมาณโปรตีนต่ำ และค่าดัชนีความขาวสูงที่สุด ดังนั้นจึงเลือกโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นสารละลายในการสกัดสตาร์ชสำหรับใช้ในการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพต่อไป

ในขั้นตอนศึกษาผลของสารละลายที่ใช้ในการสกัดใช้เนื้อกล้วยปริมาณ 500 gm แต่เมื่อทำการผลิตสตาร์ชจากเนื้อกล้วยแต่ละสายพันธุ์ทั้งเครือเพื่อนำไปใช้ในการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพ พบว่าให้ปริมาณผลผลิต ปริมาณโปรตีน และสีของสตาร์ชแตกต่างกัน (ตารางที่ 4.7) โดยเมื่อใช้ปริมาณเนื้อกล้วยมากขึ้นสตาร์ชจากกล้วยหักมุก กล้วยน้ำว้า และกล้วยตานี มีปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น เนื่องจากการผลิตในปริมาณมากขึ้นการสกัดจะมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ส่วนปริมาณโปรตีนมีค่าลดลงตามปริมาณเนื้อกล้วยที่มากขึ้น เพราะการผลิตสตาร์ชในปริมาณมากตะกอนของสตาร์ชในขั้นตอนการตกตะกอนเพื่อล้างจะมีความสูงมากกว่าการผลิตสตาร์ชในปริมาณน้อย ดังนั้นโปรตีนที่ละลายอยู่ในน้ำด้านบนจะถูกล้างออกไปได้ง่ายกว่า สำหรับค่าดัชนีความขาวของ

สตาร์ชมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณกล้วยที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ยกเว้นสตาร์ชจากกล้วยตานีจะมีค่าดัชนีความขาวลดลง เนื่องมาจากในระหว่างการสกัดสตาร์ชจากกล้วยตานีในปริมาณมากๆ พบว่ามีการสะสมของเมล็ดของกล้วยตานีที่ถูกบดละเอียดในชั้นล่างสุดในขั้นตอนการตกตะกอนเพื่อล้างสตาร์ช จึงทำให้แยกออกได้ยากกว่าการสกัดในปริมาณน้อย

จะเห็นได้ว่าการผลิตสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ โดยใช้วัตถุดิบปริมาณมากขึ้นจะมีแนวโน้มทำให้ปริมาณและคุณภาพของสตาร์ชที่ได้มีค่าสูงขึ้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวข้างต้นน่าที่จะใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจร่วมกับปัจจัยอื่นๆ ในการผลิตระดับอุตสาหกรรม

5.4 ผลการวิเคราะห์สมบัติของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์

5.4.1 สมบัติทางเคมี

จากผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ตารางที่ 4.8) พบว่าปริมาณความชื้นของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากมีการควบคุมอุณหภูมิและระยะเวลาในการอบแห้งของสตาร์ชทั้ง 3 สายพันธุ์เท่ากัน ซึ่งค่าความชื้นดังกล่าวมีค่าอยู่ในช่วงเดียวกับสตาร์ชทางการค้าทั่วไป เช่น สตาร์ชถั่วเขียวและมันสำปะหลังจะมีความชื้นไม่เกิน 13.0% ตามมอก. 948-2533 และ มอก.274-2531 (อุตสาหกรรม, 2533 และ อุตสาหกรรม, 2521)

เมื่อพิจารณาปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า และปริมาณฟอสฟอรัส ของสตาร์ชจากกล้วยตานีจะมีค่าสูงกว่าสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อม เพราะกล้วยตานีที่ใช้เป็นวัตถุดิบมีปริมาณโปรตีน และเถ้า ซึ่งเป็นองค์ประกอบทางเคมีเบื้องต้นมีปริมาณที่สูงกว่ากล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อม และยังมีการปนเปื้อนจากเมล็ดที่มีอยู่มากในเนื้อกล้วยและไม่สามารถกำจัดออกได้หมดในขั้นตอนการสกัด แต่เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชทางการค้าจะเห็นได้ว่าปริมาณโปรตีนของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมมีค่าน้อยกว่าสตาร์ชข้าวโพด (0.35%) และสตาร์ชข้าวสาลี (0.40%) แต่มีค่ามากกว่าสตาร์ชมันฝรั่ง (0.06%) และสตาร์ชมันสำปะหลัง (0.10%) ยกเว้นสตาร์ชจากกล้วยตานีจะมีปริมาณโปรตีนสูงที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสตาร์ชมีความบริสุทธิ์น้อย ส่วนปริมาณฟอสฟอรัสของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพด (0.02%) และมีค่าต่ำกว่าสตาร์ชมันฝรั่ง (0.08%) กับสตาร์ชข้าวสาลี (0.06%) แต่มีค่าสูงกว่าสตาร์ชจากมันสำปะหลัง (0.01%) (Ellis และคณะ, 1998) ซึ่งการที่สตาร์ชมีปริมาณ

ฟอสฟอรัสสูงจะแสดงถึงความแข็งแรงของสายโพลิเมอร์จะเกิดการสร้างพันธะระหว่างกัน ดังนั้น สตาร์ชกล้วยจึงน่าจะมีความแข็งแรงของพันธะใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพด

ค่า pH ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์มีค่าแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการปรับค่า pH ของน้ำแป้งก่อนกรองเป็นสตาร์ชนำไปอบ แต่ค่า pH ดังกล่าวยังอยู่ในช่วง pH ที่ใกล้เคียงกับสตาร์ชทางการค้าทั่วไป เช่น สตาร์ชถั่วเขียว (ค่า pH 4.5-8.0) สตาร์ชมันสำปะหลัง (ค่า pH 4.5-7.0) ตามมอก. 948-2533 และมอก.274-2531 (อุตสาหกรรม, 2533 และ อุตสาหกรรม, 2521)

เมื่อพิจารณาปริมาณสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่ามีค่าแตกต่างกันโดยปริมาณสตาร์ชของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกมีค่ามากกว่าสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานีตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสตาร์ชจากกล้วยตานีมีปริมาณสตาร์ชต่ำที่สุด เนื่องมาจากสตาร์ชจากกล้วยตานีมีองค์ประกอบอื่นปนเปื้อนอยู่สูงกว่ากล้วยสายพันธุ์อื่น นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการสกัดสตาร์ชจากกล้วยหักมุกมีความบริสุทธิ์มากกว่ากล้วยน้ำว้าค่อม ส่วนสตาร์ชจากกล้วยตานีที่สกัดได้มีความบริสุทธิ์ต่ำที่สุด

ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานีมีค่าสูงกว่าสตาร์ชจากกล้วยหักมุก จะเห็นได้ว่าสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีปริมาณอะมิโลสมากกว่าสตาร์ชจากมันสำปะหลัง มันฝรั่ง และข้าวโพด ซึ่งมีปริมาณอะมิโลส 17, 21 และ 28% ตามลำดับ (Swinkels, 1985) และมีค่ามากกว่าสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์อื่นๆ (ตารางที่ 2.7) ยกเว้นสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้ากลุ่ม ABB (35.7%)(Varavinit และ Shobsngob,1996) ดังนั้นสตาร์ชจากกล้วยอาจมีสมบัติทางเคมีกายภาพคล้ายกับสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูงที่ไม่ใช่สตาร์ชจำพวก amylomaize ซึ่งการที่สตาร์ชจากกล้วยมีปริมาณอะมิโลสสูงมีแนวโน้มจะทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชั่นได้มาก และส่งผลให้สตาร์ชทนต่อการ hydrolyze ด้วยกรดและเอนไซม์ เพราะจะเกิดการสร้างพันธะของสายโพลิเมอร์ใหม่ที่มีความแข็งแรงกว่าเดิม (Jane และคณะ, 1997) ส่วนค่าปริมาณอะมิโลเพคตินของสตาร์ชจากกล้วยมีค่าทำนองเดียวกันกับปริมาณอะมิโลส

5.4.2 สมบัติทางกายภาพ

เมื่อนำสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์มาศึกษาลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชด้วยเครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 750 เท่า (รูปที่ 4.4) พบว่าเม็ดสตาร์ชมีลักษณะแตกต่างกัน โดยเม็ดสตาร์ชจากกล้วยหักมุกมีรูปร่างเป็นแท่ง แท่งยาวรี ส่วนกล้วยน้ำว้าค่อมมีรูปร่างคล้ายเปลือกหอย และกล้วยตานีมีลักษณะรูปร่างเป็นแบบ bimodal ซึ่งเม็ดสตาร์ชรูปร่างหลายเหลี่ยมขนาดเล็กของกล้วยตานีนี้สันนิษฐานว่าอาจเป็นเม็ดสตาร์ชที่ถูกสร้างและเก็บสะสมอยู่ในเมล็ดกล้วยตานี เนื่องจากกระบวนการสกัดสตาร์ชจากกล้วยตานีจะใช้วิธีการบดเนื้อกล้วยโดยไม่ได้แยกเมล็ดออก ทั้งนี้อาจต้องทำการพิสูจน์โดยการแยกเฉพาะส่วนเนื้อและเมล็ดออกจากกันก่อนทำการสกัดสตาร์ชและทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ ซึ่งในการศึกษาลักษณะของเม็ดสตาร์ช (starch morphology) นี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานเพื่อประกอบการพิจารณาแยกตามความแตกต่างของกล้วยแต่ละสายพันธุ์ได้ และเมื่อเพิ่มกำลังขยายของเครื่อง SEM เป็น 2000 เท่า เพื่อดูลักษณะพื้นผิวของเม็ด สตาร์ช พบว่าเม็ดสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีพื้นผิวที่เรียบไม่มีรอยแตกร้าว แสดงให้เห็นว่าเม็ดสตาร์ชที่สกัดได้มีความสมบูรณ์และไม่ถูกทำลายในระหว่างขั้นตอนการสกัดหรือการบดร่อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kayisu (1982) ที่ศึกษาโครงสร้างพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยดิบสายพันธุ์ Valery (AAA group) ด้วยเครื่อง SEM จะมีพื้นผิวที่เรียบ ซึ่งการที่เม็ดสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีพื้นผิวที่เรียบและมีความสมบูรณ์จะส่งผลให้ข้อมูลสมบัติทางเคมีกายภาพของ สตาร์ชที่ทำการศึกษาเป็นค่าที่ถูกต้อง

นอกจากการศึกษาลักษณะรูปร่างเม็ดสตาร์ชแล้วยังได้มีการศึกษาลักษณะ birefringence หรือ maltese cross โดยดัดแปลงแหล่งกำเนิดแสงของกล้องจุลทรรศน์ด้วยแผ่นฟิล์ม polaroid เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดแสงระนาบเดียว (polarize light) เมื่อส่องผ่านเม็ดสตาร์ชจะเกิดการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ทำให้เกิดแนวสีดำของลักษณะ birefringence (รูปที่ 4.5) ซึ่งจะเห็นแนวสีดำตัดกันที่ตำแหน่ง hilum ของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ อย่างชัดเจนกว่างานวิจัยของ Bello-Perez และคณะ (1999) ที่ได้ศึกษาสตาร์ชจากกล้วยในประเทศแม็กซิโกสายพันธุ์ macho และ criollo โดย hilum ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ จะอยู่ค่อนไปทางด้านใดด้านหนึ่งของเม็ดสตาร์ช (excentral) ซึ่งแสดงให้เห็นถึงการจัดเรียงตัวของสายโพลิเมอร์ในการสร้างเม็ดสตาร์ชจะไม่จัดเรียงตัวในแนวรัศมี แต่จะจัดเรียงตัวออกไปทางด้านใดด้านหนึ่งตามรูปร่างของเม็ดสตาร์ช โดยเม็ดสตาร์ชกล้วยหักมุกจะมีการสร้างเม็ดสตาร์ชออกไปตามแนวยาวของรูปร่างที่เป็นแบบแท่งยาวรี ซึ่งจะแตกต่างจากสตาร์ชกล้วยน้ำว้าและสตาร์ชกล้วยตานีที่สร้างเม็ดสตาร์ชตามแนวรูปร่างที่เป็นแบบเปลือกหอย และพบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Lii และคณะ

(1982) ที่ได้ศึกษา birefringence ของกล้วยในประเทศไต้หวัน พบว่ามีลักษณะการสร้างเม็ดสตาร์ชคล้ายกับสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมที่สกัดได้ เมื่อพิจารณาลักษณะการสร้างเม็ดสตาร์ชจากกล้วยตานี ซึ่งมีรูปร่างเป็นแบบ bimodal พบว่าเมื่อนำเม็ดสตาร์ชกล้วยตานีมาศึกษาลักษณะ birefringence ที่กำลังขยาย 1000 เท่า (รูปที่ 4.6) จะเห็นเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กมีลักษณะการสร้างเม็ดสตาร์ชตามแนวรัศมี โดยมี hilum อยู่ตรงกลางเม็ดสตาร์ช (central) ในขณะที่เม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่จะมีการสร้างเม็ดสตาร์ชที่คล้ายกับสตาร์ชกล้วยน้ำว้าค่อม ซึ่งลักษณะ birefringence ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ เป็นลักษณะเฉพาะของแต่ละสายพันธุ์ที่สามารถนำมาเก็บไว้เป็นข้อมูล เพื่อใช้แยกความแตกต่างของสตาร์ชในแต่ละสายพันธุ์ได้

เมื่อนำเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ มาศึกษาการกระจายตัวของขนาดเม็ดสตาร์ชด้วยเครื่อง Laser particle size analyzer จะให้ลักษณะการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ (รูปที่ 4.7) ซึ่งเทคนิคการวัดด้วยเครื่อง Laser particle size analyzer นี้สามารถวัดได้ทั้งขนาดและการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ช และปัจจุบันเป็นที่นิยมใช้กันมาก งานวิจัยนี้จึงได้นำเทคนิคนี้มาใช้วัดทั้งขนาดและการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยเป็นครั้งแรก พบว่าขนาดเม็ดสตาร์ชที่มีมากที่สุดในสตาร์ชกล้วยหักมุกและสตาร์ชกล้วยน้ำว้าค่อมมีค่าใกล้เคียงกัน และมีขนาดใหญ่กว่าสตาร์ชกล้วยตานีประมาณ 2 เท่า นอกจากนี้ยังพบว่ารูปแบบการกระจายตัวของเม็ดสตาร์ชกล้วยตานีมีลักษณะที่ต่างจากสตาร์ชกล้วยหักมุกและสตาร์ชกล้วยน้ำว้าค่อม โดยมีการกระจายตัวของอนุภาคขนาด 100 μm มีประมาณ 0.7% ของอนุภาคทั้งหมด ซึ่งสันนิฐานว่าอาจเป็นสิ่งปนเปื้อนที่ติดมาจากเมล็ดของกล้วยตานีระหว่างกระบวนการสกัดที่ไม่สามารถแยกออกมาได้ นอกจากนี้ยังพบว่ากล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมเป็นกล้วยในกลุ่มเดียวกัน (ABB group) จึงมีขนาดเม็ดสตาร์ชที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อนำสตาร์ชมาศึกษาสมบัติการดูดซับน้ำโดยวิเคราะห์จากรูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ ที่อุณหภูมิ 5 ระดับ คือ 55, 65, 75, 85 และ 95 $^{\circ}$C แล้วสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ของกำลังการพองตัวและการละลายที่อุณหภูมิต่างๆ (รูปที่ 4.8-4.9) จะเห็นได้ว่ากำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีรูปร่างที่คล้ายกันคือ เป็นแบบ 2 ขั้นตอน ซึ่งจะเห็นได้ว่าสตาร์ชจากกล้วยนี้มีลักษณะรูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายเหมือนกับสตาร์ชจากธัญพืช (Leach, 1965) ทั้งนี้เนื่องมาจากความแตกต่างของแรงที่ต้องใช้ในการทำลายพันธะที่ต่างกัน 2 ชนิดคือ พันธะบริเวณอสัณฐานและพันธะบริเวณผลึก โดยเมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่เม็ดสตาร์ชมากขึ้นพันธะบริเวณอสันฐานจะเกิดการคลายตัวและถูกทำลายได้ง่าย จึงทำให้เห็นรูปแบบกราฟกำลังการ

พองตัวและการละลายในขั้นตอนแรกเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ (ช่วงอุณหภูมิ 55-75 °C) และเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นพันธะบริเวณผลึกที่มีความแข็งแรงมากกว่าจะเริ่มถูกทำลายทำให้กำลังการพองตัวมีค่าสูงขึ้นเป็นลำดับ

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ ด้วยเครื่อง DSC (รูปที่ 4.10 และตารางที่ 4.7) เพื่อดูช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชั่นและพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลาติไนเซชั่น (enthalpy) จะเห็นได้ว่าสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีอุณหภูมิการเกิดเจลาติไนเซชั่น (T_o) อยู่ระหว่าง 70.96-71.97 ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สูงกว่าสตาร์ชจากมันฝรั่ง ข้าวสาลี และมันสำปะหลัง แต่มีค่าใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวโพด (Swinkels, 1985) เมื่อเปรียบเทียบกับค่า enthalpy ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าสตาร์ชกล้วยตานีมีค่าสูงที่สุด เนื่องจากสตาร์ชกล้วยตานีมีปริมาณฟอสฟอรัสสูงกว่าสตาร์ชกล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยหักมุก ทำให้เกิดการยึดเหนี่ยวของฟอสฟอรัสกับพันธะระหว่างสายโพลิเมอร์ จึงต้องใช้พลังงานในการเกิดเจลาติไนซ์มาก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Kim และคณะ (1995) ที่ศึกษาสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชมันฝรั่งด้วยเครื่อง DSC พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงจะให้ค่า enthalpy สูง ในขณะที่สตาร์ชกล้วยหักมุกและสตาร์ชกล้วยน้ำว้าค่อมมีปริมาณฟอสฟอรัสไม่แตกต่างกัน แต่สตาร์ชกล้วยหักมุกให้ค่า enthalpy สูงกว่าสตาร์ชกล้วยน้ำว้าค่อมเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณไขมันในสตาร์ชกล้วยหักมุกมีค่าสูงกว่า (ตารางที่ 4.8) และเกิดการสร้างพันธะระหว่างไขมันกับสายโพลิเมอร์ของอะมิโลส จึงทำให้ต้องใช้พลังงานในการเกิดเจลาติไนเซชั่นสูงขึ้น

จากการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ โดยใช้เครื่อง X-ray powder diffraction (รูปที่ 4.11) พบว่าลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมมีรูปแบบเดียวกัน คือ B-type อาจเนื่องมาจากกล้วยทั้ง 2 สายพันธุ์ อยู่ในกลุ่ม ABB เหมือนกัน และมีโครงสร้างผลึกเหมือนกับสตาร์ชประเภท amylomaize, ae waxy maize, potato, canna, และ tulip ซึ่งมีอะมิโลเพคตินที่มีความยาวของสายแขนง (DP 30-40) (Hizukuri, 1986) แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชกล้วยหักมุกและสตาร์ชกล้วยตานีมีแนวโน้มที่จะทนต่อการ hydrolyze ด้วยเอนไซม์และกรด ส่วนสตาร์ชจากกล้วยตานี (BB group) มีลักษณะโครงสร้างผลึกผสมเป็นแบบ B-type ผสม C-type เนื่องจากผลการวิเคราะห์ X-ray diffraction pattern ของสตาร์ชจากกล้วยตานีตามวิธีของ Zobel (1964) พบว่าสตาร์ชกล้วยตานีมี pattern ที่เป็นลักษณะเด่นของทั้ง B-type และ C-type Jane และคณะ (1997) ได้รายงานว่าเคยพบลักษณะ C-type ในสตาร์ชกล้วยที่ได้จากประเทศสหรัฐอเมริกา ส่วนลักษณะ B-type ของ สตาร์ชจากกล้วย Lii และคณะ (1982) ได้รายงานว่าสตาร์ชจากกล้วยในประเทศ

ไต้หวันมีลักษณะเป็น B-type นอกจากนี้ยังพบว่าลักษณะ X-ray diffraction ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีรูปแบบที่แตกต่างจากการศึกษาของ Bello-Perez และคณะ (1999) ที่พบว่าสตาร์ชจากกล้วยประเทศแม็กซิโกสายพันธุ์ macho และ criollo มีลักษณะเป็น A-type อย่างไรก็ตามการที่ลักษณะ X-ray diffraction ของสตาร์ชมีรูปแบบที่แตกต่างกันนี้แสดงให้เห็นว่าลักษณะทางพันธุกรรมของกล้วยดิบที่นำมาศึกษาอาจมีความสัมพันธ์กับรูปแบบโครงสร้างผลึกของสตาร์ช ซึ่งสามารถนำ ข้อมูลนี้มาใช้ในการจำแนกพิสูจน์สายพันธุ์ของสตาร์ชจากกล้วยได้ และอาจใช้เป็นข้อมูลประกอบการศึกษาลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชด้วยวิธีอื่นๆ ได้

5.5 ผลของค่า pH ที่มีต่อสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์

เมื่อนำสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มาศึกษาสมบัติด้านความหนืดที่ความเข้มข้น 6 % (db) ด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph โดยใช้น้ำกลั่น (pH 6.9) (ตารางที่ 4.13-4.15) พบว่าความสัมพันธ์ของสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีรูปแบบคล้ายคลึงกัน (รูปที่ 4.12) และเมื่อพิจารณารูปแบบความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยพบว่าลักษณะกราฟไม่ปรากฏเป็นยอดสูงที่มีค่าความหนืดสุด (peak) ซึ่งอาจจะคงที่หรือเพิ่มขึ้นระหว่างการ heating แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชมีลักษณะการพองตัวน้อยจัดอยู่ในรูปแบบ restricted-swelling starch ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Eggleston และคณะ (1992) และคล้ายกับลักษณะกราฟของสตาร์ชดัดแปรแบบครอสลิงค์ (crosslinked starch) หรือสตาร์ชจากถั่วต่างๆ (Schoch Mayward, 1968) นอกจากนี้ยังพบว่าในช่วงการ heating สตาร์ชจากกล้วยหักมุกจะมีค่าความหนืดสูงกว่ากล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานี และช่วงของการคงอุณหภูมิในช่วง heating จะมีแนวโน้มของค่าความหนืดที่คงที่ ส่วนในช่วงของการ cooling จะพบว่าความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมจะมีค่าสูงกว่ากล้วยหักมุกและกล้วยตานี

เนื่องจากสตาร์ชจากกล้วยมีรูปแบบความหนืดที่คล้ายกับสตาร์ชจากถั่วต่างๆ และ Varavinit และ Shobsngob (1996) ได้เสนอว่าสตาร์ชจากกล้วยมีสมบัติด้านความหนืดซึ่งวัดด้วยเครื่อง Rapid viscoamylograph (RVA) ที่คล้ายกับสตาร์ชถั่วเขียว ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำสตาร์ชถั่วเขียวมาศึกษาสมบัติด้านความหนืดไปพร้อมกับสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ แล้วพบว่าสตาร์ชจากถั่วเขียวมีลักษณะกราฟคล้ายกับสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ แต่มีค่าความหนืดต่ำกว่า

ในการนำสตาร์ชไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายๆ อย่างด้วยกัน ซึ่งค่า pH ของอาหารเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ช และยังใช้เป็นเกณฑ์ในการจัดจำแนกประเภทของอาหารเป็น อาหารที่มีความเป็นกรดสูง (acid food) และอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low acid food) จึงทำการศึกษาผลของค่า pH ที่มีต่อสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยดิบทั้ง 3 สายพันธุ์ แต่เนื่องจากค่า pH ของอาหารที่นำสตาร์ชไปใช้งานส่วนใหญ่จะมีการเปลี่ยนแปลงค่า pH เล็กน้อยคล้ายกับลักษณะของสารละลาย buffer ดังนั้นจึงเตรียมสารละลาย buffer ที่ค่า pH 3.5, 4.5, 5.5 และ 7.0 เพื่อใช้ในการเตรียมน้ำแป้งสำหรับศึกษาสมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ ด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph (รูปที่4.13-4.15) พบว่าเมื่อค่า pH ลดลงจะทำให้ลักษณะกราฟ (pattern) มีแนวโน้มลดต่ำลง และส่งผลให้ pasting temperature มีค่าลดลงด้วย (รูปที่ 4.16) เนื่องจากความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นจะสามารถ hydrolyze พันธะภายในเม็ดสตาร์ชได้จึงทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการพองตัวและสุกได้เร็วขึ้น ส่วนในช่วงของการ heating ลักษณะกราฟที่ค่า pH 4.5 และ 5.5 ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ จะมีแนวโน้มใกล้เคียงกับค่า pH 7.0 แต่ที่ค่า pH 3.5 จะมีลักษณะกราฟต่ำที่สุด ซึ่งสังเกตได้จากค่า Breakdown จะเพิ่มขึ้นเมื่อค่า pH ลดลงจาก 4.5 เป็น 3.5 เพราะความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้นจะไปตัดสายโพลิเมอร์ภายในเม็ดสตาร์ชแบบสุ่ม ทำให้เกิดสายโพลิเมอร์สั้นๆ และมีความเกะกะของแขนงน้อยลง ส่งผลให้ความหนืดของสตาร์ชมีค่าลดลงในช่วงคงอุณหภูมิที่ 95 °C 30 นาที จึงทำให้ค่า Breakdown เพิ่มขึ้น และพบว่าค่า Breakdown ของสตาร์ชที่ค่า pH 7.0, 5.5 และ 4.5 มีค่าใกล้เคียงกัน คือมีค่า Breakdown อยู่ระหว่าง 11-88 BU ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่ pH 3.5 นอกจากนี้ยังพบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่า Breakdown ของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมมีลักษณะที่คล้ายกับสตาร์ชจากถั่วเขียว (รูปที่ 4.17)

เมื่อพิจารณาในช่วงของการ cooling ลักษณะกราฟของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์จะมีแนวโน้มลดต่ำลงตามค่า pH ที่ลดลง และพบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่า Setback ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อม กล้วยตานี และสตาร์ชจากถั่วเขียว มีลักษณะคล้ายกัน (รูปที่ 4.18) แต่ต่างจากสตาร์ชกล้วยหักมุกที่มีค่า Setback ลดลงตามค่า pH ที่ลดลง เนื่องจากลักษณะการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์มีความแตกต่างกัน และยังพบว่าค่า Setback ที่ pH 4.5 ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานีจะมีค่าสูงกว่าค่า pH 3.5 และ 5.5 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากค่า pH ที่ 4.5 สามารถตัดสายโพลิเมอร์ของอะมิโลสภายในเม็ดสตาร์ชมีค่า Degree of Polymerization (DP) อยู่ในช่วง 100-200 ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะในการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ชได้ดี (Oates, 1997) จึงทำให้ค่า Setback สูงขึ้น และยังพบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงค่า Setback ของสตาร์ชจากจากถั่วเขียวมีลักษณะที่คล้ายกับสตาร์ชจากล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานี

5.6 ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชที่ค่า pH ระดับต่างๆ

เมื่อนำแป้งเปียก (starch paste) ของสตาร์ชกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph มาใส่ในภาชนะพลาสติกเพื่อเตรียมตัวอย่างสำหรับวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัส พบว่าเจลของสตาร์ชจากกล้วยตานีมีสีที่แตกต่างจากเจลของกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อม (รูปที่ 4.19) เนื่องจากในขั้นตอนการสกัดสตาร์ชไม่ได้แยกเมล็ดออกจึงทำให้เจลมีสีที่เกิดการปนเปื้อนจากเมล็ด ดังนั้นถ้าจะนำสตาร์ชจากกล้วยตานีไปใช้ในอุตสาหกรรมจำเป็นพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์ที่ไม่ถูกรบกวนเนื่องจากสีของสตาร์ช

ในการศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชที่ค่า pH ต่างๆ ต้องนำเจลทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วปิดฝาหลังจากนั้นจึงนำไปเก็บที่อุณหภูมิ 4$\pm$1°C เป็นเวลา 1 และ 3 วัน ก่อนนำเจลสตาร์ชมาวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสด้วยเครื่อง Texture Analyzer (ตารางที่ 4.16) เนื่องจากต้องการศึกษาผลของปัจจัยร่วม (สายพันธุ์กล้วย ค่า pH และวันที่เก็บเจลสตาร์ช) ที่มีต่อการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของเจลสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ เพื่อจำลองลักษณะการนำสตาร์ชไปใช้ในอาหารซึ่งจะต้องผ่านขั้นตอนการให้ความร้อน การทิ้งไว้ให้เย็น และการเก็บอาหารไว้ก่อนบริโภค ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการนำสตาร์ชไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้

ค่า Hardness (ความแข็ง) คือ แรงที่ใช้จนเกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่าง เป็นผลมาจากการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของเจลสตาร์ชโดยตรง จึงได้นำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Hardness กับปัจจัยร่วม (รูปที่ 4.20) จะเห็นได้ว่าเจลสตาร์ชจากกล้วยที่เก็บไว้ 3 วัน มีค่า Hardness สูงกว่าเจลที่เก็บไว้ 1 วัน การเก็บเจลสตาร์ชที่อุณหภูมิต่ำ 4°C จะเกิดการรีโทรเกรเดชั่นของเจลสตาร์ชได้ดีจึงทำให้เจลมีความแข็งแรงมากขึ้น และเมื่อค่า pH ของเจลสตาร์ชจากกล้วยมีค่าสูงขึ้นจะพบว่าเจลมีความแข็งแรงมากขึ้น โดยเจลของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ค่า pH 5.5 มีความแข็งแรงสูงที่สุด และเจลของสตาร์ชที่ค่า pH 4.5 ค่าความแข็งแรงของเจลมีแนวโน้มสูงกว่าเจลของ สตาร์ชที่ค่า pH 3.5 เนื่องจากค่า pH 5.5 มีค่าใกล้เคียงกับค่า pH ของสตาร์ชจากธรรมชาติมากที่สุด ซึ่งเป็นค่า pH ที่สามารถเกิดรีโทรเกรเดชั่นได้ดีกว่าค่า pH 4.5 และ 3.5 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาเจลของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าเจลของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมมีค่าความแข็งแรงของเจลสูงที่สุด

ส่วนค่า Cohesiveness (ความเกาะตัวกัน) คือ ความแข็งแรงของพันธะภายในที่ก่อให้เกิดรูปร่างของผลิตภัณฑ์ ที่คำนวณจากอัตราส่วนพื้นที่ของแรงที่ใช้ในการกดครั้งที่สองหารด้วยพื้นที่ของแรงในการกดครั้งแรก ซึ่งจะมีค่าเกิน 1.0 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Cohesiveness กับปัจจัยร่วม (รูปที่ 4.21) มีค่าแตกต่างกันแต่ไม่สามารถระบุแนวโน้มของอิทธิพลร่วมได้ อาจเนื่องจากเจลของสตาร์ชมีค่า Cohesiveness สูงกว่า 0.9 แสดงให้เห็นว่าการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ชจากกล้วยจะทำให้สายโพลิเมอร์มีความเกาะตัวกันดี ส่วนค่า Cohesiveness ของเจลสตาร์ชกล้วยหักมุกที่ค่า pH 3.5 เมื่อเก็บไว้ 1 วัน จะมีค่าต่ำที่สุด เป็นผลเนื่องจากเจลของสตาร์ชกล้วยหักมุกมีค่า Hardness ต่ำที่สุด

ค่า Gumminess (ความหนืบ) เป็นค่าที่มีความสัมพันธ์ที่เกิดจากค่า Hardness คูณกับค่า Cohesiveness ได้เป็นค่าพลังงานที่ต้องการใช้ในการบดเคี้ยวอาหารกึ่งแข็งกึ่งเหลวจนสามารถกลืนกินได้ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Gumminess กับปัจจัยร่วม (รูปที่ 4.22) มีลักษณะเช่นเดียวกับค่า Hardness ซึ่งเป็นผลเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของเจลสตาร์ชเช่นเดียวกัน

จะเห็นได้ว่าลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ชที่กล่าวมามีอิทธิผลเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชั่นของสตาร์ช ซึ่งสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ สามารถเกิดรีโทรเกเดชั่นได้ดี เนื่องจากสตาร์ชกล้วยมีปริมาณอะมิโลสที่สูง นอกจากนี้เจลของสตาร์ชยังมีความคงตัวต่อค่า pH ที่แตกต่างกัน ดังนั้นข้อมูลที่ได้นี้สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำสตาร์ชไปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ชที่สกัดได้จากกล้วยไทยบางชนิด โดยใช้กล้วยหักมุก กล้วยน้ำว้าค่อม และกล้วยตานี เป็นวัตถุดิบที่ควบคุมแหล่งปลูกและอายุการเก็บเกี่ยวกล้วยอยู่ระหว่าง 111±1.3, 119±1.1 และ 112±2.3 วันตามลำดับ ซึ่งได้วัดดัชนีการเก็บเกี่ยวและวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อกล้วยดิบไว้เป็นข้อมูลพื้นฐานของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการทดลอง

นอกจากนี้ยังศึกษาเปรียบเทียบชนิดของสารละลายที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยดิบ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (0.05 N) สารละลายโซเดียมไบซัลไฟต์ (1% w/v) และน้ำ ซึ่งใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ พบว่ามีปริมาณผลผลิต 11-34% (db) ปริมาณโปรตีน 0.25-1.73% (db) และดัชนีความขาว 84.41-96.26 ซึ่งใช้ค่าเหล่านี้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกสารละลาย พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เหมาะสมที่สุดในการสกัดสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ เพราะให้ปริมาณผลผลิตกับค่าดัชนีความขาวสูงที่สุด และปริมาณโปรตีนต่ำที่สุด โดยสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีปริมาณผลผลิต 21.07-34.09% (db) ปริมาณโปรตีน 0.25-1.00% (db) และค่าดัชนีความขาว 85.96-96.26 นอกจากนี้ยังได้ทำการผลิตสตาร์ชจากกล้วยดิบทั้งเครือเพื่อใช้ในการศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพของสตาร์ช พบว่าปริมาณผลผลิตของสตาร์ชจากกล้วยหักมุก กล้วยน้ำว้าค่อม และกล้วยตานี มีปริมาณเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.72, 10.92 และ0.39 ตามลำดับ ส่วนปริมาณโปรตีนมีค่าลดลง และค่าดัชนีความขาวมีค่าสูงขึ้น ยกเว้นดัชนีความขาวของสตาร์ชจากกล้วยตานี

เมื่อนำสตาร์ชจากกล้วยที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มาศึกษาสมบัติทางเคมี พบว่าสตาร์ชจากกล้วยที่ผลิตได้มีสมบัติทางเคมีแตกต่างกันตามสายพันธุ์ของกล้วยที่ใช้ในการผลิตสตาร์ช โดยมีปริมาณความชื้น 11.47-11.76%, โปรตีน 0.22-0.93% (db), เถ้า 0.07-0.17% (db), ฟอสฟอรัส 0.016-0.025% (db), สตาร์ช 95.68-99.46% (db), อะมิโลส 30.90-31.98% (db) และอะมิโลเพคติน 68.02-69.06% (db)

สำหรับการศึกษาสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากกล้วยแต่ละสายพันธุ์ พบว่าเม็ดสตาร์ชจากกล้วยหักมุกมีรูปร่างเป็นแท่ง (rod) แท่งยาวรี (rod-like lenticular) ส่วนกล้วยน้ำว้าค่อมมีรูปร่างคล้ายเปลือกหอย (oyster-shell like) และกล้วยตานีมีลักษณะรูปร่างเป็นแบบ

bimodal โดยจะมีรูปร่างทั้งแบบคล้ายเปลือกหอยและรูปหลายเหลี่ยม (polygonal) ซึ่งรูปร่างหลายเหลี่ยมจะมีขนาดเล็กกว่ารูปร่างที่คล้ายเปลือกหอย ส่วนขนาดเม็ดสตาร์ชอยู่ในช่วง 13.20-66.71, 15.23-55.07 และ 7.93-24.63 μm ตามลำดับ และยังพบว่าสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ ให้ลักษณะ birefringence ที่ชัดเจน สำหรับรูปแบบกำลังการพองตัวและการละลายเป็นแบบ 2 ขั้นตอน อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์จากเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมมีค่าใกล้เคียงกับกล้วยตานีและมีค่ามากกว่ากล้วยหักมุก เมื่อศึกษาโครงร่างผลึกของสตาร์ชด้วยเครื่อง X-ray powder diffraction ของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมมีรูปแบบเดียวกันคือ ผลึกแบบ B ส่วนสตาร์ชจากกล้วยตานีเป็นผลึกผสมระหว่าง B และ C

เมื่อนำสตาร์ชจากกล้วยสายพันธุ์ต่างๆ มาศึกษา Pasting properties ที่ความเข้มข้น 6% (db) ทำการศึกษาที่ค่า pH ระดับต่างๆ ด้วยเครื่อง Brabender Viscoamylograph เพื่อเป็นแนวทางการใช้สตาร์ชจากกล้วยในอุตสาหกรรมอาหาร พบว่าเมื่อใช้น้ำกลั่น (ค่า pH 6.9) สตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีกราฟเป็นแบบเม็ดสตาร์ชที่มีการพองตัวน้อย (Restricted-swelling starch) แต่เมื่อใช้ buffer ในการศึกษาที่ค่า pH 3.5-7.0 ค่าความหนืดและอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์ของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ มีค่าลดลงตามความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่า Breakdown ของสตาร์ชเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อค่า pH ลดลงจาก 4.5 เป็น 3.5 ค่า Setback ที่ pH 4.5 ของ สตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมและกล้วยตานีจะมีค่าสูงกว่าค่า pH 3.5 และ 5.5 และสตาร์ชจากกล้วยหักมุกมีค่า Setback ลดลงค่าความเป็นกรดที่เพิ่มขึ้น

เมื่อนำแป้งเปียก (Starch paste) ที่ค่า pH 3 ระดับ คือ 3.5, 4.5 และ 5.5 ของสตาร์ชกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ ที่ได้จากการวิเคราะห์ความหนืดด้วยเครื่อง Brabender viscoamylograph พบว่าเจลของสตาร์ชจากกล้วยหักมุกและกล้วยน้ำว้าค่อมมีลักษณะเป็นเจลสีขาวขุ่นคล้ายกัน ส่วนเจลของสตาร์ชจากกล้วยตานีมีลักษณะเป็นเจลสีน้ำตาล และเมื่อศึกษาลักษณะเนื้อสัมผัส (Texture Profile Analysis: TPA) หลังจากเก็บสตาร์ชกล้วยแต่ละสายพันธุ์ที่อุณหภูมิ 4±1°C เป็นเวลา 1 และ 3 วัน พบว่าค่า Hardness และ Gumminess มีลักษณะที่คล้ายคลึงกันโดยเจลสตาร์ชจากกล้วยที่เก็บไว้ 3 วัน มีค่า Hardness และ Gumminess สูงกว่าเจลที่เก็บไว้ 1 วัน และพบว่าเมื่อค่าความเป็นกรดลดลงเจลสตาร์ชจากกล้วยมีค่าเพิ่มขึ้นค่า Hardness และ Gumminess ของเจลสตาร์ชจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเจลของสตาร์ชจากกล้วยทั้ง 3 สายพันธุ์ พบว่าเจลของสตาร์ชจากกล้วยน้ำว้าค่อมมีค่า Hardness และ Gumminess ของเจลสูงที่สุด นอกจากนี้ยังสามารถแยกความแตกต่างค่า Cohesiveness ของเจลสตาร์ชได้ แต่ไม่สามารถระบุ

แนวโน้มได้ เนื่องจากเจลสตาร์ชกล้วยที่อิทธิพลร่วมต่างๆ มีค่า Cohesiveness สูงกว่า 0.9 ยกเว้นเจลสตาร์ชกล้วยหักมุกที่ค่า pH 3.5 เมื่อเก็บไว้ 1 วัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กฤษดา สังข์สิงห์. 2536. การเจริญเติบโตลักษณะที่แสดงออกและการให้ผลผลิตของกล้วยการค้าบางพันธุ์ที่ปลูกในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2541. สถิติการปลูกไม้ผลและไม้ยืนต้นปี 2538. ฝ่ายข้อมูลส่งเสริมการเกษตร กองแผนงาน.

โชติ สุวัตถิ. 2505. กล้วยป่าและกล้วยปลูกในเมืองไทย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

เบญจมาศ ศิลาย้อย. 2538. กล้วย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : ประชาชน.

พานิชย์ ยศปัญญา. 2541. กล้วยในเมืองไทย. กรุงเทพมหานคร : มติชน.

วิจิตร วังใน. 2530. กล้วย. ภาควิชาพืชสวน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

วิไลลักษณ์ รัตอาภา, วิภา สุโรจนะเมธากุล, เพลินใจ ตังคณะกุล, เบญจมาศ ศิลาย้อย, และกรุณา วงษ์กระจ่าง. 2536. การศึกษาคุณค่าทางอาหารของกล้วยในกลุ่ม ABB บางชนิด. อาหาร. 19(4) : 247-256.

วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา และคณะ. 2543. เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและหลักการทำงานเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2521. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง มอก. 274-2521. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2533. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง มอก. 948-2533. กรุงเทพมหานคร : สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.

ภาษาอังกฤษ

AOAC. 1995. Official Method of Analysis. 16th ed. Washington : The Association of Official Agricultural Chemists.

Bello-Perez, L.A., Agama-Acevedo, E., Sanchez-Hernandez, L., and Paredes-Lopez, O. 1999. Isolation and partial characterization of banana starches. J. Agric Food Chem. 47 : 854-857.

Bello-Perez, L.A., Pano de Leon, Y., Agama-Acevedo, E., and Paredes-Lopez, O. 1998. Isolation and partial characterization of amaranth and banana starches. Starch/Starke. 50(10) : 409-413.

Beynum, G.M.A. van and Roels, J.A. 1985. Starch Conversion Technology. New York : Marcel Dekker.

Blanshard, J.M.V. 1987. Starch granule structure and function: A physicochemical approach. In T. Gailliard (ed.), Starch: Properties and Potential. New York : John Wiley and Sons.

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

Chiang, B.H., Chu, W.C., and Chu, C.L. 1987. A pilot scale study for banana starch production. Starch/Starke. 39(1) : 5-8.

Cochran, W.C. and Cox, G.M. 1985. Experimental Design. New York : John Wiley & Sons.

deMan, J.W. 1990. Principles of Food Chemistry. 2nd ed. New York : Van Nostrand Reinhold.

Eggleston, G., Swennen, R., and Akoni, S. 1992. Physicochemical studies on starches isolated from plantain cultivars, plantain hybrids, and cooking bananas. Starch/Starke. 44(4) : 121-128.

Ellis, R.P., Cochrane, M.P., Dale, M.F.B., Duffus, C.M., Lynn, A., Morrison, I.M., Prentice, R.D.M., Swanston, J.S., and Tiller, S.A. 1998. Starch production and industrial use. J. Sci. Food Agric. 77 : 289-311.

Faisant, N., Gallant, D.J., Bouchet, B., and Champ, M. 1995. Banana starch breakdown in the human small intestine studied by electron microscope. Eur. J. Clin. Nutr. 49 : 98-104.

FAO. 1993. Production and Trade Yearbooks for 1992. Vol. 46. Rome : Food and Agriculture Organization.

Fichtali, J., Owusu-Ansah, Y.J., and Chang, P. 1999. Banana starch. U.S. Patent 5,855,688.

Food Chemical Codex. 1981. Food Chemical Codex. 3rd ed. Washington : National Academy Press.

Galliard, T. and Bowler, P. 1987. Morphology and composition of starch. In T. Gailliard (ed.), Starch: Properties and Potential. New York : John Wiley and Sons.

Hanashiro, I., ABE, J., and Hizukuri, S. 1996. Carbohydrate Research. 283 : 151-159.

Hizukuri, S. 1986. Polymodal distribution of the chain lengths of amylopectin, and its significance. Carbohydrate Research. 147 : 342-347.

Hoover, R., Li, Y.X., Hynes, G., and Senanayake, N. 1997. Physicochemical characterization of mung bean starch. Food Hydrocolloids. 11(4) : 401-408.

Jane, J. and Shen, J.J. 1993. International structure of the potato starch revealed by chemical gelatinization. Carbohydrate Research. 147 : 342.

Jane, J., Wong, K., and McPherson, A.E. 1997. Branch-structure difference in starches of A- and B-type X-ray patterns revealed by their Naegeli dextrins. Carbohydrate Research. 300 : 219-227.

Jarvis, C.E. and Walker, J.R.L. 1993. Simultaneous, rapid, spectrophotometric determination of total starch, amylose and amylopectin. J. Sci. Food Agric. 63 : 53-57.

John, P. and Marchal, J. 1995. Ripening and biochemistry of the fruit. In S. Gowen (ed.), Bananas and Plantains. London : Chapman & Hall.

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

Kayisu, K. and Hood, L.F. 1981. Molecular structure of banana starch. J. Food Sci. 46 : 1894-1897.

Kayisu, K., Hood, L.F., and Vansoest, P.J. 1981. Characterization of starch and fiber of banana fruit. J. Food Sci. 46 : 1885-1890.

Kim, Y.S., Wiesenborn, D.P., Orr, P.H., and Grant, L.A. 1995. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. J. Food Sci. 60 : 1060-1065.

Kennedy, J.F., Rivera, Z.S., Lloyd, L.L., and Warner, F.P. 1992. Fractionation of starch amylopectin and amylose by high performance gel filtration chromatography. Starch/Starke. 40 : 53-55.

Leach, H.W. 1965. Gelatinization of starch. In R.L. Whistler, E.F. Paschall, J.N. BeMiller, and H.J. Roberts (eds.), Starch: Chemistry and Technology Vol. I. New York : Academic Press.

Lii, C.Y., Chang, S.M., and Young, Y.L. 1982. Investigation of the physical and chemical properties of banana starches. J. Food Sci. 47 : 1493-1497.

Ling, L.H., Osman, E.M., Fernandes, J.B., and Reilly, P.J. 1982. Physical properties of starch from cavendish banana fruit. Starch/Starke. 34(6) : 184-188.

Maningat, C.C. and Juliano, B.O. 1980. Starch lipids and their effect on rice starch properties. Starch/Starke. 32 : 76.

Mazurs, E.G., Schoch, T.G., and Kite, F.E. 1957. Graphical analysis of Brabender viscosity curves of various starches. Cereal Chemistry. 34 : 141.

Morrison, W.R. 1981. Starch lipids: A reappraisal. Starch/Starke. 33 : 408.

Mota, R.V. da, Lajolo, F.M., Ciacco, C., and Cordenunsi, B.R. 2000. Composition and functional properties of banana flour from different varieties. Starch/Starke. 52 (2-3) : 63-68.

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

Perez-Sira, E. 1997. Characterization of starch isolated from plantain *(Musa paradisiaca normalis*). Starch/Starke. 49(2) : 45-49.

Rayas-Duarte, P., Robinson, S.F., and Freeman, T.P. 1995. In situ location of starch granule protein in durum wheat endosperm by immunocytochemistry. Cereal Chemistry. 72 : 269-274.

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

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

Schoch, T.J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In R.L. Whistler, R.J. Smith,J.N. BeMiller, and M.L. Wolform (eds.), Methods in Carbohydrate Chemistry volume IV Starch, pp. 106-108. New York : Academic Press.

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

Simmonds, N.W. 1966. Bananas. 2nd ed. London : Longman.

Sievert, D. and Holm, J. 1993. Determination of amylose by diffrential scanning calorimetry. Starch/Starke. 45 : 136-139.

Smith, R.J. and Caruso, J. 1964. Determination of phosphorus. In R.L. Whistler, R.J. Smith, J.N. BeMiller, and M.L. Wolform (eds.), Methods in Carbohydrate Chemistry volume IV Starch, pp. 42-46. New York : Academic Press.

Suntharalingam, S. and Ravindran, G. 1993. Physical and biochemical properties of green banana flour. Plant Food for Human Nutrition. 43 : 19-27.

Swinkels, J.J.M. 1985. Composition and properties of commercial native starches. Starch/Starke. 37 : 1-5.

Tomas, D.J. and Atwell, W.A., 1999. Starches. Minnesota : Eagan Press.

Varavinit, S. and Shobsngob, S. 1996. Investigation on the small scale separation of banana starch. Foods Food Ingredients J. Jpn. 169 : 112-115.

Von Loesecke, H.W. 1950. Bananas. 2nd ed. New York : Interscience.

Whistler, R.L. 1998. Banana starch production. U.S. Patent 5,797,985.

Whistler, R.L., Bemiller, J.N., and Paschall, E.F. 1984. Starch : Chemistry and Technology. 2nd ed. Florida : Academic Press Inc.

Zobel, H.F. 1964. X-ray analysis of granular starches. In R.L. Whistler, R.J. Smith,J.N. BeMiller, and M.L. Wolform (eds.), Methods in Carbohydrate Chemistry volume IV Starch, pp. 109-113. New York : Academic Press.

Zobel, H.F. 1988. Molecules to granules: A comprehensive starch review. Starch/Starke. 40 : 44-50.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.
วิธีการวิเคราะห์

ก.1 อายุกล้วย โดยใช้การนับจำนวนวัน

วิธีทดลอง

1. สังเกตลักษณะของต้นกล้วยที่ใช้ในเป็นวัตถุดิบทุกสัปดาห์ จนกล้วยเริ่มแทงช่อดอก
2. เมื่อกล้วยเริ่มแทงช่อดอกให้ติดป้ายแสดงวันที่และรหัสของกล้วยที่ใช้เป็นวัดถุดิบ
3. นับจำนวนวันตั้งแต่กล้วยเริ่มแทงช่อดอกหรือแทงปลีออกมาจนถึงวันเก็บเกี่ยว

ก.2 น้ำหนักกล้วยต่อผล โดยใช้เครื่องชั่ง

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BA 4100S)

วิธีทดลอง

1. สุ่มตัวอย่างผลกล้วยมาจำนวน 25% ของกล้วยทั้งเครือ
2. นับจำนวนผลกล้วยและชั่งน้ำหนักตัวอย่างกล้วยที่สุ่มมาทั้งหมด
3. คำนวณน้ำหนักกล้วยต่อผล โดยใช้สูตร

$$\text{น้ำหนักกล้วยต่อผล (gm)} = \frac{\text{น้ำหนักกล้วยที่สุ่มมาทั้งหมด}}{\text{จำนวนผลกล้วย}}$$

ก.3 อัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักเปลือก ตามวิธีของ Von Loesecke (1950)

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BA 4100S)

วิธีทดลอง

1. สุ่มตัวอย่างผลกล้วยมาจำนวน 25% ของกล้วยทั้งเครือ
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างผลกล้วยที่สุ่มมาทั้งหมด
3. ปอกเปลือกกล้วยออก โดยแยกส่วนเนื้อและเปลือกออกจากกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ชั่งน้ำหนักส่วนที่เป็นเนื้อกล้วยทั้งหมด

5. คำนวณอัตราส่วนของน้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักเปลือก โดยใช้สูตร

$$\text{น้ำหนักเนื้อต่อน้ำหนักเปลือก} = \frac{\text{น้ำหนักเนื้อกล้วย}}{(\text{น้ำหนักผลกล้วย} - \text{น้ำหนักเนื้อกล้วย})}$$

ก.4 ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิง ตามวิธีของ Lane-Eynon's volumetric method

อุปกรณ์

1. เตาให้ความร้อน (hot plate)

สารเคมี

1. สารละลายเฟห์ลิง (Fehling's solution)

1.1 สารละลาย ก.

ละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$, AR grade) 34.639 gm ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 500 cm^3 ในขวดวัดปริมาตร

1.2 สารละลาย ข.

ละลายโปตัสเซียมโซเดียมตาร์เตรตเตตระไฮเดรต ($KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$, AR grade) 173 gm และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , AR grade) 50 gm ในน้ำกลั่นปรับปริมาตรให้เป็น 500 cm^3 ตั้งทิ้งไว้ 2 วัน แล้วจึงนำมากรองตะกอนออกก่อนใช้

2. เมทิลลีนบลูอินดิเคเตอร์ (methylene blue indicator) ละลายเมทิลลีนบลู 1 gm ในน้ำกลั่น 100 cm^3

การหาค่ามาตรฐานของสารละลายเฟห์ลิง (Standardization of Fehling's solution)

1. เตรียมสารละลายน้ำตาลอินเวิร์ตมาตรฐานความเข้มข้น 1% (w/v) โดยละลายซูโครสที่ผ่านการอบแห้งมาแล้วให้มีน้ำหนักเท่ากับ 9.5000 gm ในน้ำกลั่น จากนั้นเติมกรดเกลือเข้มข้นปริมาตร 5 ml แล้วปรับปริมาตรสารละลายให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น ปล่อยให้สารละลายเปลี่ยนเป็นน้ำตาลอินเวิร์ต โดยตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 3-4 วัน จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้นี้มาเจือจางให้เป็น 1,000 ml ในขวดวัดปริมาตร สารละลายที่เตรียมได้นี้สามารถเก็บใช้ได้เป็นเวลาหลายเดือน

2. ปิเปตสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 1 มา 25 ml เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 100 ml ในขวดวัดปริมาตร

3. บรรจุสารละลายในข้อ 2 ลงในบิวเรต โดยจะเรียกสารละลายนี้ว่าไตเตอร์ (titer)

4. ปิเปตสารละลายเฟห์ลิง ก. และ ข. มาอย่างละ 5.0 ml ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ชนิดทนความร้อนขนาด 500 ml เขย่าให้เข้ากัน

5. ไขไตเตอร์ปริมาตร 19 ml ลงในขวดรูปชมพู่ซึ่งบรรจุสารละลายเฟห์ลิงที่ผสมกันแล้ว เขย่าให้เข้ากัน ต้มให้เดือดบนเตา

6. เมื่อต้มเดือดได้ 2 นาที (จับเวลาตั้งแต่เริ่มเดือด) ให้หยดเมทิลีนบลูอินดิเคเตอร์ลงไป 3-4 หยด ถ้าสารละลายเฟห์ลิงยังคงมีสีน้ำเงินอยู่ ให้ไขไตเตอร์ลงไปอีกครั้งละหยด กระทั่งสีน้ำเงินของสารละลายเฟห์ลิงหมดไป ในระหว่างไตเตรตต้องให้สารละลายในขวดรูปชมพู่เดือดสม่ำเสมอตลอดเวลา และควรให้การไตเตรตสิ้นสุดภายในเวลาไม่เกิน 3 นาที นับตั้งแต่สารเริ่มเดือดบันทึกปริมาตรของสารละลายในบิวเรตหรือไตเตอร์ที่ใช้ต้องเป็น 20 ml

การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิงในตัวอย่างแป้งกล้วย

1. เตรียมสารละลายตัวอย่างแป้งให้มีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิงปริมาณ 1% (โดยชั่งน้ำหนักแป้งกล้วยประมาณ 10-20 gm ละลายในน้ำ 100 ml) กวนตลอดเวลานาน 10 นาที แล้วกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 จดน้ำหนักแน่นอนของตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ รวมทั้งปริมาตรรวมทั้งหมดของสารละลายที่เจือจางด้วย

2. บรรจุสารละลายตัวอย่างในข้อ 1 ลงในบิวเรต โดยจะเรียกสารละลายในนี้ว่าไตเตอร์

3. เตรียมสารละลายเฟห์ลิงโดยใช้ปริมาตรที่หาได้จากการหาค่ามาตรฐานของสารละลายเฟห์ลิง บรรจุในขวดรูปชมพู่ชนิดทนความร้อนขนาด 500 ml เขย่าให้เข้ากัน

4. ไขไตเตอร์ปริมาตร 15 ml ลงในขวดรูปชมพู่ซึ่งบรรจุสารละลายเฟห์ลิงที่ผสมกันแล้ว เขย่าให้เข้ากัน ต้มให้เดือดบนเตา

5. หลังจากต้มเดือดได้ 15 วินาที หากสารละลายเฟห์ลิงยังคงมีสีน้ำเงินอยู่ ให้ไขไตเตอร์ลงไปอีกอย่างรวดเร็ว ครั้งละ 1 ถึง 5 ml เขย่าโดยไม่ยกขวดรูปชมพู่ออกจากเตา ถ้าสารละลายเฟห์ลิงยังคงมีสีน้ำเงินอยู่ก็ให้ทำเช่นนี้เรื่อยๆไปจนกระทั่งสีน้ำเงินของสารละลายเฟห์ลิงจางลง จึงเติมเมทิลีนบลูอินดิเคเตอร์ลงไป 3 ถึง 4 หยด ไตเตรตต่อไปโดยให้ไขไตเตอร์ครั้งละ 1 หยด (dropwise) จนกว่าสีน้ำเงินของเมทิลีนบลูจะหายไป ในระหว่างไตเตรตต้องให้สารละลายในขวดรูปชมพู่เดือดตลอดเวลา และควรให้การไตเตรตสิ้นสุดภายในเวลาไม่เกิน 3 นาที นับตั้งแต่สารละลายเริ่มเดือด บันทึกปริมาตรของสารละลายในบิวเรตหรือไตเตอร์ที่ใช้ไป

6. ต้องมีการไตเตรตเพื่อทวนค่าปริมาตรที่ได้ โดยเตรียมสารละลายเฟห์ลิงโดยใช้ปริมาตรที่หาได้จากการหาค่ามาตรฐานของสารละลายเฟห์ลิง บรรจุในขวดรูปชมพู่ชนิดทนความร้อนขนาด 500 ml เขย่าให้เข้ากัน

7. เนื่องจากทราบปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่จะวิเคราะห์แล้วจากข้อที่ 5 ดังนั้นจึงไขสารละลายตัวอย่างในบิวเรตหรือไตเตอร์ลงในสารละลายเฟห์ลิงที่เตรียมไว้ในปริมาตรที่น้อยกว่าปริมาตรที่ทราบแล้ว 0.5 ถึง 1.0 ml จากนั้นต้มให้เดือด 2 นาที แล้วจึงเติมเมทิลีนบลูอินดิเคเตอร์ลงไป 3 ถึง 4 หยด ไตเตรตต่อไปโดยไขสารละลายตัวอย่างในบิวเรตครั้งละ 3 ถึง 4 หยด จนกระทั่งสีน้ำเงินของเมทิลีนบลูหายไป การไขสารละลายตัวอย่างในบิวเรตลงมาแต่ละครั้งควรให้ห่างกันประมาณ 10 วินาที การไตเตรตต้องให้เสร็จภายใน 1 นาที นับจากการเติมเมทิลีนบลูอินดิเคเตอร์ลงไป

8. บันทึกปริมาตรของสารละลายตัวอย่างในบิวเรตหรือไตเตรตที่ใช้ไปทั้งหมด

* ปริมาตรของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการไตเตรตเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาพอดีกับสารละลายเฟห์ลิง ต้องอยู่ในช่วง 15 ถึง 50 ml

9. คำนวณหาปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิงในตัวอย่างและเปอร์เซ็นต์น้ำตาลรีดิวซ์ซิง โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิง (gm/100ml) (คิดเป็นน้ำตาลกลูโคส)} = \frac{\text{แฟคเตอร์} \times 100}{A \times 1000}$$

$$\text{น้ำตาลรีดิวซ์ซิง(\%) (คิดเป็นน้ำตาลกลูโคส)} = \frac{\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซิง} \times 100}{B}$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรสารละลายตัวอย่างในบิวเรตหรือไตเตอร์ที่ใช้ไป (ml)

B คือ น้ำหนักเปียกของตัวอย่างที่ใช้ในการเตรียมไตเตอร์ (gm)

แฟคเตอร์ คือ 49.5 เป็นค่าคงที่จากตารางของ Lane Eynon เมื่อปลายสายของน้ำตาลเป็นกลูโคส ที่ใช้ไตเตอร์ 20 ml

ก.5 ปริมาณความชื้น โดยใช้ moisture analyzer

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ความชื้น (moisture analyzer) (Sartorius รุ่น MA 30)

วิธีทดลอง

1. ตั้งโปรแกรมการหาความชื้นของเครื่องเป็นแบบอัตโนมัติ และใช้อุณหภูมิ 130 °C
2. นำถาดหาความชื้นที่ผ่านการอบไล่ความชื้นและทิ้งให้เย็นแล้ว วางบนแท่นรองรับ

3. ปิดฝาครอบเครื่อง เสร็จแล้วกดปุ่ม tare เพื่อหักน้ำหนักถาดออก

4. เปิดฝาครอบเครื่องชั่งน้ำหนักแป้งใส่ถาด 2 gm (เครื่องจะบันทึกน้ำหนักที่แน่นอนไว้) เสร็จแล้วปิดฝาเครื่องจะเริ่มทำงาน

5. เมื่อเครื่องหาความชื้นเสร็จแล้วเครื่องจะหยุดทำงานอัตโนมัติพร้อมกับแสดงค่าปริมาณความชื้น(%) ของตัวอย่าง

ก.6 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC, 1995-920.87

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น AC211S)
2. Digestion unit (BUCHI 426)
3. Distillation unit (BUCHI 323)

สารเคมี

1. กรดซัลฟุริกเข้มข้น (H_2SO_4 , AR grade)
2. สารละลายมาตรฐานกรดเกลือ (HCl , AR grade) ความเข้มข้น 0.02 N
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , AR grade) ความเข้มข้น 40% (w/v)
4. สารละลายกรดบอริก ($B(OH)_3$, AR grade) ความเข้มข้น 2% (w/v)
5. สารเร่งปฏิกิริยาเป็นส่วนผสมของ Na_2SO_4 96% , $CuSO_4$ 3.5% , SeO_2 0.5% (AR grade)
6. เมธิลเรด-โบรโมครีซอลกรีนอินดิเคเตอร์ (เป็นส่วนผสมของสารละลายเมทิลเรด 0.2% ในแอลกอฮอล์กับสารละลายโบรโมครีซอลกรีน 0.2% ในแอลกอฮอล์ ในอัตราส่วน 5 : 1)

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ทราบแน่นอนประมาณ 2 gm ใส่ใน Kjeldahl tube
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา 10 gm และเติม H_2SO_4 เข้มข้น 20 ml
3. ย่อยด้วยเครื่อง Digestion unit เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนตัวอย่างใสเป็นสีฟ้าอ่อน
4. ทิ้งให้ Kjeldahl tube เย็นแล้วจึงประกอบเข้ากับเครื่อง Distillation unit
5. เตรียมสารละลายกรดบอริกความเข้มข้น 2% ใส่ flask 250 ml ปริมาตร 60 ml และหยดอินดิเคเตอร์ 3-4 หยด เพื่อรองรับสารที่กลั่นได้
6. ตั้งโปรแกรมให้เครื่องเติมน้ำกลั่น 40 ml และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 40% ปริมาตร 60 ml หรือเติมสารละลาย NaOH จนสารละลายตัวอย่างเป็นสีน้ำตาล

7. ทำการกลั่นตัวอย่างนาน 3 นาที เสร็จแล้วจึงนำ flask ที่มีสารรองรับออกไตเตรทกับสารละลายมาตรฐานกรดเกลือ 0.02 N จนสารละลายถึงจุดยุติเป็นสีชมพูอ่อน
8. คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีน โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน(\%)} = \frac{\text{ปริมาตรกรดเกลือที่ไตเตรท(ml)} \times \text{ความเข้มข้นกรดเกลือ(N)} \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง(gm)}}$$

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

ก.7 ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC, 1995-923.03

อุปกรณ์

1. เตาเผา (muffle furnace) (NEY รุ่น NEY6-160A)
2. เตาให้ความร้อน (hot plate)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 3 gm ($\pm$0.0001 gm) ใส่ใน crucible ที่เผาและทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว
2. เผาตัวอย่างใน crucible ด้วยเตาให้ความร้อนจนเป็นเถ้าและควันไฟหมด
3. นำตัวอย่างเข้าเผาใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 550 $^{\circ}$C จนได้เถ้าเป็นสีขาว
4. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เสร็จแล้วชั่งน้ำหนัก
5. คำนวณหาปริมาณเถ้า โดยใช้สูตร

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

ก.8 ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC, 1995-920.85

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (Soxhlet apparatus) (BUCHI รุ่น 810)
2. ตู้อบลมร้อน (Oven) (WTE Binder รุ่น E 53)

สารเคมี

1. ปิโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether) จุดเดือด 40-60 $^{\circ}$C

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 5 gm ให้รู้น้ำหนักแน่นอน แล้วห่อด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
2. ใส่ห่อตัวอย่างลงใน thimble บรรจุลงในชุดสกัดไขมัน โดยเติมสารทำละลายปิโตรเลียมอีเธอร์ 200 มิลิลิตร ใน Soxhlet flask (ที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว)
3. ให้ความร้อนและควบคุมอัตราการกลั่น 3-4 หยดต่อวินาที เป็นเวลา 6 ชั่งโมง
4. ระเหยปิโตรเลียมอีเธอร์ออกจากไขมันที่สกัดได้ โดยเปิดวาล์วให้ปิโตรเลียมอีเธอร์ที่ระเหยไหลไปรวมที่ขวดเก็บ
5. นำ Soxhlet flask ที่ปราศจากปิโตรเลียมอีเธอร์แล้วไปอบที่อุณหภูมิ 100°C นาน 30 นาที หรือจนน้ำหนักคงที่
6. นำ Soxhlet flask ทิ้งให้เย็นใน desiccator
7. ชั่งน้ำหนัก Soxhlet flask แล้วคำนวณหาปริมาณไขมันโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณไขมัน (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักไขมันที่สกัดได้ (gm)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (gm)}}$$

ก.9 ปริมาณเส้นใย ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจากของ AOAC, 1995-920.86

ดัดแปลงโดยใช้กรวยบุคเนอร์เซรามิกที่รองด้วยผ้าไนล้อนขนาด 200 mesh แทนกรวยบุคเนอร์ที่รองด้วยมีตะแกรงขนาด 200 mesh

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย LABCONCO
2. ตู้อบลมร้อน (Oven) (WTE Binder รุ่น E 53)
3. เตาเผา (muffle furnace) (NEY รุ่น NEY6-160A)

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟุริก (H_2SO_4, AR grade) ความเข้มข้น 1.25%
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , AR grade) ความเข้มข้น 1.25%
3. เอธิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ (หรือ 95%)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วทั้งหมด ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 ml

2. เติมกรดซัลฟุริกความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 ml ลงในบีกเกอร์แล้วประกอบเข้ากับเครื่องวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย ต้มให้สารละลายเดือดตลอดเวลานาน 30 นาที และสังเกตไม่ให้ปริมาตรของสารละลายลดลง หากลดลงให้เติมน้ำร้อนลงไป

3. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วยกรดผ่านกรวยบุคเนอร์เซรามิกที่รองด้วยผ้าไนล้อนขนาด 200 mesh โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 mmHg ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด

4. นำกากที่ได้มาย่อยต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 ml ต้มเดือดนาน 30 นาที และควบคุมปริมาตรของสารละลายเช่นเดียวกับข้อ 2

5. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วยด่างผ่านกรวยบุคเนอร์ที่รองด้วยผ้าไนล้อนขนาด 200 mesh โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 mmHg ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ด่าง

6. ละลายตัวอย่างกากที่ติดบนผ้าไนล้อนด้วยน้ำกลั่น แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman no. 1 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน

7. ล้างกากที่ได้ด้วยแอลกอฮอล์ปริมาตร 25 ml อีก 2 ครั้ง

8. นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 130±2 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่

9. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักจะได้เป็นน้ำหนักก่อนเผา

10. นำตัวอย่างใส่ crucible ที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอน

11. เผา crucible พร้อมตัวอย่างที่อุณหภูมิ 600±15 °C จนได้เถ้าเป็นสีขาว

12. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

13. ชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา นำมาคำนวณหาปริมาณเส้นใยโดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณเส้นใย (\%)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา(gm)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา(gm))} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้งที่ใช้ในการหาปริมาณไขมัน (gm)}}$$

ก.10 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

วิธีการคำนวณ

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

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.11 ปริมาณผลผลิต

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักเนื้อกล้วยดิบที่ทราบความชื้นของเนื้อกล้วย ซึ่งนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการสกัดสตาร์ช
2. ชั่งน้ำหนักของสตาร์ชที่ทราบความชื้น ซึ่งสกัดได้จากเนื้อกล้วยดิบ
3. คำนวณปริมาณผลผลิต (yield) ของสตาร์ชที่สกัดได้ โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณผลผลิต (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของสตาร์ช(gm)} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของเนื้อกล้วย(gm)}}$$

ก.12 ค่าดัชนีความขาว โดยใช้ colorimeter ระบบ Hunter ตามวิธีของ Chen และคณะ (1999)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าสี (Hunter colorimeter) (Minota Chroma Meter รุ่น CR300)

วิธีทดลอง

1. นำชุดหัววัดตัวอย่างแห้งที่มีแผ่นใสป้องกันหัวรับแสงประกอบเข้ากับเครื่องวัดสี
2. ทำการปรับมาตรฐาน (calibrate) ค่าสีของเครื่องโดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐานที่มีค่าสีระบบ Hunter คือ L = 96.54 , a = +0.03 และ b = +1.69
3. วัดค่าสีของตัวอย่างเดียวกันซ้ำ 5 ครั้ง จากนั้นหาค่าเฉลี่ยเป็นหนึ่งค่า บันทึกค่า L , a และ b ในระบบ Hunter ที่ได้จากเครื่อง
4. นำค่า L , a และ b ในระบบ Hunter มาคำนวณหาค่าดัชนีความขาว โดยใช้สูตร

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

ก.13 ค่า pH ตามวิธีของ AOAC, 1995-943.02

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่า pH (pH meter) (Consort รุ่น P307)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 20 gm ละลายในน้ำกลั่น 100 ml

2. กวนอย่างสม่ำเสมอเป็นเวลา 5 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 10 นาที

3. วัดค่า pH ของสารละลายส่วนใส โดยใช้ pH meter

ก.14 ปริมาณฟอสฟอรัส ตามวิธีของ Smith และ Caruso (1964)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) (Spectronic รุ่น Genesys 5)
2. เตาเผา (muffle furnace) (NEY รุ่น NEY6-160A)

สารเคมี

1. สารละลาย ammonium molybdate ความเข้มข้น 5% (w/v) เตรียมโดยชั่ง $(NH_4)_6$-$Mo_7O_{24}\cdot 4H_2O$ (AR grade) 50 gm เติมน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 40-50°C วางไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml และเขย่าให้เข้ากัน

2. สารละลาย ammonium vanadate ความเข้มข้น 0.25% (w/v) เตรียมโดยชั่ง NH_4VO_3 (AR grade) 2.5 gm ลงไปในน้ำเดือดและทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 60-70°C เติมกรดไนตริก (HNO_3) 20 ml ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้องปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml และเขย่าให้เข้ากัน

3. สารละลาย Zinc acetate ความเข้มข้น 10% (w/v) เตรียมโดยชั่ง $Zn(C_2H_3O_2)_2\cdot 2H_2O$ (AR grade) มา 120 gm ลงไปในน้ำกลั่น 800 ml แล้วกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 2

4. สารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 29% (w/v) เตรียมโดยนำ HNO_3 (AR grade) 75% มา 300 ml เติมน้ำ 600 ml และเขย่าให้เข้ากัน

5. สารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสความเข้มข้น 100 gm/ml เตรียมโดยชั่ง KH_2PO_4 (AR grade) 435.7 mg ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 1000 ml ปรับปริมาตรให้ได้ 1000 ml เขย่าให้เข้ากัน

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสปริมาตร 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 ml ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml และเตรียม blank โดยใช้น้ำกลั่น 10 ml

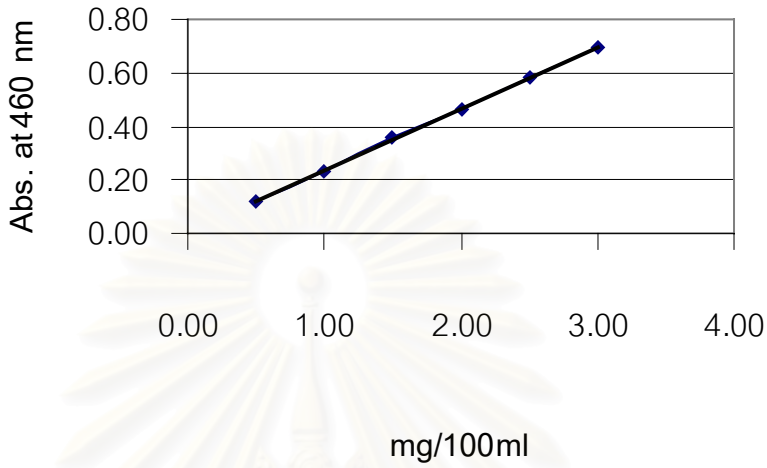
2. เติมสารละลาย Zinc acetate 10% 10 ml , สารละลาย ammonium vanadate 0.25% 10 ml และสารละลาย ammonium molybdate 5% 10 ml แล้วเขย่าให้เข้ากัน

3. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ได้ 100 ml เขย่าให้เข้ากันแล้วทิ้งไว้ 10 นาที

4. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร

5. นำค่าที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟอสฟอรัสกับค่าการดูดกลืนแสงที่วัดได้

ตัวอย่างกราฟ :



รูปที่ ก.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายฟอสฟอรัสกับค่าการดูดกลืนแสง

การวิเคราะห์ปริมาณฟอสฟอรัส

1. ชั่งตัวอย่าง 10.0 gm (น้ำหนักแห้ง) ใส่ในถ้วย crucible ที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว

2. เติมสารละลาย Zinc acetate 10% ปริมาตร 10 ml ละลายให้เข้ากันแล้วเผาด้วยเปลวไฟจนเป็นเถ้า

3. นำไปเผาต่อในเตาเผาที่อุณหภูมิ 550°C นาน 2 ชั่วโมง แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

4. เติมสารละลายกรดไนตริก ความเข้มข้น 29% ปริมาตร 15 ml แล้วนำไปวางบนอ่างน้ำเดือดจนกระทั่งเดือดแล้ววางทิ้งไว้ให้เย็น

5. นำสารละลายที่ได้ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 200 ml ใช้น้ำกลั่นล้างถ้วย crucible ครั้งละ 20 ml จำนวน 3 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 200 ml

6. ปิเปตสารละลายมา V ml ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml

7. เติมสารละลายกรดไนตริก 29% ปริมาตร 100 ml , สารละลาย ammonium vanadate 0.25% ปริมาตร 10 ml และสารละลาย ammonium molybdate 5% ปริมาตร 10 ml ผสมให้เข้ากัน

8. ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 100 ml ผสมให้เข้ากันแล้วตั้งทิ้งไว้ 10 นาที

9. การเตรียม blank ให้ทำเหมือนกับข้อ 6-8 แต่ใช้น้ำกลั่นแทน
10. วัดค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายที่ความยาวคลื่น 460 นาโนเมตร
11. นำค่าที่ได้ไปหาปริมาณฟอสฟอรัสจากกราฟมาตรฐานเป็น mg/100ml = P
12. คำนวณหาปริมาณฟอสฟอรัสของตัวอย่าง โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณฟอสฟอรัส (\%)} = \frac{P \times 200}{V \times \text{น้ำหนักตัวอย่าง(gm)}}$$

ก.15 ปริมาณสตาร์ช ตามวิธีของ AOAC, 1995-945.37

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดดัชนีการหักเหของแสง (Polarimeter) (ATAGO รุ่น POLAX-D)
2. เตาให้ความร้อน (hot plate)

สารเคมี

1. สารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 33%

เตรียมโดยชั่ง $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ (AR grade) 437 gm ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร (ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ $20^{\circ}C$ เท่ากับ 1.30) ปรับค่า pH ของสารละลายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.1 N ให้ได้สารละลายเป็นสีชมพูอ่อนๆ เพื่อแบ่งสารละลายมาทดสอบกับฟีนอฟธาลีน

2. สารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH , AR grade) ความเข้มข้น 0.8% (w/v)

วิธีทดลอง

1. บดตัวอย่างแป้งให้มีขนาดเล็กลงและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh แล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 2.0-2.5 gm ใส่ขวดขนาด 250 ml จดน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างไว้

2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 ml ละลายตัวอย่างแล้วเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ความเข้มข้น 33% ปริมาตร 58 ml และสารละลายกรดอะซิติก 0.8% ปริมาตร 2 ml แล้วผสมให้เข้ากัน

3. นำสารละลายมาทำให้เดือดอย่างรวดเร็ว โดยต้มบนตะแกรงลวดของเตาให้ความร้อน ใส่เม็ดลูกแก้วลงไปแล้วเขย่าตลอดเวลา ทำการต้มให้เดือดนาน 15 นาที

4. ทำให้เย็นลงอย่างรวดเร็ว โดยแช่ขวดผ่านน้ำประปา

5. เทสารละลายใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml โดยล้างขวดด้วยสารละลายแคลเซียม-คลอไรด์ แล้วปรับปริมาตรให้ครบ 100 ml

6. ดูดตัวอย่างประมาณ 10 ml กรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42 ส่วนแรกที่กรองได้ให้ทิ้งไป แล้วเก็บส่วนที่กรองได้ 40-50 ml

7. นำส่วนที่กรองได้ไปวัดค่า rotation ด้วยเครื่อง polarimeter โดยใช้หลอดขนาด 20 cm ทำการวัด 2 ครั้ง

8. นำค่าที่ได้มาคำนวณหาปริมาณสตาร์ช โดยใช้สูตร

$$\text{ปริมาณสตาร์ช (\% starch)} = \frac{100 \times R \times 100}{2 \times 203 \times W}$$

เมื่อ R = observed angular rotation

W = น้ำหนักตัวอย่าง (gm)

203 = specific rotation ของสตาร์ช

2 = ความยาวของหลอดเท่ากับ 20 cm

ก.16 ปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคติน ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Jarvis และ Walker (1993) และ Juliano (1971)

ดัดแปลงโดยใช้ Iodine method ตามวิธีของ Juliano (1971) และใช้เทคนิคการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 6 ความยาวคลื่น ตามวิธีของ Jarvis และ Walker (1993)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (spectrophotometer) (Spectronic รุ่น Genesys 5)
2. เตาให้ความร้อน (hot plate)

สารเคมี

1. อะมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (standard potato amylose) ของบริษัท Sigma Chemical
2. อะมิโลเพคตินบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (standard potato amylopectin) ของบริษัท Sigma Chemical
3. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยละลายไอโอดีน (I_2) 0.2000 gm และโปตัสเซียม-ไอโอไดด์ (KI) 2.0000 gm ในน้ำกลั่น 100 ml
4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH , AR grade) ความเข้มข้น 1 N
5. เอธิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ (หรือ 95%)
6. สารละลายกรดอะซิติก (CH_3COOH , AR grade) ความเข้มข้น 1 N

การเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสม

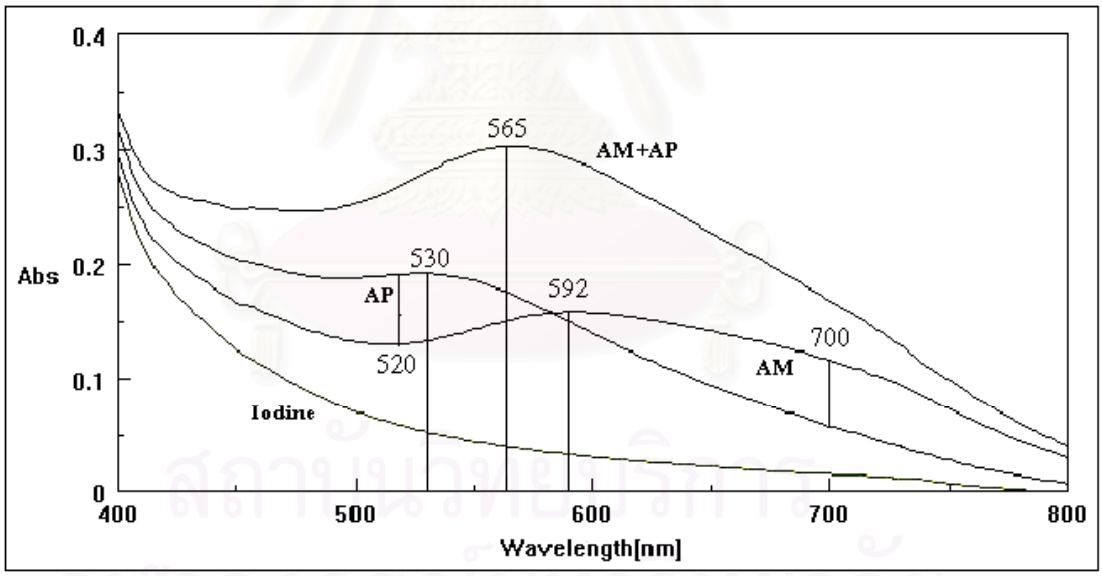
1. เตรียมสารละลาย 4 ชนิด ดังต่อไปนี้

   - iodine reagent blank (20 μg/ml)
   - 8 μg/ml amylose
   - 32 μg/ml amylopectin
   - 8 μg/ml amylose และ 32 μg/ml amylopectin ผสมอัตราส่วน 1:1 (v/v)

หมายเหตุ : วิธีเตรียมสารละลายดูได้จากการหาค่า absorbtivity ของ standard amylose และ amylopectin ปริมาณที่ชั่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นที่ต้องการเตรียม

2. ใส่สารละลายที่เตรียมได้ลงในคิวเวต 4 อัน
3. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง Spectronic รุ่น Genesys 5 ที่ความยาวคลื่นมากกว่า 500 นาโนเมตร

ตัวอย่างกราฟ :



รูปที่ ก.2 การดูดกลืนแสงของไอโอดีน อะมิโลส อะมิโลเพคติน และส่วนผสมของอะมิโลสกับอะมิโลเพคติน ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

4. เลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมจากกราฟ ดังนี้

   - 520 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นของช่วงที่แตกต่างกันมากที่สุดของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน โดยค่าการดูดกลืนแสงของอะมิโลเพคตินจะมีค่าสูงกว่าของอะมิโลส

- 530 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของอะมิโล-เพคติน

- 565 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นที่ให้อัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโล - เพคตินเท่ากับ 20 : 80 ตามลำดับ

- 592 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นที่ใช้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดของอะมิโลส

- 700 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นของช่วงที่แตกต่างกันมากที่สุดของอะมิโลสและอะมิโลเพคติน โดยค่าการดูดกลืนแสงของอะมิโลสจะมีค่าสูงกว่าของอะมิโลเพคติน

- 800 นาโนเมตร : ค่าความยาวคลื่นขณะที่ค่าการดูดกลืนแสงของอะมิโลเพคตินเข้าใกล้ศูนย์

การหาค่า absorptivity ของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินบริสุทธิ์

1. ชั่งอะมิโลสบริสุทธิ์น้ำหนักแน่นอน 20 mg ใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 50 ml แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 ml และเอธิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 ml ผสมให้เข้ากันแล้วให้ความร้อนเป็นเวลา 10 นาที

2. นำสารละลายที่ได้ใส่ในขวดวัดปริมาตร 100 ml ปรับปริมาตรให้ได้ 100 ml ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

3. ทำการแปรผันความเข้มข้นของอะมิโลสบริสุทธิ์ โดยดูดสารละลายในขวดวัดปริมาตรต่างๆ กันดังนี้ 3.0, 4.0 และ 5.0 ml ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml เติมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 N ปริมาตรดังนี้ 0.6, 0.8 และ 1.0 ml ตามลำดับ จากนั้นเติมสารละลายไอโอดีน 1 ml ทุกขวด ปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน

4. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงทั้ง 6 ความยาวคลื่น โดยใช้ iodine reagent เป็น blank

5. ทำการทดลองกับอะมิโลเพคตินบริสุทธิ์เช่นเดียวกับข้อ 1 แต่ดูดสารละลายในขวดวัดปริมาตรเป็น 10, 16 และ 20 ml ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 ml เติมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 N ปริมาตรดังนี้ 2.0, 3.2 และ 4.0 ml ตามลำดับ จากนั้นเติมสารละลายไอโอดีน 1 ml ทุกขวด ปรับปริมาตรให้เป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากัน

6. ค่า absorptivity ที่ความยาวคลื่นหนึ่งหาได้จากการนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นนั้นหารด้วยค่าความเข้มข้นของอะมิโลสหรืออะมิโลเพคตินบริสุทธิ์ (μg/ml) ทำการคำนวณทุกความเข้มข้นแล้วหาค่าเฉลี่ย จะได้ค่า absorptivity ที่ความยาวคลื่นที่ต้องการ

การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างสตาร์ชน้ำหนักแน่นอน 40 mg แล้วทำการทดลองเช่นเดียวกับการหาค่า absorptivity ของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินบริสุทธิ์ แต่ปริมาณสารละลายตัวอย่างที่ดูดออกมาวิเคราะห์ใช้ปริมาตร 5 ml (ในข้อ 3) ใส่สารละลายกรดอะซิติก 1 ml และสารละลายไอโอดีน 1 ml

วิธีการคำนวณ

$$C_{am} = \frac{[(Abs2 \times E_0ap2/E_0ap2)-Abs1]}{[(E_oam2 \times E_oap1/E_oap2)-E_oam1]}$$

$$C_{ap} = [Abs1- (E_0am1 \times C_{am} / E_0ap2)] / E_oap1$$

โดย C_{am} = ค่าความเข้มข้นของอะมิโลส (μg/ml)

C_{ap} = ค่าความเข้มข้นของอะมิโลส (μg/ml)

Abs2 = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นที่ 1 ของคู่ที่คำนวณ

Abs2 = ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่างที่ความยาวคลื่นที่ 2 ของคู่ที่คำนวณ

$E_o$am1 = ค่า absorptivity ของอะมิโลสที่ความยาวคลื่นที่ 1 ของคู่ที่คำนวณ

$E_o$am2 = ค่า absorptivity ของอะมิโลสที่ความยาวคลื่นที่ 2 ของคู่ที่คำนวณ

$E_o$ap1 = ค่า absorptivity ของอะมิโลเพคตินที่ความยาวคลื่นที่ 1 ของคู่ที่คำนวณ

$E_o$ap2 = ค่า absorptivity ของอะมิโลเพคตินที่ความยาวคลื่นที่ 2 ของคู่ที่คำนวณ

ใช้สมการทั้ง 2 สมการนี้ในการหาความเข้มข้นอะมิโลสและอะมิโลเพคติน โดยการจับคู่แต่ละความยาวคลื่น ซึ่งจะได้ 15 สมการจากทั้งหมด 6 ความยาวคลื่น แล้วนำค่าที่ได้ในแต่ละสมการมาหาค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินที่แท้จริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.17 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ช โดยใช้ SEM

อุปกรณ์

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

วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างแป้งติดบน stub โดยใช้เทปกาวสองหน้าหรือกาว

2. ฉาบด้วย gold หนา 20-30 mm ด้วยเครื่อง ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V sputter coater

3. ศึกษาพร้อมกับบันทึกภาพโครงสร้างของตัวอย่างด้วย SEM ควบคุมที่ 20 kV ใช้กำลังขยาย 750 และ 2000 เท่า

ก.18 ลักษณะ birefringence โดยใช้ microscopic method

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์ (microscope) (OLYMPUS รุ่น BX50)
2. อุปกรณ์ถ่ายภาพ (exposure control) (OLYMPUS รุ่น Genesys 5)
3. แผ่นฟิล์มโพลารอยด์ (polaroid film sheet)

การทดลอง

1. เตรียมสารละลายกลีเซอรีนและน้ำในอัตราส่วน 1 : 1 แล้วหยดลงบนสไลด์ 1-2 หยด
2. นำตัวอย่างสตาร์ชมาละลายกับสารละลายข้อ 1 บนสไลด์ให้ได้ความหนาแน่นของเม็ดสตาร์ชพอดีกับการถ่ายภาพ
3. ปรับระยะโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่ำสุดแล้วเห็นภาพชัดเจนที่สุด จากนั้นเปลี่ยนกำลังขยายให้สูงขึ้นเป็น 400 เท่า
4. ปรับเลื่อนสไลด์ให้ได้องค์ประกอบของภาพที่ต้องการและปรับความคมชัดของภาพโดยดูที่กล้องถ่ายภาพ
5. ตั้งระบบการทำงานของอุปกรณ์ควบคุมการถ่ายภาพเป็นแบบ auto แล้วใส่ฟิล์มที่ต้องการใช้ถ่ายภาพเข้ากับกล้อง
6. ทำการถ่ายภาพเม็ดสตาร์ชภายใต้แสงปกติ เสร็จแล้วให้นำแผ่นฟิล์มโพลารอยด์วางปิดบนแหล่งกำเนิดแสงของกล้องจุลทรรศน์ และนำแผ่นฟิล์มอีก 1 แผ่น วางปิดบนสไล์ดหรือกั้นระหว่างสไลด์กับกล้องถ่ายภาพ
7. หมุนแผ่นฟิล์มโพลารอยด์ที่วางปิดบนแหล่งกำเนิดแสงให้ได้สีของพื้นภาพเป็นสีดำ จะทำให้เห็นลักษณะ birefringence ของเม็ดสตาร์ช
8. ปรับความคมชัดของภาพแล้วถ่ายภาพเม็ดสตาร์ชภายใต้แสงโพลาไรซ์ที่เกิดจากแผ่นฟิล์มโพลารอยด์
9. นำภาพเม็ดสตาร์ชที่ได้จากการถ่ายภาพภายใต้แสงปกติเปรียบเทียบกับแสงโพลาไรซ์

ก.19 วัดการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดสตาร์ช โดยใช้ Laser particle size analyzer

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดการกระจายตัวของอนุภาคเม็ดสตาร์ช (Laser particle size analyzer) (Mastersizer S long bed Ver. 2.11)

วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายตัวอย่างสตาร์ชความเข้มข้น 0.0320 - 0.0550% (w/v)
2. ประกอบเครื่องโดยใส่เลนส์ (300RF) และเซลล์ใส่ตัวอย่างเข้ากับตัวเครื่อง
3. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 15 นาที (warming) เพื่อให้แสงเลเซอร์เข้าสู่สมดุล
4. ใช้น้ำกลั่นในการปรับค่า back ground ของเครื่องก่อนวิเคราะห์ตัวอย่าง
5. วัดตัวอย่างโดยนำสารละลายสตาร์ชใส่ในเซลล์สำหรับวิเคราะห์ตัวอย่าง รอจนกว่าค่า Obscuration อยู่ระหว่าง 10-30%
6. ประมวลผลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ หาขนาดอนุภาคเม็ดสตาร์ชที่มีมากที่สุดและสร้างกราฟการกระจายตัวของขนาดอนุภาคเม็ดสตาร์ช

ก.20 รูปแบบกำลังการพองตัวและการละลาย ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Schoch (1964)

ดัดแปลงโดยใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างแทนการใช้เครื่องกวนและลดปริมาณของตัวอย่างที่ทดลองลง 5 เท่า แต่ใช้ความเข้มข้นเท่าเดิม

อุปกรณ์

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (water bath) (Heto รุ่น CB22-20-SB-D)
2. เครื่องเหวี่ยงแยก (centrifuge) (Sorvall รุ่น RC5C Plus)
3. ตู้อบลมร้อน (Oven) (WTE Binder รุ่น E 53)

วิธีทดลอง

1. นำขวด centrifuge ขนาด 50 ml อบให้แห้งแล้วทิ้งให้เย็นใน desiccator
2. ชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง 1.000 gm ใส่ในขวด centrifuge ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
3. เติมน้ำกลั่นลงในขวด centrifuge 36 gm คนให้เข้ากัน
4. นำขวด centrifuge ที่บรรจุตัวอย่างแล้วแช่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 55±2°C , 65±2°C , 75±2°C , 85±2°C และ 55±2°C เพื่อศึกษาการพองตัวและการละลายที่อุณหภูมิต่างๆ
5. ให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที โดยมีการกวนด้วยแท่งแก้วทุกๆ 5 นาที่

6. นำขวด centrifuge มาเช็ดด้านนอกที่เปียกน้ำให้แห้งสนิท

7. ชั่งน้ำหนักขวด centrifuge ปรับให้ขวด centrifuge มีน้ำหนักน้ำกลั่นรวม 40 gm

8. นำขวด centrifuge ไปเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกที่ความเร็ว 2200 rpm นาน 15 นาที

9. หลังเหวี่ยงแยกเสร็จจะแยกส่วนใสออกจากตะกอน โดยใช้ปิเปตดูดส่วนใสออกมาใส่ในชามกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแน่นอนแล้ว

10. พยายามดูดส่วนใสออกให้ได้มากที่สุด (ระวังอย่าให้ตะกอนแป้งติดมาด้วย) แล้วจึงนำขวด centrifuge ที่บรรจุสตาร์ชไปชั่งน้ำหนัก

11. นำส่วนใสในชามกระเบื้องไปอบที่อุณหภูมิ 120°C เพื่อระเหยน้ำออกจนน้ำหนักคงที่

12. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักชามกระเบื้องเพื่อหาน้ำหนักสตาร์ชที่ละลายน้ำ

13. คำนวณหาค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายของเม็ดสตาร์ช โดยใช้สูตร

$$\text{ร้อยละการละลาย (\%solubility)} = \frac{\text{น้ำหนักแป้งที่ละลายน้ำ (gm)} \times 100}{\text{น้ำหนักแป้งแห้ง (gm)}}$$

$$\text{กำลังการพองตัว (swelling power)} = \frac{\text{น้ำหนักตะกอนแป้ง (gm)} \times 100}{\text{น้ำหนักแป้งแห้ง (gm)} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

ก.21 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ช โดยใช้ DSC ตามวิธีของ Kim และคณะ (1995)

อุปกรณ์

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

วิธีทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างสตาร์ช (db) ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน โดยชั่งตัวอย่างใส่ใน pan และเติมน้ำกลั่น ซึ่งตัวอย่างที่เตรียมใส่ใน pan จะทำการเตรียมให้มีความเข้มข้น 30% (w/w) ตามสูตร

สูตรคำนวณ

$$\text{น้ำหนักแป้งจริง} = \frac{(100 - \%\text{ความชื้นของแป้ง}) \times \text{น้ำหนักแป้งที่ชั่ง}}{100}$$

ปริมาตรของน้ำกลั่นที่จะต้องเติมลงไปเพื่อละลายแป้ง

$$= \frac{(\text{น้ำหนักแป้งจริง} \times 7)}{3} - (\text{น้ำหนักแป้งที่ชั่ง} - \text{น้ำหนักแป้งจริง})$$

$$= \text{น้ำหนักน้ำทั้งหมด} - \text{น้ำที่มีอยู่แล้วในแป้ง}$$

2. ปิดผนึก pan บ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาข้ามคืน เพื่อให้ตัวอย่างมีความชื้นอิ่มตัว

3. นำ pan ใส่ในช่อง sample ของเครื่อง DSC และวาง reference pan โดยใช้ profile อุณหภูมิ 40-100°C ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที และใช้ indium ในการ calibration

4. คำนวณค่าสมบัติทางความร้อนโดยใช้ระบบ auto-calculation บันทึกค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลาติไนซ์ ดังนี้

- อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลาติไนซ์ (onset temperature, T_o หน่วย °C)
- อุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลาติไนซ์ (peak temperature, T_p หน่วย °C)
- อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลาติไนซ์ (conclusion temperature, T_c หน่วย °C)
- พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลาติไนซ์ (enthalpy or ΔH, หน่วย J/g)

ก.21 ศึกษาโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช โดยใช้ X-ray diffractometer และวิเคราะห์ pattern ตามวิธีของ Zobel (1964)

อุปกรณ์

1. X-ray diffractometer, (JEOL รุ่น JDX-8030)

วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างสตาร์ชโรยบน sample plate แล้วกด sample plate ให้เม็ดสตาร์ชเรียงตัวอัดกันแน่น

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

3. สั่งให้เครื่องทำงานและวัดค่าในช่วงมุมที่ต้องการ โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

Target :	Cu	
KV :	45.0	kV
MA :	35.0	mA
Start angle:	2.00	deg.
Stop angle:	45.00	deg.
Step angle:	0.040	deg.
M. time :	1.50	sec.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. วิเคราะห์ X-ray diffraction pattern โดยเทียบค่า 2θ, d-Spacing และ Intensity ที่ได้กับลักษะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชที่เป็น pattern มาตรฐาน ดังนี้

ตารางที่ ก.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่เป็นแบบ A, B, และ C-type

Starch X-ray powder diffraction pattern								
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	15.8	M	5.59	15.4	W	5.73
7.70	w-	11.5	8.90	w-	9.93	8.82	w-	10.0
5.78	s	15.3	7.94	w-	11.1	7.66	w-	11.5
5.17	s	17.1	6.14	m	14.4	5.78	s	15.3
4.86	s-	18.2	5.16	s	17.2	5.12	s	17.3
4.37	m	20.3	4.54	w+	19.5	4.85	m	18.3
3.78	s	23.5	4.00	m	22.2	4.35	w-	20.4
3.30	w+	27.0	3.70	m-	24.0	3.78	m+	23.5
2.88	w	31.0	3.38	w	26.3	3.32	w	26.8
			2.60	w	34.4			

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

ก.23 การเตรียม buffer ที่ค่า pH ระดับต่างๆ ตามวิธีของ Food Chemicals Codex, (1981)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่า pH (pH meter) (Consort รุ่น P307)

สารเคมี

1. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH : AR grade) ความเข้มข้น 0.2 M
2. สารละลาย Potassium Biphthalate ความเข้มข้น 0.2 M เตรียมโดยชั่ง $KHC_6H_4(COO)_2$ (AR grade) 40.84 gm ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 ml

3. สารละลาย Potassium Phosphate, Monobasic ความเข้มข้น 0.2 M เตรียมโดยชั่ง KH_2PO_4 (AR grade) 27.22 gm ละลายในน้ำกลั่นแล้วปรับปริมาตรให้เป็น 1000 ml

วิธีเตรียม

1. เตรียมสารละลาย buffer โดยนำสารละลายทั้ง 3 ชนิดมาผสมกันให้ได้อัตราส่วนตามค่า pH ที่ต้องการดังนี้

ตารางที่ ก.2 อัตราส่วนในการเตรียมสารละลาย buffer

pH of buffer	สารละลายด่าง	ปริมาตร (ml)	สารละลายเกลือของด่าง	ปริมาตร (ml)
3.5	0.2 M NaOH	50 ml	0.2 M $KHC_6H_4(COO)_2$	6.3
4.5	0.2 M NaOH	50 ml	0.2 M $KHC_6H_4(COO)_2$	11.1
5.5	0.2 M NaOH	50 ml	0.2 M $KHC_6H_4(COO)_2$	38.8
7.0	0.2 M NaOH	50 ml	0.2 M KH_2PO_4	29.1

2. วัดค่า pH ของสารละลาย buffer ที่เตรียมได้ แล้วทำการปรับค่า pH ด้วยสารละลาย 0.2 M NaOH หรือ 0.2 M HCl ให้ได้ค่า pH ตามที่ต้องการ

3. รวมสารละลาย buffer ที่เตรียมให้มีปริมาณมากพอสำหรับใช้กับการทดลองทุกครั้ง

ก.24 การวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ช ตามวิธีที่ดัดแปลงมาจาก Mazurs และคณะ (1957)

ดัดแปลงโดยเปลี่ยนระยะเวลาในช่วงควบคุมอุณหภูมิคงที่ที่ 95 °C และ 50 °C ให้สั้นลงจาก 1 ชั่วโมง เป็น 30 นาที

อุปกรณ์

1. Brabender viscoamylograph (รุ่น Viskograph PT100)
2. เครื่องชั่ง ทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Sartorius รุ่น BA 4100S)

วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายของตัวอย่างในน้ำกลั่นความเข้มข้น 6% โดยน้ำหนักแห้ง โดยนำบีกเกอร์ขนาด 450 ml และ 600 ml วางบนเครื่องชั่งกดปุ่ม tare ปรับน้ำหนักให้เป็นศูนย์ ชั่งตัวอย่างสตาร์ช 30 gm (โดยน้ำหนักแห้ง) ใส่บีกเกอร์ขนาด 450 ml แล้วเติมน้ำกลั่นหรือสารละลาย buffer ลงในบีกเกอร์ขนาด 600 ml จนน้ำหนักรวมครบ 500 gm

2. เอาน้ำกลั่นหรือสารละลาย buffer ในบีกเกอร์ขนาด 600 ml เทผสมกับตัวอย่างสตาร์ชในบีกเกอร์ขนาด 450 ml จากนั้นใช้แท่งแก้วกวนให้ละลายก่อนเทลงในภาชนะใส่ตัวอย่าง (bowl) ของเครื่องซึ่งประกอบกับตัวเครื่องแล้ว ล้างบีกเกอร์ด้วยน้ำกลั่นหรือสารละลาย buffer ที่เหลือใส่รวมลงในภาชนะใส่ตัวอย่าง

3. ประกอบเครื่อง เปิดน้ำหล่อเย็น (cooling water) และให้เครื่องเริ่มทำงาน

4. ปรับสภาวะการทำงานของเครื่อง ดังนี้

4.1 ให้เครื่องกวนด้วยอัตราเร็ว 75 รอบต่อนาที

4.2 การตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ เป็นดังนี้ คือ

4.2.1 ให้อุณหภูมิสูงขึ้นด้วยอัตราเร็ว 1.5 °C ต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 95 °C

4.2.2 ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 95 °C ไว้นาน 30 นาที

4.2.3 ลดอุณหภูมิลงด้วยอัตราเร็ว 1.5 °C ต่อนาที จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 50 °C

4.2.4 ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ที่ 50 °C ไว้นาน 30 นาที

5. ถ้าเครื่องทำงานจนเส้นกราฟความหนืดเพิ่มขึ้นจนสุดสเกล (1000 BU) ให้ถ่วงด้วยตุ้มน้ำหนักขนาด 125 gm ซึ่งมีค่าเท่ากับความข้นหนืด 500 BU หรือตุ้มน้ำหนักขนาด 250 gm ซึ่งมีค่าเท่ากับความข้นหนืด 1000 BU

6. นำกราฟการเปลี่ยนแปลงความข้นหนืดของตัวอย่างสตาร์ชที่ได้มาวิเคราะห์ผล

ก.25 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลสตาร์ช โดยใช้เครื่อง texture analyzer

อุปกรณ์

1. เครื่องวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (texture analyzer) Stable Micro System, Ltd. รุ่น TA.XT2

2. หัววัดรูปทรงกระบอก (cylinder probe) รุ่น SMS P/35 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter) 35 mm พื้นที่ผิวสัมผัส (contact area) 962.11 mm^2

วิธีทดลอง

1. ประกอบหัววัดรูปทรงกระบอก (SMS P/35) เข้ากับเครื่อง texture analyzer

2. ทำการ calibrate force โดยใช้ตุ้มน้ำหนักมาตรฐาน 5,000 gm

3. calibrate probe โดยตั้งระยะหัววัดให้ห่างจากแท่นวางตัวอย่าง 50 mm

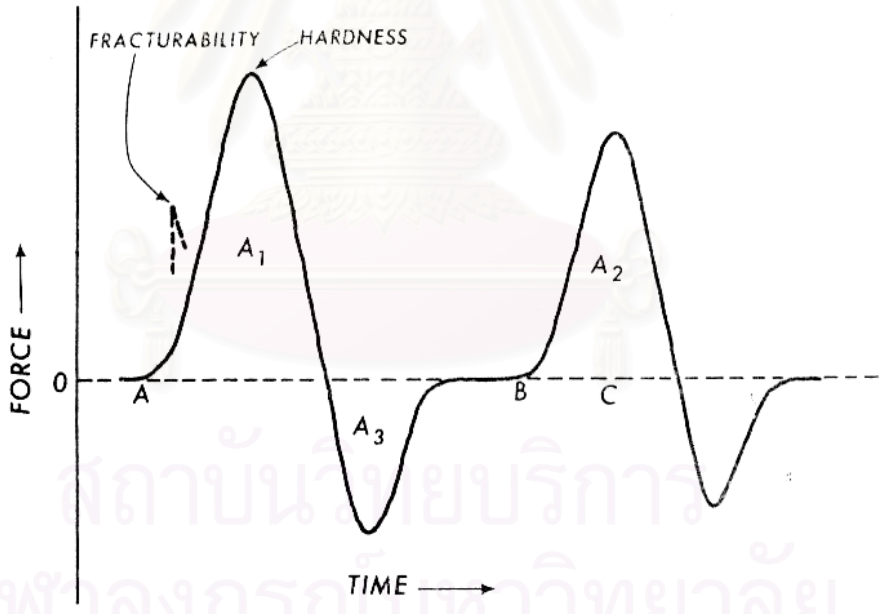
4. เลือกรูปแบบการวัดเป็นแบบ TPA แล้วสั่งให้เครื่องทำงานโดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุม มีรายละเอียดดังนี้

Mode:	Measure force in compression
Option:	Texture Profile Analysis
Force unit:	gram
Test speed:	2 mm/sec
Distance format:	%Strain
Distance:	20% Strain (20% ของระยะความสูงตัวอย่าง)
Graph type:	Force v Time

5. วางตัวอย่างเจลสตาร์ชกล้วยทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์ 55 mm สูง 20 mm บนแท่นวางตัวอย่างครั้งละ 1 ชิ้น โดยให้แนวหัววัดอยู่พอดีตรงกลางของเจลสตาร์ช

6. ควบคุมสภาวะและการทำงานของเครื่องด้วยคอมพิวเตอร์ เสร็จแล้วทำการวัดค่าลักษณะเนื้อสัมผัสจะได้กราฟที่มีลักษณะ peak จำนวน 2 peak

ตัวอย่างกราฟ:



รูปที่ ก.3 กราฟของลักษณะเนื้อสัมผัสที่ได้จากวัดแบบ TPA

7. บันทึกค่าที่ประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ จากค่าแรงสูงสุดของ peak แรกเป็นค่า Hardness ส่วนค่าอัตราส่วนของ A_2/A_1 เป็นค่า Cohesiveness และค่าที่ได้จากผลคูณของ Hardness กับ Cohesiveness เป็นค่า Gumminess

ภาคผนวก ข.
วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

ข.1 การนับอายุของกล้วย

กล้วยอายุ 1 วัน

กล้วยอายุ 6 วัน

กล้วยอายุ 8 วัน

กล้วยอายุ 11 วัน

กล้วยอายุ 15 วัน

กล้วยอายุ 110 วัน

รูปที่ ข.1 ตัวอย่างการนับอายุกล้วยหักมุก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.2 กล้วยที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการทดลอง

กล้วยหักมุก

กล้วยน้ำว้าค่อม

กล้วยตานี

รูปที่ ข.2 วัตถุดิบกล้วยที่ใช้ในการทดลอง

ข.3 ลักษณะของเนื้อกล้วยตานี

รูปที่ ข.3 ลักษณะเม็ดของเนื้อกล้วยตานี

ประวัติผู้เขียน

นายวสันต์ ศิริวงศ์ เกิดวันที่ 22 สิงหาคม พ.ศ. 2516 ที่อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ จากภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ในปีการศึกษา 2537 และได้เริ่มงานกับบริษัท สำปะหลังพัฒนา จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทที่ทำธุรกิจแป้งมันสำปะหลังดัดแปร (Modified Tapioca Starch) อยู่ในเครือบริษัทไทวา ในตำแหน่ง Production Supervisor เป็นเวลา 3 ปี จึงเป็นจุดเริ่มต้นของความสนใจงานวิจัยด้านนี้ และได้ลาออกจากงานเพื่อศึกษาต่อระดับปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2541

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย