

สมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชจากเผือกหอม *Colocasia esculenta* (L.) Schott



นางสาวสุชฤดี อัครศักดิ์สกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-xxx-xxx

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF TARO

Colocasia esculenta (L.) Schott STARCH



Miss Sookreudee Asavasaksakul

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสตาร์ชจากเผือกหอม *Colocasia
esculenta* (L.) Schott
โดย นางสาวสุชฎติ อัครศักดิ์สกุล
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. จิรวัฒน์ ทัตติยกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. เปี่ยมศักดิ์ เมณะเสวต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. จิรวัฒน์ ทัตติยกุล)

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

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุวรรณ สุภิमारส)

สุขฤดี อัครศักดิ์สกุล : สมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชจากเผือกหอม *Colocasia esculenta* (L.) Schott. Chemical and Physical Properties of Taro *Colocasia esculenta* (L.) Schott Starch.
 อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.จิราวัฒน์ ทัดติยกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : ผศ.ดร.พาสวดี ประทีปะเสน. 125 หน้า.
 ISBN 974-17-7170-3.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติของสตาร์ชที่สกัดจากเผือกหอม *Colocasia esculenta* (L.) Schott ขนาดต่างกัน 3 ขนาด จากแหล่งปลูก 4 แหล่ง คือ เชียงใหม่ สระบุรี กาญจนบุรี และตราด จากการศึกษาพบว่า องค์ประกอบโดยน้ำหนักแห้งของเผือกหอมคือ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 83.1 – 91.7 ไขมันร้อยละ 0.3 – 0.9 โปรตีนร้อยละ 4.2 – 9.3 โยอาหารร้อยละ 1.1-3.5 เถ้าร้อยละ 2.0 – 5.1 และมีแคลเซียมออกซาเลต 284.8 – 456.2 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง การสกัดโปรตีนออกโดยการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.05 โดยน้ำหนัก ให้ปริมาณโปรตีนในสตาร์ชแตกต่างจากการสกัดโดยใช้น้ำ เมื่อนำเผือกแห้งมาผลิตเป็นสตาร์ชได้ปริมาณผลผลิต ร้อยละ 28.0 – 53.2 ที่แหล่งปลูกเดียวกันสตาร์ชที่สกัดจากหัวเผือกขนาดต่างกันมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตไม่แตกต่างกัน ในขณะที่สตาร์ชที่สกัดจากเผือกที่มาจากแหล่งปลูกต่างกันมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกัน โดยสตาร์ชเผือกหอมมีองค์ประกอบโดยน้ำหนักแห้งคือ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 96.9 – 98.2 โปรตีนร้อยละ 0.7 – 1.9 ไขมันร้อยละ 0.1 – 0.3 โยอาหารร้อยละ 0.1 – 0.9 เถ้าร้อยละ 0.1 – 0.3 และมีแคลเซียมออกซาเลต 182.0 – 200.1 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของน้ำหนักแห้ง สตาร์ชเผือกมีปริมาณอะไมโลสร้อยละ 18.8 – 22.4 โดยมีค่า degree of polymerization เฉลี่ยของสายอะมิโลสในสตาร์ชที่สกัดจากเผือกขนาดเล็กอยู่ในช่วง 195 – 238 สำหรับโครงสร้างของอะมิโลเพคติน พบว่ามีความยาวสายเฉลี่ย 21.5 – 31.7 ค่า % Beta amylolysis 43.1 – 53.1 ความยาวสายภายนอกเฉลี่ย 12.6 – 16.9 และความยาวสายภายในเฉลี่ย 7.1 – 14.6 สตาร์ชเผือกมีรูปร่างหลายเหลี่ยมและขนาดไม่สม่ำเสมอ เส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชอยู่ในช่วง 1.3 – 2.2 μm โครงร่างผลึกเป็นแบบ A มีค่ากำลังการพองตัวและการละลายต่ำคือ ที่อุณหภูมิ 80 °C มีค่า 11.0 – 17.4 กรัมต่อกรัมของน้ำหนักแห้งสตาร์ช และ 8.1 – 13.2% ตามลำดับ สตาร์ชเผือกเกิดเจลลาติไนซ์ที่ onset temperature 64.80 – 77.32 °C, peak temperature 72.20 – 83.46 °C และ conclusion temperature 82.75 – 91.00 °C โดยมี peak viscosity อยู่ในช่วง 264 – 441 RVU. เมื่อเก็บแป้งเปียกของสตาร์ชเผือกไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 7 วัน และ 14 วัน พบว่าแป้งเปียกมี % retrogradation เท่ากับ 36.0 – 38.7 และ 40.7 – 46.6 ตามลำดับ การเพิ่ม pH จาก 3.5 เป็น 6.5 พบว่า peak viscosity ของแป้งเปียกเพิ่มขึ้นร้อยละ 11.6 แป้งเปียกของสตาร์ชเผือกที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อผ่านกระบวนการแช่แข็งและการละลายรอบแรกแล้วมีลักษณะโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ (sponge-like structure)

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่อ.....
 สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2547.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4472533523 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORD: TARO / COLOCASIA / STARCH / PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES

SOOKREUDEE ASAVASAKSAKUL : CHEMICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF TARO STARCH *Colocasia esculenta* (L.) Schott. THESIS ADVISOR : JIRARAT TATTIYAKUL, Ph.D. THESIS COADVISOR : ASST. PROF. PASAWADEE PRADIPASENA, Ph.D. 125 pp. ISBN 974-17-7170-3.

The objective of this research was to determine the chemical and physical properties of taro *Colocasia esculenta* (L.) Schott starch extracted from taro cultivated in 4 locations which are Chiangmai, Saraburi, Kanchanaburi and Trad. Dried taro composed of 83.1 – 91.7% carbohydrates, 4.2 – 9.3% protein, 1.1-3.5% fiber, 2.0 – 5.1% ash and 0.3 – 0.9% fat, in dry basis. It also contained calcium oxalate in the range of 284.8 – 456.2 mg/100 g dry basis. Two starch extraction methods using water and 0.05% NaOH solution were compared. The result showed that the extraction method using 0.05% NaOH solution resulted in taro starch with lower protein content. Dried taro yielded 28.03% to 53.2% starch. It was found that the carbohydrate content of taro starch was not affected by size, but cultivating location. The proximate composition (dry basis) of taro starch were 96.9 – 98.2% carbohydrate, 0.7 – 1.9% protein, 0.1 – 0.3% fat, fiber 0.1 – 0.9% and 0.1 – 0.3 ash. The starch contained 182.0 – 200.1 mg/100 g calcium oxalate. All taro starches had amylose content of 18.8 – 22.4% with average degree of polymerization of 195 – 238. The average chain length of amylopectin in taro starch was 21.5 – 31.7 with 43.1 – 53.1 % Beta amylolysis, while the average exterior chain length and the average interior chain length of amylopectin were 12.6 – 16.9 and 7.1 – 14.6, respectively. The starch granule of taro starch was small and polygonal. The average diameter of taro starch ranged from 1.3 – 2.2 μm . The taro starch had an A type crystalline structure which resulted in low swelling power of 11.0 – 17.4 g/g dry starch and low solubility of 8.1 – 13.2% at 80 °C. The taro starch had an onset temperature of 64.80 – 77.32 °C, peak temperature of 72.20 – 83.46 °C, conclusion temperature of 82.75 – 91.00 °C, and peak viscosity of 264 – 441 RVU. Retrogradation occurred after storage taro paste at 4 °C for 7 days and 14 days with % retrogradation of 36.0 – 38.7 and 40.7 – 46.6, respectively. By increasing pH from 3.5 to 6.5, the peak viscosity increased 11.6%. The taro starch paste of 6% concentration could not tolerate freeze – thaw cycles as it showed sponge-like structure after the first cycle .

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

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

Academic year..... 2547..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญาโทและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.จิราวัฒน์ ทัตติยกุล อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสวดี ประทีปะเสน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วมที่กรุณาให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น และกำลังใจ ตลอดการทำวิจัย และกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรรณา สุภิมารส ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำในการแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลย์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและคณาจารย์ของภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยทุกท่าน รวมถึงคณาจารย์ของสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร) ที่กรุณาประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณการสนับสนุนจากหน่วยงานต่างๆ ดังนี้

งบประมาณสำหรับการวิจัย

- งบประมาณแผ่นดินปี 2545 ชุดโครงการสำรวจเพื่อประเมินและวางแผนการวิจัยเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร-อุตสาหกรรมอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- งบประมาณแผ่นดินปี 2546 – 2547 ชุดโครงการวิจัยเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร-อุตสาหกรรมอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- งบประมาณแผ่นดินปี 2547 บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
เครื่องมือและอุปกรณ์

- Thailand-Japan Technology Transfer Project (JTTP)
- รศ.ดร.มานพ สุพรรณธริกา และคุณมนตรี ฉายสว่าง ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่กรุณาให้ใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer

ท้ายสุดขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ขอขอบคุณพี่จิว น้องๆ รวมถึงเพื่อนๆ รุ่นพี่และรุ่นน้อง ซึ่งให้ความสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ธุรการ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจมาโดยตลอด

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง..... | ซ |
| สารบัญรูป..... | ฎ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ..... | 1 |
| 2. วารสารปริทัศน์ | 2 |
| 2.1 แฝือก..... | 2 |
| 2.2 การสกัดสตาร์ชแฝือก..... | 11 |
| 2.3 สมบัติของสตาร์ชแฝือก | 12 |
| 3. วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการวิจัย..... | 33 |
| 4. ผลการทดลองและวิจารณ์..... | 39 |
| 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของแฝือกหอม | 39 |
| 4.2 สารละลายที่เหมาะสมในการสกัดสตาร์ชจากหัวแฝือกสด | 41 |
| 4.3 ปริมาณผลผลิตสตาร์ชแฝือกหอมที่สกัดได้จากหัวแฝือกหอม..... | 42 |
| 4.4 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชแฝือกหอม | 44 |
| 4.5 ปริมาณอะมิโลสและ degree of polymerization ของอะมิโลสในสตาร์ชแฝือก | 47 |
| 4.6 โครงสร้างอะมิโลเพคตินของสตาร์ชแฝือกหอม | 48 |
| 4.7 สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากแฝือกหอม..... | 50 |
| 5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... | 76 |
| รายการอ้างอิง | 78 |
| ภาคผนวก | |
| ภาคผนวก ก | 84 |
| ภาคผนวก ข | 105 |
| ภาคผนวก ค | 123 |
| ประวัติผู้เขียน | 125 |

สารบัญตาราง

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเผือก <i>Colocasia esculenta</i> | 3 |
| 2.2 ปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในฟลาวเผือกที่สกัดจากเผือก 3 พันธุ์ | 6 |
| 2.3 ปริมาณออกซาเลตที่ละลายได้ และออกซาเลตรวมในเผือก เมื่อวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ HPLC ต่างกัน..... | 8 |
| 2.4 ปริมาณของแคลเซียมออกซาเลตในเผือกที่สภาวะต่างกัน | 10 |
| 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวเผือก | 12 |
| 2.6 ปริมาณสตาร์ชของฟลาวเผือก..... | 13 |
| 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเผือก | 13 |
| 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวจากพืชหัวต่างชนิด | 14 |
| 2.9 ปริมาณอะมิโลสในสตาร์ชเผือกต่างพันธุ์..... | 16 |
| 2.10 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพคตินของแป้งต่างๆ..... | 18 |
| 2.11 ขนาดเม็ดแป้งของสตาร์ชเผือกจากการตรวจวัดโดยเครื่อง Image Analyzer | 19 |
| 2.12 ขนาดของเม็ดแป้งจาก <i>Colocasia esculenta</i> | 20 |
| 2.13 สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชเผือกตรวจวัดโดย Brabender Visco Amylograph | 26 |
| 2.14 สมบัติด้านความร้อนของฟลาวเผือก | 30 |
| 2.15 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชเผือก..... | 31 |
| 2.16 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชบางชนิดตรวจวัดโดย DSC..... | 32 |
| 2.17 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชบางชนิดที่เกิดการรีโทรเกรเดชันตรวจวัดโดย DSC | 32 |
| 3.1 อักษรย่อที่จะใช้สำหรับเผือกหอมสดและสตาร์ชจากเผือกหอม จากแหล่งปลูกและขนาดต่างๆ..... | 33 |
| 3.2 เกณฑ์ในการคัดขนาดและช่วงเวลาเก็บเกี่ยวเผือกในแต่ละแหล่งปลูก..... | 34 |
| 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเผือกหอม..... | 40 |
| 4.2 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของเผือกหอมโดยเฉลี่ยจากแต่ละแหล่งปลูก..... | 41 |
| 4.3 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในแต่ละภาคของประเทศไทย ปี 2546..... | 41 |
| 4.4 ปริมาณโปรตีนของสตาร์ชเผือกหอมเปรียบเทียบระหว่างการสกัดโดยใช้น้ำ กับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.05 | 42 |

ตาราง

หน้า

| | | |
|------|---|-----|
| 4.5 | ผลผลิตสตาร์ชเผือกหอม | 43 |
| 4.6 | องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเผือกหอม..... | 45 |
| 4.7 | ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกต่างๆ..... | 46 |
| 4.8 | ปริมาณอะมิโลสและ degree of polymerization เฉลี่ย (DP_{avg}) ของสตาร์ชจากเผือกหอม | 48 |
| 4.9 | โครงสร้างอะมิโลเพคตินของสตาร์ชเผือกหอม | 49 |
| 4.10 | ค่าเฉลี่ยโครงสร้างอะมิโลเพคตินของสตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกต่างๆ | 49 |
| 4.11 | ขนาดเฉลี่ยเม็ดสตาร์ชเผือกหอม | 51 |
| 4.12 | กำลังการพองตัวของสตาร์ชเผือกหอม..... | 57 |
| 4.13 | ค่าเฉลี่ยกำลังการพองตัวของสตาร์ชเผือกหอมจากทุกแหล่งปลูก | 57 |
| 4.14 | การละลายของสตาร์ชเผือกหอม | 60 |
| 4.15 | ค่าเฉลี่ยของร้อยละการละลายของสตาร์ชเผือกหอมจากทุกแหล่งปลูก | 60 |
| 4.16 | อุณหภูมิของการเกิดเจลาตินไนซ์ของสตาร์ชเผือกหอม..... | 67 |
| 4.17 | ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของการเกิดเจลาตินไนซ์ของสตาร์ชเผือกหอมจากทุกแหล่งปลูก..... | 67 |
| 4.18 | ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันที่อุณหภูมิ 4°C ของสตาร์ชเผือกหอม..... | 69 |
| 4.19 | ค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชจากเผือกหอม ทุกขนาดของแต่ละแหล่งปลูก | 70 |
| 4.20 | ค่า pH ของแป้งเปียกในสภาวะปกติ..... | 71 |
| 4.21 | % syneresis ของสตาร์ชเผือกหอมหลังผ่านกระบวนการแช่แข็งและการละลาย ที่ cycle ต่างๆ..... | 74 |
| 4.22 | ค่าเฉลี่ย % syneresis ของสตาร์ชเผือกหอมหลังผ่านกระบวนการแช่แข็ง และการละลายของสตาร์ชเผือกหอมจากทุกแหล่งปลูกที่ cycle ต่างๆ | 75 |
| ก.1 | ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งที่เป็นแบบ A, B และ C | 99 |
| ก.2 | ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA | 101 |
| ข.1 | สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอม..... | |
| ข.2 | สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 3.5..... | |
| ข.3 | สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 4.5..... | |

ตาราง

- ข.4 สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 5.0.....
- ข.5 สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 5.5.....
- ข.6 สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 6.5.....



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

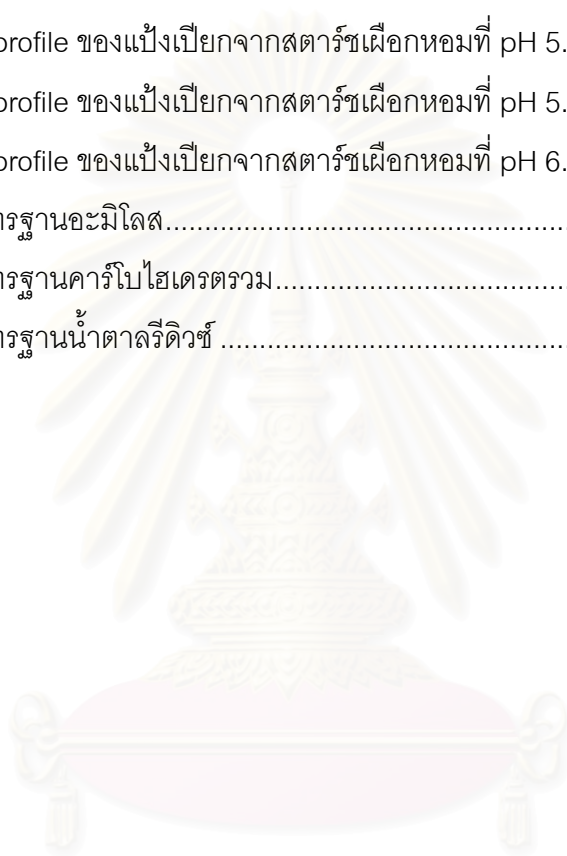
สารบัญรูป

| รูป | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ปฏิบัติการเกิดเกลือของกรดออกซาเลคโดยการทำปฏิกิริยาระหว่าง กรดออกซาลิกและไอออนของโลหะ | 5 |
| 2.2 การทำงานของเอนไซม์ Isoamylase | 17 |
| 2.3 การทำงานของเอนไซม์ β – amylase..... | 17 |
| 2.4 กำลังการพองตัวของสตาร์ชเผือกเปรียบเทียบกับสตาร์ช cow-cockle และสตาร์ชข้าวโพด | 22 |
| 2.5 การละลายของสตาร์ชเผือกเปรียบเทียบกับสตาร์ช cow-cockle และสตาร์ชข้าวโพด | 23 |
| 2.6 ความหนืดของสตาร์ชเผือก 7 พันธุ์ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ตรวจวัดโดย เครื่อง Brabender Visco Amylograph..... | 25 |
| 3.1 ขั้นตอนการสกัดสตาร์ชเผือก | 36 |
| 4.1 รูปร่างเม็ดสตาร์ชเผือกหอมจากเชียงใหม่..... | 52 |
| 4.2 รูปร่างเม็ดสตาร์ชเผือกหอมจากสระบุรี..... | 52 |
| 4.3 รูปร่างเม็ดสตาร์ชเผือกหอมจากกาญจนบุรี..... | 53 |
| 4.4 รูปร่างเม็ดสตาร์ชเผือกหอมจากตราด..... | 53 |
| 4.5 X-ray diffraction pattern แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชเผือกหอม | 54 |
| 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและกำลังการพองตัวของสตาร์ชเผือกหอม จากทุกแหล่งปลูกและทุกขนาด..... | 58 |
| 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและร้อยละการละลายของสตาร์ชเผือกหอม จากทุกแหล่งปลูกและทุกขนาด..... | 61 |
| 4.8 Pasting temperature ของสตาร์ชเผือกหอม..... | 63 |
| 4.9 Peak viscosity ของสตาร์ชเผือกหอม..... | 64 |
| 4.10 Setback ของสตาร์ชเผือกหอม | 64 |
| 4.11 Breakdown ของสตาร์ชเผือกหอม | 65 |
| 4.12 Final viscosity ของสตาร์ชเผือกหอม | 65 |
| 4.13 Peak viscosity ของแป้งเปียกของสตาร์ชเผือกหอมจากเชียงใหม่ที่ pH ต่างๆ | 72 |
| 4.14 Peak viscosity ของแป้งเปียกของสตาร์ชเผือกหอมจากสระบุรีที่ pH ต่างๆ..... | 72 |

รูป

หน้า ๘

| | | |
|------|---|-----|
| 4.15 | Peak viscosity ของแป้งเปียกของสตาร์ชเผือกหอมจากกาญจนบุรีที่ pH ต่างๆ..... | 73 |
| 4.16 | Peak viscosity ของแป้งเปียกของสตาร์ชเผือกหอมจากตราดที่ pH ต่างๆ | 73 |
| ข.1 | Pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอม | 106 |
| ข.2 | Pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 3.5 | 109 |
| ข.3 | Pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 4.5 | 112 |
| ข.4 | Pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 5.0 | 115 |
| ข.5 | Pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 5.5 | 118 |
| ข.6 | Pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 6.5 | 121 |
| ค.1 | กราฟมาตรฐานอะมิโลส..... | 123 |
| ค.2 | กราฟมาตรฐานคาร์โบไฮเดรตรวม..... | 124 |
| ค.3 | กราฟมาตรฐานน้ำตาลรีดิวิซ์ | 124 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

เผือกอยู่ในตระกูล Araceae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Colocasia esculenta* (L.) Schott เป็นพืชหัวที่ปลูกได้ในเขตร้อนและกึ่งร้อน สะสมอาหารในหัวซึ่งเป็นลำต้นที่อยู่ใต้ดิน (วิทยา แสง-แก้วสุข, 2541) สามารถนำมาแปรรูปเป็นอาหารได้หลายชนิด คนไทยส่วนใหญ่นิยมบริโภคในรูปแบบขนมหวานชนิดต่างๆและอาหารประเภทขบเคี้ยว ในต่างประเทศมีการนำมาผลิต deep-fried chips, poi (taro paste) และแป้งเผือก (Nip, 1997)

ประเทศไทยมีการปลูกเผือกอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศ ดังนั้นจึงถือได้ว่าเผือกเป็นพืชเศรษฐกิจประจำท้องถิ่น การเพาะปลูกเผือกในภาคต่างๆ ของประเทศมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดย มูลค่าผลผลิตรวมเพิ่มขึ้นจาก 514,249,930 บาท ในปีพ.ศ. 2541 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2544) เป็น 706,664,830 บาท ในปีพ.ศ. 2543 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2545) รวมทั้งการส่งออกเผือกที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณการส่งออกรวมเพิ่มขึ้นจาก 656,162 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 8,239,613 บาท ในปีพ.ศ. 2542 เพิ่มขึ้นเป็น 1,039,052 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 15,096,003 บาท ในปีพ.ศ. 2543 (Information and Communication Technology Center With Cooperation of The Customs Department, 2002) ตลาดต่างประเทศของเผือกที่สำคัญ คือ สิงคโปร์ ฮองกง ออสเตรเลีย ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา ฝรั่งเศส เกาหลีใต้ เนเธอร์แลนด์ นิวซีแลนด์ และสวีเดน เป็นต้น (นรินทร์ พูลเพิ่ม, 2539; Information and Communication Technology Center With Cooperation of The Customs Department, 2002) ในปัจจุบันไม่มีรายงานสถิติการผลิตแป้งเผือกในประเทศไทย ประเทศไทยมีการนำเข้าแป้งและสตาร์ชจากต่างประเทศในปริมาณที่สูง โดยในปี พ.ศ. 2544 มีการนำเข้าแป้งและสตาร์ชปริมาณ 294,132,326 กิโลกรัม คิดเป็นมูลค่า 4,696,744,126 บาท (สถาบันอาหาร, 2545) ดังนั้นการผลิตแป้งจากเผือกและการศึกษาคุณสมบัติต่างๆ ของแป้งเผือกเพื่อพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่จะนำแป้งจากเผือกมาใช้ทดแทนแป้งที่ต้องมีการนำเข้า จึงเป็นวิธีหนึ่งที่จะสามารถลดปริมาณการนำเข้าแป้งจากต่างประเทศได้

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ผีอก

ผีอกมีถิ่นกำเนิดอยู่ในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ (พระยาศัลวิธานนิเทศ, 2511; นรินทร์ พูลเพิ่ม, 2539; Nip, 1997) ต่อมาได้แพร่หลายออกไปและนิยมปลูกทั่วไปใน เขตร้อน กึ่งร้อน และเขตอบอุ่น โดยเฉพาะในหมู่เกาะแถบมหาสมุทรแปซิฟิก ประเทศในบริเวณเมดิเตอร์เรเนียน ประเทศในแถบแอฟริกาตะวันตก หมู่เกาะอินดีส์ตะวันตก และอเมริกากลาง ในปัจจุบันการปลูกผีอกได้แพร่หลายไปทั่วโลก (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) และพบว่าในปัจจุบันนี้มีผีอกอยู่ประมาณ 1,000 ชนิดทั่วโลก ส่วนต่างๆ ของต้นผีอก เช่น หัว หัวย่อย ใบและก้านใบ เมื่อนำต้มสุกแล้วสามารถนำมารับประทานได้ (Wilson and Siemonsma, 1996) โดยสามารถนำมาประกอบอาหารได้หลายชนิดทั้งคาวและหวานและนำมาใช้ในอุตสาหกรรมแปรรูป (นรินทร์ พูลเพิ่ม, 2539)

2.1.1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผีอกหอม

ผีอกจัดแบ่งตามลักษณะช่อดอกและการเกิดหัวได้ 2 พันธุ์ คือ พันธุ์ *esculenta* มีชื่อสามัญว่า *dasheen* เป็นผีอกที่มีขนาดใหญ่และมีลูกช่อหรือลูกผีอกติดอยู่น้อย ส่วนอีกพันธุ์คือ *antiquorum* มีชื่อสามัญว่า *eddoe* เป็นผีอกที่มีขนาดเล็กและมีลูกช่อหรือลูกผีอกติดอยู่จำนวนมาก

ผีอกเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ใบผีอกมีรูปร่างคล้ายหัวใจหรือหูช้าง มีระบบรากฝอย มีความสูงประมาณ 1-2 เมตร ลำต้นสั้นอยู่ส่วนบนของหัว หัวเป็นส่วนที่เกิดจากการขยายตัวของลำต้นใต้ดินทำหน้าที่สะสมอาหาร ประกอบด้วยหัวแกน (*corm*) และหัวแขนงหรือลูกช่อหรือลูกผีอก (*cormel*) หัวแกนมีรูปร่างทรงกระบอกน้ำหนักประมาณ 250-3000 กรัม หรือมากกว่า (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538; วิทยา แสงแก้วสุข, 2541; Nip, 1997) มีความต้องการน้ำหรือความชื้นในการเจริญเติบโตค่อนข้างสูง มีอายุการเก็บเกี่ยว 5-6 เดือน สามารถปลูกได้ทั่วประเทศของประเทศไทย (นรินทร์ พูลเพิ่ม, 2539) การปลูกในประเทศไทยมี 2 ลักษณะ คือ แบบยกร่องและแบบดำนาก ฤดูกาลปลูกมี 2 ฤดู คือ ฤดูฝน จะเริ่มปลูกเดือนพฤษภาคม และฤดูแล้ง จะเริ่มปลูกตั้งแต่เดือนพฤศจิกายนถึงมกราคม (กรมวิชาการเกษตร, 2535)

ผีอกที่ปลูกในประเทศไทยมีหลายชนิด ที่รู้จักกันดีมี 4 ชนิดคือ ผีอกหอม ผีอกเหลือง ผีอกตาแดง และผีอกไม้หรือผีอกไทรหมา แต่ผีอกที่นิยมปลูกมากที่สุดและมีการปลูกกัน

ทางการค้าคือ เหงือกหอม ซึ่งเป็น dasheen type คือ เหงือกที่มีหัวขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก มีลูกเหือกหรือลูกชอดติดอยู่น้อย เมื่อต้มสุกแล้วมีกลิ่นหอม นำรับประทาน ส่วนเหือกเหลือง เหงือกตาแดง และเหือกไม้หรือเหือกไหหลำซึ่งเป็น eddoe type คือ เหงือกที่มีหัวขนาดเล็ก ไม่นิยมรับประทาน จึงไม่นิยมปลูกทางการค้า (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) แหล่งปลูกเหือกทางการค้าที่สำคัญในประเทศไทยได้แก่ เชียงใหม่ นครสวรรค์ พิจิตร พิษณุโลก สุโขทัย เพชรบูรณ์ นครราชสีมา สระบุรี สิงห์บุรี นครปฐม ราชบุรี สุพรรณบุรี เพชรบุรี กาญจนบุรี นครนายก ปราจีนบุรี และชุมพร เป็นต้น (นรินทร์ พูลเพิ่ม, 2539)

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเหือก

องค์ประกอบ 3 ใน 4 ส่วนของเหือกคือ น้ำ ส่วนประกอบหลักอื่นๆ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรตร้อยละ 26.5 อยู่ในรูปของแป้งและน้ำตาล เหือกมีปริมาณของโปรตีนร้อยละ 1.5 และมีปริมาณไขมันร้อยละ 0.2 ซึ่งจัดว่าเป็นปริมาณที่ต่ำคล้ายกับพืชหัวทั่วไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1 โดยรวมแล้วเหือกให้พลังงาน 107 กิโลแคลอรีต่อ 100 กรัม (Maga, 1992)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเหือก *Colocasia esculenta*

| องค์ประกอบ | ปริมาณ (ร้อยละ) |
|--------------|-----------------|
| ความชื้น | 70.6 |
| โปรตีน | 1.5 |
| ไขมัน | 0.2 |
| คาร์โบไฮเดรต | 26.5 |
| ใยอาหาร | 0.8 |
| เถ้า | 1.2 |

ที่มา : Maga (1992)

2.1.2.1 คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักในเหือกซึ่งอยู่ในรูปของแป้ง น้ำตาล และใยอาหาร (fiber) (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

- แป้ง เป็นคาร์โบไฮเดรตที่เป็นองค์ประกอบหลักในเปลือกมีอยู่ประมาณร้อยละ 73-80 ของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Nip, 1997) แป้งจากเปลือกมีเม็ดแป้งขนาดเล็ก ซึ่งขนาดของเม็ดแป้งจะแตกต่างกันไปตามพันธุ์ของเปลือก (Maga, 1992)

- น้ำตาล น้ำตาลที่พบในเปลือกได้แก่ กลูโคส ฟรุคโตส มอลโตส และซูโครส โดย น้ำตาลซูโครสเป็นน้ำตาลที่พบมากที่สุดคือ ร้อยละ 4.25 – 5.41 ของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด (Maga, 1992; Hussian, Norton and Neale, 1984) ปริมาณและชนิดของน้ำตาลในเปลือกขึ้นอยู่กับพันธุ์และสถานที่เพาะปลูกเปลือก (Maga, 1992)

- โยอาหาร เป็นส่วนของคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้ ประกอบด้วย Hemicellulose, Cellulose และ Pectin (Hussian, Norton and Neale, 1984) ปริมาณของโยอาหารจะแปรผันตามพันธุ์และสถานที่เพาะปลูกเปลือก (Nip, 1997)

2.1.2.2 โปรตีน

โปรตีนในส่วนที่สามารถรับประทานได้ในเปลือกมีปริมาณที่ต่ำคล้ายกับพืชหัวทั่วๆ ไปคือ ร้อยละ 1.0 – 4.5 และมีปริมาณลดลงเมื่อเปลือกมีอายุมากกว่า 6 เดือน (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538; Will และคณะ, 1983; Nip, 1997) แต่อย่างไรก็ตามพบว่าเปลือกที่ปลูกในบางสถานที่ เช่น ในหุบเขาของประเทศเปรูโตริโก มีปริมาณโปรตีนสูงถึงร้อยละ 11.7 (Nip, 1997) กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักในโปรตีนที่พบคือ อัลบูมิน มีอยู่ประมาณร้อยละ 11 ของปริมาณโปรตีนทั้งหมด (Maga, 1992) และกรดอะมิโนที่มีปริมาณค่อนข้างต่ำคือ ฮิสทีดีน ไลซีน ทรีโอนีน ไอโซลูซีน และเมไทโอนีน (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2539; Maga, 1992)

2.1.2.3 ไขมัน

เปลือกมีไขมันในปริมาณที่ต่ำมากคือ ร้อยละ 0.16 – 0.36 โดยกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ กรดปาล์มมิติก กรดโอเลอิก และกรดลิโนเลอิก

2.1.2.4 องค์ประกอบอื่นๆ

องค์ประกอบอื่นๆ ที่พบในเปลือกได้แก่ วิตามิน ส่วนใหญ่เป็นวิตามินซี หรือ ascorbic acid มี niacin อยู่ปานกลาง ส่วน riboflavin พบในปริมาณต่ำที่สุด ส่วนกรดอินทรีย์ที่พบมากที่สุดคือ malic acid รองลงมาคือ citric acid และ oxalic acid แร่ธาตุต่างๆ พบว่ามีปริมาณที่ผันแปรอย่างมากขึ้นกับพันธุ์และสถานที่เพาะปลูกเปลือก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสังกะสี พบว่ามีความผันแปรมากที่สุด (Will และคณะ, 1983; Maga, 1992)

กรดออกซาลิกที่สามารถทำให้เกิดอันตรายในคนได้ คือ 2 – 5 กรัมต่อวัน ดังนั้นการบริโภคอาหารที่มีกรดออกซาลิกในปริมาณที่ต่ำกว่านี้จึงไม่ทำให้เกิดอันตรายในคน (Macrae, Robinson and Sodler, 1993) นอกจากนี้มีรายงานว่า การบริโภคอาหารที่มีกรดออกซาลิกใน ระดับสูง คือ 2 – 30 กรัม จะเกิดอาการกระเพาะอาหารและลำไส้อักเสบและเกิดการตกเลือดอย่างเฉียบพลันจนกระทั่งถึงแก่ความตายได้ ซึ่งความรุนแรงของอาการที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับปริมาณของอาหารที่บริโภค และปริมาณของกรดออกซาลิกที่มีอยู่ในอาหารนั้น (Marais, 1997)

จากรายงานของ Muga (1992) พบว่าในหัวเผือกมีปริมาณแคลเซียมออกซาเลต 43 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม (0.43%) ส่วนณรงค์ นิยมวิทย์ (2538) รายงานว่าพบผลึกของแคลเซียมออกซาเลตร้อยละ 0.1 – 0.4 ของน้ำหนักหัวเผือกสด และ Nip (1997) รายงานว่าปริมาณรวมของออกซาเลตในหัวเผือกอยู่ในช่วงร้อยละ 2.05 – 4.21 ของน้ำหนักแห้ง จากการวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในฟลาวเผือกของ Iwuoha และ Kalu ในปี 1994 พบว่าปริมาณของแคลเซียมออกซาเลตจากเผือก 3 พันธุ์ อยู่ในช่วง 367 – 710 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัมของน้ำหนักแห้งของฟลาว (~ 0.4 – 0.7%) โดยพบว่าฟลาวจากเผือกพันธุ์ ede – ofe มีปริมาณแคลเซียมออกซาเลตสูงที่สุด คือ 710 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัมของน้ำหนักแห้งของฟลาว ฟลาวจากเผือกพันธุ์ inimbu มีปริมาณแคลเซียมออกซาเลตรองลงมา คือ 691 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัมของน้ำหนักแห้งของฟลาว ส่วนฟลาวที่มีปริมาณแคลเซียมออกซาเลตต่ำที่สุด คือ ฟลาวจากเผือกพันธุ์ coco – indian มีปริมาณ 367 มิลลิกรัมต่อร้อยกรัม ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในฟลาวเผือกที่สกัดจากเผือก 3 พันธุ์

| ฟลาวจากเผือกพันธุ์ | ปริมาณแคลเซียมออกซาเลต (มิลลิกรัมต่อร้อยกรัมของน้ำหนักฟลาวแห้ง) |
|--------------------|---|
| Coco-india (CCI) | 367 |
| Ede-ofe (EDF) | 710 |
| Inimbu (INB) | 691 |

ที่มา : Iwuoha and Kalu (1994)

การวิเคราะห์ปริมาณออกซาเลตในเหือกสามารถทำได้หลายวิธี Haung และ Tanudjaja (1992) ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณของออกซาเลตในหัวเหือก ด้วยเทคนิค HPLC (High Performance Liquid Chromatography) โดยใช้คอลัมน์ที่แตกต่างกัน คือ การใช้ anion – exchange column คือ Aminex column และ Alltech column และการใช้ Derivatized column ซึ่งการใช้ Derivatized column นี้เป็นวิธีที่ซับซ้อนและใช้เวลานานในการวิเคราะห์นาน แต่ได้ผลการวิเคราะห์ที่ดีกว่าเทคนิค HPLC โดยใช้ Aminex column และ Alltech column ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ปริมาณของออกซาเลตในเหือก 8 พันธุ์ ซึ่งปลูกในสถานที่เดียวกันพบว่าเมื่อใช้ Aminex column สามารถวัดปริมาณ soluble oxalate ได้อยู่ในช่วง 35 – 125 มิลลิกรัมต่อร้อยละของน้ำหนักเหือกสด total oxalate อยู่ในช่วง 54 – 210 มิลลิกรัมต่อร้อยละของน้ำหนักเหือกสด เมื่อใช้ Alltech column วัดปริมาณ soluble oxalate อยู่ในช่วง 43 – 156 มิลลิกรัมต่อร้อยละของน้ำหนักเหือกสด total oxalate อยู่ในช่วง 43 – 156 มิลลิกรัมต่อร้อยละของน้ำหนักเหือกสด และเมื่อวัดโดยใช้ Derivatized column วัดปริมาณ soluble oxalate อยู่ในช่วง 15 – 90 มิลลิกรัมต่อร้อยละของน้ำหนักเหือกสด total oxalate อยู่ในช่วง 41 – 150 มิลลิกรัมต่อร้อยละของน้ำหนักเหือกสด และเมื่อพิจารณาจากปริมาณของ oxalate โดยการวิเคราะห์ทั้ง 3 วิธีพบว่า เหือกพันธุ์ Pololu มีปริมาณ soluble oxalate 15 – 35 มิลลิกรัมต่อร้อยละของน้ำหนักเหือกสด และ total oxalate 41 – 54 มิลลิกรัมต่อร้อยละของน้ำหนักเหือกสด ซึ่งเป็นปริมาณมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณ oxalate ที่วิเคราะห์ได้จากเหือกทั้ง 8 พันธุ์ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ปริมาณออกซาเลตที่ละลายได้และออกซาเลตรวมในเฟือกเมื่อกวิเคราะห์ด้วยคอลัมน์ HPLC ต่างกัน

| พันธุ์ | ชนิดของ ออกซาเลต | ปริมาณออกซาเลตที่วิเคราะห์ได้ด้วย HPLC โดยการใช้ (มิลลิกรัมต่อร้อยละของน้ำหนักเฟือกสด) | | |
|----------------|---------------------|---|----------------|-----------------------|
| | | Aminex column | Alltech column | Derivatized column |
| Eleele Makoko | | | | |
| | soluble | 62 ± 4 | 45 ± 3 | 51 ± 5 |
| | total | 105 ± 8 | 82 ± 6 | 77 ± 8 |
| Haokea | | | | |
| | soluble | 74 ± 5 | 65 ± 4 | 68 ± 7 |
| | total | 122 ± 8 | 92 ± 7 | 98 ± 8 |
| Lauloa Palakea | | | | |
| | soluble | 62 ± 4 | 53 ± 3 | 59 ± 5 |
| | total | 86 ± 6 | 72 ± 4 | 78 ± 8 |
| Lehua Keokeo | | | | |
| | soluble | 67 ± 5 | 58 ± 6 | 54 ± 7 |
| | total | 121 ± 8 | 108 ± 7 | 102 ± 8 |
| Manini Opelu | | | | |
| | soluble | 43 ± 4 | 38 ± 2 | 39 ± 4 |
| | total | 122 ± 5 | 98 ± 6 | 98 ± 8 |
| Moi | | | | |
| | soluble | 48 ± 5 | 37 ± 2 | 38 ± 4 |
| | total | 211 ± 9 | 98 ± 6 | 91 ± 8 |
| Piko Eleele | | | | |
| | soluble | 87 ± 6 | 56 ± 4 | 48 ± 6 |
| | total | 210 ± 20 | 146 ± 7 | 150 ± 10 |
| Piko Ulaula | | | | |
| | soluble | 127 ± 8 | 87 ± 6 | 90 ± 10 |
| | total | 190 ± 10 | 156 ± 8 | 150 ± 10 |
| Pololu | | | | |
| | soluble | 35 ± 3 | 19 ± 2 | 15 ± 3 |
| | total | 54 ± 4 | 18 ± 2 | 41 ± 4 |

ที่มา : Huang and Tanudjaja (1992)

2.1.4 วิธีการลดปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในเหือก

การใช้ความร้อนเพื่อทำให้เหือกสุก เช่น การหุงต้ม สามารถทำลายแคลเซียมออกซาเลตได้ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) กลิ่นฉุนซึ่งเกิดจากผลึกของแคลเซียมออกซาเลตจะหมดไปเมื่อผ่านการทำให้สุกด้วยความร้อนหรือการหมัก (Lee, 2002)

Iwuoha และ Kalu (1994) ศึกษาวิธีการลดปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในฟลาวเหือก โดยใช้วิธีต่างๆ 3 วิธี เปรียบเทียบกับวัตถุดิบ (ฟลาวเหือกที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการลดปริมาณแคลเซียมออกซาเลต) วิธีที่ 1 นำเหือกสดมาแช่ในน้ำอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0.5 – 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาผลิตเป็นฟลาว วิธีที่ 2 นำเหือกสดมาต้มในน้ำอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 60 นาที ก่อนนำมาผลิตเป็นฟลาว และวิธีที่ 3 นำเหือกสดมาเผาที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 – 45 นาที ก่อนนำมาผลิตเป็นฟลาว พบว่าการต้มเป็นวิธีที่สามารถลดปริมาณแคลเซียมออกซาเลตได้มากที่สุด พิจารณาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในเหือกพันธุ์ CCI พบว่าสามารถลดปริมาณแคลเซียมออกซาเลตได้ถึงร้อยละ 67.3 หลังการต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และการเผาเหือกที่อุณหภูมิ 165 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 – 45 นาที สามารถลดได้ร้อยละ 51.5 ส่วนการแช่เหือกในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สามารถลดได้ร้อยละ 43.3 ดังตารางที่ 2.4 และเมื่อพิจารณาแล้วพบว่า การต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 40 นาที เป็นวิธีการที่สามารถลดปริมาณแคลเซียมออกซาเลตได้มากที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากส่วนของออกซาเลตที่สามารถละลายได้ในน้ำจะละลายออกมากับน้ำที่ใช้ในการต้ม และออกซาเลตบางส่วนสลายตัวเนื่องจากความร้อน

ตารางที่ 2.4 ปริมาณของแคลเซียมออกซาเลตในผักที่สภาวะต่างกัน^a

| สภาวะ | อุณหภูมิ (°C) | เวลา (นาที) | ปริมาณแคลเซียมออกซาเลต | | |
|-----------------|------------------|-------------|------------------------|------------|------------------|
| | | | CCI | EDF | INB ^b |
| ปกติ (วัดฤดูใบ) | 25 | 0 | 367 (0) | 710 (0) | 691 (0) |
| แช่น้ำ | 30 | 0-300 | - | - | 686 (0.72) |
| | | 120 | - | - | 650 (5.39) |
| | | 360 | 333 (9.26) | 628 (3.94) | 664 (3.91) |
| | | 720 | 310 (15.5) | 663 (6.62) | 617 (10.7) |
| | | 1440 | 208 (43.3) | 517 (27.2) | 501 (27.5) |
| ต้มในน้ำ | 90 | 3 | 313 (14.7) | 667 (6.06) | 606 (12.3) |
| | | 10 | 227 (38.2) | 558 (21.4) | 409 (40.8) |
| | | 20 | 127 (65.4) | 395 (44.4) | 267 (61.4) |
| | | 30 | 120 (67.3) | 327 (53.9) | 138 (80.0) |
| | | 40 | 126 (65.7) | 282 (60.3) | 124 (82.1) |
| | | 60 | --- | 151 (78.7) | --- |
| | | ย่างหรือเผา | 165 | 40-45 | 178(51.5) |

^a ค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 2 ซ้ำ (มิลลิกรัมของแคลเซียมออกซาเลต ต่อ หนึ่งร้อยกรัมของน้ำหนักฟลาวแห้ง)

ค่าในวงเล็บคือ ร้อยละของแคลเซียมออกซาเลตที่ลดลงจากปริมาณแคลเซียมออกซาเลตที่มีอยู่ในวัตถุดิบ

^b ส่วนที่นำมาใช้เป็นส่วนของหัวแกน ส่วนที่นำมาใช้ในพันธุ์อื่นๆ เป็นส่วนของหัวแขนง

ที่มา : Iwuoha and Kalu (1994)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 การสกัดสารจากเปลือก

การสกัดสารสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบ ได้แก่ การใช้น้ำในการสกัดสารจากมันสำปะหลัง รากสาคุ และมันเทศ การใช้สารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์ในการสกัดสารจากข้าวเจ้า และการใช้สารละลายกรดซัลฟูริกในการสกัดสารจากข้าวโพด เป็นต้น (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

การสกัดสารจากเปลือกสามารถทำได้โดยการใช้สารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.05 ตามวิธีของ Jane และคณะ, (1992) มีกระบวนการดังนี้ นำเปลือกสดมาผ่านเป็นชิ้นบางและอบแห้ง จากนั้นนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร แล้วจึงใช้สารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.05 สกัด โดยใช้อัตราส่วนของสารละลายไซโตเดียมไฮดรอกไซด์ 5 ส่วนต่อน้ำหนักของฟลาว 1 ส่วน ขณะที่ Moorthy, Thankamma and Unnikrishnan (1992) ซึ่งสกัดโดยการใช้สารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 0.03 โมลาร์นั้น นำเปลือกสดที่ถูกหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ มาแช่ในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้น 0.03 โมลาร์แล้วบดด้วยเครื่องบดโดยใช้ความเร็วต่ำ จากนั้นจึงนำมากรองผ่านตะแกรงขนาด 260 mesh 2 รอบ ทั้งไว้ข้ามคืนเพื่อตกตะกอนสารสี เทส่วนของสารละลายด้านบนทิ้งก่อนนำสารสีมาล้างด้วยน้ำสะอาด 2 รอบ และการสกัดด้วย เอทานอลร้อยละ 80 ตามวิธีของ Jiang and Ramsden (1999) ทำโดยนำเปลือกมาล้าง ปอกเปลือกผ่านเป็นแผ่นบาง และบดให้ละเอียดด้วยเครื่องบด จากนั้นจึงนำมาแช่ในเอทานอลร้อยละ 80 เป็นเวลา 4 ชั่วโมง และปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ 1720 x g นาน 10 นาที นำส่วนของตะกอนแบ่งที่ได้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ได้เป็นฟลาวเปลือก นำฟลาวเปลือกมาแช่ในน้ำปริมาณ 2 – 3 เท่าของปริมาณฟลาวเปลือก จากนั้นนำมาปั่นเหวี่ยงอีกครั้งที่ 14300 x g นาน 20 นาที นำส่วนของตะกอนแบ่งที่ได้อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส แล้วจึงนำมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 0.5 มิลลิเมตร

2.3 สมบัติของสตาร์ชจากเผือก

2.3.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมี เช่น ไขมันและโปรตีน มีผลต่อลักษณะและสมบัติของเม็ดแป้ง จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวจากเผือก 5 พันธุ์ที่ปลูกในสถานที่ต่างกัน โดย Godoy, Tulis and Quaves (1992) พบว่ามีองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 2.5 ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวเผือก¹

| ฟลาวจาก เผือกพันธุ์ | ปริมาณ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | | | | | |
|------------------------|-------------------------------|--------|------|--------|-------|---------|
| | สตาร์ช | น้ำตาล | เถ้า | โปรตีน | ไขมัน | ใยอาหาร |
| PRG – 062 | 58.58 | 1.79 | 1.51 | 2.57 | 2.35 | 3.80 |
| PRG – 066 | 59.33 | 1.33 | 1.98 | 2.29 | 3.02 | 4.12 |
| PRG – 068 | 56.43 | 1.02 | 2.09 | 3.52 | 2.36 | 4.53 |
| PRG – 092 | 53.71 | 1.42 | 1.99 | 2.50 | 1.66 | 4.77 |
| PGR – 337 | 54.55 | 1.26 | 2.54 | 3.11 | 1.86 | 4.04 |
| Lehua (red) | - | - | 2.3 | 2.8 | 0.8 | - |
| White | - | - | 2.0 | 3.6 | 0.7 | - |
| Niu's | - | - | 2.1 | 3.2 | 0.4 | - |

¹ ค่าที่แสดงทั้งหมดเป็นค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 3 ซ้ำ

ที่มา : Godoy และคณะ (1992) และ Tagodoe and Nip (1994)

จากตารางที่ 2.5 พบว่าฟลาวที่สกัดจากเผือกพันธุ์ PRG – 062 066 068 092 และ 337 มีปริมาณไขมันอยู่สูงคือ ร้อยละ 1.66 – 2.35 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 2.3 – 3.5 และปริมาณเถ้าร้อยละ 1.5 – 2.5 ตามลำดับ (Godoy et.al., 1992) เมื่อเปรียบเทียบกับองค์ประกอบทางเคมีของฟลาวที่สกัดจากเผือกพันธุ์ Lehua White และ Nui's ซึ่งปลูกในสถานที่ต่างกันโดย Tagodoe และ Nip (1994) พบว่ามีปริมาณไขมันร้อยละ 0.4 – 0.8 ปริมาณโปรตีนร้อยละ 2.8 – 3.6 และปริมาณเถ้าร้อยละ 2.0 – 2.3 ส่วนปริมาณสตาร์ชพบว่ามีอยู่ในช่วงร้อยละ 53.7 – 59.3 ซึ่งจัดว่ามีปริมาณต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ฟลาวจากเผือก 5 พันธุ์ที่ปลูกในสถานที่ต่างกันของ Jane และคณะ (1992) ที่พบว่ามีปริมาณสตาร์ชสูงถึงร้อยละ 72.5 – 77.7 แต่มีปริมาณของสตาร์ชที่สกัดได้อยู่ในช่วงใกล้เคียงกันคือ ร้อยละ 51.4 – 57.9 ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ปริมาณสตาร์ชของฟลาวเฝือก

| พันธุ์ | ปริมาณสตาร์ชที่มีในฟลาว ^a (ร้อยละ) | ปริมาณสตาร์ชที่สกัดได้ ^b (ร้อยละ) |
|--------------|--|---|
| Bun-long | 75.1 ± 1.5 | 57.9 ± 3.2 |
| Dasheen | 73.0 ± 0.5 | 57.1 ± 3.1 |
| Hawaii Red | 76.1 ± 1.6 | 51.4 ± 3.3 |
| Hawaii White | 73.6 ± 0.3 | 52.8 ± 3.0 |
| Nui'e | 75.3 ± 0.9 | 56.5 ± 2.1 |

^aค่าเฉลี่ยจากผลการทดลอง 2 ซ้ำ

^bค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ที่มา : Jane และคณะ (1992)

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชจากฝือก 3 พันธุ์ที่ปลูกในสถานที่ต่าง ๆ กัน คือ พันธุ์ Uramata และ พันธุ์ Iliuaua ปลูกที่ฮาวาย ส่วนพันธุ์ Globulitera ปลูกที่ฟลอริดา โดย Goering และ Dehaas (1972) พบว่ามีปริมาณโปรตีนร้อยละ 0.33 – 0.65 ไขมันร้อยละ 0.25 – 0.37 และเถ้าร้อยละ 0.20 – 0.48 ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชฝือก

| องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ) | ฝือกพันธุ์ | | |
|-------------------------------|------------|---------|-------------|
| | Uramata | Iliuaua | Globulitera |
| โปรตีน | 0.33 | 0.33 | 0.65 |
| ไขมัน | 0.25 | 0.42 | 0.37 |
| เถ้า | 0.39 | 0.48 | 0.20 |

ที่มา : Goering and Dehaas (1972)

Jane และคณะ (1992) พบว่าฝือก (Dasheen และ Niu's) ที่ปลูกในแถบพื้นที่แห้งแล้งมีปริมาณของไนโตรเจนสูงกว่าฝือก (Bunlong, Hawaii Red และ Hawaii White) ที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มชื้น นอกจากนี้พบว่าฝือก 5 พันธุ์ที่ศึกษามีปริมาณไขมันร้อยละ 0.24 – 0.52 ซึ่งใกล้เคียง

เคียงกับผลการวิเคราะห์ของ Goering และ Dehaas (1972) ที่พบว่าสตาร์ชฝือกมีปริมาณไขมันร้อยละ 0.25 – 0.42

จากการเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของฟลาวจากฝือกกับฟลาวจากพืชชนิดอื่นๆ พบว่าฟลาวจากฝือกมีปริมาณโปรตีน ไขมัน และเถ้าสูงกว่าฟลาวจากพืชหัวชนิดอื่นๆ เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง และมันเทศ (ตารางที่ 2.8)

ตารางที่ 2.8 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวจากพืชหัวต่างชนิด

| ชนิดฟลาว | ความชื้น (%) | ไขมัน (%) | โปรตีน (%) | เถ้า (%) |
|-------------|--------------|-----------|------------|----------|
| มันฝรั่ง | 19 | 0.05 | 0.06 | 0.40 |
| มันสำปะหลัง | 13 | 0.10 | 0.10 | 0.20 |
| มันเทศ | 13 | 0.40 | - | 0.20 |

ที่มา : ดัดแปลงจาก Swinkels (1985)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.2 ปริมาณอะมิโลสและอะมิโลเพคติน

แป้งประกอบด้วยอะมิโลสและอะมิโลเพคตินซึ่งเป็นโพลีเมอร์ของกลูโคส อะมิโลสคือโพลีเมอร์ที่มีลักษณะเป็นสายตรง และอะมิโลเพคตินคือโพลีเมอร์ที่มีลักษณะเป็นกิ่ง แป้งจากแหล่งต่างกันจะมีอัตราส่วนของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินแตกต่างกัน ซึ่งทำให้สมบัติของแป้งแต่ละชนิดต่างกัน

โดยทั่วไปอะมิโลสประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2000 หน่วยที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage แป้งจากรากและหัวมีปริมาณอะมิโลสต่ำคือมีประมาณร้อยละ 20 อะมิโลสในแป้งแต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลและ degree of polymerization (DP) ที่แตกต่างกันไป Doremus, Crenshaw และ Thurber (1951) รายงานว่าปริมาณและขนาดโมเลกุลของอะมิโลสเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน โดยแป้งที่มีอะมิโลสอยู่มากจะเกิดรีโทรเกรเดชันได้มากและเร็วกว่าแป้งที่มีอะมิโลสน้อย เช่น แป้งจากธัญพืชมีอะมิโลสมากกว่าแป้งจากพืชหัว ทำให้มีการเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดีกว่าแป้งจากพืชหัว และโมเลกุลของอะมิโลสขนาดปานกลางจะเกิดการรีโทรเกรเดชันเร็ว เนื่องจากโมเลกุลขนาดใหญ่ต้องการเวลาในการยึดจับกันที่นานกว่า ส่วนโมเลกุลที่มีขนาดเล็กจะมีการเคลื่อนไหวแบบ Brownian อยู่ตลอดเวลาจนไม่สามารถยึดจับกันได้ สตารซ์จากเผือกจัดว่ามีปริมาณของอะมิโลสต่ำโดยจากผลการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของสตารซ์จากเผือกจำนวน 10 พันธุ์ที่ปลูกในสถานที่เดียวกันของ Moorthy และคณะ (1992) พบว่ามีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 14.0 – 19.4 และผลการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสใน chinese taro ของ Jane และคณะ (1999) พบว่ามีปริมาณ อะมิโลสร้อยละ 13.8 ส่วนผลการวิเคราะห์สตารซ์จากเผือก 5 พันธุ์ที่ปลูกในสถานที่ต่างกันของ Jane และคณะ (1992) พบว่าปริมาณอะมิโลสเมื่อวัดโดยวิธี Iodine potentiometric titration (IPT) อยู่ในช่วงร้อยละ 19 – 22 และเมื่อวัดโดย Gel Permeation Column Chromatography (GPC) อยู่ในช่วงร้อยละ 19 – 24 ดังตารางที่ 2.9 ซึ่งเป็นปริมาณที่ใกล้เคียงกันกับสตารซ์มันฝรั่ง (ประมาณร้อยละ 20) แต่ต่ำกว่าสตารซ์ข้าวโพด (ร้อยละ 28 – 30) และมี DP อยู่ในช่วง 150 – 550 ซึ่งต่ำกว่าสตารซ์มันฝรั่ง (DP 1500) และสตารซ์ข้าวโพด (DP 667)

ตารางที่ 2.9 ปริมาณอะมิโลสในสตารซ์เผือกต่างพันธุ์^a

| พันธุ์ | ปริมาณอะมิโลส (ร้อยละ) ที่วัดด้วยวิธี | |
|--------------|---------------------------------------|------------------|
| | IPT ^b | GPC ^c |
| Bun-long | 22.1 ± 0.1 | 23.5 ± 0.9 |
| Dasheen | 22.2 ± 0.3 | 24.3 ± 0.8 |
| Hawaii Red | 18.1 ± 0.1 | 19.8 ± 0.9 |
| Hawaii White | 18.5 ± 0.2 | 19.2 ± 0.9 |
| Niu'e | 19.6 ± 0.2 | 20.1 ± 0.8 |

^aค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

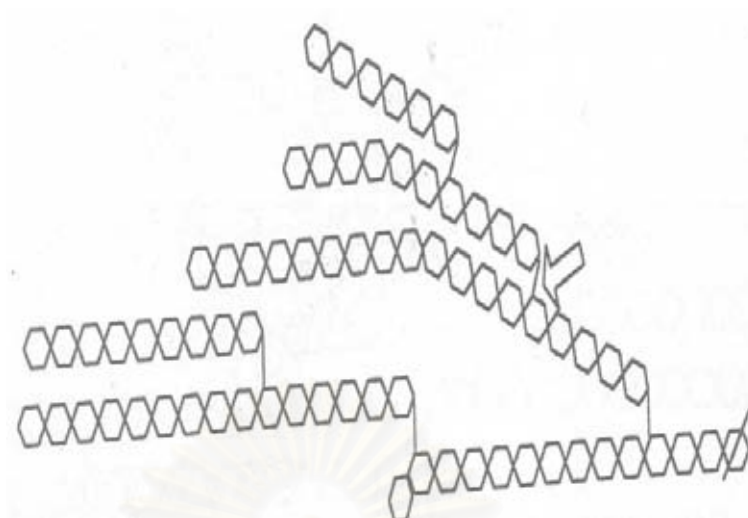
^bIodine potentiometric titration

^cGel permeation column chromatography using Sepharose CL-2B gel.

ที่มา : Jane และคณะ (1992)

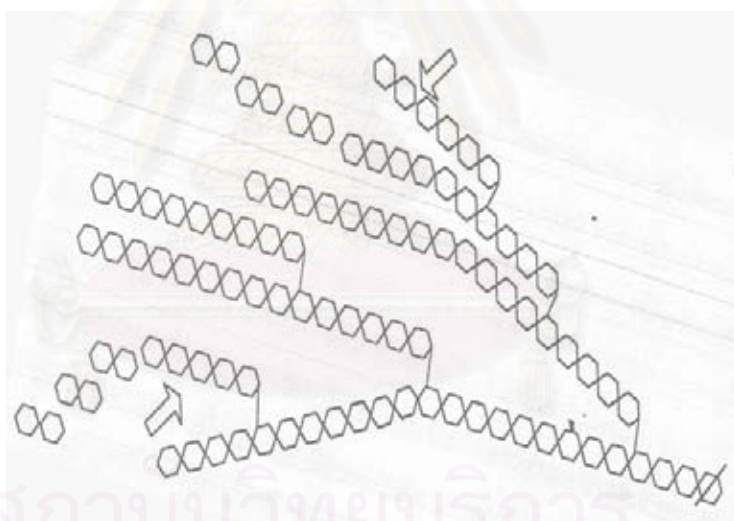
อะมิโลเพคตินเป็นโพลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส โดยส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage และส่วนของกิ่งที่เป็นโพลิเมอร์กลูโคสสายสั้น เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage ซึ่งส่วนนี้จะมีอยู่ประมาณร้อยละ 5 ของ ปริมาณหน่วยกลูโคสในอะมิโลเพคตินทั้งหมด อะมิโลเพคตินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1000 เท่าของอะมิโลสและมีอัตราการเกิดรีโพรเกรเดชันต่ำเนื่องจากมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง

การวิเคราะห์โครงสร้างของอะมิโลเพคตินสามารถทำได้โดยอาศัยการทำงานของ เอนไซม์ที่มีความจำเพาะต่อพันธะต่างๆในโมเลกุลของอะมิโลเพคติน ที่สำคัญคือ debranching enzymes ที่สามารถย่อยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage ได้ คือ เอนไซม์ pullulanase หรือ isoamylase และใช้เอนไซม์ β -amylase ที่สามารถย่อยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage จากปลายส่วนที่เป็น non-reducing ได้เป็นน้ำตาลมอลโตส และ มอลโตไตรออส แสดงการทำงานของเอนไซม์ดังรูปที่ 2.2 – 2.3 หลังจากการตัดโมเลกุลของแป้ง โดยใช้เอนไซม์ต่างๆ ดังกล่าวแล้วจะตรวจสอบปริมาณน้ำตาลทั้งหมดและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ซึ่ง จากนั้นนำมาคำนวณค่าต่างๆดังนี้ ความยาวสายเฉลี่ยของสายอะมิโลเพคติน (CL) เปอร์เซ็นต์ เมต้าอะมิโลไลซิส (% beta-amylolysis) ความยาวสายภายนอกโดยเฉลี่ยของอะมิโลเพคติน (exterior chain length : ECL) และ ความยาวสายภายในโดยเฉลี่ยของอะมิโลเพคติน (interior chain length : ICL) (Manners, 1989 ; กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)



รูปที่ 2.2 การทำงานของเอนไซม์ Isoamylase

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)



รูปที่ 2.3 การทำงานของเอนไซม์ β -amylase

ที่มา : กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543) รายงานว่าในแป้ง ข้าว
เจ้า ข้าวเหนียว มันสำปะหลัง และมันฝรั่ง สายอะมิโลเพคตินส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 80 – 90

ประกอบด้วยกลุ่มเดี่ยวๆ และส่วนอีกประมาณร้อยละ 10 – 20 จะเป็นส่วนที่เชื่อมต่อกันของแต่ละกลุ่ม โดยในแต่ละกลุ่มประกอบไปด้วยสายประมาณ 22 – 25 สาย ทำให้เกิดเป็นส่วนผลึกของเม็ดแป้ง โดยการจับกันเป็นกลุ่มของอะมิโลเพคตินทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) ซึ่งช่วยให้เม็ดแป้งมีความคงทนต่อการทนปฏิกิริยาด้วยกรดและเอนไซม์ สมบัติทางโครงสร้างของ อะมิโลเพคตินของแป้งชนิดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.10 คุณสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพคตินของแป้งต่างๆ

| แหล่งแป้ง | ปริมาณ | ความยาว | ความยาวสาย | ความยาวสาย |
|---------------|--------------------------|-----------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| | อะมิโลเพคติน (ร้อยละ) | สายเฉลี่ย (CL_{avg}) | ภายนอกเฉลี่ย (ECL_{avg}) | ภายในเฉลี่ย (ICL_{avg}) |
| แป้งสาลี | 72 | 19 | 13 | 5 |
| แป้งข้าวโพด | 72 | 22 | 15 | 6 |
| แป้งข้าวเจ้า | 83 | | | |
| Indica (IR36) | | 21 | 14 | 6 |
| Janponica | | 19 | 13 | 5 |
| Waxy Rice | | 18 | 12 | 5 |
| แป้งมันฝรั่ง | 79 | 24 | 15 | 8 |

ที่มา : ดัดแปลงจาก กล้าณรงค์ และ เกื้อกุล (2543)

Jane และคณะ (1999) รายงานว่าสตาร์ชที่มีความยาวสายของอะมิโลเพคตินที่สั้นกว่าจะมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลาติไนเซชันต่ำกว่า และสตาร์ชที่มีความยาวสายของอะมิโลเพคตินที่ยาวกว่าจะมีค่าเอนทัลปี สูงกว่า

2.3.3 ขนาด รูปร่าง และลักษณะของเม็ดแป้ง

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปของเม็ดแป้ง (granule) ขนาดเล็ก สามารถตรวจสอบเพื่อคุณลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่างๆ ได้โดยใช้กล้องจุลทรรศน์และ Scanning Electron Microscope (SEM)

สตาร์ชจากเผือกจัดว่าเป็นพืชที่มีเม็ดแป้งขนาดเล็ก จากการให้ SEM ตรวจสอบเม็ดแป้งของสตาร์ชจากเผือก พบว่าเม็ดแป้งมีหลายเหลี่ยมและขนาดไม่สม่ำเสมอ และจากการตรวจสอบสตาร์ชที่สกัดจากเผือก 5 พันธุ์ในสถานที่ต่างกัน (Jane et.al., 1992) พบว่าสตาร์ชเผือกที่มีขนาดของเม็ดแป้งเล็กโดยมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในช่วง 1.8 – 6.9 μm (ตารางที่ 2.11) ซึ่งเม็ดแป้งของสตาร์ชจากเผือกทั้ง 5 พันธุ์ มีขนาดเล็กกว่าสตาร์ชมันฝรั่ง (30 – 100 μm) และ สตาร์ชข้าวโพด (5 – 25 μm) (Manginat และ Seib , 1992) โดยมีขนาดใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวเจ้า (3 – 8 μm) (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

ตารางที่ 2.11 ขนาดเม็ดแป้งของสตาร์ชเผือกจากการตรวจวัดโดยเครื่อง Image Analyzer^a

| พันธุ์ | พื้นที่ (ตารางไมครอน) | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ไมครอน) | | ความยาวของ เส้นรอบวง (ไมครอน) |
|--------------|--------------------------|--------------------------------|-------------|-------------------------------------|
| | | ใหญ่ที่สุด | เล็กที่สุด | |
| Bun-long | 57.4 ± 2.92 | 3.08 ± 0.83 | 2.55 ± 0.78 | 2.60 ± 0.73 |
| Dasheen | 12.16 ± 6.99 | 4.26 ± 1.33 | 3.69 ± 1.21 | 3.76 ± 1.18 |
| Hawaii Red | 7.43 ± 3.33 | 3.40 ± 0.76 | 2.94 ± 0.71 | 3.00 ± 0.68 |
| Hawaii White | 7.01 ± 3.91 | 3.27 ± 1.00 | 2.85 ± 0.09 | 2.86 ± 0.86 |
| Niu'e | 9.20 ± 5.90 | 3.72 ± 1.11 | 3.18 ± 1.09 | 3.26 ± 1.05 |

^aค่าเฉลี่ยจาก 200 แกรนูล

ที่มา : Jane และคณะ (1992)

Goering และ Dehaas (1972) พบว่าสถานที่เพาะปลูกที่แตกต่างกันอาจมีผลทำให้ขนาดและการกระจายขนาดของสตาร์ชเผือกแตกต่างกัน โดยนักวิจัยดังกล่าวได้ศึกษาขนาดและการกระจายขนาดของสตาร์ชจากเผือก 12 พันธุ์ พบว่าสามารถจัดแบ่งสตาร์ชจากเผือกตามขนาดของเม็ดแป้งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีเม็ดแป้งขนาดเล็ก อยู่ในช่วง 1.5 – 4.0 μm และกลุ่มที่มีเม็ดแป้งขนาดใหญ่อยู่ในช่วง 2.0 – 6.6 μm ซึ่งสตาร์ชเผือกที่มีเม็ดแป้งขนาดใหญ่นี้มี 4 พันธุ์ โดยมี 3 พันธุ์ที่ปลูกในสถานที่เดียวกันส่วนอีก 1 พันธุ์นั้นปลูกต่างสถานที่กัน (ตารางที่ 2.12)

นอกจากนี้ Moorthy และคณะ (1992) พบว่าสตาร์ชเปลือกที่สกัดจากเปลือกพันธุ์ต่างๆ 10 พันธุ์ ได้แก่ C-9, C-46, C-62, C-149, C-189, C-216, C-218, C-220, C-266 และ C-304 ซึ่งปลูกในสถานที่เดียวกันมีขนาดและการกระจายขนาดที่แตกต่างกันโดยเม็ดแป้งที่มีขนาดใหญ่ที่สุดมี ค่าเฉลี่ย 5.19 μm และเม็ดแป้งที่มีขนาดเล็กที่สุดมีค่าเฉลี่ย 2.96 μm ส่วนการกระจายขนาดของเม็ดแป้งพบว่าปริมาณของเม็ดแป้งขนาดเล็กที่อยู่ในช่วง 1.6 – 2.5 μm มากกว่าร้อยละ 60 โดยพบการกระจายในลักษณะนี้ในเปลือก 9 พันธุ์ จาก 10 พันธุ์

ตารางที่ 2.12 ขนาดของเม็ดแป้งจาก *Colocasia esculenta*

| พันธุ์ | ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (ไมครอน) | | |
|-------------|--------------------------------|---------|------------|
| | เล็กที่สุด | กลาง | ใหญ่ที่สุด |
| Uramata | 0.5 | 1.5-4.0 | 6.5 |
| Yen No. 608 | 0.75 | 2.0-4.0 | 5.5 |
| Yen No. 606 | 1.0 | 1.5-2.5 | 4.0 |
| Yen No. 830 | 0.6 | 1.5-3.0 | 3.0 |
| Miyako | 1.5 | 2.5-6.5 | 7.5 |
| Bun-long | 1.0 | 3.0-6.6 | 7.5 |
| Yen No. 610 | | | ... |
| Yen No. 612 | 1.0 | 1.5-3.5 | 4.1 |
| Poitere | 1.5 | 2.0-5.0 | 6.0 |
| Lliuaua | 0.75 | 1.5-3.0 | 3.5 |
| Globulitrea | 1.0 | 2.0-5.5 | 7.5 |

ที่มา : Goering and Dehaas (1972)

2.3.4 โครงร่างของผลึก

เม็ดแป้งมีโครงสร้างเป็น semi - crystalline ที่เกิดจากการจัดเรียงตัวกันของอะมิโลสและอะมิโลเพคตินทั้งในส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐานของเม็ดแป้ง ซึ่งเม็ดแป้งมีลักษณะโครงร่างผลึก 3 แบบ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ (double helices) ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A (A - type starch) ได้แก่ แป้งจากธัญพืช ถ้าเรียงตัวกันหลวมๆ จะเกิดเป็นผลึกแบบ B (B - type starch) ได้แก่ แป้งจากพืช

หัว และถ้าเกิดการเรียงตัวผสมทั้งแบบ A และ B รวมกัน จัดเป็นผลึกแบบ C (C – type starch) ได้แก่ แป้งจากพืชตระกูลถั่ว สามารถตรวจสอบชนิดโครงสร้างของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิค wide angle X-ray diffraction (WAXS) แป้งที่มีโครงสร้างผลึกต่างกันจะให้แบบของ X-ray diffraction ต่างกัน เนื่องจากโครงสร้างของผลึกที่ต่างกันจะทำให้ลักษณะการกระจายตัวของแสง X-ray ต่างกัน

จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชเผือก 5 พันธุ์ ที่ปลูกในสถานที่ต่างกัน โดยใช้ X-ray diffraction พบว่ามีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ A - type ทั้งหมด (Jane และคณะ, 1992) แสดงว่าสตาร์ชเผือกมีโครงสร้างผลึกที่จัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นเหมือนกับโครงสร้างผลึกที่พบในธัญพืช

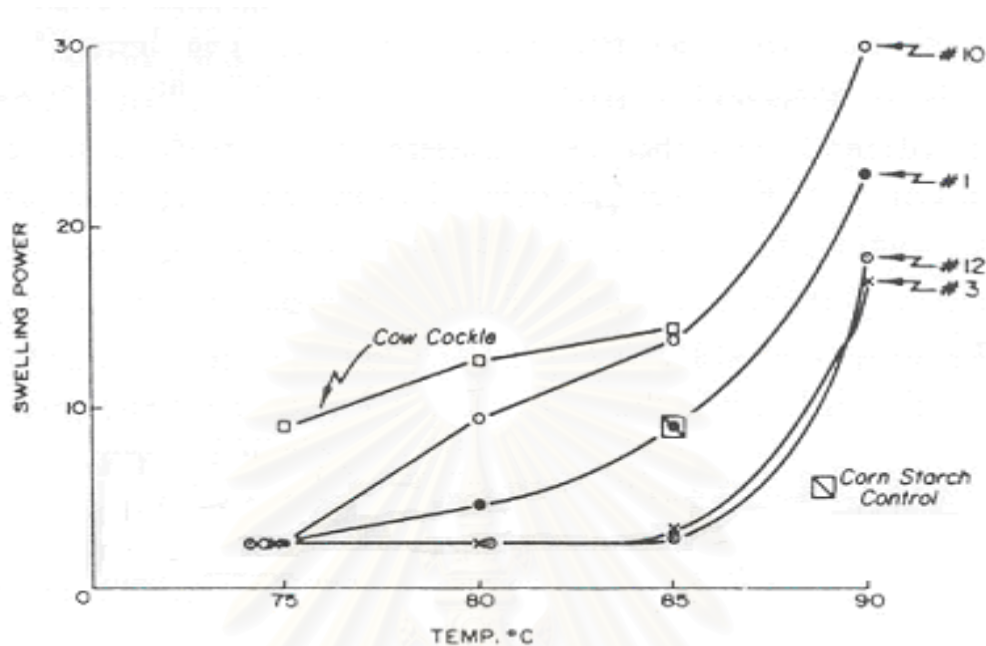
2.3.5 กำลังการพองตัวและการละลาย

แป้งดิบจะไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่เกิดเจลาติไนเซชัน เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจน ซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆกัน หรือ water bridges แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงกว่าช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนเซชัน พันธะไฮโดรเจนจะถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำจะเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืดและความใสเพิ่มขึ้น เม็ดแป้งสูญเสียลักษณะ birefringence กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาตรหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำต่อน้ำหนักแห้งของแป้ง สำหรับความสามารถในการละลายจะแสดงเป็นร้อยละของน้ำหนักของแข็งทั้งหมดในสารละลายที่สามารถละลายได้ ซึ่งกำลังการพองตัวและการละลายของเม็ดแป้งแต่ละชนิดจะมีค่าที่แตกต่างกันไป (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

กำลังการพองตัวของสตาร์ชจากเผือกจะขึ้นกับพันธุ์ของเผือกโดยสตาร์ชที่สกัดจากเผือก 10 พันธุ์ มีค่าอยู่ในช่วง 25 – 60 มิลลิลิตรต่อกรัมน้ำหนักแห้งของสตาร์ช (Moorthy และคณะ, 1992)

เมื่อเปรียบเทียบกำลังการพองตัวของสตาร์ชจากเผือก 4 พันธุ์ กับสตาร์ชจาก cow cockle และสตาร์ชข้าวโพด พบว่าความสามารถในการละลายของสตาร์ชจากเผือกมีค่าต่ำกว่า cow cockle ในทุกอุณหภูมิ นอกจากนี้ยังพบว่าสตาร์ชจากเผือก 2 พันธุ์ คือ Dasheen 3 และ 12 มีค่าการละลายต่ำและมีกำลังการพองตัวอยู่ในช่วงที่แคบกว่าสตาร์ชจากเผือกอีก 2 พันธุ์ คือ Dasheen 1 และ 10 ซึ่งอาจเกิดจากขนาดเม็ดแป้งของสตาร์ช Dasheen12 และ 3 มีขนาด

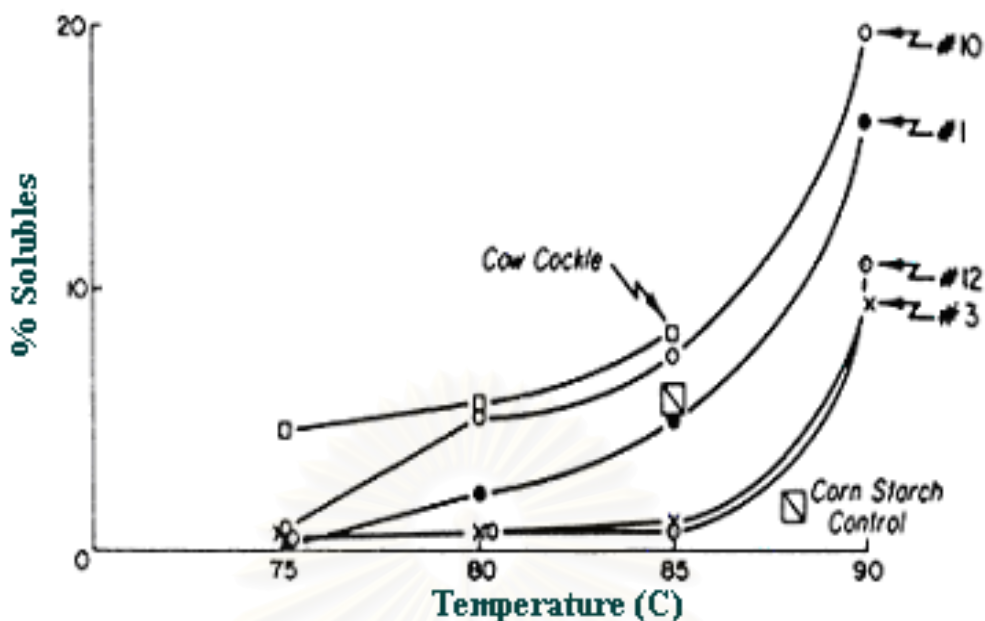
ใหญ่กว่าจึงทำให้ค่ากำลังการพองตัวและค่าการละลายอยู่ในช่วงที่แคบกว่าสตาร์ช Dasheen 1 และ 10 ดังรูปที่ 2.4 และ 2.5 (Goering and Dehaas, 1972)



□ : Cow Cockle, ● : Dasheen # 1, X : Dasheen # 3, ○ : Dasheen #10, ⊕ : Dasheen # 12

รูปที่ 2.4 กำลังการพองตัวของสตาร์ชเผือกเปรียบเทียบกับสตาร์ช cow-cockle และสตาร์ชข้าวโพด
ที่มา : Goering และ Dehaas ,1972

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



□ : Cow Cockle, ● : Dasheen # 1, X : Dasheen # 3, ○ : Dasheen #10, ⊖ : Dasheen # 12,

รูปที่ 2.5 การละลายของสตาร์ชเผือกเปรียบเทียบกับสตาร์ช cow-cockle และสตาร์ชข้าวโพด

ที่มา : Goering และ Dehaas, 1972

2.3.6 สมบัติทางด้านความหนืด

ความหนืดเป็นสมบัติเฉพาะตัวที่สำคัญของแป้งที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และ/หรือ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของแป้งได้แก่ ชนิดของแป้ง ขนาดของเม็ดแป้ง ปริมาณอะมิโลส การตัดแปรรูป แป้ง ความร้อนและแรงกล

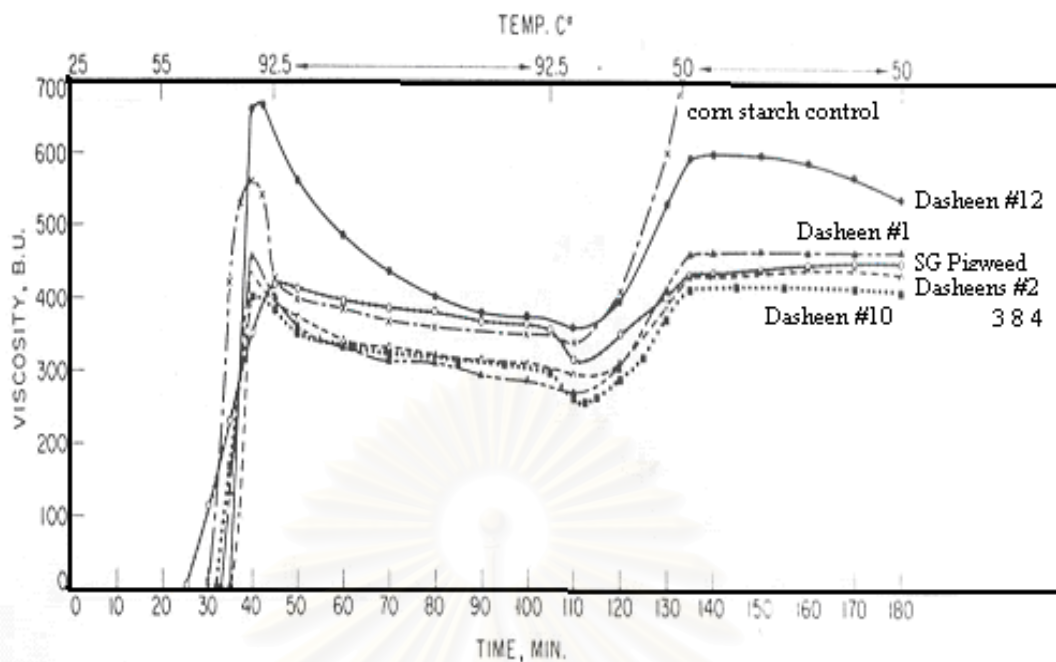
เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะดูดซึมน้ำและพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบๆ เม็ดแป้งมีปริมาณน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากและเกิดความหนืดขึ้น อุณหภูมิที่น้ำแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้นเรียกว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature) เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นความหนืดจะเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีกรวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่องจะทำให้โครงสร้างภายในแตกออก ความหนืดลดลง ต่อมาลดอุณหภูมิลงทำให้เกิดรีโทรเกรดชัน ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีก ความหนืดที่เกิดขึ้นเกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลอะมิโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

การตรวจวัดความหนืดสามารถทำได้หลายวิธี วิธีที่นิยมคือการใช้เครื่อง

Brabender Visco Amylograph ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งในระหว่างการให้ร้อน จนถึงขั้นการทำให้น้ำแป้งมีอุณหภูมิลดลง ความหนืดที่วัดได้จะอยู่ในรูป Brabender Unit (BU) อีกวิธีหนึ่งที่นิยมคือ การตรวจสอบโดยใช้ Rapid Visco Analyser (RVA) ซึ่งมีขั้นตอนการศึกษา คล้ายกับการใช้ Brabender Visco-Amylograph แต่มีความสามารถในการเปลี่ยนแปลงระดับ อุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว และแม่นยำ การรายงานผลการวิเคราะห์โดย RVA จะแสดงในรูปของ กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง มีหน่วยความหนืดเป็น RVU (กล้านรงค์ ศรีรอต และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

Goering และ Dehaas (1972) ศึกษาความหนืดของสตาร์ชเผือกเข้มชั้นร้อยละ 8 จำนวน 7 พันธุ์ที่มี 6 พันธุ์ปลูกในทีเดียวกันและอีก 1 พันธุ์ปลูกต่างสถานที่กัน เปรียบเทียบกับสตาร์ชข้าวโพดและสตาร์ชจาก pigweed โดยใช้เครื่อง Brabender Visco Amylograph พบว่า สตาร์ชจากเผือกมีอุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลงความหนืดอยู่ในช่วงประมาณ 65 – 80 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าสตาร์ชจาก pigweed (58 – 60 องศาเซลเซียส) แต่ต่ำกว่าสตาร์ชข้าวโพด (80 – 85 องศาเซลเซียส) โดยที่สตาร์ชเผือกจากแหล่งปลูกเดียวกันมีลักษณะของกราฟคล้ายกันคือ มี pasting peak ที่มีความหนืดอยู่ในช่วงประมาณ 400 – 470 BU เม็ดแป้งมีความคงตัวสูง มีค่า breakdown ต่ำ และ setback ต่ำ ต่างกับสตาร์ชเผือกที่ปลูกในแหล่งปลูกต่างกันซึ่งมีความหนืดสูงกว่าคือ มีความหนืดสูงสุดประมาณ 680 BU และเม็ดแป้งมีความคงตัวน้อยกว่า ซึ่งอาจเป็นผลจากสถานที่เพาะปลูกมีสภาวะแวดล้อมที่แตกต่างกัน แต่อย่างไรก็ตามสตาร์ชจากเผือกทั้งหมด แสดงให้เห็น peak ซึ่งอาจเป็นผลจากการที่สตาร์ชเผือกมีปริมาณของอะมิโลเพคตินสูง ผลการศึกษานี้แสดงในรูปที่ 2.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 ความหนืดของสตาร์ชเผือก 7 พันธุ์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 8 ตรวจวัดโดยเครื่อง Brabender Visco Amylograph
ที่มา : Goering และ Dehaas , 1972

Moorthy และคณะ (1992) ศึกษา pasting profile ของสตาร์ชเผือกที่สกัดได้จากเผือก 2 พันธุ์จำนวน 10 ตัวอย่าง ที่มีการควบคุมการปลูก สถานที่และการเก็บเกี่ยวเช่นเดียวกัน จากการศึกษาวิเคราะห์ความหนืดของสตาร์ชเผือกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 5 6 และ 7 พบว่าสตาร์ชเผือกเข้มข้นร้อยละ 5 มี peak viscosity ต่ำกว่า 100 BU และไม่มี breakdown สตาร์ชเผือกเข้มข้นร้อยละ 6 มี breakdown และความหนืดมากกว่าแต่ยังอยู่ในระดับต่ำคือ อยู่ในช่วง 20– 120 BU และสตาร์ชเผือกเข้มข้นร้อยละ 7 มี breakdown อยู่ในช่วง 40 – 120 BU ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชมันสำปะหลังพบว่าสตาร์ชเผือกมี breakdown ต่ำกว่า ส่วน pasting temperature ของสตาร์ชเผือกอยู่ในช่วง 80 – 86 องศาเซลเซียส ดังแสดงในตารางที่ 2.13 นอกจากนี้พบว่าสตาร์ชเผือกที่มีขนาดเม็ดแป้งเล็กกว่าจะมีค่า peak viscosity ต่ำกว่าและมีค่า pasting temperature สูงกว่าสตาร์ชเผือกที่มีขนาดเม็ดแป้งใหญ่กว่าเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชเท่ากัน

ตารางที่ 2.13 สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชเผือกตรวจวัดโดย Brabender Visco Amylograph

| เผือกพันธุ์ | ความเข้มข้น (ร้อยละ) | ค่าความหนืด (BU) | | | อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนแปลง ความหนืด (°C) |
|-------------|-------------------------|------------------|----------|------------------|---|
| | | สูงสุด | ที่ 97°C | ที่ 97°C 30 นาที | |
| C - 9 | 5 | 350 | 340 | 280 | 81-83 |
| | 6 | 600 | 640 | 480 | 81-83 |
| | 7 | 880 | 720 | 640 | 80-84 |
| C - 46 | 5 | 160 | 160 | 160 | 85-86 |
| | 6 | 230 | 230 | 210 | 83-84 |
| | 7 | 320 | 300 | 280 | 82-84 |
| C - 62 | 5 | 220 | 210 | 200 | 81-83 |
| | 6 | 380 | 360 | 300 | 81-83 |
| | 7 | 530 | 500 | 460 | 81-83 |
| C - 149 | 5 | 130 | 130 | 130 | 83-84 |
| | 6 | 220 | 200 | 170 | 83-84 |
| | 7 | 340 | 310 | 270 | 82-84 |
| C - 189 | 5 | 250 | 240 | 280 | 82-83 |
| | 6 | 440 | 390 | 330 | 81-83 |
| | 7 | 620 | 540 | 500 | 80-83 |
| C - 216 | 5 | 280 | 260 | 220 | 83-84 |
| | 6 | 460 | 410 | 360 | 82-83 |
| | 7 | 560 | 500 | 490 | 81-83 |
| C - 218 | 5 | 170 | 170 | 170 | 83-85 |
| | 6 | 320 | 310 | 290 | 82-83 |
| | 7 | 420 | 400 | 380 | 82-83 |
| C - 220 | 5 | 120 | 120 | 110 | 84-86 |
| | 6 | 240 | 230 | 190 | 84-86 |
| | 7 | 270 | 340 | 280 | 83-85 |
| C - 266 | 5 | 180 | 180 | 180 | 81-83 |
| | 6 | 320 | 310 | 290 | 81-83 |
| | 7 | 500 | 430 | 380 | 81-83 |
| C - 304 | 5 | 140 | 140 | 140 | 84-85 |
| | 6 | 300 | 290 | 280 | 83-84 |
| | 7 | 390 | 370 | 320 | 82-84 |

ที่มา : Moorthy และคณะ (1992)

จากรูปที่ 2.6 และตารางที่ 2.13 พบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากัน ความหนืดซึ่งวัดโดย Brabender Visco Amylograph ของสตาร์ชเผือกมีค่าสูงกว่าฟลาวเผือก แต่ฟลาวเผือกมี pasting temperature 76 – 80 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าสตาร์ชเผือกที่มี pasting temperature ในช่วง 70 – 75 องศาเซลเซียส เนื่องจากฟลาวเผือกมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสตาร์ชเผือก เนื่องจากโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณผิวของเม็ดแป้งทำให้น้ำไม่สามารถแพร่เข้าไปจับกับโมเลกุลของอะมิโลสได้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นโปรตีนถูกทำลายจึงทำให้ฟลาวเผือกมี pasting temperature สูงกว่าสตาร์ชเผือก เผือกต่างพันธุ์และปลูกต่างสถานที่กันก็จะมี peak viscosity และ pasting temperature ที่ต่างกัน โดย peak viscosity ของสตาร์ชเผือกเข้มข้นร้อยละ 8 มีค่าประมาณ 1400 BU ในขณะที่ trough มีค่าประมาณ 700 BU สตาร์ชที่มีปริมาณ อะมิโลสต่ำ ส่งผลให้มี peak viscosity สูง และ pasting temperature ต่ำ ส่วนสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสสูง ส่งผลให้มี peak viscosity ต่ำ และ pasting temperature สูง จึงมีความเป็นไปได้ว่าสตาร์ชที่สกัดได้จากเผือกพันธุ์ Hawaii Red และ Hawaii White ที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (18.1% และ 18.5%) ทำให้มี peak viscosity สูงกว่า และมี pasting temperature ต่ำกว่า สตาร์ชที่สกัดจากเผือกพันธุ์ Bun-long และ Dasheen ที่มีปริมาณอะมิโลสสูงประมาณ 22% (Jane และคณะ, 1992)

จากการศึกษาของ Jane และคณะ (1999) สตาร์ชเผือกที่มีความเข้มข้นร้อยละ 8 มี pasting temperature 73.1 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าสตาร์ชจากมันฝรั่ง (64.4 องศาเซลเซียส) รากบัว (67.4 องศาเซลเซียส) และมันสำปะหลัง (67.6 องศาเซลเซียส) ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์กับขนาดของเม็ดแป้งของสตาร์ชเผือกที่มีขนาดเล็กมีผลทำให้มีกำลังการพองตัวและความหนืดต่ำ นอกจากนี้ขนาดเม็ดแป้งที่เล็กกว่ามีผลทำให้ pasting temperature สูง เนื่องจากมีความแข็งแรงภายในของเม็ดแป้งสูง

นอกจากนี้ พบว่าการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกขึ้นกับ pH ของแป้งเปียก โดย Schoch (1985) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกของแป้งข้าวโพดด้วยเครื่อง Brabender Visco Amylograph พบว่า pH มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความหนืด โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง pH และความหนืดสุดท้าย พบว่าแป้งข้าวโพดมีเสถียรภาพสูงสุดที่ pH 6.0 และเมื่อ pH ของแป้งเปียกต่ำกว่า 4.5 ความหนืดจะลดลงเป็นอย่างมาก และเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งมันฝรั่ง แป้งข้าวโพด และ waxy sorghum พบว่าแป้งทั้ง 3 ชนิดเปลี่ยนแปลงความหนืดได้ง่ายในสภาพที่เป็นกรด โดยความหนืดจะลดลงอย่างมากเมื่อ pH ของแป้งเปียกต่ำกว่า 5.0 และแป้ง cross-bounded waxy sorghum มีเสถียรภาพดีโดยสามารถทนต่อ

สภาพความเป็นกรดได้ถึง pH 3.5 และที่ pH สูงกว่า 6.0 แป้งข้าวโพดและแป้ง waxy sorghum จะมีความหนืดสูงสุดต่ำกว่าความหนืดสูงสุดที่ pH 6.0

2.3.7 สมบัติทางด้านความร้อน

กระบวนการเกิดเจลลิตินในเซชันเกิดจากการให้ความร้อนกับน้ำแป้ง เมื่อได้รับความร้อนพันธะไฮโดรเจนในเม็ดแป้งจะคลายตัวลงเม็ดแป้งจะดูดน้ำแล้วพองตัว ส่วนผสมของน้ำแป้งจะมีความหนืดมากขึ้นและใสขึ้น เนื่องจากโมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากขึ้นทำให้เกิดความหนืด ซึ่งกระบวนการเกิดเจลลิตินในเซชันไม่ได้เกิดเฉพาะอุณหภูมิใดอุณหภูมิหนึ่งแต่เกิดเป็นช่วงอุณหภูมิประมาณ 8 - 12 องศาเซลเซียส (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

กระบวนการเกิดรีโทรเกรเดชัน (retrogradation) หรือการคืนตัว เกิดขึ้นเมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดเจลลิตินในเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปจะทำให้เม็ดแป้งพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่และแตกออก โมเลกุลของอะมิโลสขนาดเล็กจะกระจายออกมาทำให้ ความหนืดลดลง เมื่อปล่อยให้เย็นตัวโมเลกุลอะมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ เกิดเป็นร่างแหสามมิติโครงสร้างใหม่ที่สามารรถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำเข้ามาอีก มีความหนืดคงตัวมากขึ้นเกิดลักษณะเจลเหนียว (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

การตรวจสอบกระบวนการเจลลิตินในเซชันและรีโทรเกรเดชันสามารถตรวจสอบโดยเครื่องมือที่วัดและบันทึกปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงระหว่างกระบวนการที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันนี้คือ เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) DSC เป็นวิธีที่ง่ายสำหรับตรวจวัดอุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตินในเซชัน (onset temperature; T_0) อุณหภูมิสูงสุดในสำหรับเกิดเจลลิตินในเซชัน (peak temperature; T_p) อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลิตินในเซชัน (conclusion temperature; T_c) ของกระบวนการเกิดเจลลิตินในเซชันและค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการเกิด เจลลิตินในเซชัน ($\Delta H_{\text{gelatinization}}$) ค่าที่ได้จาก DSC จะขึ้นกับตัวแปรต่างๆ เช่น ความชื้นและอัตราการให้ความร้อน พบว่าถ้ามีอัตราการให้ความร้อนสูงจะทำให้มี $\Delta H_{\text{gelatinization}}$ ต่ำ เนื่องจากเวลาที่น้ำแพร่เข้าสู่เม็ดแป้งมีจำกัด ส่วนการวัดการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งสามารถทำได้โดยการวิเคราะห์ $\Delta H_{\text{gelatinization}}$ ของแป้งดิบ แล้วนำแป้งที่ผ่านเจลลิตินในเซชันไปต้มไว้ในสภาวะที่กำหนดเพื่อให้เกิดรีโทรเกรเดชันโดยใช้อุณหภูมิต่างๆ กัน เช่น -20, 4, 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างกันตั้งแต่ 1 ถึง 21 วัน แล้วนำแป้งที่เกิดรีโทรเกรเดชันแล้วไปตรวจสอบด้วยเครื่อง DSC อีกครั้งและบันทึกค่า $\Delta H_{\text{retrogradation}}$ เปรียบเทียบรีโทรเกรเดชันสามารถหาได้จากอัตราส่วนของเอนทาลปีของแป้งที่เกิดรีโทรเกรเดชันต่อเอนทาลปีของการเกิดเจลลิตินในเซชันของแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

Jane และคณะ (1992) ศึกษาคุณสมบัติการเกิดเจลาตินในเซชันของฟลาวและสตาร์ชเผือกโดยใช้ DSC จากผลการทดลองพบว่า ค่าอุณหภูมิที่เกิดเจลาตินในเซชันของฟลาวเผือกอยู่ในช่วง 72.3 – 79.0 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าค่าของสตาร์ชเผือกที่อยู่ในช่วง 69.1 – 74.0 องศาเซลเซียส ดังตารางที่ 2.14 และ 2.15 ซึ่งความแตกต่างนี้อาจเกิดจากการที่ฟลาวเผือกมี mucilage อยู่ และโปรตีนที่มีใน mucilage จะรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับ polysaccharide ทำให้แบ่งพองตัวได้ช้าลง เป็นสาเหตุที่ทำให้ฟลาวเผือกมี T_0 สูงกว่าและเมื่อเปรียบเทียบฟลาวเผือกและสตาร์ชเผือกที่สกัดจากเผือก 5 พันธุ์ในสถานที่ต่างกัน พบว่าทั้งสตาร์ชและฟลาวเผือกที่สกัดจากเผือกพันธุ์ Bun – long มีค่า T_0 ต่ำที่สุด โดยฟลาวมีค่า T_0 เท่ากับ 72.3 องศาเซลเซียส ส่วนสตาร์ชจากเผือกพันธุ์ Bun – long มีค่า T_0 เท่ากับ 69.1 องศาเซลเซียส ในการศึกษาการเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ชเผือก หลังการเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน พิจารณาจากค่าการเปลี่ยนแปลงค่าเอนทัลปีพบว่า สตาร์ชเผือกมีการเกิดรีโทรเกรดชันมากกว่าแป้งข้าวโพด ซึ่งอาจเกิดจากสตาร์ชเผือกมีขนาดโมเลกุลของอะมิโลสเล็ก (DP 150 – 550) ทำให้เกิดรีโทรเกรดชันดีกว่า ฟลาวและสตาร์ชเผือกที่สกัดจากเผือกพันธุ์ Bun-long ที่เกิดรีโทรเกรดชันแล้วมีค่า T_0 ต่ำที่สุด โดยฟลาวเผือกมีค่า T_0 เท่ากับ 39.0 องศาเซลเซียสและสตาร์ชเผือกมีค่า T_0 เท่ากับ 39.6 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจเกิดจากการที่ฟลาวและสตาร์ชที่สกัดจากเผือกพันธุ์ Bun-long มีอะมิโลเพคตินที่มี short branch chain length สั้นที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับฟลาวและสตาร์ชที่สกัดจากเผือกพันธุ์อื่นๆ คือมี DP ในช่วง 16.6 – 17 Jane และคณะ (1999) รายงานว่าอัตราการเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ชมีความสัมพันธ์กันกับ DP ของสายอะมิโลเพคติน โดยอะมิโลเพคตินที่มีสายสั้น (DP 6-9) มีการเกิดรีโทรเกรดชันต่ำ เนื่องจากไม่สามารถเกิดสายเกลียวคู่กับอะมิโลสหรืออะมิโลเพคตินสายยาวได้

ตารางที่ 2.14 สมบัติด้านความร้อนของฟลาวเฝือก

| ตัวอย่าง ^a | อุณหภูมิที่เกิดเจลลาติไนเซชัน ^b °C | | | $\Delta H_{\text{gelatinization}}^c$ (จูล ต่อ กรัม) |
|--------------------------------|---|------------|------------|--|
| | T_o | T_p | T_c | |
| Native flour | | | | |
| Bun-long | 72.3 ± 0.2 | 77.3 ± 0.1 | 85.6 ± 0.6 | 11.9 ± 0.2 |
| Dasheen | 78.6 ± 0.2 | 83.5 ± 0.1 | 92.4 ± 0.2 | 11.6 ± 0.1 |
| Hawaii Red | 77.4 ± 0.2 | 81.5 ± 0.2 | 90.1 ± 0.1 | 11.8 ± 0.4 |
| Hawaii White | 77.4 ± 0.2 | 81.3 ± 0.1 | 89.1 ± 0.2 | 12.0 ± 0.1 |
| Niu'e | 79.0 ± 0.0 | 83.0 ± 0.1 | 90.8 ± 0.1 | 12.2 ± 0.4 |
| Retrograded flour ^d | | | | |
| Bun-long | 39.0 ± 0.7 | 49.5 ± 0.1 | 61.4 ± 1.4 | 5.2 ± 0.6 |
| Dasheen | 46.3 ± 0.2 | 57.5 ± 0.1 | 65.7 ± 0.1 | 3.3 ± 0.1 |
| Hawaii Red | 46.2 ± 0.1 | 56.2 ± 0.6 | 65.4 ± 0.5 | 5.0 ± 0.1 |
| Hawaii White | 45.7 ± 0.5 | 57.3 ± 0.5 | 66.1 ± 0.6 | 5.6 ± 0.1 |
| Niu'e | 45.0 ± 0.1 | 57.3 ± 0.3 | 66.1 ± 0.5 | 4.7 ± 0.2 |

^a ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

^b T_o คือ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลาติไนเซชัน

T_p คือ อุณหภูมิที่ให้ความหนืดสูงสุดระหว่างการเกิดเจลลาติไนเซชัน

T_c คือ อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาติไนเซชัน

^c ค่าปริมาณความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

^d หลังการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

ที่มา : Jane และคณะ (1992)

ตารางที่ 2.15 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชเผือก

| ตัวอย่าง ^a | อุณหภูมิที่เกิดเจลลาคีในเซชัน, ^b °C | | | $\Delta H_{\text{gelatinization}}$ ^c (จูล ต่อ กรัม) |
|--------------------------------|--|------------|------------|---|
| | T_o | T_p | T_c | |
| Native flour | | | | |
| Bun-long | 69.1 ± 0.0 | 73.6 ± 0.3 | 83.0 ± 0.1 | 15.5 ± 0.1 |
| Dasheen | 74.0 ± 0.6 | 79.0 ± 0.3 | 93.1 ± 0.3 | 14.0 ± 0.3 |
| Hawaii Red | 72.0 ± 0.6 | 76.6 ± 0.6 | 89.2 ± 0.2 | 15.2 ± 0.3 |
| Hawaii White | 72.2 ± 0.8 | 78.6 ± 0.9 | 90.5 ± 1.2 | 13.6 ± 0.6 |
| Niu'e | 74.0 ± 0.5 | 77.9 ± 0.3 | 88.7 ± 0.2 | 14.2 ± 0.8 |
| Retrograded flour ^d | | | | |
| Bun-long | 39.6 ± 0.7 | 48.5 ± 0.1 | 57.7 ± 0.2 | 6.3 ± 0.6 |
| Dasheen | 45.0 ± 0.5 | 54.2 ± 0.2 | 65.9 ± 0.7 | 7.2 ± 0.4 |
| Hawaii Red | 43.2 ± 0.6 | 52.6 ± 0.6 | 63.2 ± 1.2 | 5.9 ± 1.0 |
| Hawaii White | 44.0 ± 1.0 | 54.0 ± 0.5 | 64.8 ± 0.7 | 7.3 ± 0.2 |
| Niu'e | 43.8 ± 0.2 | 53.4 ± 0.5 | 65.0 ± 0.5 | 7.3 ± 0.2 |

^a ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

^b T_o คือ อุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลลาคีในเซชัน

T_p คือ อุณหภูมิที่ให้ความหนืดสูงสุดระหว่างการเกิดเจลลาคีในเซชัน

T_c คือ อุณหภูมิสุดท้ายในการเกิดเจลลาคีในเซชัน

^c ค่าปริมาณความร้อนที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

^d หลังการเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 วัน

ที่มา : Jane และคณะ (1992)

Jane และคณะ (1999) ศึกษาสมบัติการเกิดเจลลาคีในเซชันของสตาร์ชโดยใช้เครื่อง DSC โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างสตาร์ชที่สกัดจากแหล่งต่างๆ ได้แก่ Chinese taro มันสำปะหลังและมันฝรั่ง พบว่า T_o ของสตาร์ชเผือกมีค่าสูงที่สุดคือ 67.3 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิในการเกิดเจลลาคีในเซชันสูงสุด คือ 72.9 องศาเซลเซียส ส่วน $\Delta H_{\text{gelatinization}}$ ของสตาร์ชเผือกมีค่า 15 จูลต่อกรัม ดังตารางที่ 2.16 ส่วนข้อมูล DSC ของการเกิดรีโทรเกรดเซชันพบว่า T_o ของสตาร์ชที่เกิดรีโทรเกรดเซชันหลังจากเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน มีค่าอยู่ในช่วง 40.8 – 42.5 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าค่าของสตาร์ชที่ไม่เกิดรีโทรเกรดเซชัน โดยสตาร์ชที่สกัดจาก

Chinese taro มี T_0 ต่ำที่สุดคือ 40.8 องศาเซลเซียส และเปอร์เซ็นต์การเกิดรีโทรเกรเดชันอยู่ในช่วงร้อยละ 25.3 – 43.4 โดยสตาร์ชที่สกัดจาก Chinese taro มีเปอร์เซ็นต์การเกิดรีโทรเกรเดชันเท่ากับ 32.0 ซึ่งสูงกว่าสตาร์ชมันสำปะหลังแต่ต่ำกว่าสตาร์ชมันฝรั่ง ส่วน $\Delta H_{\text{retrogradation}}$ ของ สตาร์ชจาก Chinese taro มีค่า 4.8 จูลต่อกรัม ดังแสดงในตารางที่ 2.17

ตารางที่ 2.16 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชบางชนิดตรวจวัดโดย DSC

| Type | T_0 ($^{\circ}\text{C}$) | T_p ($^{\circ}\text{C}$) | T_c ($^{\circ}\text{C}$) | $\Delta H_{\text{gelatinization}}$ (J/g) |
|--------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|
| Chinese taro | 67.3 ± 0.1 | 72.9 ± 0.1 | 79.8 ± 0.2 | 15.0 ± 0.5 |
| Tapioca | 64.3 ± 0.1 | 68.3 ± 0.2 | 74.4 ± 0.1 | 14.7 ± 0.7 |
| Potato | 58.2 ± 0.1 | 62.6 ± 0.1 | 67.7 ± 0.1 | 15.8 ± 1.2 |

ที่มา : Jane และคณะ (1999)

ตารางที่ 2.17 สมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชบางชนิดที่เกิดการรีโทรเกรเดชันตรวจวัดโดย DSC

| Type | T_0 ($^{\circ}\text{C}$) | T_p ($^{\circ}\text{C}$) | T_c ($^{\circ}\text{C}$) | $\Delta H_{\text{retrogradation}}$ (J/g) | %retrogradation |
|--------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|-----------------|
| Chinese taro | 40.8 ± 0.7 | 51.2 ± 0.2 | 57.9 ± 0.2 | 4.8 ± 0.2 | 32.0 |
| Tapioca | 42.1 ± 0.4 | 51.2 ± 0.5 | 58.8 ± 0.1 | 3.7 ± 0.0 | 25.3 |
| Potato | 42.5 ± 0.4 | 55.7 ± 0.6 | 66.9 ± 1.0 | 7.5 ± 0.3 | 43.4 |

ที่มา : Jane และคณะ (1999)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วัตถุประสงค์และวิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ลักษณะโครงสร้าง และสมบัติทางกายภาพของสตาโรลฟีนอกซีที่สกัดจากแหล่งปลูกต่างกันในประเทศไทย และขนาดหัวฟีนอกซีต่างกัน

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

3.2.1 วัสดุดิบ

เฟือกพันธุ์เฟือกหอมอายุ 6 เดือน จากเชียงใหม่ สระบุรี ตรวด และกาญจนบุรี แหล่งละ 3 ขนาด คือ ใหญ่ กลาง และเล็ก ซึ่งมีเกณฑ์ในการคัดขนาดและช่วงเวลาเก็บเกี่ยวดังตาราง 3.2

ตารางที่ 3.1 อักษรย่อที่จะใช้สำหรับเฟือกหอมสดและสตาโรลฟีนอกซีที่มาจากแหล่งปลูกและขนาดต่างกัน

| แหล่งปลูก | ขนาด | | |
|-----------|----------|----------|----------|
| | ขนาดใหญ่ | ขนาดกลาง | ขนาดเล็ก |
| เชียงใหม่ | CH:J | CH:M | CH:S |
| สระบุรี | SB:J | SB:M | SB:S |
| กาญจนบุรี | KB:J | KB:M | KB:S |
| ตรวด | TR:J | TR:M | TR:S |

ตารางที่ 3.2 เกณฑ์ในการคัดขนาดและช่วงเวลาเก็บเกี่ยวเห็ดในแต่ละแหล่งปลูก

| แหล่งปลูก | เดือนที่เก็บเกี่ยว | น้ำหนักของหัวเห็ดสด (กรัมต่อหัวเห็ดสด) | | |
|-----------|--------------------|--|----------|----------|
| | | ขนาดใหญ่ | ขนาดกลาง | ขนาดเล็ก |
| เชียงใหม่ | มกราคม | 450-1050 | 300-400 | 200-300 |
| สระบุรี | มีนาคม | 800-1100 | 400-500 | 300-400 |
| กาญจนบุรี | สิงหาคม | 675-1320 | 380-600 | 160-340 |
| ตราด | พฤษภาคม | 600-1200 | 350-500 | 200-340 |

3.2.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.2.2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของหัวเห็ดสด

นำหัวเห็ดมาล้างน้ำให้สะอาด ปอกเปลือกแล้วสับให้ละเอียด แล้วนำมาวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีโดยทำการวิเคราะห์ทุกอย่าง 3 ซ้ำ ดังนี้

3.2.2.1.1 ความชื้นโดยใช้ hot air oven ตามวิธี AOAC 925.10 (1995)

ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.1

3.2.2.1.2 โปรตีนโดยใช้ Kjeldahl ตามวิธี AOAC 920.87 (1995)

ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.2

3.2.2.1.3 ไขมันโดยวิธี Soxhlet extraction ตามวิธี AOAC 920.85

(1995) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.3

3.2.2.1.4 เส้นใย (crude fiber) ตามวิธี AOAC 978.10 (1995)

ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.4

3.2.2.1.5 เถ้าตามวิธี AOAC 923.03 (1995) ดังรายละเอียดในภาค

ผนวก ก.5

3.2.2.1.6 คาร์โบไฮเดรตตามวิธี AOAC 923.03 (1995) ดังราย

ละเอียดในภาคผนวก ก.6

3.2.2.1.7 แคลเซียมออกซาลेटตามวิธี Iwuoha และ Kalu (1994)
 ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.7

3.2.2.2 ศึกษาสารละลายที่เหมาะสมในการสกัดสตาโรซจากเปลือก และทำการสกัดสตาโรซ
 ตามวิธีที่เหมาะสม

ศึกษาการสกัดสตาโรซเปลือกหอมด้วยสารละลาย 2 ชนิด คือ น้ำ และ สาร
 ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.05

สกัดสตาโรซจากเปลือกหอม โดยดัดแปลงวิธีการสกัดจากวิธีของ Jane และ
 คณะ(1992) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยนำหัวเปลือกสดมาล้างด้วยน้ำให้สะอาด ปอกเปลือกด้วยมีด
 ฝานเป็นแผ่นบางและอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 – 45 องศาเซลเซียส นาน 20 ชั่วโมง
 จากนั้นนำเปลือกแห้งมาบดด้วย stone mill และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 35 mesh จากนั้นจึงนำไป

- แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.05 โดยใช้อัตรา
 ส่วนของเปลือกแห้ง 1 ส่วน ต่อ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 5 ส่วน เป็น
 เวลา 2 ชั่วโมง หรือ
- นำมาล้างด้วยน้ำ โดยใช้อัตราส่วนของเปลือกแห้ง 1 ส่วน ต่อ น้ำ 5 ส่วน

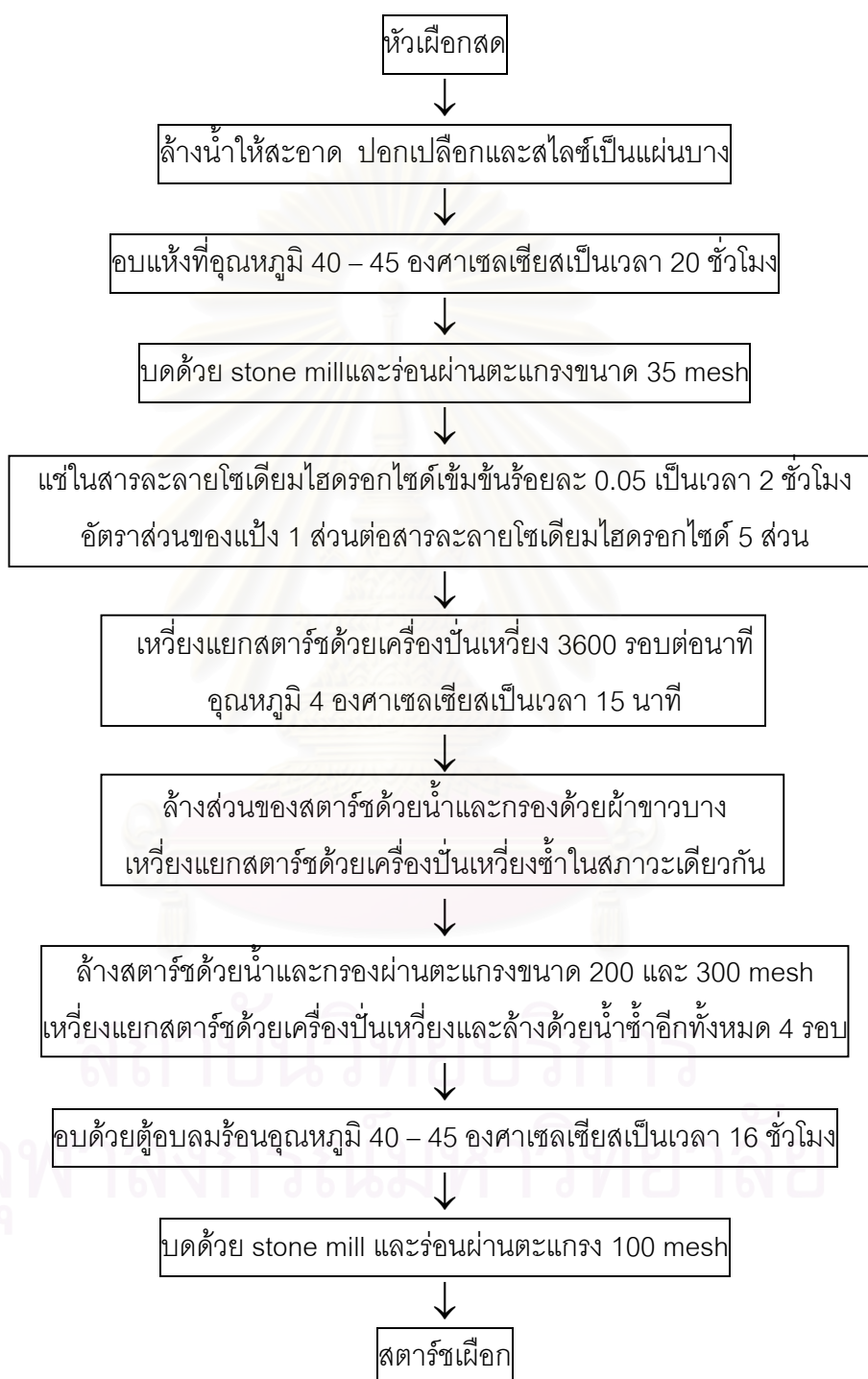
แล้วจึงแยกด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงก่อนที่จะนำของแข็งที่ได้มาล้างด้วยน้ำ และ
 กรองด้วยผ้าขาวบางแยกสตาโรซด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงอีกครั้ง แล้วจึงล้างด้วยน้ำและกรองผ่าน
 ตะแกรงขนาด 200 และ 300 mesh และนำไปปั่นเหวี่ยงเพื่อแยกสตาโรซอีกครั้ง โดยทำซ้ำทั้งหมด 4
 รอบ เมื่อได้ส่วนที่เป็นสตาโรซหลังการล้างน้ำครั้งสุดท้ายแล้วนำตะกอนไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 –
 45 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาโม่และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh ได้
 เป็นสตาโรซจากเปลือกหอม นำสตาโรซที่สกัดได้เก็บในถุงพลาสติกและเก็บไว้ใน desiccator เพื่อป้อง
 กันความชื้น

นำส่วนหนึ่งของสตาโรซที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนตามวิธีในข้อ

3.2.2.1.2 เลือกสารละลายในการสกัดที่สามารถลดปริมาณโปรตีนลงได้มากที่สุด ทำการทดลอง
 6 ซ้ำ วิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติโดยใช้ t – test

3.2.2.3 สกัดสตาร์ชเผือกหอม

สกัดสตาร์ชเผือกหอมทุกตัวอย่างด้วยวิธีการที่เลือกจากการศึกษาในข้อ 3.2.2.2



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการสกัดสตาร์ชเผือก ที่มา : Jane และคณะ (1992)

3.2.2.3 คำนวณร้อยละผลผลิตของสตาร์ชเผือกหอม

ซึ่งเผือกหอมที่ใช้และสตาร์ชเผือกหอมแต่ละตัวอย่างที่ได้จากการสกัดแต่ละครั้ง
แล้วนำมาคำนวณปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเผือกหอมตามสูตร

$$\text{ร้อยละปริมาณผลผลิต (โดยน้ำหนักแห้ง)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของสตาร์ช (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของเผือกวัตถุดิบ (กรัม)}}$$

3.2.2.4 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี โครงสร้าง และสมบัติทางกายภาพของสตาร์ช เผือกหอม

3.2.2.4.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเผือกเช่นเดียวกับการ
วิเคราะห์เผือกหอมสดตามข้อ 3.1

3.2.2.4.2 วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1971)
รายละเอียดในภาคผนวก ก.8 และ Degree of polymerization
ของอะมิโลส ดัดแปลงจากวิธีของ Reddy และ คณะ (1993)
Ong และ คณะ (1994) และ Jane และ Yoo (2002) รายละเอียดในภาค
ผนวก ก.9

3.2.2.4.3 วิเคราะห์โครงสร้างของอะมิโลเพคติน ดัดแปลงจากวิธีของ
Hood (1978) และ Manner (1989) รายละเอียดในภาค
ผนวก ก.10

3.2.2.5 วิเคราะห์โครงสร้างของสตาร์ชเผือกหอม

3.2.2.5.1 ศึกษาขนาด รูปร่าง และลักษณะของเม็ดแป้ง โดยใช้เครื่อง
Scanning Electron Microscope (SEM) รายละเอียดในภาค
ผนวก ก.11

3.2.2.5.2 โครงร่างผลึกของเม็ดสตาร์ช โดยใช้เทคนิค Wide Angle X-ray
Diffraction มุมในการวัดตั้งแต่ 5 องศา ถึง 30 องศา รายละเอียดในภาค
ผนวก ก.12

3.2.2.6 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชเผือกหอม

3.2.2.6.1 กำล้างการพองตัวและร้อยละการละลายของสตาร์ชเผือก ตาม
วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Schoch (1964) รายละเอียดในภาค
ผนวก ก.13

- 3.2.2.6.2 ศึกษาสมบัติทางด้านความหนืดของสตาร์ชเผือก โดยการใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA 4 D, Newport Scientific, Pty.Ltd) รายละเอียดในภาคผนวก ก.14
- 3.2.2.6.3 ศึกษาการเกิดเจลลิตีในเซชันและรีโทรเกรดชัน โดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) รุ่น Diamond DSC Perkin Elmer โดยดัดแปลงมาจากวิธีของ Baker และ Duarte (1995) และ Kim และคณะ (1995) รายละเอียดในภาคผนวก ก.15
- 3.2.2.6.4 ศึกษาเสถียรภาพของสตาร์ชเผือก
- 3.2.2.6.4.1 ศึกษาเสถียรภาพของสตาร์ชเผือกต่อความเป็นกรด – ต่าง โดยติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกด้วยเครื่อง RVA (RVA 4 D, Newport Scientific, Phy.Ltd.) ที่ pH 3.5, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.5 ตามวิธีของ Norbert และคณะ (1995)รายละเอียดในภาคผนวก ก.16
- 3.2.2.6.4.2 ศึกษาเสถียรภาพต่อการแช่แข็งและการละลาย ของสตาร์ชเผือก ตามวิธีของ Hoover และ Manuel (1995) รายละเอียดในภาคผนวก ก.17

โดยวิเคราะห์สตาร์ชเผือกหอมแต่ละตัวอย่าง 3 ซ้ำ

- 3.2.2.7 ผลของขนาดหัวเผือกต่อองค์ประกอบทางเคมีของเผือกหอมและสตาร์ชเผือกหอม และโครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชเผือกหอม นำผลที่วิเคราะห์ได้ในข้อ 3.2.2.1 – 3.2.2.6 มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติเนื่องจากขนาดของหัวเผือกในแต่ละแหล่งปลูกด้วย Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 10 (SPSS Inc., Chicago)
- 3.2.2.8 ผลของแหล่งปลูกต่อองค์ประกอบทางเคมีของเผือกหอมและสตาร์ชเผือกหอม และโครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชเผือกหอม นำผลที่วิเคราะห์ได้ในข้อ 3.2.2.1 – 3.2.2.6 มาคำนวณค่าเฉลี่ยจากทุกขนาดในแต่ละแหล่งปลูก เป็นค่าของแหล่งปลูกนั้นๆ แล้วนำค่าเหล่านี้มาวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติเนื่องจากแหล่งปลูกด้วย Duncan's New Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 10

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเผือกหอม

องค์ประกอบทางเคมี (ได้แก่ ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า โยอาหาร คาร์โบไฮเดรต และ แคลเซียมออกซาเลต) ของเผือกหอมขนาดต่างกัน 3 ขนาด จากแหล่งปลูกเชียงใหม่ สระบุรี กาญจนบุรี และตราด (ตารางที่ 4.1) แสดงว่า เผือกหอมมีปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีน เถ้า โยอาหาร และไขมัน อยู่ในช่วงร้อยละ 83.15 – 91.65, 4.20 – 9.28, 2.00 – 5.10, 1.07 – 3.43 และ 0.32 – 0.91 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีแคลเซียมออกซาเลตอยู่ในช่วง 284.75 – 456.17 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของเผือกหอมแห้ง เมื่อพิจารณาที่แหล่งปลูกเดียวกัน พบว่า โดยทั่วไปเผือกหอมขนาดต่างกันมีองค์ประกอบทางเคมี (ยกเว้นปริมาณแคลเซียมออกซาเลต) แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยขนาดกลางมีแนวโน้มว่ามีปริมาณ คาร์โบไฮเดรตต่ำกว่าแต่มีปริมาณโปรตีนสูงกว่าขนาดอื่น ยกเว้นเผือกหอมจากสระบุรีซึ่งมีปริมาณ คาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในเผือกหอมทั้ง 3 ขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่ไม่พบ แนวโน้มว่าขนาดที่แตกต่างกันของเผือกหอมมีผลต่อความแตกต่างของปริมาณเถ้า โยอาหาร และ ไขมันอย่างไร นอกจากนี้ยังไม่พบความแตกต่างของปริมาณไขมันในเผือกหอมขนาดต่างๆ จาก ตราด ส่วนปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในเผือกหอมขนาดต่างกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของเผือกหอม

| ตัวอย่าง | ปริมาณ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | | | | | แคลเซียมออกซาเลต (mg. / 100 g.) |
|----------|-------------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | ใยอาหาร | คาร์โบไฮเดรต | |
| CH:J | 5.57 ± 0.05 ^b | 0.55 ± 0.05 ^a | 3.92 ± 0.33 ^b | 3.21 ± 0.22 ^a | 86.75 ± 0.03 ^b | 355.48 ± 17.92 ^{ns} |
| CH:M | 7.14 ± 0.04 ^a | 0.58 ± 0.03 ^a | 4.48 ± 0.25 ^a | 2.92 ± 0.14 ^a | 84.88 ± 0.33 ^c | 354.28 ± 2.03 ^{ns} |
| CH:S | 5.18 ± 0.47 ^b | 0.35 ± 0.03 ^b | 3.35 ± 0.05 ^c | 2.02 ± 0.12 ^b | 89.09 ± 0.62 ^a | 358.52 ± 29.76 ^{ns} |
| SB:J | 7.92 ± 0.52 ^{ns} | 0.37 ± 0.02 ^b | 4.81 ± 0.38 ^a | 2.03 ± 0.10 ^a | 84.87 ± 0.45 ^{ns} | 435.78 ± 20.39 ^{ns} |
| SB:M | 8.68 ± 0.61 ^{ns} | 0.83 ± 0.03 ^a | 4.12 ± 0.07 ^b | 1.82 ± 0.03 ^b | 84.55 ± 0.56 ^{ns} | 399.56 ± 43.51 ^{ns} |
| SB:S | 8.29 ± 0.75 ^{ns} | 0.87 ± 0.08 ^a | 4.96 ± 0.14 ^a | 1.89 ± 0.05 ^b | 83.99 ± 0.84 ^{ns} | 427.41 ± 33.61 ^{ns} |
| KB:J | 5.06 ± 0.25 ^b | 0.70 ± 0.01 ^a | 4.06 ± 0.07 ^b | 1.64 ± 0.01 ^a | 88.54 ± 0.32 ^b | 366.83 ± 35.64 ^{ns} |
| KB:M | 5.79 ± 0.10 ^a | 0.66 ± 0.06 ^a | 4.51 ± 0.08 ^a | 1.66 ± 0.16 ^a | 87.38 ± 0.12 ^c | 396.94 ± 42.51 ^{ns} |
| KB:S | 4.26 ± 0.06 ^c | 0.51 ± 0.02 ^b | 2.46 ± 0.01 ^c | 1.24 ± 0.10 ^b | 91.54 ± 0.11 ^a | 368.49 ± 28.40 ^{ns} |
| TR:J | 5.45 ± 0.10 ^b | 0.36 ± 0.02 ^{ns} | 2.06 ± 0.06 ^b | 1.39 ± 0.06 ^a | 90.73 ± 0.08 ^a | 317.00 ± 32.25 ^{ns} |
| TR:M | 7.09 ± 0.68 ^a | 0.36 ± 0.00 ^{ns} | 4.05 ± 0.09 ^a | 1.09 ± 0.02 ^b | 87.41 ± 0.60 ^c | 350.13 ± 33.69 ^{ns} |
| TR:S | 5.68 ± 0.40 ^b | 0.40 ± 0.04 ^{ns} | 3.99 ± 0.09 ^a | 1.12 ± 0.05 ^b | 88.82 ± 0.28 ^b | 325.22 ± 25.21 ^{ns} |

a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

เมื่อนำค่าองค์ประกอบทางเคมีของเผือกหอมทั้ง 3 ขนาดจากแหล่งปลูกเดียวกันมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อประเมินความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีในเผือกหอมจากแหล่งปลูกที่ต่างกัน 4 จังหวัด โดยมาจากภาคละ 1 จังหวัด (ตารางที่ 4.2) พบว่าเผือกหอมจากแหล่งปลูก 4 แหล่งนี้มีองค์ประกอบทางเคมีที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยเผือกหอมจากกาญจนบุรีและตราดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด (เฉลี่ยร้อยละ 89.15 และ 88.99 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ) ขณะที่เผือกหอมจากสระบุรีมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตต่ำที่สุด แต่มีปริมาณโปรตีน เถ้า ไขมัน และแคลเซียม-ออกซาเลตสูงที่สุด ความแตกต่างขององค์ประกอบทางเคมีของเผือกหอมจากแต่ละแหล่งปลูกนั้น เนื่องมาจากแต่ละแหล่งปลูกมีดินที่มีสมบัติและสภาพของดินฟ้าอากาศที่แตกต่างกัน จากงานวิจัยของ Jane และคณะ (1992) พบว่าเผือกที่ปลูกในพื้นที่แห้งแล้งมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าเผือกที่ปลูกในพื้นที่ชุ่มชื้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในแต่ละภาคของประเทศไทยในปี 2546 ซึ่งเป็นปีที่ทำการเพาะปลูกเผือกหอมที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ (ตารางที่ 4.3) ดังนั้นจึงเป็นไปได้สูงว่าความแตกต่างของปริมาณโปรตีนในเผือกหอมจากแต่ละจังหวัดนั้นเนื่องจากปริมาณ

น้ำฝน ตามงานวิจัยของ Jane และคณะ (1992) ทั้งนี้ปริมาณโปรตีนในเปลือกหอมของแต่ละจังหวัดแปรผันเป็นส่วนกลับกับปริมาณน้ำฝนของแต่ละภาค ซึ่งเป็นที่ตั้งของจังหวัดเหล่านั้น

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของเปลือกหอมโดยเฉลี่ยจากแต่ละแหล่งปลูก

| แหล่งปลูก | ปริมาณ (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | | | | | แคลเซียมออกซาเลต (mg. / 100 g.) |
|-----------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | ใยอาหาร | คาร์โบไฮเดรต | |
| เชียงใหม่ | 5.97 ± 0.93 ^b | 0.49 ± 0.11 ^{bc} | 3.92 ± 0.53 ^{ab} | 2.72 ± 0.56 ^a | 86.90 ± 1.86 ^{ab} | 356.05 ± 17.50 ^{bc} |
| สระบุรี | 8.30 ± 0.64 ^a | 0.69 ± 0.25 ^a | 4.63 ± 0.44 ^a | 1.91 ± 0.11 ^b | 84.47 ± 0.67 ^b | 420.91 ± 33.60 ^a |
| กาญจนบุรี | 5.04 ± 0.68 ^c | 0.62 ± 0.10 ^{ab} | 3.68 ± 0.92 ^b | 1.51 ± 0.00 ^c | 89.15 ± 1.87 ^a | 377.35 ± 34.41 ^b |
| ตราด | 6.07 ± 0.87 ^b | 0.38 ± 0.00 ^c | 3.37 ± 0.98 ^b | 1.20 ± 0.15 ^d | 88.99 ± 1.48 ^a | 330.99 ± 31.50 ^c |

a, b, c และ d ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแต่ละแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยในแต่ละภาคของประเทศไทย ปี 2546

| ภาค | ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) |
|----------|-------------------------|
| เหนือ | 1200.0 |
| กลาง | 1029.6 |
| ตะวันออก | 1145.8 |
| ตะวันตก | 1282.6 |

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา , 2548

4.2 สารละลายที่เหมาะสมในการสกัดสตาร์ชและสกัดสตาร์ชจากหัวเปลือกสด

จากการทดลองสกัดโปรตีนออกจากแป้ง (flour) เปลือกหอมพบว่า การสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ทำให้ปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในสตาร์ชเปลือกหอมต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของการสกัดด้วยน้ำ (ตารางที่ 4.4) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าโปรตีนที่มีอยู่ในเปลือกหอมมีโปรตีนชนิดที่ละลายได้ในต่างสูง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้การสกัดโปรตีนออกด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 0.05 ในขั้นตอนต่อไปทั้งหมด

ตารางที่ 4.4 ปริมาณโปรตีนของสตาร์ชเฟือกหอมเปรียบเทียบระหว่างการสกัดโดยใช้น้ำกับ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.05

| วิธีการสกัด | ปริมาณโปรตีน (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) |
|---|-------------------------------------|
| น้ำ | 3.32 ± 0.08^a |
| สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.05 | 1.29 ± 0.01^b |

a, b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.3 ปริมาณผลผลิตสตาร์ชเฟือกหอมที่สกัดได้จากหัวเฟือกหอม

ผลผลิตสตาร์ชเฟือกหอมอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 25 – 58 ของน้ำหนักแห้ง (ตารางที่ 4.5) เมื่อพิจารณาที่แหล่งปลูกเดียวกัน พบว่าปริมาณผลผลิตสตาร์ชที่สกัดได้จากเฟือกหอมขนาดต่างกันจากเชียงใหม่และสระบุรีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่ปริมาณผลผลิตสตาร์ชที่สกัดได้จากหัวเฟือกหอมจากกาญจนบุรีลดลงเมื่อหัวเฟือกมีขนาดใหญ่ขึ้น ขณะที่สตาร์ชที่สกัดได้จากหัวเฟือกหอมจากตราดนั้นปริมาณผลผลิตสตาร์ชเฟือกหอมจากหัวเฟือกขนาดกลางต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณาปริมาณผลผลิตสตาร์ชเฟือกหอมจากจังหวัดต่างกัน โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของปริมาณผลผลิตจากขนาดต่างกันที่มาจากจังหวัดเดียวกัน พบว่าหัวเฟือกจากเชียงใหม่ให้ผลผลิตต่ำที่สุด คือ ประมาณร้อยละ 30.13 ± 2.94 ของน้ำหนักแห้ง และเมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตสตาร์ชเฟือกหอมกับปริมาณคาร์โบไฮเดรตในหัวเฟือก พบว่าไม่มีความสัมพันธ์กัน ซึ่งแสดงว่าปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเฟือกหอมไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณคาร์โบไฮเดรตพบในหัวเฟือกหอม ดังนั้นหัวเฟือกหอมที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงไม่จำเป็นต้องมีปริมาณผลผลิตของสตาร์ชเฟือกหอมสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ผลผลิตสตาร์ชเผือกหอม

| แหล่งปลูก | ผลผลิตสตาร์ชเผือกหอม (ร้อยละของน้ำหนักแห้ง) | | | |
|-----------|---|----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | ขนาดใหญ่ | ขนาดกลาง | ขนาดเล็ก | ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูก |
| CH | 28.03 ± 2.57 ^{ns} | 31.23 ± 2.87 ^{ns} | 31.12 ± 3.13 ^{ns} | 30.13 ± 2.94 ^C |
| SB | 37.07 ± 2.61 ^{ns} | 37.85 ± 3.65 ^{ns} | 39.16 ± 3.72 ^{ns} | 38.03 ± 3.05 ^B |
| KB | 53.25 ± 4.75 ^a | 43.57 ± 1.22 ^b | 36.82 ± 3.55 ^c | 44.55 ± 7.77 ^A |
| TR | 49.92 ± 3.1 ^a | 43.29 ± 1.66 ^b | 48.84 ± 3.92 ^a | 47.35 ± 4.06 ^A |

A,B และ C ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ในแนวนอน หมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

4.4 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเผือกหอม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเผือกหอม (ตารางที่ 4.6) พบว่าในแต่ละแหล่งปลูก สตาร์ชเผือกหอมจากหัวเผือกขนาดต่างกัันมีปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า และใยอาหารแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและแคลเซียมออกซาเลตไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยจากทั้ง 3 ขนาดของแต่ละแหล่งปลูก (ตารางที่ 4.7) พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกต่างกัันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมันในสตาร์ชสอดคล้องกับปริมาณเหล่านี้ในหัวเผือกหอมสด สตาร์ชเผือกหอมจากกาญจนบุรีและตราดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงที่สุด (97.97% และ 97.99%) ส่วนสตาร์ชเผือกหอมจากสระบุรีมีโปรตีนสูงที่สุด (1.72%) ขณะที่สตาร์ชเผือกหอมจากกาญจนบุรีมีโปรตีนต่ำสุด (0.92%) ปริมาณไขมันของสตาร์ชเผือกหอมจากสระบุรีและกาญจนบุรีมีปริมาณสูงที่สุด (0.20% และ 0.22%) ส่วนปริมาณเถ้าของสตาร์ชเผือกหอมพบว่าไม่สอดคล้องกับที่พบในเผือกหอมสด โดยเผือกหอมสดจากสระบุรีมีปริมาณเถ้าสูงที่สุด (4.63%) แต่กลับมีเถ้าในสตาร์ชเผือกหอมในปริมาณที่ต่ำ (0.23%) ซึ่งต่ำกว่าของสตาร์ชเผือกหอมจากตราดซึ่งมีปริมาณเถ้าในสตาร์ชสูงที่สุด (0.32%) ทั้งที่เผือกหอมสดจากตราดมีปริมาณเถ้าต่ำสุด (3.37%) ผลนี้บ่งชี้ว่าเผือกจากสระบุรีมีแร่ธาตุชนิดที่ละลายน้ำได้ดีกว่า และ/หรือมีปริมาณแร่ธาตุที่ละลายน้ำได้มากกว่าเผือกจากตราด ซึ่งทำให้ปริมาณเถ้าของสตาร์ชต่ำสุดภายหลังการสกัด เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชจากพืชหัวชนิดอื่นๆ พบว่าสตาร์ชเผือกหอมมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าสตาร์ชจากพืชหัวชนิดอื่น โดยมีปริมาณโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.7 - 1.7 ในขณะที่พืชหัวชนิดอื่นๆ เช่น ปริมาณโปรตีนในสตาร์ชมันฝรั่งและสตาร์ชมันสำปะหลังมีร้อยละ 0.06 และ 0.1 ตามลำดับ (Swinkels, 1985) โดยปริมาณของโปรตีนในสตาร์ชเผือกหอมแปรผันตามปริมาณโปรตีนในวัตถุดิบ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณแคลเซียมออกซาเลตในสตาร์ชเผือกหอมน้อยกว่าในหัวเผือกสดถึงร้อยละ 43.3 - 54.9 เนื่องจากการแช่หัวเผือกสดในน้ำสามารถลดปริมาณแคลเซียมออกซาเลตได้ (Iwuoha และ Kalu, 1994)

ตารางที่ 4.6 องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเผือกหอม

| ตัวอย่าง | ความชื้น | ร้อยละของน้ำหนักแห้ง | | | | | แคลเซียมออกซาลเลต (mg. / 100 g.) |
|----------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------|-------------------------------------|
| | | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | ใยอาหาร | คาร์โบไฮเดรต | |
| CH:J | 11.73 ± 0.69 ^a | 1.09 ± 0.13 ^b | 0.16 ± 0.01 ^a | 0.14 ± 0.01 ^c | 0.57 ± 0.06 ^b | 98.03 ± 0.11 ^{ns} | 183.9 ± 3.97 ^{ns} |
| CH:M | 10.97 ± 0.41 ^{ab} | 1.46 ± 0.24 ^a | 0.18 ± 0.01 ^a | 0.28 ± 0.02 ^b | 0.92 ± 0.06 ^a | 97.16 ± 0.06 ^{ns} | 188.91 ± 2.09 ^{ns} |
| CH:S | 10.87 ± 0.10 ^b | 0.94 ± 0.05 ^b | 0.14 ± 0.01 ^b | 0.33 ± 0.01 ^a | 0.92 ± 0.01 ^a | 97.67 ± 0.07 ^{ns} | 182.61 ± 1.21 ^{ns} |
| SB:J | 10.62 ± 0.35 ^a | 1.63 ± 0.06 ^b | 0.19 ± 0.01 ^b | 0.27 ± 0.01 ^a | 0.53 ± 0.01 ^c | 97.39 ± 0.06 ^{ns} | 196.7 ± 0.28 ^{ns} |
| SB:M | 10.25 ± 0.20 ^a | 1.94 ± 0.04 ^a | 0.15 ± 0.02 ^c | 0.28 ± 0.00 ^a | 0.76 ± 0.08 ^b | 96.87 ± 0.09 ^{ns} | 193.38 ± 8.42 ^{ns} |
| SB:S | 9.33 ± 0.20 ^b | 1.59 ± 0.02 ^b | 0.28 ± 0.02 ^a | 0.16 ± 0.01 ^b | 0.94 ± 0.09 ^a | 96.92 ± 0.25 ^{ns} | 193.91 ± 7.13 ^{ns} |
| KB:J | 11.07 ± 0.31 ^a | 1.03 ± 0.03 ^a | 0.29 ± 0.01 ^a | 0.18 ± 0.01 ^b | 0.54 ± 0.04 ^b | 97.97 ± 0.02 ^{ns} | 200.12 ± 4.29 ^{ns} |
| KB:M | 9.27 ± 0.08 ^b | 1.07 ± 0.01 ^a | 0.23 ± 0.02 ^b | 0.12 ± 0.01 ^c | 0.84 ± 0.05 ^a | 97.74 ± 0.07 ^{ns} | 197.38 ± 16.43 ^{ns} |
| KB:S | 9.67 ± 0.25 ^b | 0.68 ± 0.01 ^b | 0.16 ± 0.02 ^c | 0.21 ± 0.02 ^a | 0.75 ± 0.08 ^a | 98.19 ± 0.09 ^{ns} | 197.33 ± 18.18 ^{ns} |
| TR:J | 11.5 ± 0.33 ^a | 0.88 ± 0.02 ^c | 0.12 ± 0.00 ^{ns} | 0.16 ± 0.01 ^c | 0.62 ± 0.03 ^a | 98.21 ± 0.04 ^{ns} | 193.49 ± 17.16 ^{ns} |
| TR:M | 9.41 ± 0.37 ^b | 1.65 ± 0.05 ^a | 0.13 ± 0.00 ^{ns} | 0.41 ± 0.03 ^a | 0.15 ± 0.01 ^b | 97.66 ± 0.95 ^{ns} | 195.84 ± 20.84 ^{ns} |
| TR:S | 8.80 ± 0.20 ^b | 1.28 ± 0.01 ^b | 0.12 ± 0.01 ^{ns} | 0.37 ± 0.02 ^b | 0.12 ± 0.01 ^b | 98.11 ± 0.21 ^{ns} | 181.96 ± 9.44 ^{ns} |

a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยองค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกต่างๆ

| แหล่งปลูก | ความชื้น | ร้อยละของน้ำหนักแห้ง | | | | | แคลเซียมออกซาลเลต (mg. / 100 g.) |
|-----------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| | | โปรตีน | ไขมัน | เถ้า | ใยอาหาร | คาร์โบไฮเดรต | |
| CH | 11.18 ± 0.58 ^a | 1.16 ± 0.24 ^b | 0.16 ± 0.02 ^b | 0.25 ± 0.09 ^{ab} | 0.59 ± 0.23 ^a | 97.62 ± 0.39 ^b | 185.23 ± 3.78 ^b |
| SB | 10.07 ± 0.62 ^b | 1.72 ± 0.17 ^a | 0.20 ± 0.06 ^a | 0.23 ± 0.06 ^{bc} | 0.74 ± 0.19 ^a | 97.06 ± 0.28 ^c | 194.67 ± 6.01 ^{ab} |
| KB | 10.00 ± 0.84 ^b | 0.92 ± 0.19 ^c | 0.22 ± 0.06 ^a | 0.17 ± 0.04 ^c | 0.68 ± 0.20 ^a | 97.97 ± 0.20 ^a | 198.28 ± 12.51 ^a |
| TR | 9.90 ± 1.26 ^b | 1.27 ± 0.33 ^b | 0.12 ± 0.01 ^c | 0.32 ± 0.11 ^a | 0.29 ± 0.25 ^b | 97.99 ± 0.09 ^a | 191.41 ± 15.41 ^{ab} |

a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.5 ปริมาณอะมิโลสและ degree of polymerization ของอะมิโลสในสตาร์ชเผือกหอม

จากตารางที่ 4.8 บ่งว่าสตาร์ชเผือกหอมเป็นสตาร์ชที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ คือ มีปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 18.8 – 22.4 ซึ่งเป็นช่วงเดียวกับปริมาณอะมิโลสในสตาร์ชเผือกหอมที่มีแหล่งปลูกในประเทศฮาวาย (Jane และคณะ, 1992) และใกล้เคียงกับปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชจากพืชหัวต่างๆ ไป (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) และถึงแม้ว่าปริมาณอะมิโลสในสตาร์ชเผือกหอมที่มีขนาดต่างๆกัน และมาจากแหล่งปลูกที่ต่างกัน แปรอยู่ในช่วงปริมาณที่แคบๆนั้น แต่ก็ยังพอแสดงให้เห็นความแตกต่างเนื่องจากขนาดของหัวเผือกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบแนวโน้มว่าสตาร์ชเผือกหอมจากหัวเผือกขนาดเล็กมีปริมาณอะมิโลสสูงที่สุดคือ ร้อยละ 22.38 โดยเฉลี่ยจากทุกแหล่งปลูก ขณะที่สตาร์ชเผือกหอมจากหัวเผือกขนาดกลางมีปริมาณอะมิโลสต่ำที่สุดคือร้อยละ 18.83 โดยเฉลี่ยจากทุกแหล่งปลูก นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณอะมิโลสเฉลี่ยในแหล่งปลูกที่ต่างกัน (โดยเฉลี่ยจากทุกขนาดในแหล่งปลูกนั้นๆ) ยังแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อีกด้วย สตาร์ชเผือกหอมจากเชียงใหม่มีปริมาณอะมิโลสเฉลี่ยสูงที่สุดคือร้อยละ 21.02 และสตาร์ชเผือกหอมจากสระบุรีมีปริมาณอะมิโลสต่ำสุดคือ ร้อยละ 19.37 ขณะที่สตาร์ชเผือกหอมจากกาญจนบุรีและตราดมีปริมาณอะมิโลสไม่แตกต่างกันประมาณร้อยละ 20.25

นอกจากนี้ยังพบว่า degree of polymerization เฉลี่ย (DP_{avg}) ของอะมิโลสในสตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกต่างๆ มีค่าแปรอยู่ในช่วง 195 - 238 ซึ่งเป็นอะมิโลสที่มีขนาดสายเฉลี่ยสั้น Jane และคณะ (1992) รายงานว่าค่า DP_{avg} ของอะมิโลสในสตาร์ชเผือกจากฮาวายมีค่าอยู่ในช่วงที่กว้างกว่าคือ 150 – 550

ตารางที่ 4.8 ปริมาณอะมิโดสและ degree of polymerization เฉลี่ย (DP_{avg}) ของสตาร์ชเผือกหอม

| แหล่งปลูก | ปริมาณอะมิโดส (ร้อยละน้ำหนักสตาร์ชเผือกหอม) | | | | DP_{avg} จากหัวเผือกขนาดเล็ก |
|-----------|---|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------------------|
| | ขนาดใหญ่ | ขนาดกลาง | ขนาดเล็ก | ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูก | |
| CH | 20.82 ± 0.57^{ab} | 19.86 ± 0.15^b | 22.38 ± 1.21^a | 21.02 ± 1.29^A | 207 |
| SB | 20.00 ± 0.28^{ab} | 18.83 ± 0.26^b | 19.24 ± 0.13^a | 19.37 ± 0.65^B | 195 |
| KB | 19.45 ± 0.96^{ab} | 19.37 ± 0.25^b | 22.27 ± 0.53^a | 20.37 ± 1.54^{AB} | 203 |
| TR | 20.46 ± 0.21^{ab} | 19.70 ± 0.19^b | 20.25 ± 0.22^a | 20.14 ± 0.38^{AB} | 238 |

a และ b ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

A และ B ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

4.6 โครงสร้างอะมิโดเพคตินของสตาร์ชเผือกหอม

งานวิจัยนี้วิเคราะห์โครงสร้างอะมิโดเพคตินของสตาร์ชเผือกหอมโดยละเอียดในรูปแบบต่างๆ คือ ความยาวสายเฉลี่ย (CL_{avg}) ร้อยละเบต้าอะมิโลไลซิส ความยาวสายภายนอกเฉลี่ย (ECL_{avg}) และความยาวสายภายในเฉลี่ย (ICL_{avg}) โดยพบว่าค่าเหล่านี้อยู่ในช่วง 21.5 – 31.7, 43.1 – 53.1, 12.6 – 16.9 และ 7.1 – 14.6 ตามลำดับ (ตารางที่ 4.9)

เมื่อพิจารณาที่แหล่งปลูกเดียวกัน พบว่าสตาร์ชเผือกหอมจากขนาดหัวเผือกที่ต่างกันมีค่า CL_{avg} , ECL_{avg} และ ICL_{avg} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยทั่วไปมีแนวโน้มว่าสตาร์ชเผือกหอมจากหัวเผือกขนาดใหญ่มีสายเหล่านี้สั้นที่สุด ยกเว้นสตาร์ชเผือกหอมจากตราด ซึ่งสตาร์ชเผือกหอมจากหัวเผือกขนาดใหญ่มีสายเหล่านี้ยาวที่สุด และสตาร์ชเผือกหอมจากหัวเผือกขนาดกลางและเล็กมีค่าความยาวสายเหล่านี้ในช่วงเดียวกัน ส่วนค่าร้อยละเบต้าอะมิโลไลซิสของสตาร์ชเผือกหอมจากหัวเผือกขนาดต่างกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

เมื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยของค่าเหล่านี้จากหัวเผือกทุกขนาดในแหล่งปลูกเดียวกันพบว่า สตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกต่างกันมีค่า CL_{avg} ร้อยละเบต้าอะมิโลไลซิส และ ICL_{avg} แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่ค่า ECL_{avg} ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 4.10)

ตารางที่ 4.9 โครงสร้างอะมิโลเพคตินของสตาร์ชเผือกหอม

| ตัวอย่าง | โครงสร้างของอะมิโลเพคติน | | | |
|----------|--|---|---|--|
| | ความยาวสายเฉลี่ย (CL _{avg}) | ร้อยละเบต้า อะมิโลไลซิส (% Beta amylolysis) | ความยาวสาย ภายนอกเฉลี่ย (ECL _{avg}) | ความยาวสาย ภายในเฉลี่ย (ICL _{avg}) |
| CH:J | 21.53 ± 1.38 ^b | 53.13 ± 3.16 ^{ns} | 13.47 ± 1.40 ^b | 7.06 ± 0.26 ^b |
| CH:M | 27.75 ± 0.88 ^a | 50.64 ± 3.13 ^{ns} | 16.06 ± 1.16 ^a | 10.68 ± 0.75 ^a |
| CH:S | 26.41 ± 2.21 ^a | 48.46 ± 2.47 ^{ns} | 14.83 ± 1.72 ^{ab} | 10.58 ± 0.51 ^a |
| SB:J | 21.95 ± 2.01 ^c | 48.17 ± 2.81 ^{ns} | 12.61 ± 1.50 ^b | 8.35 ± 0.64 ^c |
| SB:M | 27.01 ± 2.05 ^b | 46.66 ± 0.98 ^{ns} | 14.52 ± 0.87 ^{ab} | 11.48 ± 1.25 ^b |
| SB:S | 31.73 ± 1.57 ^a | 47.12 ± 3.92 ^{ns} | 16.94 ± 1.10 ^a | 14.21 ± 1.03 ^a |
| KB:J | 25.29 ± 1.47 ^b | 43.11 ± 0.98 ^{ns} | 12.89 ± 0.38 ^c | 11.40 ± 1.09 ^b |
| KB:M | 31.45 ± 2.20 ^a | 43.86 ± 2.46 ^{ns} | 15.80 ± 1.42 ^b | 14.64 ± 1.19 ^a |
| KB:S | 31.21 ± 1.49 ^a | 44.41 ± 2.86 ^{ns} | 16.38 ± 0.99 ^a | 13.83 ± 1.12 ^a |
| TR:J | 27.49 ± 0.70 ^a | 51.64 ± 2.91 ^{ns} | 16.17 ± 1.12 ^a | 10.24 ± 0.60 ^a |
| TR:M | 23.05 ± 1.45 ^b | 51.56 ± 2.38 ^{ns} | 13.89 ± 1.06 ^b | 8.16 ± 0.71 ^b |
| TR:S | 24.87 ± 1.12 ^b | 52.68 ± 4.68 ^{ns} | 15.08 ± 1.65 ^{ab} | 8.69 ± 0.81 ^b |

a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยโครงสร้างอะมิโลเพคตินของสตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกต่างๆ

| แหล่งปลูก | โครงสร้างของอะมิโลเพคติน | | | |
|-----------|--|--|---|--|
| | ความยาวสายเฉลี่ย (CL _{avg}) | เปอร์เซ็นต์เบต้า อะมิโลไลซิส (% Beta amylolysis) | ความยาวสาย ภายนอกเฉลี่ย (ECL _{avg}) | ความยาวสาย ภายในเฉลี่ย (ICL _{avg}) |
| CH | 25.23 ± 3.15 ^b | 50.75 ± 3.25 ^a | 14.79 ± 1.68 ^{ns} | 9.44 ± 1.85 ^c |
| SB | 26.90 ± 4.54 ^{ab} | 47.23 ± 2.58 ^b | 14.69 ± 2.14 ^{ns} | 11.35 ± 2.69 ^b |
| KB | 29.32 ± 3.38 ^a | 44.35 ± 2.23 ^c | 15.02 ± 1.85 ^{ns} | 13.29 ± 1.76 ^a |
| TR | 25.08 ± 2.15 ^b | 51.96 ± 3.05 ^a | 15.05 ± 1.74 ^{ns} | 9.03 ± 1.12 ^c |

a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ค่าร้อยละเบต้าอะมิโลได์ซีสเป็นค่าที่บอกถึงระดับความยาวของสายตรงของอะมิโลส และอะมิโลเพคติน ซึ่งค่านี้สูงแสดงว่าส่วนที่เป็นสายตรงนั้นยาวและ/หรือมีปริมาณของสายตรงมาก ซึ่งอาจสรุปจากนี้ได้ว่าสตาร์ชที่มีค่าร้อยละเบต้าอะมิโลได์ซีสต่ำนั้น บ่งว่าอะมิโลเพคตินของสตาร์ชนั้นมีจำนวนสายกิ่งมาก ดังนั้นการที่สตาร์ชเฟือกหอมจากกาญจนบุรีมีค่าร้อยละเบต้าอะมิโลได์ซีสต่ำแต่ค่า CL_{avg} และ ICL_{avg} สูง แสดงว่าโมเลกุลของอะมิโลเพคตินของสตาร์ชเฟือกหอมจากกาญจนบุรีมีขนาดใหญ่และมีความเป็นกิ่งสูงและสายกิ่งก็ยาวอีกด้วย

ส่วนโมเลกุลอะมิโลเพคตินในสตาร์ชเฟือกหอมจากสระบุรีมีความเป็นกิ่งน้อยกว่าและสายกิ่งสั้นกว่าของสตาร์ชเฟือกหอมจากกาญจนบุรี ขณะที่สตาร์ชเฟือกหอมจากเชียงใหม่และตราดซึ่งมีค่าร้อยละเบต้าอะมิโลได์ซีสสูง แต่มีค่า CL_{avg} และ ICL_{avg} ต่ำ แสดงว่าโมเลกุลของอะมิโลเพคตินในสตาร์ชนี้มีความเป็นกิ่งต่ำและสายกิ่งสั้นที่สุด

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะโครงสร้างของอะมิโลเพคตินเหล่านี้ระหว่างสตาร์ชเฟือกหอมกับสตาร์ชมันฝรั่งพบว่า ลักษณะโครงสร้างของอะมิโลเพคตินของสตาร์ชเฟือกหอมคล้ายกับของสตาร์ชมันฝรั่งซึ่งมีค่า CL_{avg} ร้อยละเบต้าอะมิโลได์ซีส ECL_{avg} และ ICL_{avg} เท่ากับ 24, 56, 15 และ 8 ตามลำดับ (Manners, 1989)

4.7 สมบัติทางกายภาพของสตาร์ชจากเฟือกหอม

4.7.1 ขนาดเฉลี่ยและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชเฟือกหอม

สตาร์ชเฟือกหอมเป็นสตาร์ชที่มีขนาดเล็ก คือมีขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชในช่วง 1.3 – 2.2 ไมครอน (ตารางที่ 4.11) เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชมันฝรั่ง (15 – 121 ไมครอน) และทำวยายม่อม (13 – 70 ไมครอน) แต่มีขนาดใกล้เคียงกับสตาร์ชข้าวเจ้า (3 – 5 ไมครอน) และข้าวโอ๊ต (5 – 8 ไมครอน) ถึงแม้ว่าขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชเฟือกหอมแปรอยู่ในช่วงแคบๆ แต่เมื่อเปรียบเทียบสตาร์ชเฟือกหอมที่สกัดจากแหล่งปลูกเดียวกันก็ยังคงพบว่า ขนาดของหัวเฟือกมีผลต่อขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในสตาร์ชเฟือกหอมจากสระบุรีและตราดคือ สตาร์ชเฟือกหอมจากตราดขนาดกลางและขนาดเล็กมีขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชใหญ่ที่สุด (2.2 ไมครอน) ในขณะที่สตาร์ชเฟือกหอมจากสระบุรีขนาดใหญ่มีขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชเล็กที่สุด (1.3 ไมครอน) แต่สำหรับสตาร์ชเฟือกหอมจากเชียงใหม่และกาญจนบุรีนั้นขนาดของหัวเฟือกไม่มีผลต่อขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ช และเมื่อเปรียบเทียบสตาร์ชเฟือกหอมจากแหล่งปลูกต่างกันพบว่าสตาร์ชเฟือกหอมจากปลูกเชียงใหม่ กาญจนบุรี และตราด มีค่าเฉลี่ยของขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชไม่ต่างกัน โดยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 2.0 - 2.1 ไมครอน แต่ค่าเฉลี่ยของขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชเฟือกหอมจากสระบุรี (1.8 ไมครอน) เล็กกว่าจากทั้ง 3 จังหวัดข้างต้นอย่างมีนัยสำคัญทาง

สถิติ ($p \leq 0.05$) แต่อย่างไรก็ตามการแปรของขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชฝือกหอมในช่วงแคบขนาดนั้นไม่น่าเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความแตกต่างต่อสมบัติเชิงหน้าที่หรือสมบัติทางกายภาพของสตาร์ชฝือกหอมที่มาจากหัวฝือกขนาดต่างๆ และแหล่งปลูกต่างกัน

เม็ดสตาร์ชฝือกหอมจากหัวฝือกทุกขนาดและทุกแหล่งปลูก มีรูปร่างเป็นแบบหลายเหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.4

ตารางที่ 4.11 ขนาดเฉลี่ยเม็ดสตาร์ชของสตาร์ชฝือกหอม

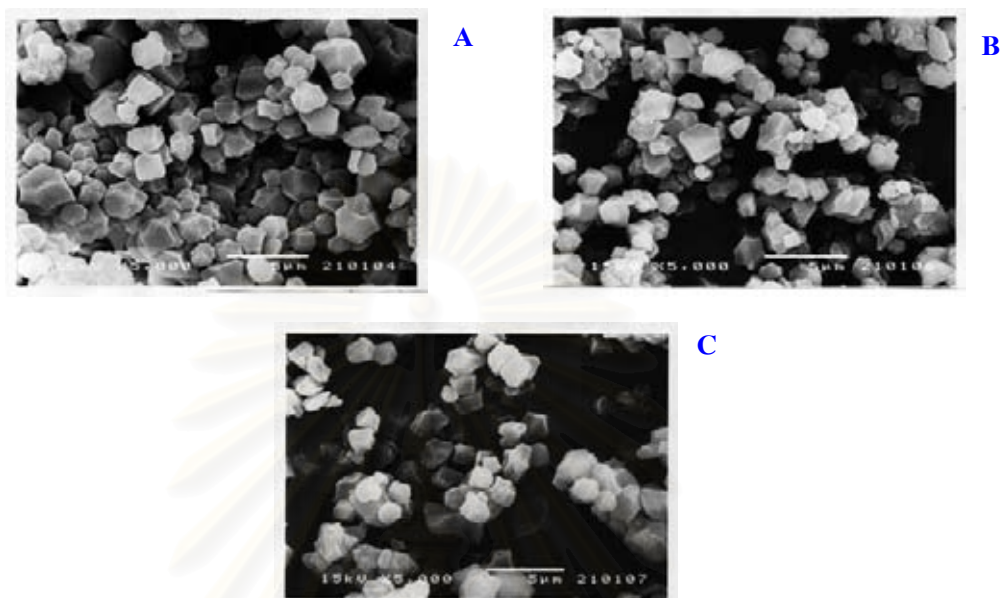
| แหล่งปลูก | ขนาดเฉลี่ยเม็ดสตาร์ช (ไมครอน) | | | ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูก |
|-----------|-------------------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|
| | หัวฝือก ขนาดใหญ่ | หัวฝือก ขนาดกลาง | หัวฝือก ขนาดเล็ก | |
| CH | 2.0 ± 0.7^a | 2.0 ± 0.6^a | 2.0 ± 0.5^a | 2.0 ± 0.4^A |
| SB | 1.3 ± 0.4^b | 1.9 ± 0.6^a | 2.1 ± 0.5^a | 1.8 ± 0.5^B |
| KB | 2.1 ± 0.5^a | 2.0 ± 0.7^a | 2.1 ± 0.8^a | 2.1 ± 0.6^A |
| TR | 1.6 ± 0.5^b | 2.2 ± 0.7^a | 2.2 ± 0.7^a | 2.0 ± 0.7^A |

A และ B ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

a และ b ที่แตกต่างกันในแนวนอนหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

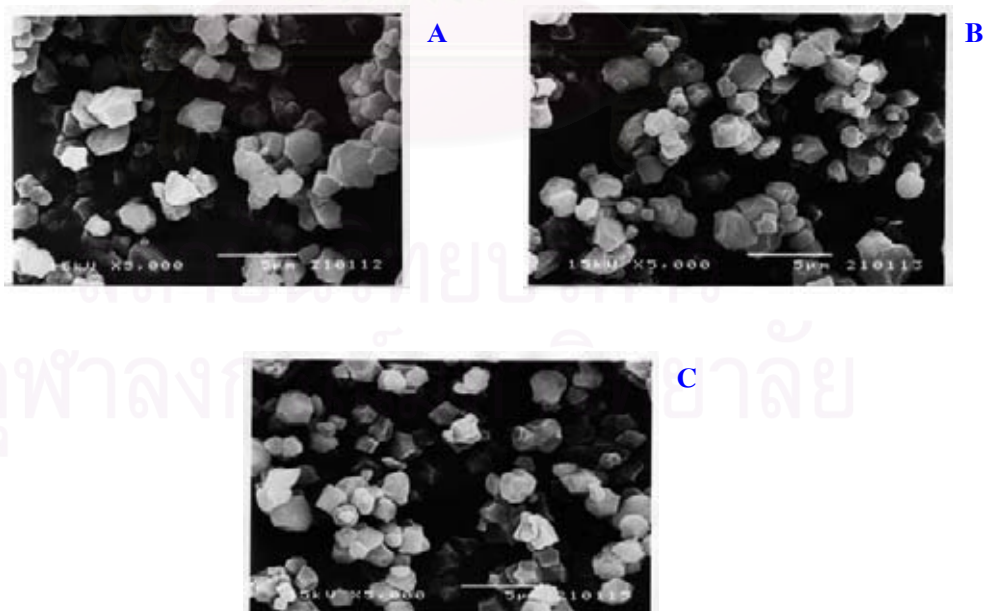
4.7.2 รูปร่างและลักษณะเม็ดแป้งของสตาร์ชจากเผือกหอม

สตาร์ชจากเผือกหอมทุกขนาดและทุกแหล่งปลูก มีขนาดเม็ดแป้งเล็กและมีรูปร่างเป็นแบบหลายเหลี่ยม ดังแสดงในรูปที่ 4.1 – 4.4



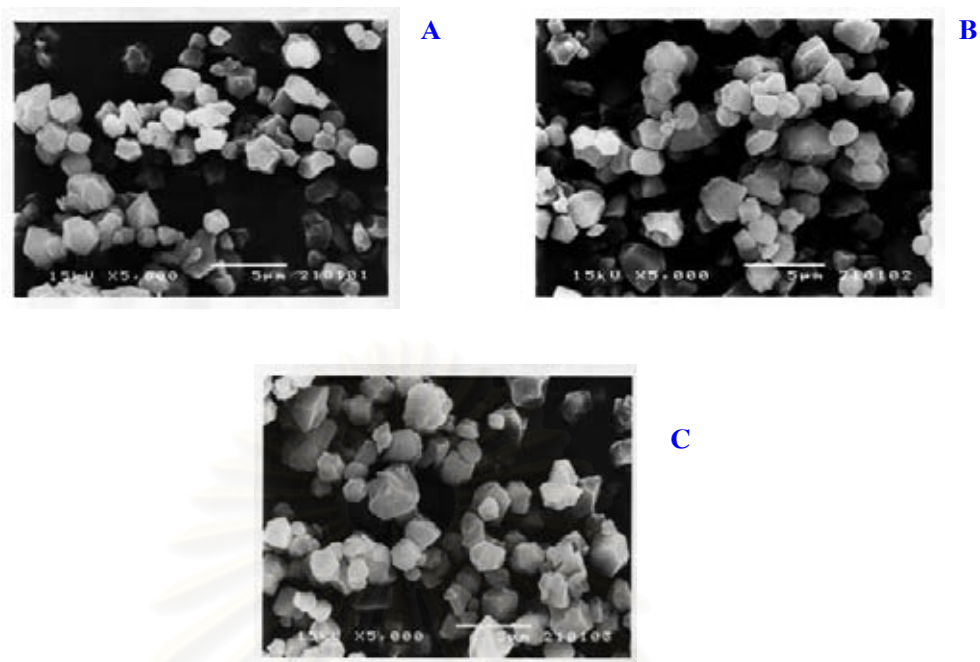
A = CH:J, B = CH:M, C = CH:S

รูปที่ 4.1 รูปร่างเม็ดสตาร์ชเผือกหอมจากเชียงใหม่



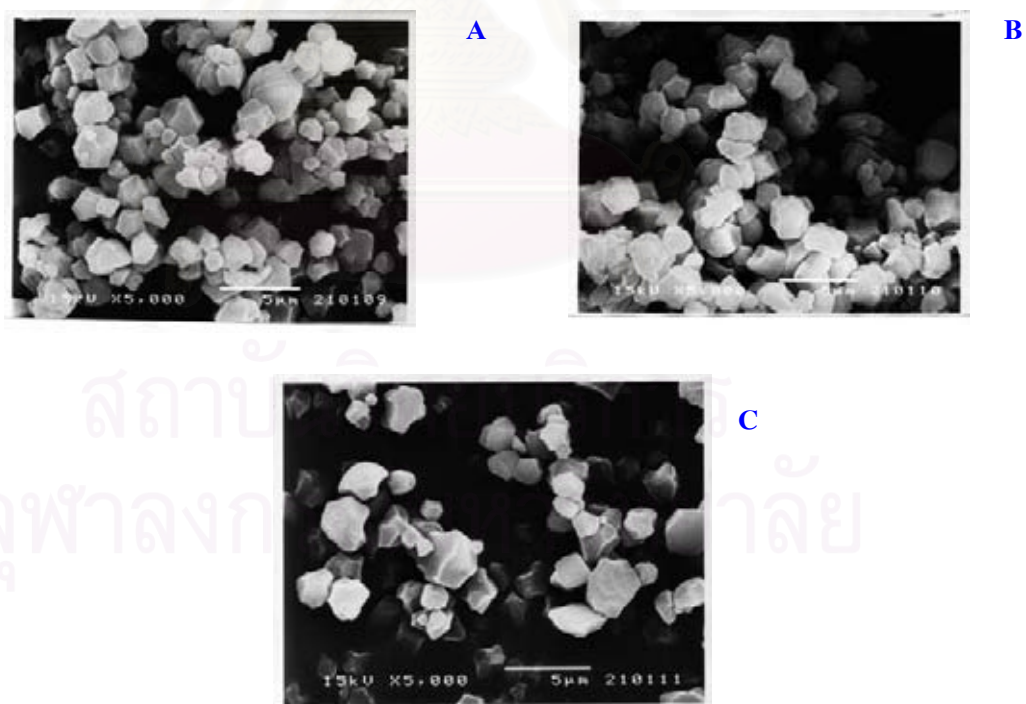
A = SB:J, B = SB:M, C = SB:S

รูปที่ 4.2 รูปร่างเม็ดสตาร์ชเผือกหอมจากสระบุรี



A = KB:J, B = KB:M, C = KB:S

รูปที่ 4.3 รูปร่างเม็ดแป้งสตาร์ชฝีกหอมจากกาณจนบุรี

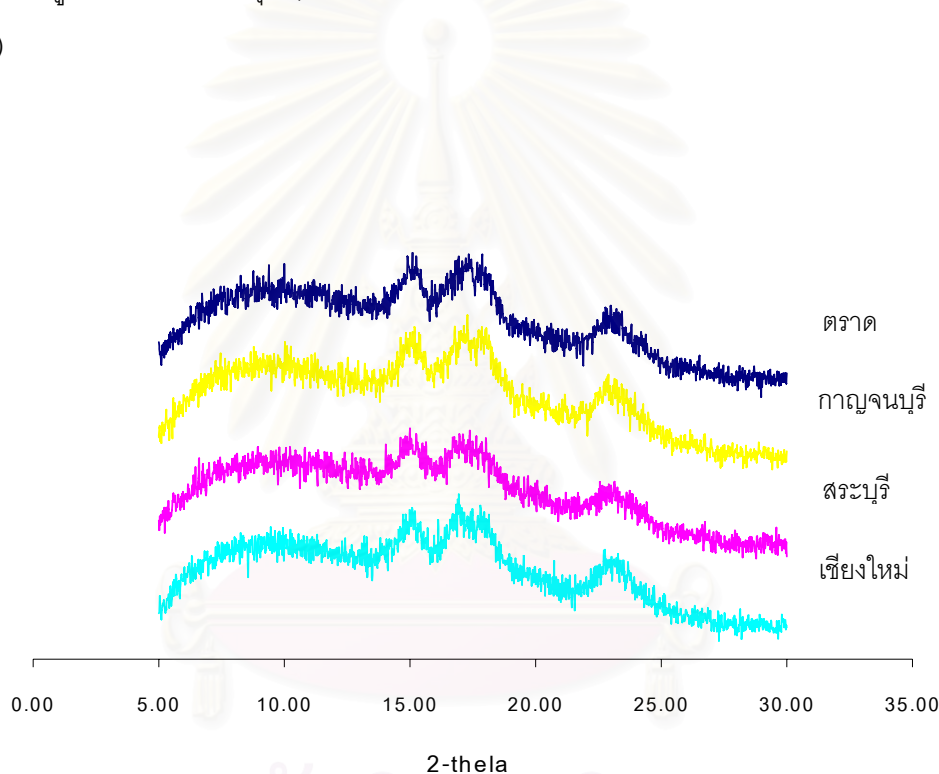


A = TR:J, B = TR:M, C = TR:S

รูปที่ 4.4 รูปร่างเม็ดแป้งสตาร์ชฝีกหอมจากตราด

4.7.2 ลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชจากเผือกหอม

งานวิจัยนี้วิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกจากสตาร์ชเผือกหอมที่สกัดจากหัวเผือกขนาดเล็กจากแหล่งปลูกต่างๆ เท่านั้น และพบว่าสตาร์ชเผือกหอมทุกอย่างที่วิเคราะห์นี้มีโครงสร้างของผลึกเป็นแบบ A (รูปที่ 4.5) เช่นเดียวกับโครงสร้างผลึกของสตาร์ช chinese taro (Jane และคณะ, 1992) แสดงว่าสตาร์ชเผือกมีโครงสร้างผลึกภายในเม็ดสตาร์ชที่แข็งแรงมากตามที่มีรายงานว่าโครงสร้างผลึกในเม็ดสตาร์ชเป็นแบบ A เกิดเนื่องจากการจัดเรียงตัวของสายเกลียวคู่อย่างหนาแน่นในส่วนของผลึก และอยู่บริเวณจุดศูนย์กลางของเม็ดสตาร์ช นอกจากนี้ยังมีโมเลกุลของน้ำระหว่างสายเกลียวคู่ต่ำเพียง 4 โมเลกุล (Hoover และ Vasanthan, 1994 และ Gunarathe และ Hoover, 2002)



รูปที่ 4.5 X-ray diffraction pattern แสดงลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชเผือกหอม

4.7.3 กำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชเผือกหอม

ผลการทดลองพบว่ากำลังการพองตัวในช่วง 60 - 80 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ (ตารางที่ 4.12 และ 4.13) โดยทั่วไปกล่าวได้ว่ากำลังการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แต่ลักษณะการเพิ่มขึ้นของกำลังการพองตัวกับอุณหภูมิไม่เหมือนกันในทุกตัวอย่าง (รูปที่ 4.6) แต่สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรกซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่ไม่มีการพองตัวหรือพองตัวน้อยมากในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 75 องศาเซลเซียส เมื่ออุณหภูมิ ≥ 75 องศาเซลเซียส มีการพองตัวเพิ่มขึ้นในลักษณะคล้าย exponential เป็นส่วนใหญ่ พวกนี้ได้แก่สตาร์ชเผือกหอมจากสระบุรี กาญจนบุรีและตราด ส่วนอีกกลุ่มเป็นลักษณะของสตาร์ชเผือกหอมจากเชียงใหม่ซึ่งการเปลี่ยนแปลงกำลังการพองตัวเกิดเริ่มแสดงที่ 65 องศาเซลเซียส (ยกเว้นสตาร์ชจากหัวเผือกขนาดกลาง) และในช่วง 65 - 75 องศาเซลเซียส อัตราส่วนการเพิ่มกำลังการพองตัวต่อการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น หลังจากนั้นอัตราส่วนนี้ลดลงเกือบเป็นศูนย์

นอกจากนี้ยังพบว่าสตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกเดียวกันแต่สกัดจากหัวเผือกขนาดต่างก็มีกำลังการพองตัวไม่แตกต่างกันที่อุณหภูมิ 60 - 70 องศาเซลเซียส แต่ในช่วงอุณหภูมิสูงกว่า 70 องศาเซลเซียสพบว่านอกจากสตาร์ชเผือกหอมจากตราดแล้ว สตาร์ชเผือกหอมที่สกัดจากหัวเผือกขนาดเล็กมีค่ากำลังการพองตัวและการเพิ่มของกำลังการพองตัวตามอุณหภูมิสูงกว่าสตาร์ชเผือกหอมที่สกัดได้จากหัวเผือกขนาดใหญ่และขนาดกลางตามลำดับอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยความแตกต่างของค่ากำลังการพองตัวระหว่างสตาร์ชเผือกหอมที่สกัดจากขนาดเล็กและขนาดกลางเด่นชัด ส่วนสตาร์ชเผือกหอมจากตราดนั้นที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส และ 80 องศาเซลเซียส ค่ากำลังการพองตัวของสตาร์ชเผือกหอมที่สกัดจากหัวเผือกขนาดเล็กและขนาดกลางไม่แตกต่างกัน แต่แตกต่างกับค่านี้ของสตาร์ชเผือกหอมที่สกัดจากหัวเผือกขนาดใหญ่ โดยที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส สตาร์ชเผือกหอมจากหัวเผือกขนาดใหญ่มีค่านี้ต่ำกว่าจากหัวเผือกขนาดอื่น แต่ปรากฏการณ์นี้กลับกันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สรุปได้ว่าที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส สตาร์ชที่สกัดจากกาญจนบุรีขนาดกลางมีค่ากำลังการพองตัวต่ำที่สุดคือ 4.44 กรัมต่อกรัมของน้ำหนักสตาร์ชแห้ง ในขณะที่สตาร์ชที่สกัดจากเชียงใหม่ขนาดเล็กมีค่ากำลังการพองตัวสูงที่สุดคือ 12.26 กรัมต่อกรัมของน้ำหนักสตาร์ชแห้ง ขณะที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สตาร์ชที่สกัดจากเชียงใหม่ขนาดกลางมีค่ากำลังการพองตัวต่ำที่สุดคือ 10.99 กรัมต่อกรัมของน้ำหนักสตาร์ชแห้ง ในขณะที่สตาร์ชที่สกัดจากกาญจนบุรีขนาดเล็กมีค่ากำลังการพองตัวสูงที่สุดคือ 17.43 กรัมต่อกรัมของน้ำหนักสตาร์ชแห้ง สตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกต่างกันมีค่ากำลังการพองตัวเฉลี่ยจากหัวเผือกทุกขนาดในแหล่งปลูกนั้นๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้การเพิ่มขึ้นของค่านี้ตามอุณหภูมิมักแตกต่างกันอีกด้วย จากตารางที่ 4.13 พบว่า ที่ 60

องศาเซลเซียสกำลังการพองตัวของสสารซึ่งเหือกหอมจากกาญจนบุรีมีค่าต่ำสุด ขณะที่สสารซึ่งเหือกหอมจากเชียงใหม่มีค่าสูงสุดโดยเฉลี่ยคือ 1.87 และ 3.21 กรัมต่อกรัมของน้ำหนักสสารซึ่งเหือกหอมแห่งโดยลำดับ แต่ที่ 80 องศาเซลเซียสพบว่า สสารซึ่งเหือกหอมจากกาญจนบุรีและสระบุรีกลับมีกำลังการพองตัวสูงสุดคือประมาณ 15.56 กรัมต่อกรัมของน้ำหนักสสารซึ่งเหือกหอมแห่งโดยเฉลี่ย ขณะที่สสารซึ่งเหือกหอมจากเชียงใหม่มีกำลังการพองตัวต่ำสุดคือ 11.86 กรัมต่อกรัมของน้ำหนักสสารซึ่งเหือกหอมแห่ง ทำให้ในช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดลองจาก 60 องศาเซลเซียส ถึง 80 องศาเซลเซียส สสารซึ่งเหือกหอมจากกาญจนบุรีมีการเพิ่มของค่านี้สูงสุดคือ 8.47 เท่า ส่วนสสารซึ่งเหือกหอมจากสระบุรี ทรานด์ และเชียงใหม่มีการเพิ่มของค่านี้ 6.64, 6.16 และ 3.69 เท่าตามลำดับ

การที่กำลังการพองตัวของสสารซึ่งเหือกหอมจากทุกแหล่งปลูกยกเว้นเชียงใหม่เพิ่มขึ้นในระหว่างช่วงอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส แสดงว่าที่ช่วงอุณหภูมินี้ไม่มีหรือแทบไม่มีการดูดหรือการแพร่ของน้ำเข้าไปในเม็ดสสารซึ่งเหือกหอม การดูดน้ำหรือการแพร่ของน้ำเข้าไปในเม็ดสสารซึ่งเหือกหอมเริ่มขึ้นที่อุณหภูมิ ≥ 70 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังการพองตัวของสสารซึ่งเหือกหอมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามร้อยละเบต้าอะมิโลไลซิส แต่ลดลงเมื่อค่า ICL_{avg} และ ECL_{avg} เพิ่มขึ้นในลักษณะ 2^{nd} ordered power series

ตารางที่ 4.12 กำลังการพองตัวของสตาร์ชเผือกหอม

| ตัวอย่าง | กำลังการพองตัว (กรัมต่อกรัมสตาร์ชแห้ง) | | | | |
|----------|--|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | 60 °C | 65 °C | 70 °C | 75 °C | 80 °C |
| CH:J | 3.24 ± 0.20 ^{ns} | 3.63 ± 0.11 ^{ns} | 6.74 ± 0.09 ^{ns} | 10.74 ± 0.30 ^{ab} | 11.31 ± 0.22 ^{ab} |
| CH:M | 3.40 ± 0.28 ^{ns} | 3.18 ± 0.09 ^{ns} | 5.82 ± 0.15 ^{ns} | 9.64 ± 0.10 ^b | 10.99 ± 0.04 ^b |
| CH:S | 2.98 ± 0.09 ^{ns} | 5.25 ± 0.32 ^{ns} | 8.63 ± 0.13 ^{ns} | 12.26 ± 0.12 ^a | 13.27 ± 0.25 ^a |
| SB:J | 2.40 ± 0.05 ^{ns} | 2.42 ± 0.06 ^{ns} | 3.18 ± 0.04 ^{ns} | 9.17 ± 0.35 ^{ab} | 15.08 ± 0.35 ^{ab} |
| SB:M | 2.19 ± 0.01 ^{ns} | 2.28 ± 0.08 ^{ns} | 2.28 ± 0.08 ^{ns} | 9.03 ± 0.83 ^b | 14.74 ± 0.24 ^b |
| SB:S | 2.30 ± 0.03 ^{ns} | 2.35 ± 0.03 ^{ns} | 3.37 ± 0.13 ^{ns} | 10.44 ± 0.73 ^a | 16.02 ± 0.51 ^a |
| KB:J | 1.97 ± 0.06 ^{ns} | 1.86 ± 0.06 ^{ns} | 5.82 ± 0.15 ^{ns} | 6.59 ± 0.79 ^{ab} | 15.85 ± 0.76 ^{ab} |
| KB:M | 1.88 ± 0.22 ^{ns} | 1.97 ± 0.02 ^{ns} | 2.45 ± 0.18 ^{ns} | 4.44 ± 0.34 ^b | 14.32 ± 0.46 ^b |
| KB:S | 1.76 ± 0.09 ^{ns} | 1.81 ± 0.04 ^{ns} | 2.52 ± 0.11 ^{ns} | 8.35 ± 0.62 ^a | 17.43 ± 0.93 ^a |
| TR:J | 2.04 ± 0.03 ^{ns} | 2.05 ± 0.01 ^{ns} | 2.45 ± 0.17 ^{ns} | 6.31 ± 0.54 ^{ab} | 15.27 ± 1.05 ^{ab} |
| TR:M | 2.28 ± 0.04 ^{ns} | 2.11 ± 0.09 ^{ns} | 2.21 ± 0.06 ^{ns} | 7.00 ± 0.54 ^b | 12.75 ± 0.43 ^b |
| TR:S | 2.33 ± 0.10 ^{ns} | 2.24 ± 0.13 ^{ns} | 3.16 ± 0.19 ^{ns} | 7.05 ± 0.70 ^a | 12.98 ± 0.57 ^a |

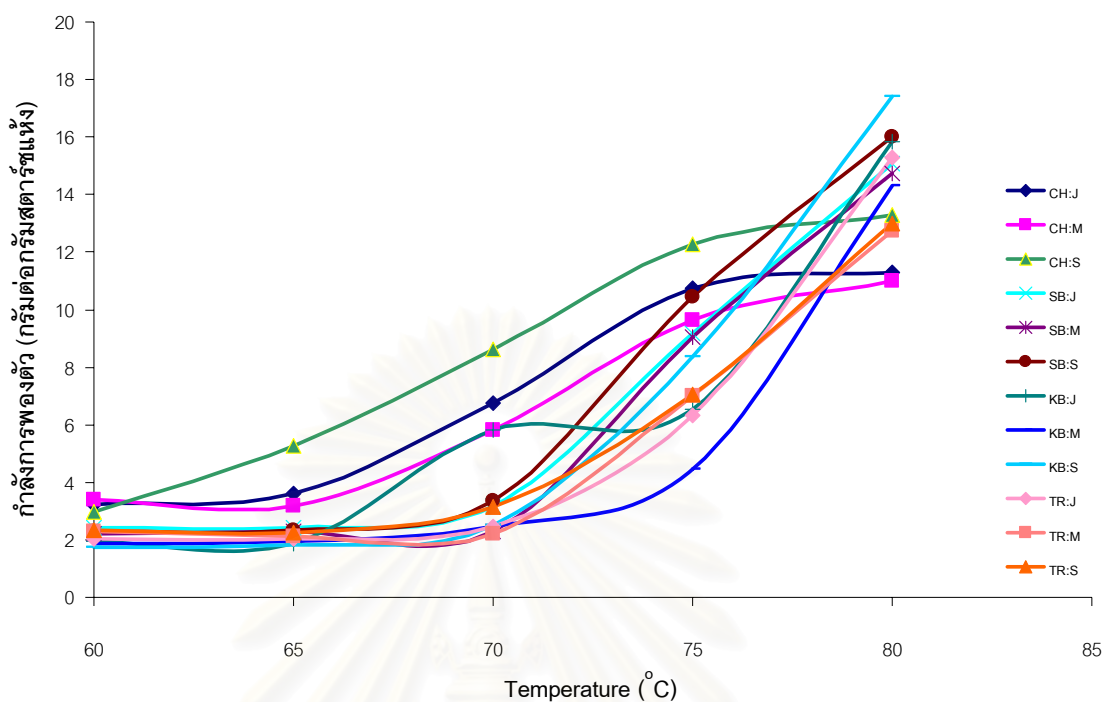
a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดในแต่ละแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดในแต่ละแหล่งปลูกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยกำลังการพองตัวของสตาร์ชเผือกหอมจากทุกแหล่งปลูก

| แหล่งปลูก | กำลังการพองตัว (กรัมต่อกรัมสตาร์ชแห้ง) | | | | |
|-----------|--|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 60 °C | 65 °C | 70 °C | 75 °C | 80 °C |
| CH | 3.21 ± 0.26 ^a | 4.02 ± 0.96 ^a | 7.07 ± 1.24 ^a | 10.88 ± 1.15 ^a | 11.86 ± 1.09 ^c |
| SB | 2.30 ± 0.10 ^b | 2.32 ± 0.11 ^b | 3.09 ± 0.32 ^b | 9.55 ± 0.94 ^b | 15.28 ± 0.66 ^a |
| KB | 1.87 ± 0.15 ^c | 1.88 ± 0.08 ^b | 3.60 ± 1.68 ^b | 6.46 ± 1.77 ^c | 15.83 ± 1.53 ^a |
| TR | 2.22 ± 0.14 ^b | 2.13 ± 0.11 ^b | 2.60 ± 0.45 ^b | 6.79 ± 0.63 ^c | 13.67 ± 1.39 ^b |

a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและกำลังการพองตัวของสสารแห้งเหือกหอม จากทุกแหล่งปลูกและทุกขนาด

ส่วนการละลายของสสารแห้งเหือกหอมที่อุณหภูมิต่างๆ ในช่วง 60 – 80 องศาเซลเซียสก็แปรตามอุณหภูมิในลักษณะที่คล้ายกับกำลังการพองตัวของสสารแห้งเหือกหอมจากสระบุรี กาญจนบุรี และตราด มีค่าร้อยละการละลายเพิ่มขึ้นน้อยมากหรือไม่เพิ่มขึ้นเลยที่อุณหภูมิต่ำกว่า 70 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นค่าร้อยละการละลายเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิตลอดจนถึง 80 องศาเซลเซียส ขณะที่สสารแห้งเหือกหอมจากเชียงใหม่มีค่าร้อยละการละลายเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิในช่วง 60 – 75 องศาเซลเซียส แต่เมื่ออุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กลับมีค่าร้อยละการละลายลดลงเมื่อเทียบกับที่ 75 องศาเซลเซียส ตารางที่ 4.14 และ 4.15 และ รูปที่ 4.7 โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ ในช่วงอุณหภูมิ 60 – 65 องศาเซลเซียส สสารแห้งเหือกหอมจากแหล่งปลูกเดียวกันแต่สกัดจากหัวเหือกขนาดต่างกันมีค่าร้อยละการละลายไม่แตกต่างกัน โดยมีค่าร้อยละการละลายอยู่ในช่วง 1.25 – 4.32 แต่ที่อุณหภูมิ 70 – 80 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละการละลายของสสารแห้งเหือกหอมจากหัวเหือกขนาดต่างกันนั้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ยกเว้นสสารแห้งเหือกหอมจากตราดซึ่งค่าร้อยละการละลายของสสารแห้งเหือกหอมจากหัวเหือกขนาดต่างกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ทุกอุณหภูมิ โดยพบว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สสารแห้งเหือกหอมที่สกัดจากหัวเหือกขนาดใหญ่มีค่าร้อยละการละลายต่ำที่สุดคือ 2.17

ในขณะที่สสารจากเชียงใหม่ที่สกัดจากหัวเผือกขนาดเล็กมีค่าร้อยละการละลายสูงที่สุดคือ 6.35 ที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส สสารจากตราดที่สกัดจากหัวเผือกขนาดเล็กมีค่า ร้อยละการละลายต่ำที่สุดคือ 4.85 ในขณะที่สสารจากเชียงใหม่ที่สกัดจากหัวเผือกขนาดเล็กมีค่าร้อยละการละลายสูงที่สุด (18.22) และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส สสารจากกาญจนบุรีที่สกัดจากหัวเผือกขนาดกลางมีร้อยละการละลายต่ำที่สุดคือ 7.04 และสสารจากสระบุรีที่สกัดจากหัวเผือกขนาดใหญ่มีค่าร้อยละการละลายสูงที่สุดคือ 13.18 (ตารางที่ 4.14)

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าร้อยละการละลายของสสารเผือกหอมที่เฉลี่ยจากทุกขนาดในแหล่งปลูกเดียวกัน ซึ่งบ่งว่าการละลายของสสารเผือกหอมจากแหล่งปลูกต่างกันมีค่าต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ในทุกอุณหภูมิ โดยในช่วงอุณหภูมิ 60 – 65 องศาเซลเซียส สสารจากกาญจนบุรีมีค่าร้อยละการละลายต่ำที่สุดคือ 1.38 - 1.45 ตามลำดับ ในขณะที่สสารจากเชียงใหม่มีร้อยละการละลายสูงที่สุดคือ 1.93 – 3.38 ตามลำดับ แต่ในช่วงอุณหภูมิ 70 – 75 องศาเซลเซียส สสารจากตราดมีค่าร้อยละการละลายต่ำที่สุดคือ 2.21 – 6.79 ตามลำดับ ขณะที่สสารจากเชียงใหม่มีค่าร้อยละการละลายสูงที่สุดคือ 5.18 – 15.92 ตามลำดับ ส่วนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ค่าร้อยละการละลายของสสารจากกาญจนบุรีต่ำที่สุดคือ 8.21 ในขณะที่ของสสารจากสระบุรีสูงที่สุดคือ 10.82

ตารางที่ 4.14 การละลายของสตาร์ชเผือกหอม

| ตัวอย่าง | ร้อยละการละลาย | | | | |
|----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 60 °C | 65 °C | 70 °C | 75 °C | 80 °C |
| CH:J | 2.44 ± 0.16 ^{ns} | 3.31 ± 0.13 ^{ns} | 4.60 ± 0.05 ^b | 14.95 ± 0.32 ^b | 9.08 ± 0.52 ^c |
| CH:M | 1.71 ± 0.15 ^{ns} | 2.50 ± 0.22 ^{ns} | 4.58 ± 0.42 ^b | 14.59 ± 0.19 ^b | 9.86 ± 0.33 ^b |
| CH:S | 1.64 ± 0.02 ^{ns} | 4.32 ± 0.17 ^{ns} | 6.35 ± 0.16 ^a | 18.22 ± 0.35 ^a | 12.32 ± 0.23 ^a |
| SB:J | 1.54 ± 0.04 ^{ns} | 1.82 ± 0.07 ^{ns} | 2.38 ± 0.17 ^b | 10.65 ± 0.25 ^a | 13.18 ± 0.40 ^a |
| SB:M | 1.80 ± 0.16 ^{ns} | 2.40 ± 0.20 ^{ns} | 2.72 ± 0.21 ^b | 7.68 ± 0.83 ^b | 8.64 ± 9.46 ^b |
| SB:S | 1.62 ± 0.16 ^{ns} | 2.37 ± 0.11 ^{ns} | 3.37 ± 0.11 ^a | 8.76 ± 0.45 ^b | 9.78 ± 0.65 ^b |
| KB:J | 1.44 ± 0.10 ^{ns} | 1.41 ± 0.12 ^{ns} | 2.90 ± 0.11 ^a | 5.54 ± 0.44 ^b | 7.73 ± 0.79 ^b |
| KB:M | 1.25 ± 0.06 ^{ns} | 1.25 ± 0.06 ^{ns} | 2.30 ± 0.14 ^b | 5.01 ± 0.45 ^b | 7.04 ± 0.27 ^b |
| KB:S | 1.44 ± 0.03 ^{ns} | 1.59 ± 0.11 ^{ns} | 2.40 ± 0.20 ^b | 7.54 ± 0.29 ^a | 9.85 ± 0.52 ^a |
| TR:J | 1.34 ± 0.05 ^{ns} | 1.49 ± 0.01 ^{ns} | 2.17 ± 0.15 ^{ns} | 5.17 ± 0.25 ^{ns} | 8.80 ± 0.73 ^{ns} |
| TR:M | 1.71 ± 0.08 ^{ns} | 1.81 ± 0.06 ^{ns} | 2.23 ± 0.10 ^{ns} | 5.54 ± 0.38 ^{ns} | 9.19 ± 0.13 ^{ns} |
| TR:S | 1.48 ± 0.05 ^{ns} | 1.58 ± 0.07 ^{ns} | 2.23 ± 0.13 ^{ns} | 4.85 ± 0.31 ^{ns} | 8.08 ± 0.92 ^{ns} |

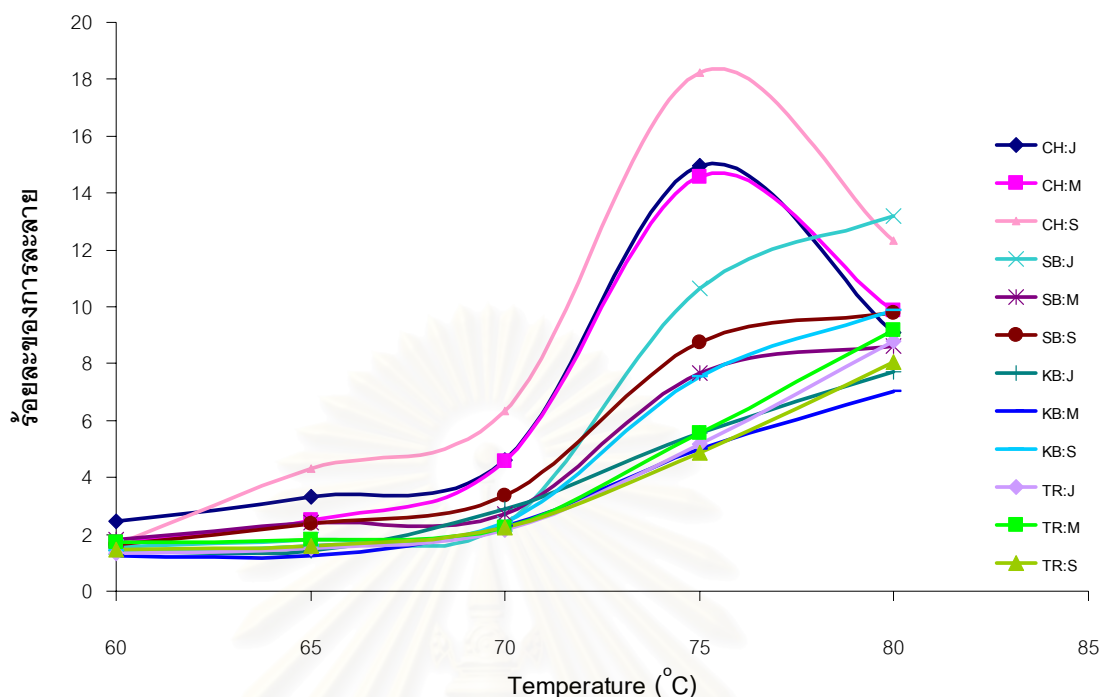
a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดในแต่ละแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดในแต่ละแหล่งปลูกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยของร้อยละการละลายของสตาร์ชเผือกหอมจากทุกแหล่งปลูก

| แหล่งปลูก | ร้อยละการละลาย | | | | |
|-----------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | 60 °C | 65 °C | 70 °C | 75 °C | 80 °C |
| CH | 1.93 ± 0.40 ^a | 3.38 ± 0.80 ^a | 5.18 ± 0.91 ^a | 15.92 ± 1.75 ^a | 10.42 ± 1.50 ^a |
| SB | 1.65 ± 0.14 ^b | 2.20 ± 0.31 ^b | 2.87 ± 0.41 ^b | 9.02 ± 1.39 ^b | 10.82 ± 1.85 ^a |
| KB | 1.38 ± 0.11 ^c | 1.45 ± 0.15 ^c | 2.50 ± 0.26 ^{bc} | 6.03 ± 1.21 ^c | 8.21 ± 1.36 ^b |
| TR | 1.50 ± 0.17 ^{bc} | 1.62 ± 0.15 ^c | 2.21 ± 0.12 ^c | 5.18 ± 0.42 ^c | 8.69 ± 0.76 ^b |

a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและร้อยละการละลายของสตาร์ชฝัอกหอม จากทุกแหล่งปลูกและทุกขนาด

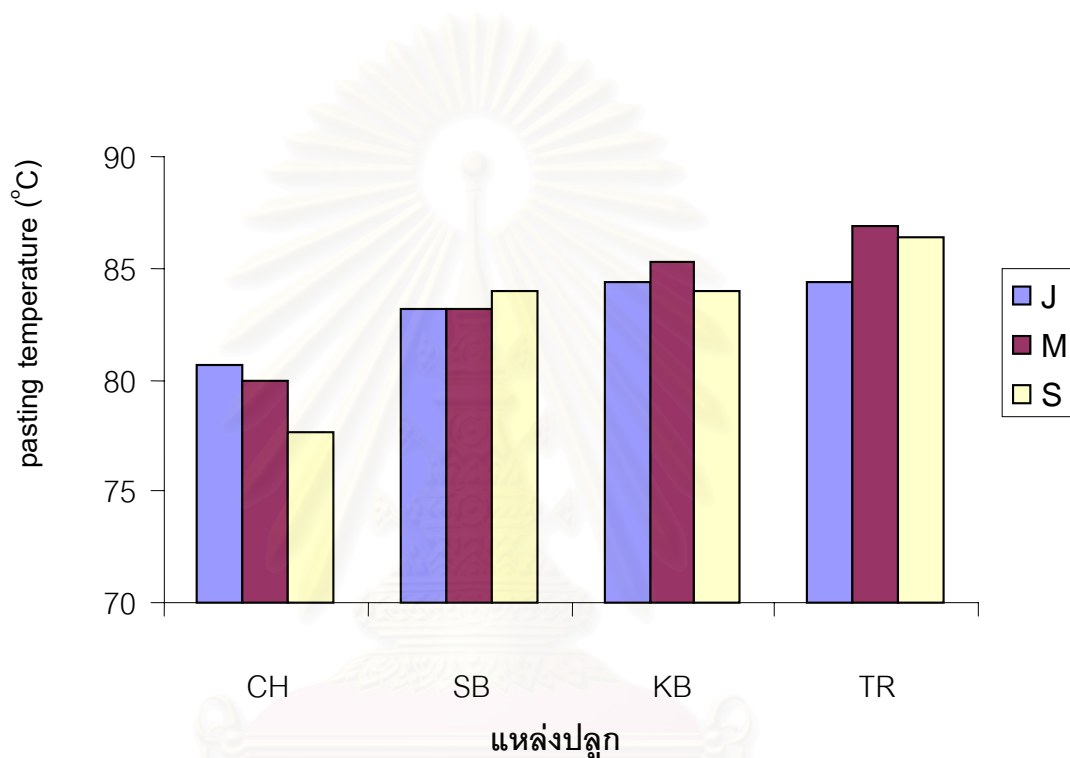
การที่กำลังการพองตัวของสตาร์ชฝัอกจากเชียงใหม่ทุกขนาดมีค่าสูงกว่าสตาร์ช จากแหล่งปลูกอื่นๆ ในช่วงอุณหภูมิ 60 – 75 องศาเซลเซียส อาจเกิดเนื่องจากสตาร์ชจากเชียงใหม่ มีปริมาณโปรตีนต่ำ (ร้อยละ 1.16 จากตารางที่ 4.7) และมี CL_{avg} สั้น (25.23 จากตารางที่ 4.7 และ 4.10) ส่วนสตาร์ชจากกาญจนบุรีในช่วงอุณหภูมิ 60 – 75 องศาเซลเซียส มีค่ากำลังการพองตัวต่ำ แต่ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กลับมีค่ากำลังการพองตัวสูงขึ้นอย่างมากคือ เพิ่มขึ้น 8.47 เท่า นั้น อาจเนื่องจากมีปริมาณอะมิโลเพคตินที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ มีความเป็นกิ่งสูงและ CL_{avg} ยาว (จากตารางที่ 4.9 และ 4.10) ทำให้มีการพองตัวต่ำกว่าสตาร์ชจากแหล่งปลูกอื่นๆ ที่อุณหภูมิต่ำ (< 75 องศาเซลเซียส) แต่มีการพองตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิสูง (≥ 75 องศาเซลเซียส) นอกจากนี้พบว่าสตาร์ชฝัอกหอมมีค่ากำลังการพองตัวและร้อยละของการละลายต่ำ อาจเป็นผล จากขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กกว่าแต่มีพันธะภายในเม็ดสตาร์ชที่แข็งแรงกว่า อย่างไรก็ตามสตาร์ชฝัอกหอมทุกตัวอย่างมีแบบ X-ray diffraction ที่แสดงว่าโครงสร้างผลึกเป็นแบบ A ซึ่งเป็นผลึกที่มีความแข็งแรงของโครงสร้างผลึกสูงทุกตัวอย่าง ค่ากำลังการพองตัวและร้อยละการ ละลายของสตาร์ชฝัอกหอมจากทุกแหล่งปลูกและทุกขนาดสอดคล้องกับค่าการเกิดเจลาตินไนซ์ของ สตาร์ชฝัอกหอมดังแสดงผลในหัวข้อ 4.7.5

4.7.4 สมบัติทางด้านความหนืดของสตาร์ชจากเผือกหอม

สมบัติด้านความหนืดของสตาร์ชเผือกหอมวิเคราะห์ด้วยเครื่อง RVA ได้ผลสรุปดังแสดงในรูปที่ 4.8 – 4.12 ซึ่งพบว่าสตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกเดียวกันแต่สกัดจากหัวเผือกขนาดต่างกัน ให้ค่า peak viscosity และ breakdown แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยที่สตาร์ชเผือกหอมจากเชียงใหม่ที่สกัดจากหัวเผือกขนาดกลางซึ่งมีปริมาณอะมิโลสต่ำ (19.86%) ให้ค่า peak viscosity สูงสุด (441 RVU) ขณะที่สตาร์ชเผือกหอมจากกาญจนบุรีซึ่งมีปริมาณอะมิโลสสูง (22.27%) ให้ค่า peak viscosity ต่ำที่สุด (264 RVU) สตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกต่างกันให้ค่า pasting temperature, peak viscosity, setback, breakdown และ final viscosity ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่าสตาร์ชจากเชียงใหม่ทุกขนาดมี pasting temperature ต่ำ (อยู่ในช่วง 78 – 81 องศาเซลเซียส) เนื่องจากมี CL_{avg} สั้น (25.23) ส่วนสตาร์ชจากสระบุรี กาญจนบุรี และตราด มี pasting temperature เท่ากับ 83.5 84.6 และ 85.4 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่า pasting temperature ของสตาร์ชจากเชียงใหม่ (79.4 องศาเซลเซียส) เนื่องจากสตาร์ชจากสระบุรีและตราดมีปริมาณโปรตีนสูง จึงอาจเป็นไปได้ว่ามีโปรตีนที่เกาะอยู่บริเวณผิวของเม็ดสตาร์ชมากกว่าสตาร์ชจากแหล่งปลูกอื่นทำให้โมเลกุลน้ำไม่สามารถจับกับอะมิโลสได้ที่อุณหภูมิต่ำ แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจนโปรตีนเกิดการเสียสภาพ โมเลกุลน้ำจึงสามารถแพร่เข้าไปในเม็ดสตาร์ชได้ ดังนั้นสตาร์ชที่มีปริมาณโปรตีนสูง จึงมี pasting temperature สูง ส่วนสตาร์ชจากแหล่งปลูกกาญจนบุรีซึ่งมี CL_{avg} ยาว (29.32) ซึ่งอาจจะยาวพอสายสามารถพันกันเป็นเกลียวคู่เช่นเดียวกับสายอะมิโลสทำให้ต้องใช้พลังงานความร้อนเพิ่มขึ้นเพื่อให้สายที่พันกันคลายออกแล้วจึงเกิดการพองตัวเป็นผลให้ความหนืดสูงขึ้น ในขณะที่สตาร์ชจากเชียงใหม่ที่สกัดจากหัวเผือกทุกขนาดมีค่า breakdown และ final viscosity สูงสุด (94 และ 280 RVU) เนื่องจากสตาร์ชเหล่านี้มีปริมาณอะมิโลส (21.02%) ส่วนสตาร์ชจากสระบุรี กาญจนบุรี และตราดทุกขนาดมีค่า setback (67 59 และ 69 RVU ตามลำดับ) และ final viscosity (248 201 และ 240 RVU ตามลำดับ) ต่ำกว่าค่าทั้งสองนี้ของสตาร์ชจากเชียงใหม่ (94 และ 280 RVU ตามลำดับ) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสตาร์ชจากสระบุรีมีปริมาณอะมิโลสต่ำ (19.37%) ขณะที่สตาร์ชจากตราดมี CL_{avg} สั้น (25.08) ซึ่งสอดคล้องกับผลงานวิจัยสมบัติด้านความหนืดที่ได้รายงานไว้ว่า ปริมาณอะมิโลสและขนาดของอะมิโลเพคตินมีผลต่อสมบัติด้านความหนืดของแป้งเปียกโดยอะมิโลเพคตินมีขนาดเล็กให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชสูง ในขณะที่การที่มีปริมาณอะมิโลสมากให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชต่ำ (Tester และ Morrison, 1990) ซึ่งจากการศึกษาผลของปริมาณอะมิโลสต่อสมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกของ waxy cereal starch (ปริมาณอะมิโลส 0 - 3.4 %) และ normal starch (ปริมาณอะมิโลส 13.8 – 37.9 %) พบว่า waxy

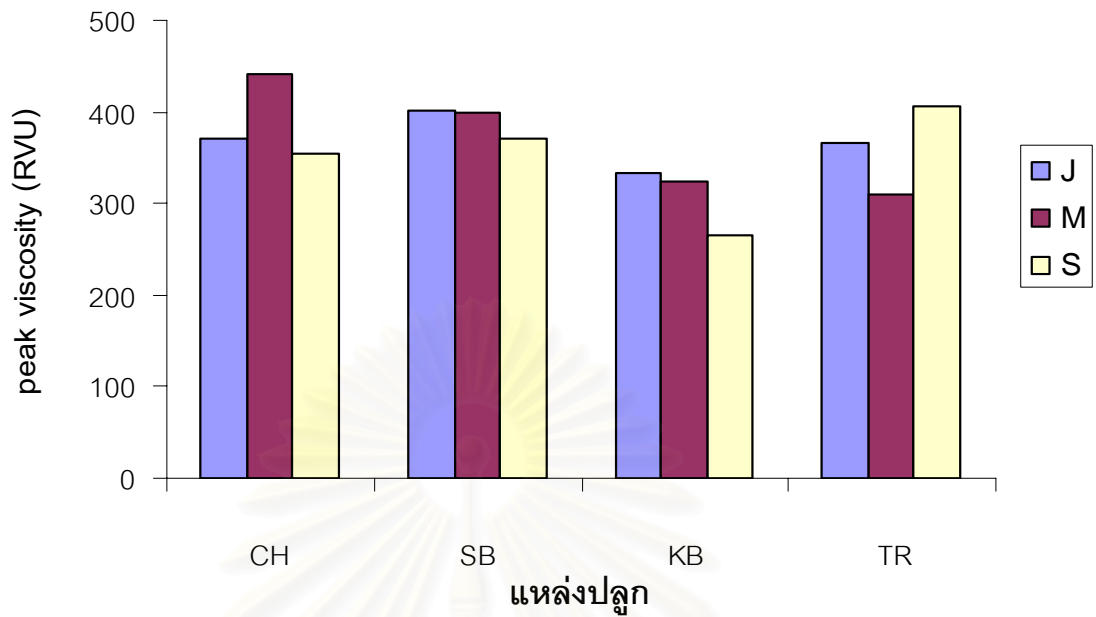
cereal starch มีค่า pasting temperature และ setback ต่ำกว่า แต่มีค่า peak viscosity สูงกว่า normal cereal starch (Jane และคณะ, 1999)

ผลการวิจัยนี้พบว่ามีแนวโน้มที่ peak viscosity, trough และ final viscosity เพิ่มขึ้นตามร้อยละเบต้าอะมิโลไลซิส แต่ลดลงเมื่อค่า ICL_{avg} เพิ่มขึ้น ขณะที่ pasting temperature และ breakdown มีแนวโน้มที่เป็นสัดส่วนกลับกับปริมาณอะมิโลส

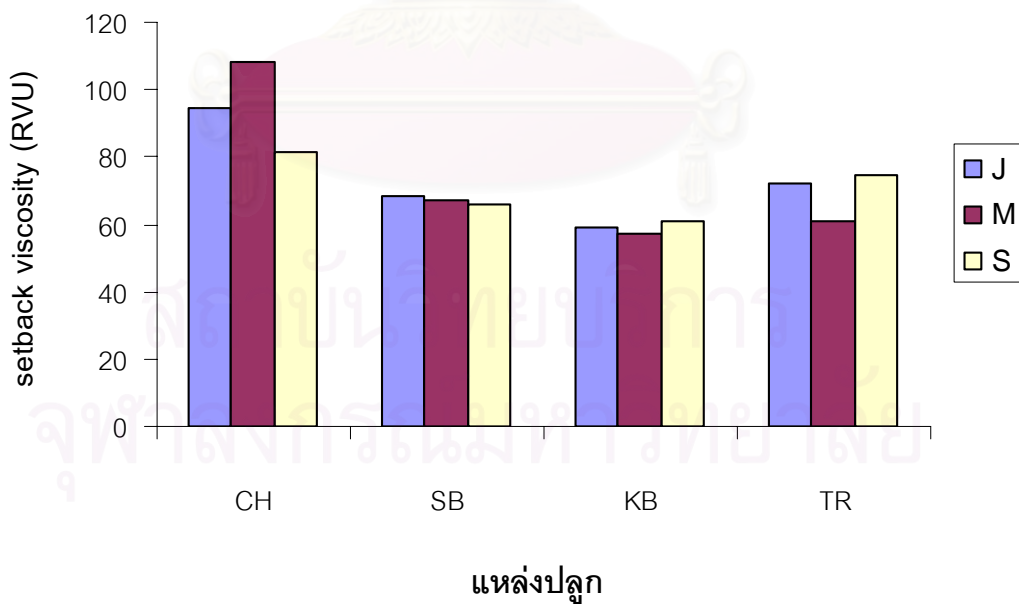


รูปที่ 4.8 Pasting temperature ของสตาร์ชเผือกหอม

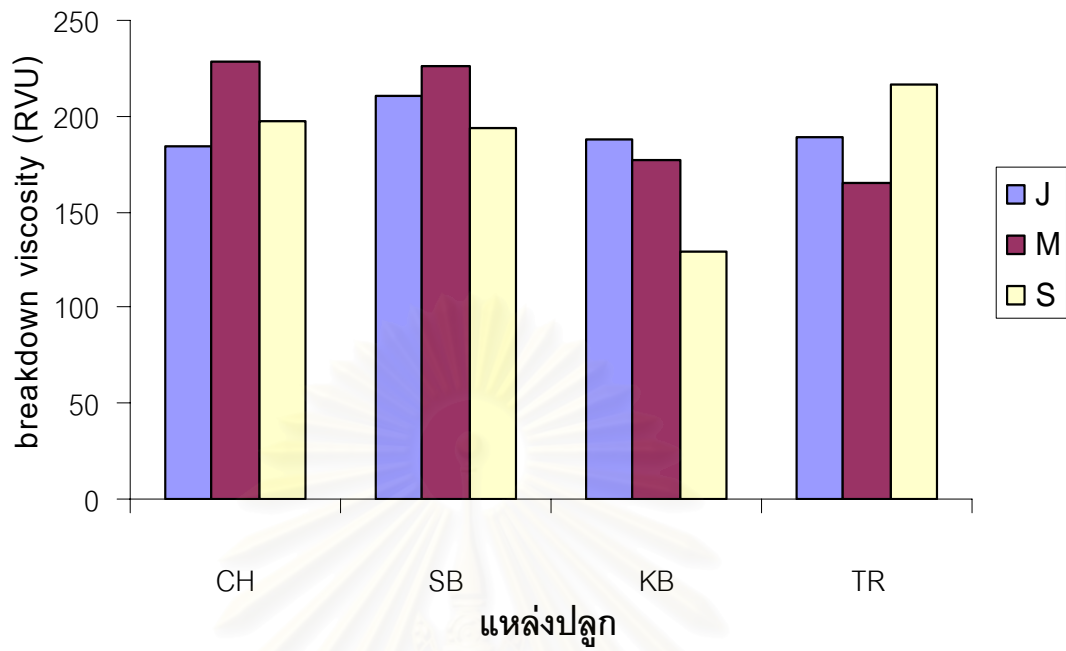
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



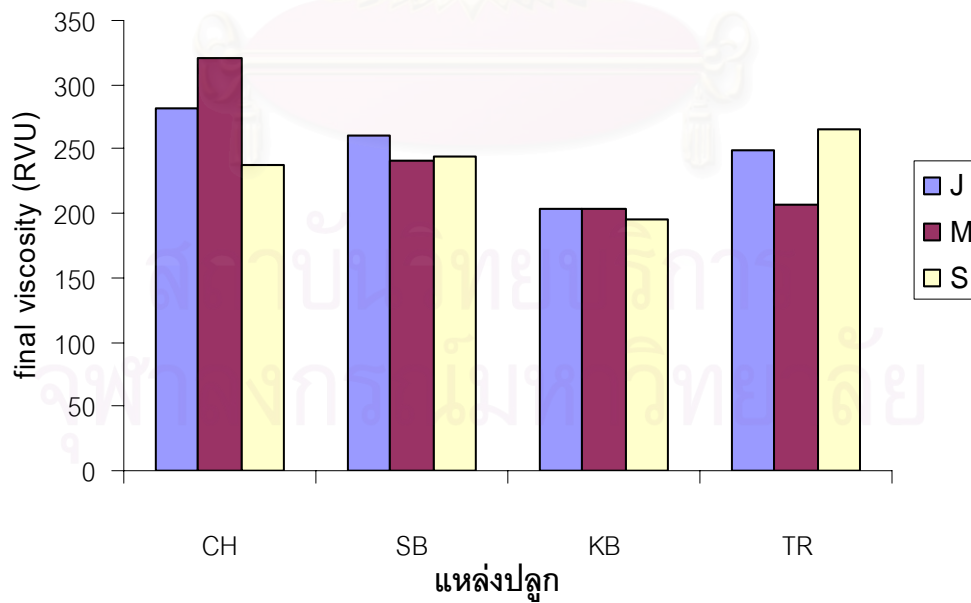
รูปที่ 4.9 Peak viscosity ของสตาร์ชจากเผือกหอม



รูปที่ 4.10 ค่า setback ของสตาร์ชจากเผือกหอม



รูปที่ 4.11 ค่า breakdown ของสตาร์ชจากเผือกหอม



รูปที่ 4.12 Final viscosity ของสตาร์ชจากเผือกหอม

4.7.5 สมบัติทางด้านความร้อนของสตาร์ชเผือกหอม

จากการศึกษาสมบัติทางด้านความร้อนของสตาร์ชเผือกหอมระหว่างการเกิด-
 เจลาติไนซ์ด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ได้ผลแสดงในตารางที่ 4.16
 ซึ่งพบว่าสตาร์ชเผือกหอมจากกาญจนบุรีที่สกัดจากหัวเผือกขนาดต่างกันมีค่า T_o , T_p และ T_c
 ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับสตาร์ชเผือกหอมจากเชียงใหม่และตราดที่สกัดจาก
 หัวเผือกขนาดต่างกันให้ค่า T_o , T_p และ T_c ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สตาร์ชเผือก-
 หอมจากเชียงใหม่ค่า T_o , T_p และ T_c ของสตาร์ชที่สกัดจากหัวเผือกขนาดกลางสูงกว่าขนาดใหญ่และ
 เล็กตามลำดับ สตาร์ชเผือกหอมจากตราดนั้นหัวเผือกขนาดใหญ่ให้ค่า T_o และ T_p ต่ำที่สุด แต่
 หัวเผือกขนาดกลางให้ค่า T_c ต่ำที่สุด ส่วนสตาร์ชจากสระบุรีนั้นขนาดของหัวเผือกที่ใช้ไม่มีผลต่อ
 ค่า T_p และ T_c แต่มีผลต่อค่า T_o โดยสตาร์ชที่ได้จากหัวเผือกขนาดใหญ่มีค่า T_o ต่ำสุด

เมื่อนำค่าเฉลี่ยของ T_o , T_p และ T_c ของสตาร์ชจากหัวเผือกทุกขนาดในแหล่งปลูก
 เดียวกันมาวิเคราะห์ (ตารางที่ 4.17) พบว่าสตาร์ชเผือกหอมจากแหล่งปลูกต่างกันมีผลต่อค่า T_o ,
 T_p และ T_c อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยสตาร์ชที่สกัดจากแหล่งปลูกเชียงใหม่มีค่า T_o ,
 T_p และ T_c ต่ำที่สุดคือ 65.6 73 และ 84.5 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบกับสตาร์ชเผือกที่สกัด
 จากแหล่งอื่น ซึ่งอาจเนื่องมาจากสตาร์ชจากเชียงใหม่มี CL_{avg} สั้น (25.23) ECL_{avg} สั้น (14.79)
 และ ICL_{avg} สั้น (9.44) ขณะที่สตาร์ชจากแหล่งปลูกกาญจนบุรีมีค่า T_o , T_p และ T_c สูงสุด ซึ่งอาจ
 เนื่องจากมี CL_{avg} (29.32) ECL_{avg} (15.02) และ ICL_{avg} (13.29) ยาว โดยสอดคล้องกับผลงานวิจัย
 ที่พบว่าสตาร์ชที่มี CL_{avg} สั้นมีอุณหภูมิที่เริ่มเกิดเจลาติไนซ์ต่ำ (Jane และคณะ, 1999)

เมื่อพิจารณาช่วงอุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนซ์ (ตารางที่ 4.17) พบว่า ช่วง
 อุณหภูมิการเกิดเจลาติไนซ์จากแหล่งปลูกต่างๆ แตกต่างกันด้วย กล่าวคือสตาร์ชเผือกหอมจาก
 เชียงใหม่มีช่วงอุณหภูมินี้ยาวสุดคือ ประมาณ 19 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิในการเกิดเจลาติไนซ์
 ที่สูงกว่าสามารถบ่งได้ว่าสตาร์ชเผือกหอมจากกาญจนบุรีและตราดเกิดการเจลาติไนซ์ได้ยากกว่า
 สตาร์ชจากเชียงใหม่ ซึ่งสอดคล้องกับผลของกำลังการพองตัว ซึ่งพบว่าที่อุณหภูมิ ≤ 75 องศา-
 เซลเซียส กำลังการพองตัวของสตาร์ชจากกาญจนบุรีและตราด ต่ำกว่าของสตาร์ชจากเชียงใหม่ ซึ่ง
 ในการเกิดเจลาติไนซ์สตาร์ชต้องการน้ำภายในเม็ดสตาร์ชจำนวนหนึ่งจึงเกิดเจลาติไนซ์ได้ ซึ่งเมื่อ
 พิจารณาจากความสัมพันธ์ระหว่างกำลังการพองตัวกับ T_o ของแต่ละตัวอย่างแล้วอาจสรุปได้
 โดยประมาณว่า สตาร์ชเผือกหอมต้องมีกำลังการพองตัวสูงกว่าประมาณ 3 กรัมต่อกรัมสตาร์ชแห้ง
 จึงเริ่มเกิดการเจลาติไนซ์

ตารางที่ 4.16 อุณหภูมิของการเกิดเจลาตินไนซ์ของสตาร์ชเผือกหอม

| ตัวอย่าง | Onset Temperature T_0 ($^{\circ}\text{C}$) | Peak Temperature T_p ($^{\circ}\text{C}$) | Conclusion Temperature T_c ($^{\circ}\text{C}$) |
|----------|---|--|--|
| CH:J | 64.40 ± 0.38^b | 72.20 ± 0.23^b | 85.66 ± 0.40^b |
| CH:M | 69.46 ± 0.08^a | 75.56 ± 0.01^a | 87.43 ± 2.82^a |
| CH:S | 62.80 ± 0.01^c | 71.16 ± 0.00^c | 82.75 ± 0.27^c |
| SB:J | 72.90 ± 0.16^b | 79.04 ± 0.01^{ns} | 90.54 ± 0.01^{ns} |
| SB:M | 74.80 ± 0.32^a | 80.04 ± 0.23^{ns} | 89.00 ± 0.22^{ns} |
| SB:S | 74.16 ± 0.13^a | 79.22 ± 0.70^{ns} | 89.38 ± 0.15^{ns} |
| KB:J | 77.05 ± 0.26^{ns} | 82.06 ± 0.35^{ns} | 88.28 ± 2.74^{ns} |
| KB:M | 77.32 ± 0.32^{ns} | 81.96 ± 0.49^{ns} | 89.40 ± 0.64^{ns} |
| KB:S | 77.15 ± 0.07^{ns} | 82.03 ± 0.11^{ns} | 90.34 ± 0.26^{ns} |
| TR:J | 76.02 ± 0.32^b | 80.86 ± 0.36^b | 88.99 ± 0.21^b |
| TR:M | 77.12 ± 0.20^a | 83.46 ± 0.00^a | 86.48 ± 0.75^c |
| TR:S | 77.28 ± 0.02^a | 82.94 ± 0.25^a | 91.00 ± 0.08^a |

a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของการเกิดเจลาตินไนซ์ของสตาร์ชเผือกหอมจากทุกแหล่งปลูก

| แหล่งปลูก | Onset Temperature T_0 ($^{\circ}\text{C}$) | Peak Temperature T_p ($^{\circ}\text{C}$) | Conclusion Temperature T_c ($^{\circ}\text{C}$) | ช่วงอุณหภูมิ การเกิดเจลาตินไนซ์ ($^{\circ}\text{C}$) |
|-----------|---|--|--|--|
| CH | 65.55 ± 3.12^c | 72.97 ± 2.06^c | 84.48 ± 1.41^b | 18.93 ± 1.71^a |
| SB | 73.98 ± 0.83^b | 79.44 ± 0.58^b | 89.64 ± 0.73^a | 15.66 ± 0.10^b |
| KB | 77.17 ± 0.22^a | 82.02 ± 0.28^a | 89.85 ± 0.60^a | 12.68 ± 0.38^c |
| TR | 76.81 ± 0.64^a | 82.42 ± 1.25^a | 90.53 ± 1.26^a | 13.19 ± 0.62^c |

a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

การเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ซเฟือกหอมศึกษาด้วยเครื่อง DSC (ตารางที่ 4.18) พบว่าเมื่อเก็บสตาร์ซเฟือกที่เจลาตินไนซ์แล้วไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส สตาร์ซเฟือกทุกตัวอย่างเกิดรีโทรเกรดชันในวันที่ 7 โดยมีค่าร้อยละของการเกิดรีโทรเกรดชันในช่วง 35.98 – 38.73 และเมื่อเก็บไว้นาน 14 วัน ค่านี้เพิ่มขึ้นเป็น 40.72 – 46.62 โดยที่สตาร์ซจากแหล่งปลูกเดียวกันแต่มาจากหัวเฟือกขนาดต่างกัน มีค่าร้อยละการเกิดรีโทรเกรดชันที่เก็บนาน 7 วัน ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) แต่เมื่อเก็บไว้นาน 14 วัน สตาร์ซจากเชียงใหม่และสระบุรีที่สกัดจากหัวเฟือกขนาดต่างกันก็ไม่แสดงความแตกต่างของการเกิดรีโทรเกรดชัน แต่สตาร์ซจากกาญจนบุรีที่สกัดจากหัวเฟือกขนาดกลางเกิดรีโทรเกรดชันน้อยที่สุด ขณะที่สตาร์ซจากตราดที่สกัดจากหัวเฟือกขนาดเล็กเกิดรีโทรเกรดชันมากที่สุด

เมื่อวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยร้อยละการเกิดรีโทรเกรดชันจากทุกขนาดในแหล่งปลูกเดียวกัน (ตารางที่ 4.19) พบว่า การเก็บสตาร์ซเฟือกหอมที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 7 วัน สตาร์ซเฟือกหอมที่เจลาตินไนซ์แล้วเกิดรีโทรเกรดชันในปริมาณที่พอๆกันในช่วงประมาณร้อยละ 36 – 38 แต่เมื่อเก็บไว้นาน 14 วัน พบว่านอกจากการเกิดรีโทรเกรดชันเพิ่มขึ้นแล้ว ยังพบว่าสตาร์ซจากตราดเกิดรีโทรเกรดชันมากที่สุดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติอีกด้วย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสตาร์ซจากตราดมีค่า ECL_{avg} (15.05) ยาวกว่าสตาร์ซจากแหล่งปลูกอื่น สอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่พบว่า อัตราการเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ซมีความสัมพันธ์กับปริมาณของอะมิโลเพคตินสายสั้นที่มีค่า DP อยู่ในช่วง 6 – 9 โดยรายงานว่าสตาร์ซที่มีปริมาณอะมิโลเพคตินสายสั้นมากจะเกิดรีโทรเกรดชันต่ำ ส่วนสตาร์ซที่มีปริมาณอะมิโลเพคตินสายสั้นน้อยเกิดรีโทรเกรดชันสูง (Jane และคณะ, 1999) นอกจากนี้สตาร์ซเฟือกหอมจากตราดที่สกัดจากหัวเฟือกขนาดเล็กมีค่า DP ของอะมิโลสเท่ากับ 238 ซึ่งมีรายงานวิจัยที่พบว่าสตาร์ซที่มี DP ของอะมิโลสอยู่ในช่วงประมาณ 100 – 200 สามารถเกิดรีโทรเกรดชันได้ดีที่สุด (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

ตารางที่ 4.18 ร้อยละการเกิดรีโทรเกรดชันที่อุณหภูมิ 4 °C ของสตาร์ชเผือกหอม

| ตัวอย่าง | ร้อยละการเกิดรีโทรเกรดชัน | |
|----------|-----------------------------|----------------------------|
| | 7 วัน | 14 วัน |
| CH:J | 36.03 ± 2.41 ^{ns} | 42.69 ± 0.26 ^{ns} |
| CH:M | 37.43 ± 2.82 ^{ns} | 42.77 ± 1.46 ^{ns} |
| CH:S | 36.30 ± 2.51 ^{ns} | 42.48 ± 0.02 ^{ns} |
| SB:J | 36.60 ± 3.18 ^{ns} | 42.79 ± 0.34 ^{ns} |
| SB:M | 35.98 ± 0.44 ^{ns} | 42.09 ± 1.00 ^{ns} |
| SB:S | 38.27 ± 0.86 ^{ns} | 42.12 ± 0.55 ^{ns} |
| KB:J | 38.15 ± 0.85 ^{ns} | 42.79 ± 1.08 ^a |
| KB:M | 38.72 ± 0.77 ^{ns} | 40.72 ± 0.64 ^b |
| KB:S | 37.96 ± 0.55 ^{ns} | 42.29 ± 0.87 ^a |
| TR:J | 38.13 ± 0.32 ^{ns} | 44.95 ± 0.58 ^b |
| TR:M | 36.48 ± 0.75 ^{ns} | 44.56 ± 0.23 ^b |
| TR:S | 37.52 ± 46.62 ^{ns} | 46.62 ± 0.43 ^a |

ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยร้อยละการรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชเฟือกหอมจากทุกแหล่งปลูก

| แหล่งปลูก | ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชัน | |
|-----------|----------------------------|---------------------------|
| | 7 วัน | 14 วัน |
| CH | 36.59 ± 2.11 ^{ns} | 42.62 ± 0.67 ^b |
| SB | 36.95 ± 1.82 ^{ns} | 42.34 ± 0.64 ^b |
| KB | 38.28 ± 0.67 ^{ns} | 41.93 ± 1.19 ^b |
| TR | 37.38 ± 1.06 ^{ns} | 45.38 ± 1.04 ^a |

a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

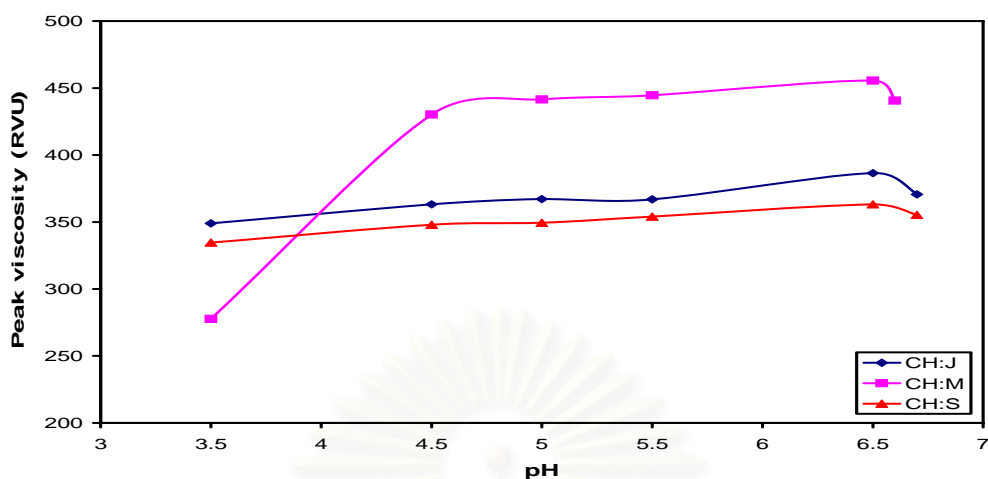
4.7.6 เสถียรภาพของแป้งเปียก

4.7.6.1 ผลของ pH 3.5 4.5 5.0 5.5 และ 6.5 ต่อเสถียรภาพของแป้งเปียก

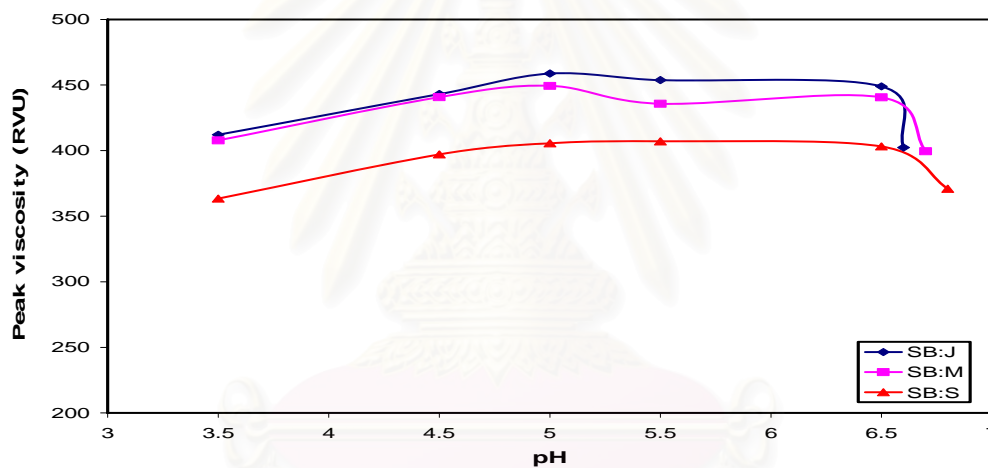
จากผลการวิเคราะห์เสถียรภาพของแป้งเปียกที่ pH ต่างๆ (รูปที่ 4.13 – 4.16) พบว่าสตาร์ชเหือกจากทุกแหล่งปลูกและจากหัวเหือกทุกขนาดมีผลไปในแนวทางเดียวกันคือ ที่ pH 3.5 แป้งเปียกมีค่า peak viscosity ต่ำ โดยมีค่าอยู่ในช่วง 335 – 414 RVU แต่เมื่อ pH เพิ่มขึ้นเป็น 4.5 ทำให้ peak viscosity เพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 11.6 คือ มีค่าน้อยอยู่ในช่วง 347 – 489 RVU และเมื่อ pH เพิ่มขึ้นหลังจากนี้จนถึง pH 6.5 พบว่าค่านี้เพิ่มขึ้นต่อไปน้อยมาก แต่ค่า peak viscosity มี pH ของแป้งเปียกในสภาวะปกติต่ำกว่าที่ pH 6.5 โดยค่า peak viscosity ของสตาร์ชจากเชียงใหม่ขนาดใหญ่และขนาดเล็กที่มีการเปลี่ยนแปลงตาม pH น้อยมาก ตลอดช่วง pH ที่ศึกษาแสดงว่ามีเสถียรภาพของแป้งเปียกสูง ทั้งนี้อาจเกิดเนื่องจากการที่สตาร์ชทั้งสองนี้มีปริมาณอะมิโลสสูง (20.83% และ 22.83% ตามลำดับ) และอะมิโลสมีการจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นมากเป็นผลทำให้กรดเข้าไปทำปฏิกิริยาได้ยากจึงทำให้แป้งเปียกดังกล่าวมีเสถียรภาพต่อ pH สูง

ตารางที่ 4.20 ค่า pH ของแป้งเปียกในสภาวะปกติ

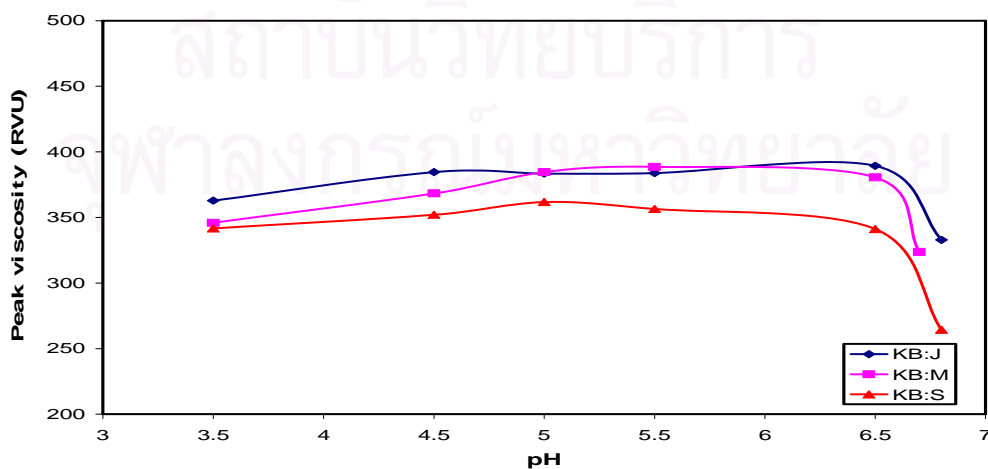
| แหล่งปลูก | pH ของแป้งเปียก | | |
|-----------|-----------------|----------|----------|
| | ขนาดใหญ่ | ขนาดกลาง | ขนาดเล็ก |
| CH | 6.7 | 6.6 | 6.7 |
| SB | 6.6 | 6.7 | 6.8 |
| KB | 6.8 | 6.7 | 6.8 |
| TR | 6.7 | 6.8 | 6.7 |



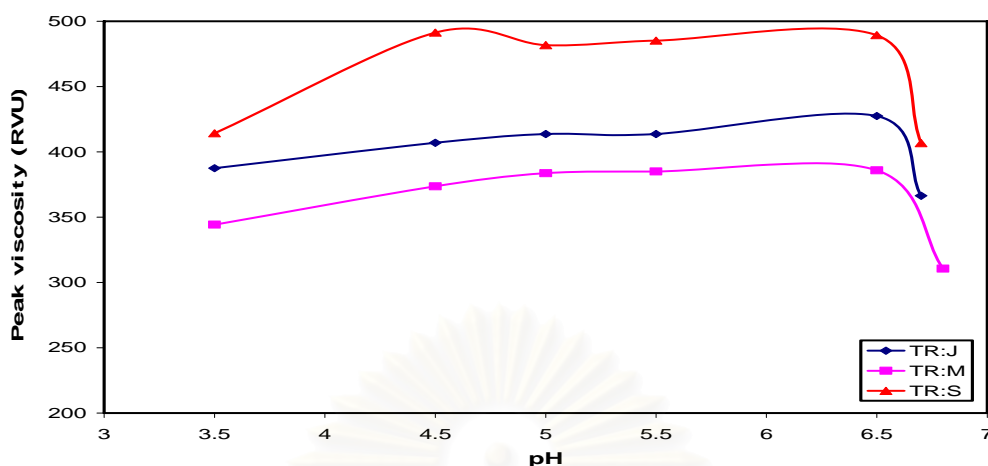
รูปที่ 4.13 Peak viscosity ของแป้งเปียกของสตาร์ชเปลือกหอยจากเชิงใหม่ที่มี pH ต่างๆ



รูปที่ 4.14 Peak viscosity ของแป้งเปียกของสตาร์ชเปลือกหอยจากสระบุรีที่มี pH ต่างๆ



รูปที่ 4.15 Peak viscosity ของแป้งเปียกของสตาร์ชเปลือกหอยจากกาดูญนบุรีที่มี pH ต่างๆ



รูปที่ 4.16 Peak viscosity ของแป้งเปียกของสตาร์ชเผือกหอมจากตราดที่ pH ต่างๆ

4.7.6.2 ผลของกระบวนการแช่แข็งและการละลายต่อเสถียรภาพของแป้งเปียก

กระบวนการแช่แข็งและการละลายมีผลต่อเสถียรภาพของแป้งเปียกนั้น

วิเคราะห์ในรูปแบบของ % syneresis ดังแสดงในตารางที่ 4.21 – 4.22 พบว่าสตาร์ชจากเผือกหอมจากแหล่งปลูกเชียงใหม่ทุกขนาดมีค่า % syneresis สูงที่สุด แสดงให้เห็นว่าสตาร์ชเผือกหอมจากเชียงใหม่มีเสถียรภาพของการแช่แข็งและการละลายของแป้งเปียกต่ำที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากการที่สตาร์ชเผือกหอมนี้มี CL_{avg} , ECL_{avg} และ ICL_{avg} สั้น คือ 25.23 14.79 และ 9.44 ตามลำดับ ดังนั้นเมื่อผ่านกระบวนการแช่แข็งและการละลายแล้ว โมเลกุลอาจไม่สามารถกลับมาจัดเรียงตัวกันและ/หรือ เกิดเป็นสายเกลียวคู่ได้ จึงทำให้ไม่สามารถจับน้ำไว้ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมจากทุกแหล่งปลูกและจากหัวเผือกทุกขนาดหลังผ่านกระบวนการแช่แข็งและการละลายแล้วมีโครงสร้างคล้ายฟองน้ำ (sponge like gels) เช่นเดียวกับสตาร์ชจากพืชหัวและธัญพืช ได้แก่ มันฝรั่ง มันสำปะหลัง ข้าวสาลี ข้าวโพด ข้าวบาร์เลย์ ข้าวเจ้า และข้าวเหนียว (Zheng และ Sosulski, 1998)

ตารางที่ 4.21 % syneresis ของสตาร์ชเฟือกหอมหลังจากผ่านกระบวนการแช่แข็งและการละลาย
ที่ cycle ต่างๆ

| ตัวอย่าง | % syneresis | | | | |
|----------|--------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | cycle 1 | cycle 2 | cycle 3 | cycle 4 | cycle 5 |
| CH:J | 2.23 ± 0.17 ^a | 4.43 ± 0.28 ^{ns} | 16.52 ± 0.81 ^{ns} | 16.52 ± 0.81 ^{ns} | 16.52 ± 0.81 ^{ns} |
| CH:M | 1.70 ± 0.08 ^b | 4.92 ± 0.17 ^{ns} | 16.82 ± 0.41 ^{ns} | 16.82 ± 0.41 ^{ns} | 16.82 ± 0.41 ^{ns} |
| CH:S | 2.27 ± 0.28 ^a | 4.96 ± 0.24 ^{ns} | 16.61 ± 0.22 ^{ns} | 16.61 ± 0.22 ^{ns} | 16.61 ± 0.22 ^{ns} |
| SB:J | 0.00 ^{ns} | 9.06 ± 0.20 ^a | 10.84 ± 0.11 ^{ns} | 10.84 ± 0.11 ^{ns} | 10.84 ± 0.11 ^{ns} |
| SB:M | 0.00 ^{ns} | 6.48 ± 0.35 ^c | 10.61 ± 0.49 ^{ns} | 10.61 ± 0.49 ^{ns} | 10.61 ± 0.49 ^{ns} |
| SB:S | 0.00 ^{ns} | 8.02 ± 0.38 ^b | 10.03 ± 0.39 ^{ns} | 10.03 ± 0.39 ^{ns} | 10.03 ± 0.39 ^{ns} |
| KB:J | 0.00 ^{ns} | 11.95 ± 0.27 ^a | 12.33 ± 0.27 ^{ns} | 12.33 ± 0.27 ^{ns} | 12.33 ± 0.27 ^{ns} |
| KB:M | 0.00 ^{ns} | 7.32 ± 0.07 ^c | 12.47 ± 0.08 ^{ns} | 12.47 ± 0.08 ^{ns} | 12.47 ± 0.08 ^{ns} |
| KB:S | 0.00 ^{ns} | 10.83 ± 0.28 ^b | 13.22 ± 0.25 ^{ns} | 13.22 ± 0.25 ^{ns} | 13.22 ± 0.25 ^{ns} |
| TR:J | 0.00 ^{ns} | 6.68 ± 0.09 ^b | 11.57 ± 0.19 ^{ns} | 11.57 ± 0.19 ^{ns} | 11.57 ± 0.19 ^{ns} |
| TR:M | 0.00 ^{ns} | 8.89 ± 0.08 ^a | 11.18 ± 0.20 ^{ns} | 11.18 ± 0.20 ^{ns} | 11.18 ± 0.20 ^{ns} |
| TR:S | 0.00 ^{ns} | 6.78 ± 0.15 ^b | 11.57 ± 0.03 ^{ns} | 11.57 ± 0.03 ^{ns} | 11.57 ± 0.03 ^{ns} |

a และ b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ในแนวตั้ง หมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.22 ค่าเฉลี่ย % syneresis ของสตาร์ชเฟือกหอมหลังจากผ่านกระบวนการแช่แข็งและการละลายจากทุกแหล่งปลูกที่ cycle ต่างๆ

| แหล่งปลูก | % syneresis | | | | |
|-----------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| | cycle 1 | cycle 2 | cycle 3 | cycle 4 | Cycle 5 |
| CH | 2.07+0.32 ^a | 4.78+0.32 ^c | 16.47+0.60 ^a | 16.47+0.60 ^a | 16.47+0.60 ^a |
| SB | 0.00 ^b | 7.88+1.16 ^b | 10.49+0.48 ^d | 10.49+0.48 ^d | 10.49+0.48 ^d |
| KB | 0.00 ^b | 10.03+2.10 ^a | 12.68+0.45 ^b | 12.68+0.45 ^b | 12.68+0.45 ^b |
| TR | 0.00 ^b | 7.12+0.59 ^b | 11.44+0.24 ^c | 11.44+0.24 ^c | 11.44+0.24 ^c |

a, b และ c ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เปลือกหอมจาก 4 จังหวัดของประเทศไทย คือ เชียงใหม่ สระบุรี กาญจนบุรี และตราด มีองค์ประกอบทางเคมีคิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง ดังนี้

| | |
|--------------|-------------|
| โปรตีน | 4.20-9.28 |
| เถ้า | 2.00-5.10 |
| ใยอาหาร | 1.07-3.48 |
| ไขมัน | 0.32-0.91 |
| คาร์โบไฮเดรต | 83.15-91.65 |

และมีแคลเซียมออกซาเลต 284.75-456.17 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของเปลือกหอมแห้ง

เปลือกหอมที่มีขนาดหัวต่างกันและมาจากแหล่งปลูกต่างกันมีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน เป็นผลทำให้สสารที่สกัดได้จากหัวเปลือกเหล่านี้มีองค์ประกอบทางเคมีแตกต่างกัน นอกจากนั้นยังมีปริมาณอะมิโลส DP_{avg} ของสายอะมิโลสและลักษณะโครงสร้างอะมิโลเพคตินที่แตกต่างกันอีกด้วย ซึ่งเป็นผลทำให้สมบัติทางกายภาพ ซึ่งวิเคราะห์จากกำลังการพองตัว การละลาย สมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลาติไนซ์ สมบัติทางความหนืดของแป้งเปียกและการเกิดริโทรเกรเดชันต่างกัน

การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 0.05 ในการสกัดสสารจากเปลือกหอมให้ปริมาณโปรตีนในสสารที่สกัดได้จากการใช้น้ำสกัด ปริมาณผลผลิตสสารที่ได้อยู่ในช่วงร้อยละ 28.03-53.25 ซึ่งขึ้นอยู่กับแหล่งปลูก โดยเปลือกหอมจากตราดและกาญจนบุรีซึ่งมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงก็ให้ผลผลิตสสารสูง

สสารที่สกัดได้มีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8.80-11.73 และมีองค์ประกอบทางเคมีอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง ดังนี้

| | |
|--------------|-------------|
| โปรตีน | 0.68-1.94 |
| เถ้า | 0.12-0.28 |
| ใยอาหาร | 0.12-0.94 |
| ไขมัน | 0.12-0.29 |
| คาร์โบไฮเดรต | 96.87-98.21 |

ส่วนปริมาณแคลเซียมออกซาเลตอยู่ในช่วง 181.96 - 200.18 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง

ปริมาณอะมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 18.8-22.4 โดย DP_{avg} ของสายอะมิโลสอยู่ในช่วง 195 - 238 เม็ดสตาร์ชมีขนาดเฉลี่ย 1.3 - 2.2 ไมครอน และรูปร่างแบบหลายเหลี่ยม โครงร่างผลึกเป็นแบบ A โครงสร้างของอะมิโลเพคตินของสตาร์ชเผือกหอมสรุปได้ดังนี้

| | |
|------------------------|---------------|
| ความยาวสายเฉลี่ย | 21.53 - 31.73 |
| ร้อยละเบต้าอะมิโลไลซิส | 43.11 - 53.12 |
| ความยาวสายภายนอกเฉลี่ย | 12.61 - 16.94 |
| ความยาวสายภายในเฉลี่ย | 7.06 - 14.64 |

สตาร์ชเผือกหอมมีกำลังการพองตัว 1.76 - 3.40 กรัมต่อกรัมสตาร์ชแห้ง ที่ 60 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้น 8.21-10.82 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 80 องศาเซลเซียส ขณะที่การละลายมีค่าร้อยละ 1.25 - 2.44 ที่ 60 องศาเซลเซียส และเพิ่มขึ้นเพียง 4.95 - 5.56 เท่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 80 องศาเซลเซียส จากการวิเคราะห์ด้วย DSC พบว่าสตาร์ชเผือกหอมเริ่มเจลาติไนซ์ที่ onset temperature ในช่วง 62.80 - 77.32 องศาเซลเซียส และมี peak และ conclusion temperature ในช่วง 72.20 - 83.46 และ 82.75 - 91.00 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เมื่อเก็บสตาร์ชเผือกหอมที่เจลาติไนซ์แล้วที่ 4 องศาเซลเซียส พบว่ามีการเกิดรีโทรเกรเดชันในช่วงร้อยละ 35.98 - 38.73 และ 40.72 - 46.62 เมื่อเก็บนาน 7 และ 14 วัน ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์สมบัติด้านความหนืดของแป้งเปียกสตาร์ชเผือกหอมด้วยเครื่อง RVA พบว่า pasting temperature อยู่ในช่วง 78 - 87 องศาเซลเซียส และมี peak viscosity, setback และ breakdown อยู่ในช่วง 264 - 441, 61 - 108 และ 164 - 228 RVU ตามลำดับ

แป้งเปียกของสตาร์ชเผือกหอมมี pH ประมาณ 6.7 ± 0.1 การเพิ่ม pH ในช่วง 3.5 ถึง 6.5 ทำให้ peak viscosity เพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ 11.6

แป้งเปียกของสตาร์ชเผือกหอมที่ความเข้มข้นร้อยละ 6 ที่ผ่านกระบวนการแช่แข็ง และการละลาย 5 ครั้ง มีลักษณะคล้ายฟองน้ำ และมี %syneresis ในช่วง 10.03-16.82

หัวเผือกขนาดเล็กให้ปริมาณผลผลิตสตาร์ชสูงสุด (ยกเว้นหัวเผือกจากกาญจนบุรีซึ่งให้ผลตรงกันข้าม) และสตาร์ชที่ได้มีปริมาณอะมิโลสสูง (คือร้อยละ 22.38 โดยเฉลี่ยจากทุกแหล่งปลูก) สตาร์ชจากหัวเผือกขนาดกลางมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าจากหัวเผือกขนาดใหญ่และเล็กตามลำดับ แต่มีปริมาณอะมิโลสต่ำ (คือร้อยละ 19.44 โดยเฉลี่ยจากทุกแหล่งปลูก) โดยทั่วไป ความยาวสายเฉลี่ยของอะมิโลเพคตินของสตาร์ชเผือกหอมจากหัวเผือกขนาดเล็กและกลางยาวกว่าจากหัวเผือกขนาดใหญ่ ยกเว้นสตาร์ชจากตราดซึ่งกลับกัน ที่อุณหภูมิสูงกว่า 75 °C สตาร์ชจากหัวเผือกขนาดเล็กมีกำลังการพองตัวสูงกว่าจากขนาดกลาง

เผือกหอมจากตราดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด จึงให้ปริมาณผลผลิตสตาร์ชสูงสุด ด้วย สตาร์ชเผือกหอมจากสระบุรีมีปริมาณโปรตีนสูงสุด แต่มีปริมาณอะมิโลสและความยาวเฉลี่ยของสายอะมิโลสต่ำสุด สตาร์ชเผือกหอมจากเชียงใหม่และตราดมีความยาวเฉลี่ยของสายอะมิโลสสูงสุด (DP_{avg} 238) และมีอะมิโลเพคตินที่มีความเป็นกึ่งต่ำและสายกึ่งสั้น ส่วนสตาร์ชจากกาญจนบุรีมีอะมิโลเพคตินที่มีขนาดใหญ่ มีความเป็นกึ่งสูงและมีสายกึ่งยาว ทำให้ที่ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ สตาร์ชจากกาญจนบุรีมีกำลังการพองตัวสูงสุด แต่การละลายต่ำสุด อย่างไรก็ตามเนื่องจากปริมาณอะมิโลสที่สูงทำให้สตาร์ชจากกาญจนบุรีมีค่า peak viscosity ต่ำที่สุด

นอกจากนี้ยังพบว่าค่า peak viscosity, trough และ final viscosity เพิ่มขึ้นตามค่าร้อยละเบต้าอะมิโลไลดีส ซึ่งเป็นค่าหนึ่งบ่งลักษณะของโครงสร้างอะมิโลเพคติน

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยเกี่ยวกับสตาร์ชเผือกที่ควรทำต่อคือการดัดแปรทางเคมีหรือทางกายภาพ เพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ โดยเฉพาะความคงตัวต่อกระบวนการแช่แข็งและการละลาย นอกจากนี้ยังควรนำข้อมูลจากการวิจัยนี้ไปเป็นฐานะสำหรับการวิจัยพัฒนาผลิตภัณฑ์เชิงการค้า

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกูล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 1 - 292.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. ัญชาติและพืชหัว. กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 226 – 229.
- นรินทร์ พูลเพิ่ม. 2539. การปลูกเผือก. พิจิตร : ศูนย์วิจัยพืชสวน สถาบันวิจัยพืชสวน กรมวิชาการเกษตร. (ไม่ได้เผยแพร่)
- ปัทมา วิตยากร. 2529. สารต้านโภชนาการในผักกินใบบางชนิด. แก่นเกษตร 14 : 230 – 236. วิชาการเกษตร, กรม. (ม.ป.ป.) แผนพัฒนาพืช แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, ฉบับที่ 7 เล่ม 1 พ.ศ.2535-2539. หน้า 370-376.
- วิทยา แสงแก้วสุข. 2541. เผือก (taro). ใน : รังสฤษฎ์ กาวิต๊ะ และคณะ (บรรณาธิการ) : พฤษ-ศาสตร์พืชเศรษฐกิจ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ. หน้า 60-65.
- ศัลวิธานนิเทศ, พระยา. 2511. เผือก. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน 5 : 163 - 168. เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน. 2544. สถิติผลิตภัณฑ์จังหวัด ภาค ประเทศ สาขาเกษตรกรรมปี 2541. สำนักงานนโยบายและพัฒนากการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- เศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงาน. 2545. สถิติผลิตภัณฑ์จังหวัด ภาค ประเทศ สาขาเกษตรกรรมปี 2543. สำนักงานนโยบายและพัฒนากการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- อาหาร, สถาบัน. 2545. Food Statistics [Online]. Available from : http://www.mfi.or.th/import_export/summary_rep_gro... [28 ธันวาคม 2545].
- อดุณิยมวิทยา, กรม. 2548. ปริมาณน้ำฝนเป็นรายภาค พ.ศ. 2545-2546 [Online]. Available from : <http://www.forest/thai.go.th> [9 มีนาคม 2548].

ภาษาอังกฤษ

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

- Baker, L.A. and Duarte, P.R. 1995. Retrogradation of amaranth starch at different storage temperatures and the effects of salt and sugars. Cereal Chemistry. 75(3): 308 – 314.
- Doremus, G.L., Crenshaw, F.A., and Thurber, F.H. 1951. Amylose content of sweet potato starch. Cereal Chemistry. 28(4) : 241-245
- Godoy, C.V., Tulis, E.E., and Quaves, E.S. 1992. Physicochemical properties of raw and blanched taro flours. Journal Food Processing and Preservation 16 : 239 – 252.
- Goering, K.J., and Dehaas, B. 1972. New starches VIII. Properties of the small granule – starch from *Colocasia esculenta*. Cereal Chemistry 49 : 712 – 719.
- Gosselin, R.E., Smith, R.P., and Hodge, H.C. 1984. Clinical toxicology of commercial products. Baltimore. US. Williams & Wilkins, pp. 326 – 328.
- Gunaratne, A. and Hoover, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. Carbohydrate Polymers. 49(4) : 425-437.
- Hood, L.J. 1978. Molecular structure of unmodified and chemically modified manioc starches. Carbohydrate Research. 61 : 53 – 56.
- Hoover, R. and Manuel, H. 1995. A comparative study of the physicochemical properties of starches from two lentil cultivars. Food Chemistry. 53 : 273 – 284.
- Hoover, R. and Vasanthan, T. 1994. Effect of heat – moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume, and tuber starches. Carbohydrate Research. 252 : 33 – 53.
- Huang, A.S., and Tanudjaja, L.S. 1992. Application of anion-exchange high-performance liquid chromatography in determining oxalates in taro (*Colocasia esculenta*) corms. Journal of Agricultural Food Chemistry. 40 : 2123 – 2126.
- Hussain, M., Norton, G., and Neale, R.J. 1984. Composition and nutritive value of cormels of *Colocasia esculenta* (L.) Schott. Journal Science of Food and Agriculture. 35 : 1112 – 1119.
- Iwuoha, I.C., and Kalu, A.F. 1994. Calcium oxalate and physico-chemical properties of cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) tuber flours as affected by processing. Food Chemistry 54 : 61 – 66.

- Jane, J-L., Shen, L., Lim, S., Kasemsuwan, T., and Nip, W.K. 1992. Physical and chemical studies of taro starches and flours. Cereal Chemistry 69(5) : 528-535.
- Jane, J-L., Chen, Y.Y., Lee, L.F., McPherson, A.E., Wong, K.S., Radosavljevic, M., and Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chemistry 76(5) : 629 – 637.
- Jane, J-L. and Yoo, S – H. 2002. Molecular weights and gyration radii of amylopectins determined by high – performance size – exclusion chromatography equipped with multi – angle laser – light scattering and refractive index detectors. Carbohydrate Polymers. 49 : 307 – 314.
- Jiang, G., and Ramsden, L. 1999. Characterisation and yield of the arabinogalactan-protein mucilage of taro corms. Journal Science of Food and Agriculture. 79 : 671 – 674.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. Cereal Science Today. 16(10) : 334 – 336.
- Kim, Y.S., Wiesinborn, D.P., Orr, P.H., and Grant, L.A. 1995. Differential scanning calorimetry. Journal of Food Science. 60(5) : 1060 – 1065.
- Lee, W. 2002. Taro (*Colocasia esculenta*). Available from: <http://www.siu.edu/~ebl/leaflets/taro.htm> [2002, March 23]
- Lin, T.J., Hung, D.Z., Hu, W.H., Yang, D.Y. Wu, T.C., and Deng, J.F. 1998. Calcium oxalate is the main toxic component in clinical presentations of *Alocasia macrorrhiza* (L) Schott and Endl poisonings [Online]. Vet. Hum. Toxicol. 40 : 2, 93 – 94. Abstract from: Toxicology: Item: 4312404.
- Macrae, R., Robinson, R.K., and Sodler, M.J. 1993. Encyclopaedia of food science, food technology and nutrition. Academic Press, Incooperation San Diego. pp. 135 – 140.
- Maga, J.A. 1992. Taro: composition and food uses. Food Reviews International 8(3) : 443 – 473.

- Magningat, C.C. and Seib, P.A. 1992. Starch : Occurrence, isolation, and properties of starch granules. In : AACC short course "Starch : Structure, properties, and food uses." December 3 – 4, 1992. Chicago.
- Manners, D.J. 1989. Recent developments in our understanding of amylopectin structure. Carbohydrate Polymers. 11 : 87 – 112.
- Marais, J.P. 1997. Nitrate and oxalates. In : D'Mello, J.P.F. (Editors) : Handbook of Plant and Fungal Toxicant. New York: CRC Press, pp. 205 – 218.
- Moorthy, S.N., Thankamma, P.K., and Unnikrishnan, M. 1992. Variability in starch extraced from taro. Carbohydrate Polymers. 20 : 169 – 173.
- Newport Scientific Pty, Ltd. 1995. Operation manual for the series 4 Rapid Visco Analyzer. pp. 93. Australia : Newport Scientific Pty.
- Nelson, N. 1994. Determination of glucose. J. Biol. Chem. 153 : 375 – 380.
- Nip, W.K. 1997. Taro. In : Smith, D.S., Cash, J.N., Nip, W.K., and Hui, Y.H. (Editors) : Processing vegetables science and technology. Technomic publishing. pp. 355 – 388.
- Norbert, U.H., Mintus, T., and Detmold, D.W. 1995. Viscosity measurement of potato starch paste with the Rapid Visco Analyzer. Starch/Stärke. 47: 123 – 126.
- Ong, H.M., Jumel, K., Tokarczuk, P.F., Blanshard, J.M.V., and Harding, S.E. 1994. Simultaneous determinations of the molecular weight distributions of amyloses and the fine structures of amylopectins of native starches. Carbohydrate Research. 260 : 99 – 117.
- Reddy, K.R., Ali, S.Z., and Bhattacharya, K.R. 1993. The fine structure of rice-starch amylopectin and its relation to the texture of cooked rice. Carbohydrate Polymers. 22 : 267 – 275.
- Schoch, T.J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In : Whistler, R.L., Smith, R.J., and BeMiller, J.N. (Editors) : Methods in carbohydrates chemistry. Vol. VI, pp. 106 – 108. New York : Academic Press.
- Schoch, T.J. 1968. Effect of freezing and cold storage on pasted starches. In : Tressler, D.K., Van Arsdel, W.B., and copley, M.J. (Editors) : The freezing preservation of foods. Vol. IV, pp. 44 – 56. Westport, CT : The AVI Publishing.

- Schoch, T.J. 1985. Food Application. In : Pomeranz, Y. (Editor) : Functional properties of food components. pp. 51 – 59 . London: Academic Press.
- Swinkels, J.J.M. 1985. Composition and properties of commercial native starches. Starch/Stärke. 37 : 1 – 5 .
- Tagodoe, A., and Nip, W.K. 1994. Functional properties of raw and precooked taro (*Colocasia esculenta*) flours. International Journal Food Science and Technology 29 : 457 – 462.
- Tester, R.F. and Morrison, W.R. 1990. Swelling and gelatinization of cereal starch. I. effect of amylopectin, amylase, and lipid. Cereal Chemistry. 67(6) : 551-557.
- Will, B.H., Lim, J.S.K., Greenfield, H., and Smith, T.B. 1983. Nutrient Composition of Taro (*Colocasia esculenta*) Cultivars from the Papua New Guinea Hoghlands. J. Sci. Food Agric. 34 : 1137 – 1142.
- Wilson, J.E., and Siemonsma, J.S. 1996. *Colocasia esculenta* (L.) Schott. ใน Flach, M., and Rumawas, F. (Editors) : ทรัพยากรพืชในภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ลำดับที่ 9 พืชที่ให้คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่เมล็ด. สหมิตรพรินติ้ง นนทบุรี. หน้า 88-93.
- Zheng, G.H. and Sosulski, F.W. 1998. Determination of water separation from cooked starch and flour pastes after refrigeration and freeze-thaw. Journal of food science. 63(1) : 134-139.
- Zobel, H.F. 1964. X-ray analysis of granular starches. In : Whistler, R.L., Smith, R.L., Bemiller, J.N., and Wolform, M.L. (Editors). Methods in carbohydrate chemistry, Vol. IV. pp. 109. New York : Academic Press.

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก. 1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC 925.10 (1995)

อุปกรณ์

ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น Modell 600, Germany)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในภาชนะอะลูมิเนียมที่อบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างเข้าอบแห้งในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิประมาณ 105 องศาเซลเซียส จนกระทั่งน้ำหนักคงที่
3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ยังอยู่ในตู้อบ
4. ทิ้งให้เย็นใน desiccator
5. ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาความชื้นตามสูตร

ปริมาณความชื้น (%)

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

ก. 2 วิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC 920.87 (1995)

อุปกรณ์

1. Buchi Digestion Unit (รุ่น K-424, Switzerland)
2. Buchi Distillation Unit (รุ่น B-324, Switzerland)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ใน Kjeldahl tube
2. เติม Selenium mixture เพื่อเร่งปฏิกิริยา 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 – 25 มิลลิลิตร

3. นำไปย่อยด้วยเครื่อง Buchi Digestion Unit ซึ่งควบคุมอุณหภูมิในการย่อย
 - ช่วงที่ 1 ใช้อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 – 20 นาที
 - ช่วงที่ 2 ใช้อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1.5 – 2.0 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งสารละลายมีสีเขียวใส
4. ทิ้งไว้ให้เย็นก่อนนำไปกลั่นโดยต่อ Kjeldahl tube เข้ากับเครื่องกลั่น Buchi Distillation Unit ซึ่งจะมีการเติมน้ำกลั่นประมาณ 50 มิลลิลิตร โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 35 ปริมาตร 50 – 70 มิลลิลิตร หรือจนกระทั่งตัวอย่างกลายเป็นสีดำ
5. รองรับสารที่กลั่นด้วย flask ซึ่งเติมอินดิเคเตอร์ 2 – 3 หยด (เมธิลเรด 0.125 กรัม และเมธิลลีนบลู 0.0825 กรัม ละลายในเอทานอลร้อยละ 90 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร) และเติมกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ใช้เวลากลั่น 5 – 6 นาที
6. นำสารละลายใน flask ที่ได้จากการกลั่นมาทำการไตเตรตด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N จนกระทั่งสารละลายที่ได้เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีม่วงอ่อน
7. คำนวณหาปริมาณไนโตรเจนและปริมาณโปรตีนตามสูตร

ปริมาณไนโตรเจน (%)

$$= \frac{\text{ปริมาณกรดไฮโดรคลอริก (ml)} \times \text{ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริก} \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)}}$$

ปริมาณโปรตีน (%) = ปริมาณไนโตรเจน (%) x Factor

หมายเหตุ 1. Factor สำหรับเผือก คือ 6.25

2. Factor สำหรับแป้ง คือ 5.7

ก. 3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC 920.85 (1995)

อุปกรณ์

Soxtherm Gerhardt (รุ่น HC61, Germany)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 2.5 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ใส่ลงใน thimble
2. ใส่ thimble ที่มีตัวอย่างบรรจุอยู่ลงในชุดสกัดที่แห้งสนิท และนำชุดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักที่แน่นอนต่อเข้ากับชุดสกัดที่มี thimble ซึ่งบรรจุตัวอย่างอยู่

3. เติม petroleum ether ซึ่งใช้เป็นตัวสกัด 250 มิลลิลิตรลงในชุดสกัด
4. สกัดไขมันเป็นเวลา 3 – 4 ชั่วโมงโดยควบคุมของ silicon coil ซึ่งเป็นตัวให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ที่ใช้ในการสกัดที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส
5. ระบายส่วนของ petroleum ether ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบขวดสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
6. ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator
7. ชั่งน้ำหนักขวดสกัดและคำนวณหาปริมาณไขมันตามสูตร

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

ก. 4 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย ตามวิธีของ AOAC 978.10 (1995)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น Modell 600, Germany)
2. Muffle Furnace (รุ่น Isotherm, USA.)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ลงในปีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในปีกเกอร์ ต้มให้สารละลายเดือดตลอดเวลาเพื่อย่อยตัวอย่างเป็นเวลา 30 นาที ปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำกลั่น
3. กรองตัวอย่างที่ได้ผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 โดยใช้กรวยบุชเนอร์เซรามิก และล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งเป็นกลาง ตรวจสอบโดยใช้ pH paper
4. นำส่วนที่ติดอยู่บนกระดาษกรองมาย่อยต่อด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 1.25 ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มโดยให้สารละลายเดือดตลอดเวลา 30 นาที ปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำกลั่น
5. กรองตัวอย่างที่ได้ผ่านกระดาษ Whatman เบอร์ 41 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน โดยใช้กรวยบุชเนอร์เซรามิก และล้างด้วยน้ำร้อนจนกระทั่งเป็นกลาง ตรวจสอบโดยใช้ pH paper

6. ล้างส่วนที่ติดบนกระดาษกรองด้วยเอธิลแอลกอฮอล์ 2 ครั้ง
7. นำไปอบที่อุณหภูมิ 128 – 132 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
8. ทิ้งให้เย็นใน desiccator และชั่งน้ำหนัก
9. นำตัวอย่างพร้อมกระดาษกรองที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้วใส่ใน crucible ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 – 600 °C นาน 2 ชั่วโมง หรือจนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
10. ทิ้งให้เย็นใน desiccator
11. ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณ crude fiber และปริมาณเส้นใย โดยน้ำหนักที่หายไปเป็นน้ำหนักของ crude fiber แล้วจึงนำมาคำนวณหาปริมาณเส้นใยตามสูตร

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณเส้นใย (\%)} &= \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง}} \end{aligned}$$

ก. 5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC 923.03 (1995)

อุปกรณ์

Muffle Furnace (รุ่น Isotherm, USA.)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ใน crucible ที่อบแห้งและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างไปเผาจนหมดควัน
3. นำไปเผาต่อใน muffle furnace ที่ 550 – 600 °C นาน 2 ชั่วโมงหรือจนได้เถ้าสีขาว
4. ทิ้งให้เย็นใน desiccator
5. ชั่งน้ำหนักและคำนวณหาปริมาณเถ้าตามสูตร

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

ก. 6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

วิธีการคำนวณ

ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (ร้อยละโดยน้ำหนักแห้ง)

$$= 100 - (\text{ผลรวมของร้อยละน้ำหนักแห้งของโปรตีน ไขมัน เถ้า และใยอาหาร})$$

ก. 7 ปริมาณแคลเซียมออกซาเลต จากวิธีของ Iwuoha และ Kalu (1994)

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC multi RF, USA.)
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Memmert, รุ่น DIN 40050-IP 20, Schwabach W, Germany)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารรีเอเจนต์
 - 1.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 6 โมลาร์
นำสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นร้อยละ 38 จำนวน 495.87 มิลลิลิตร
ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร
 - 1.2 สารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 5
ชั่งแคลเซียมคลอไรด์ 50 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร
 - 1.3 สารละลายกรดซัลฟูริกความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยปริมาตร
นำสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 98 จำนวน 204.08 มิลลิลิตร
ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร
 - 1.4 สารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตเข้มข้น 0.05 โมลาร์
ชั่งโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต 7.9 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร
ให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนควบคุมอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส กรองผ่าน
กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 และเก็บในขวดสีชา
 - 1.5 สารละลายมาตรฐานโซเดียมออกซาเลตเข้มข้น 0.05 โมลาร์
ชั่งโซเดียมออกซาเลต 0.67 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
 - 1.6 สารละลายเมธิลเรดอินดิเคเตอร์
ชั่งเมธิลเรด 0.1 กรัม ละลายด้วยเอทานอลจำนวน 60 มิลลิลิตร ปรับปริมาตร
เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

2. การวิเคราะห์ปริมาณแคลเซียมออกซาลेट

2.1 ขั้นตอนการย่อย

- 2.1.1 ชั่งตัวอย่างแบ่งให้ได้น้ำหนักแบ่งแห้ง 2 กรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2.1.2 เติมน้ำกลั่นจำนวน 190 มิลลิลิตร และสารละลายกรดไฮโดรคลอริก เข้มข้น 6 โมลาร์ จำนวน 20 มิลลิลิตร
- 2.1.3 นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง
- 2.1.4 ทำให้เย็น ปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร และนำไปกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

2.2 ขั้นตอนการตกตะกอนออกซาลेट

- 2.2.1 แบ่งสารละลายที่ได้จากข้อ 2.1.4 ออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนละ 125 มิลลิลิตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 200 มิลลิลิตร
- 2.2.2 เติมสารละลายเมทิลเรดิอินดิเคเตอร์จำนวน 4 หยด และเติมสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ จนกระทั่งสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพู เป็นสีเหลืองอ่อน (มี pH 4 – 4.5)
- 2.2.3 นำสารละลายที่ได้มาให้ความร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส
- 2.2.4 ทำให้เย็น และกรองผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
- 2.2.5 นำสารละลายที่ได้มาให้ความร้อนจนกระทั่งมีอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส และเติมสารละลายแคลเซียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 5 โดยในขณะที่ยกตัวอย่างสม่ำเสมอด้วยแท่งแก้วคน
- 2.2.6 ทำให้เย็น และนำไปเก็บในตู้เย็นอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน
- 2.2.7 นำมาปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 2500 รอบต่อนาที นาน 5 นาที
- 2.2.8 นำส่วนของตะกอนที่ได้มาละลายด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกร้อยละ 20 โดยปริมาตร จำนวน 10 มิลลิลิตร

2.3 ขั้นตอนการไตเตรต

- 2.3.1 นำสารละลายจาก 2.2.8 ของทั้ง 2 ส่วนมารวมกัน (สารละลายทั้งหมดที่ได้จากการย่อยแบ่ง 2 กรัมโดยน้ำหนักแห้ง)
- 2.3.2 ปรับปริมาตรเป็น 300 มิลลิลิตร
- 2.3.3 นำสารละลายจำนวน 125 มิลลิลิตร มาให้ความร้อนจนกระทั่งใกล้เดือด

- 2.3.4 ไตเตรตด้วยสารละลายมาตรฐานโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต จนกระทั่งสารละลายมีสีชมพูอ่อนๆ และสีคงอยู่เป็นเวลา 30 วินาที
- 2.3.5 บันทึกปริมาณของสารละลายที่ใช้ แล้วจึงคำนวณหาปริมาณแคลเซียมออกซาเลตตามสูตร

ปริมาณแคลเซียมออกซาเลต (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม)

$$= \frac{T \times (0.0025) (2.4) \times 105}{(5) \times \text{น้ำหนักแบ่ง}}$$

T คือ ปริมาตรโปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนตที่ใช้ในการไตเตรต

ก. 8 ปริมาณอะมิโลส ตามวิธีของ Juliano (1971)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectronic รุ่น Genesys 20, USA.)
2. เตาให้ความร้อน (Hot plate, รุ่น E.G.O. Elektro-geratebau GMBH, Germany)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารรีเอเจนต์
 - 1.1 สารละลายไอโอดีน
ชั่งไอโอดีน 0.2000 กรัม และโปแตสเซียมไอโอไดด์ 2.0000 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เก็บสารละลายในขวดสีชา
 - 1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล
ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร
 - 1.3 สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์
นำสารละลายกรดอะซิติกจำนวน 5.72 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานอะมิโลส
 - 2.1 ชั่งอะมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง 0.0400 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร
 - 2.2 เติมเอทิลแอลกอฮอล์ร้อยละ 95 จำนวน 1 มิลลิลิตร และเขย่าให้ตัวอย่างละลาย โดยไม่ให้ตัวอย่างติดผนังขวด

- 2.3 เติมสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 9 มิลลิลิตร และ
เขย่าให้ตัวอย่างละลายโดยไม่ให้ตัวอย่างติดผนังขวด
- 2.4 ต้มในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 5 – 10 นาที
- 2.5 ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 2.6 เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
3. เตรียมสารละลายสตาร์ช
 - 3.1 ชั่งสตาร์ช 0.1000 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร
 - 3.2 เติมหิวทาลูคอส 95 จำนวน 1 มิลลิลิตร และเขย่าให้ตัวอย่างละลาย
โดยไม่ให้ตัวอย่างติดผนังขวด
 - 3.3 เติมสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ จำนวน 9 มิลลิลิตร และ
เขย่าให้ตัวอย่างละลายโดยไม่ให้ตัวอย่างติดผนังขวด
 - 3.4 ต้มในอ่างน้ำเดือดเป็นเวลา 5 – 10 นาที
 - 3.5 ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
 - 3.6 เทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
4. เตรียมกราฟมาตรฐาน
 - 4.1 ปิเปตสารละลายจาก 2.6 จำนวน 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัด
ปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
 - 4.2 เติมน้ำกลั่นจำนวน 70 มิลลิลิตร และเติมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์
จำนวน 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1 มิลลิลิตร ตามลำดับ
 - 4.3 เติมสารละลายไอโอดีนจำนวน 2 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร
ด้วยน้ำกลั่น
 - 4.4 เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
 - 4.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร
5. การวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสในสตาร์ช
 - 5.1 ปิเปตสารละลายจาก 3.6 จำนวน 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100
มิลลิลิตร
 - 5.2 เติมน้ำกลั่นจำนวน 70 มิลลิลิตรและเติมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 โมลาร์
จำนวน 1 มิลลิลิตร

- 5.3 เติมสารละลายไอโอดีนจำนวน 2 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
- 5.4 เขย่าและตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
- 5.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร และคำนวณหาปริมาณอะมิโลสในสตาร์ชจากกราฟมาตรฐาน

ก. 9 วิเคราะห์ค่า degree of polymerization ของอะมิโลส คัดแปลงมาจากวิธีของ Reddy และคณะ (1993) Ong และคณะ (1994) และ Jane และ Yoo (2002)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Multi Angle Laser Light Scattering (รุ่น Dawn, Wyatt Technology Inc., USA)
2. เครื่อง Interferometric Refractometer (รุ่น Optilap DSP, Wyatt Technology Inc., USA)
3. คอลัมน์ชนิด C16/100 (Pharmacia Biotech, Sweden)
4. ปั๊ม Peristaltic Pump รุ่น P-1 (Pharmacia Biotech, Sweden)
5. เครื่อง fraction collector รุ่น Redifrac (Pharmacia Biotech, Sweden)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างสตาร์ช
 - 1.1 ชั่งตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิกรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 มิลลิลิตร เติมเอทานอล 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 โมลาร์ 10 มิลลิลิตร
 - 1.2 แทนที่อากาศภายในขวดวัดปริมาตรด้วยก๊าซไนโตรเจน และตั้งทิ้งไว้ข้ามคืน
 - 1.3 ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 15 นาที และทำให้เย็น
 - 1.4 หยดฟีนอล์ฟทาลีนจำนวน 1 หยด และปรับสารละลายให้เป็นกลางโดยการหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนจากสีชมพูเป็นไม่มีสี
 - 1.5 ปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.05
 - 1.6 กรองผ่าน sinter glass filter เบอร์ 3

2. การเตรียมคอลัมน์
 - 2.1 บรรจุคอลัมน์ด้วย Sephacryl 500 HS (Pharmacia Biotech, Sweden) โดยใช้สารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.05 เป็นสารตัวพา
 - 2.2 ต่อกอลัมน์ส่วนบนเข้ากับปั๊ม และด้านล่างต่อกับ fraction collector
3. การแยกส่วนของอะมิโลสของตัวอย่างสตาร์ช
 - 3.1 ปิเปตสารละลายสตาร์ชในปริมาณที่คำนวณแล้วทำให้สตาร์ชแห้ง 10 มิลลิกรัม
 - 3.2 เติมสารละลายสตาร์ชลงในคอลัมน์โดยการใช้น้ำปั๊ม
 - 3.3 สภาพที่ใช้คือ อุณหภูมิประมาณ 25 – 30 องศาเซลเซียส อัตราเร็ว 24 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง
 - 3.4 เก็บส่วนของตัวอย่างที่แยกได้โดย fraction collector หลอดละ 10 นาที
4. การวิเคราะห์น้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลส
 - 4.1 นำตัวอย่างที่แยกได้จากแต่ละหลอดกรองผ่านกระดาษกรอง 0.42 ไมโครเมตร ใส่ลงใน scintillation vial
 - 4.2 นำไปวัดค่า voltage ด้วยเครื่อง Multi-angle laser light scattering
 - 4.3 นำตัวอย่างนั้นไปหาความเข้มข้นด้วยเครื่อง Interferometric refractometer
 - 4.4 คำนวมน้ำหนักโมเลกุลตัวอย่างแต่ละหลอดโดยใช้โปรแกรม Astra
 - 4.5 คำนวมน้ำหนักโมเลกุลอะมิโลสตามสูตร

$$M_w \text{ (mol/g)} = \frac{\sum C_i M_i}{\sum C_i}$$

C_i คือ ความเข้มข้นของตัวอย่างแต่ละหลอด

M_i คือ น้ำหนักโมเลกุลตัวอย่างแต่ละหลอด

ก. 10 โครงสร้างของอะมิโลเพคติน ดัดแปลงจากวิธีของ Hood (1978) และ Manner (1989)

อุปกรณ์

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าได้ (Shaker water bath, Julabo รุ่น SW22)
2. อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water bath)
3. เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer)

4. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH meter, Horiba รุ่น F-21, Japan)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารรีเอเจนต์

1.1 สารละลายวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

1.1.1 Alkaline Copper Reagent

1.1.1.1 ชั่งแอนไฮดรัสไดโซเดียมไฮโดรเจนฟอสเฟต 14 กรัมและโปแตสเซียมไฮเดียมทาร์เทรต 20 กรัม เติมน้ำกลั่น 350 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน

1.1.1.2 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล จำนวน 50 มิลลิลิตร และเติมสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้นร้อยละ 10 จำนวน 40 มิลลิลิตร

1.1.1.3 ชั่งแอนไฮดรัสโซเดียมซัลเฟต 90 กรัม เติมนลงในสารละลาย 1.1.1.2 และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

1.1.1.4 เก็บในขวดสีชาและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 1 – 2 วัน ถ้ามีตะกอนให้นำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1

1.1.2 Arsenomolybdate Reagent

1.1.2.1 ชั่ง $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 3 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 25 มิลลิลิตร

1.1.2.2 ชั่งแอมโมเนียมโมลิบเดต 25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจำนวน 450 มิลลิลิตร และคนจนกระทั่งละลายหมด

1.1.2.3 เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น จำนวน 21 มิลลิลิตร ลงในสารละลาย

1.1.2.2 และเติมสารละลาย $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (สารละลายที่เตรียมใน 1.1.2.1) ผสมให้เข้ากัน และเก็บในขวดสีชา

1.1.2.4 นำไปบ่มอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 48 ชั่วโมง

1.2 สารละลายวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวม

1.2.1 ชั่งฟีนอล 5 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

1.2.2 สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 95.5

1.3 สารละลายอะซีเตตบัฟเฟอร์ pH 4.8 และ 3.5

1.3.1 ชั่ง $\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 27.22 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น

1.3.2 ตวงกรดอะซิติกจำนวน 11.44 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

- 1.3.3 นำสารละลายจากข้อ 1.5.1 และ 1.5.2 มาผสมกันและวัดค่า pH ให้ได้เท่ากับ 4.8 และ 3.5 โดยใช้เครื่องวัด pH
- 1.4 สารละลายเอนไซม์ไอโซอะมิเลส 2120 หน่วยต่อมิลลิลิตร
นำสารละลายเอนไซม์ไอโซอะมิเลสจาก *Pseudomonas amyloderamosa* ของบริษัท Sigma ความเข้มข้น 15960000 หน่วยต่อมิลลิลิตร จำนวน 0.18 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้มีความเข้มข้น 2120 หน่วยต่อมิลลิลิตรด้วยอะซีเตตบัฟเฟอร์ pH 3.5
- 1.5 สารละลายเอนไซม์เบต้าอะมิเลส 1000 หน่วยต่อมิลลิลิตร
นำสารละลายเอนไซม์เบต้าอะมิเลสจากมันเทศ ของบริษัท Sigma ความเข้มข้น 18796 หน่วยต่อมิลลิลิตร จำนวน 1.33 มิลลิลิตร ปรับให้มีความเข้มข้น 1000 หน่วยต่อมิลลิลิตรด้วยอะซีเตตบัฟเฟอร์ pH 4.8
2. เตรียมกราฟมาตรฐาน
- 2.1 กราฟมาตรฐานน้ำตาลรีดิวซ์
- 2.1.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสอยู่ในช่วง 10 – 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
- 2.1.2 ปิเปตสารละลายจากข้อ 1.2.1 มาความเข้มข้นละ 1 มิลลิลิตร
- 2.1.3 เติมสารละลาย Alkaline Copper Reagent (ข้อ 1.1.1) จำนวน 1 มิลลิลิตร
- 2.1.4 ต้มในน้ำเดือด 10 นาที และทำให้เย็นในอ่างควบคุมอุณหภูมิ
- 2.1.5 เติมสารละลาย Arsenomolybdate Reagent (ข้อ 1.1.2) ที่ทำให้เจือจางด้วยสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.5 นอร์มอล จำนวน 1 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากัน
- 2.1.6 เติมน้ำกลั่นจำนวน 3 มิลลิลิตร และผสมให้เข้ากัน
- 2.1.7 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร
- 2.1.8 นำค่าที่ได้มาทำเป็นกราฟมาตรฐานน้ำตาลรีดิวซ์
- 2.2 กราฟมาตรฐานคาร์โบไฮเดรตรวม
- 2.2.1 เตรียมสารละลายมาตรฐานกลูโคสที่มีความเข้มข้นของน้ำตาลกลูโคสอยู่ในช่วง 10 – 70 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร
- 2.2.2 ปิเปตสารละลายจากข้อ 1.4.1 มาความเข้มข้นละ 2 มิลลิลิตร

- 2.2.3 เติมสารละลายจากข้อ 1.3.1 จำนวน 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายจากข้อ 1.3.2 จำนวน 5 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทันที
- 2.2.4 ตั้งทิ้งไว้ 10 นาที เขย่าและนำไปแช่ในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 25 – 30 องศาเซลเซียส นาน 10 – 20 นาที
- 2.2.5 วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 490 นาโนเมตร
- 2.2.6 นำค่าที่ได้มาทำเป็นกราฟมาตรฐานปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวม
3. เตรียมสารละลายสตาร์ช
- 3.1 ชั่งสตาร์ช 0.5000 กรัม ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 70 มิลลิลิตร
- 3.2 ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 10 – 15 นาที จนกระทั่งได้สารละลายใส
- 3.3 ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร และลดอุณหภูมิลงให้เหลือ 40 องศาเซลเซียส
4. วิเคราะห์ความยาวสายเฉลี่ยของอะมิโลเพคติน (CL_{avg})
- 4.1 บีบสารละลายสตาร์ช (ข้อ 3.3) ลงในหลอดทดลอง จำนวน 10 มิลลิลิตร
- 4.2 เติมสารละลายเอนไซม์ไอโซอะมิเลส จำนวน 2 มิลลิลิตร และเติมอะซีเตตบัฟเฟอร์ pH 3.5 จำนวน 2 มิลลิลิตร
- 4.3 บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่ 40 องศาเซลเซียส 100 รอบต่อวินาที นาน 48 ชั่วโมง
- 4.4 นำมาต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 15 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์
- 4.5 วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวมและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีในข้อ 2
- 4.6 คำนวณความยาวสายเฉลี่ยของอะมิโลเพคติน (CL_{avg}) ตามสูตร

$$CL_{avg} = \frac{\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวม}}{\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์}}$$

5. วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์เบต้าอะมิโลไลซิส ความยาวสายภายนอกเฉลี่ย และความยาวสายภายในเฉลี่ยของอะมิโลเพคติน
- 5.1 นำสารละลายที่ได้จากข้อ 4.4 จำนวน 1 มิลลิลิตร
- 5.2 เติมสารละลายอะซีเตตบัฟเฟอร์ pH 4.8 จำนวน 8.4 มิลลิลิตร และเติมสารละลายเอนไซม์เบต้าอะมิเลส จำนวน 0.6 มิลลิลิตร

- 5.3 บ่มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิแบบเขย่าที่ 37 องศาเซลเซียส 100 รอบต่อนาที นาน 24 ชั่วโมง
- 5.4 นำมาต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 10 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์
- 5.5 วิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวมและปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ตามวิธีในข้อ 2
- 5.6 คำนวณตามสูตร

$$\begin{aligned} & \text{เปอร์เซ็นต์เบต้าอะมิโลไลดีส} \\ &= \frac{\text{ปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวม}}{\text{ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์}} \\ & \text{ความยาวสายภายนอกเฉลี่ย (ECL}_{\text{avg}}) \\ &= (\text{CL}_{\text{avg}} \times \text{เปอร์เซ็นต์เบต้าอะมิโลไลดีส}) + 2.0 \\ & \text{ความยาวสายภายในเฉลี่ย (ICL}_{\text{avg}}) \\ &= \text{CL}_{\text{avg}} - \text{ECL}_{\text{avg}} - 1 \end{aligned}$$

ก. 11 ขนาด รูปร่าง และลักษณะของเม็ดแป้ง โดยใช้ Scanning Electron Microscope ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (SEM, JEOL รุ่น JSM-5800 LV, Tokyo, Japan)
2. เครื่องฉาบทอง (ion sputte, Balzers Union รุ่น SCD 040, Liechtenstein)

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างแป้งติดบน stub โดยใช้เทปกาวสองหน้า
2. ฉาบด้วยทองหนา 20 – 30 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V sputter coater
3. บันทึกภาพโครงสร้างของตัวอย่างด้วย SEM ที่ 15 kV ใช้กำลังขยาย 5000 เท่า
4. วิเคราะห์ขนาด รูปร่าง และลักษณะของเม็ดแป้งจากภาพที่บันทึกได้

ก. 12 ศึกษาโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช โดยใช้เครื่อง X-ray diffractometer และวิเคราะห์ pattern ตามวิธีของ Zobel (1964)

อุปกรณ์

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

วิธีการทดลอง

- นำตัวอย่างสตาร์ชโรยบน sample plate แล้วกด sample plate ให้เม็ดสตาร์ชเรียงตัวอัดกันแน่น
- นำ sample plate ใส่เข้าเครื่อง X-ray diffractometer ที่ช่อง sample holder แล้วเปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที (warming)
- วัดค่าในช่วงมุมที่ต้องการ โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมสถานะโดยมีรายละเอียดดังนี้

| | | |
|------------------|---|------------|
| Target name | : | CU |
| Voltage (kV) | : | 30.00 kV |
| Current (mA) | : | 40.00 mA |
| Start angle | : | 5.00 deg. |
| Stop angle | : | 30 deg. |
| Step angle | : | 0.020 deg. |
| Count time (sec) | : | 1.00 sec. |

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

ตารางที่ ก.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้งที่เป็นแบบ A, B และ C

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

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

ก. 13 กำลังการพองตัวและการละลาย (Swelling power and Solubility) ดัดแปลงมาจากวิธีของ Schoch (1964)

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge Thermo IEC, รุ่น IEC MultiRF, USA.)
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
3. ตู้อบลมร้อน (WTE Binder รุ่น E 53)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างแป้งให้ได้แป้งแห้งหนัก 0.5 กรัม ใส่ลงในหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 20 มิลลิลิตร
3. แช่ในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 60, 65, 70, 75 และ 80 องศาเซลเซียส กวนเบาๆ ตลอดเวลานาน 30 นาที
4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ 6000 x g อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที

5. ดูดของเหลวส่วนบนในถ้วยกระเบื้อง (ที่รู้น้ำหนักแน่นอน) ซึ่งและนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส
6. ทำให้เย็นใน desiccator จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาส่วนที่ละลายน้ำ ส่วนแบ่งเปียกในหลอดนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาน้ำหนักแห้งที่พองตัวตามสูตร

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

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

ก. 14 ศึกษาการเกิดเจลาคีโนเซชัน และสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) ตามวิธีของ Norbert และคณะ (1995)

อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA รุ่น 4D (Newport Scientific รุ่น 4D, Australia) พร้อมด้วยถ้วยบรรจุตัวอย่างอุณหภูมิเย็นที่มีใบกวน
2. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA (Newport Scientific รุ่น 4D, Australia)

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA ทิ้งไว้ 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง RVA
2. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และใช้ซอฟต์แวร์ควบคุม RVA โดยเลือกเงื่อนไขใน profile ป้อนลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ ตั้งชื่อไฟล์แล้วบันทึกไว้ โดยเลือกเงื่อนไขดังนี้

standard 1 : Temperature profile

| เวลา (นาที) | อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) | ความเร็วรอบ (รอบต่อนาที) |
|-------------|-------------------------|--------------------------|
| 1.25 | 50 | 160 |
| 3.75 | 50 – 95 | 160 |
| 2.50 | 95 | 160 |
| 3.75 | 50 – 95 | 160 |
| 1.25 | 50 | 160 |

3. ตวงน้ำกลั่นปริมาตร 25.00 ± 0.1 มิลลิลิตร (สำหรับตัวอย่างที่มีความชื้นร้อยละ 14) ใส่ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างของ RVA (ในกรณีที่ความชื้นไม่ใช่ร้อยละ 14 ให้คำนวณปริมาณน้ำกลั่นที่ใช้เพื่อให้ได้ความเข้มข้นเท่ากัน)
4. ชั่งตัวอย่าง 3.00 ± 0.01 กรัม ใส่ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างที่มีน้ำอยู่แล้ว น้ำหนักตัวอย่างขึ้นอยู่กับชนิดของตัวอย่าง โดยทั่วไปแนะนำตามตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA

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

¹ใช้ 1.2 กรัม ถ้าเป็นสตาร์ชที่ไม่ได้ผลิตมาเพื่อวัตถุประสงค์ในเชิงพาณิชย์

²จำนวนที่ใช้ขึ้นอยู่กับ degree of modification

5. ใส่ใบกวน (paddle) ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างหมุนใบกวนไปมาแรงๆ และตั้งขึ้นเพื่อกวนตัวอย่างแรงๆ ประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกันเป็นก้อนที่ผิวหน้า หรือติดที่ใบกวนให้ทำซ้ำอีก
6. นำถ้วยบรรจุตัวอย่างที่ใส่ใบกวนไว้แล้วสอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้ RVA ทำงาน เสร็จแล้วนำถ้วยบรรจุตัวอย่างออกมา เครื่อง RVA จะรายงานการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ (หน่วย RVU) ดังนี้

- 6.1 เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที
- 6.2 อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนค่าความหนืดหรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที (pasting temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- 6.3 อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
- 6.4 ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วยเป็น RVU
- 6.5 ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU
- 6.6 ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดที่จุด peak (setback from peak) มีหน่วยเป็น RVU
- 6.7 ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วยเป็น RVU

ก. 15 ศึกษาการเกิดเจลลาคีโนเซชัน และรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช ดัดแปลงมาจากวิธีของ Baker และ Duarte (1995) และ Kim และคณะ (1995)

อุปกรณ์

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

วิธีการทดลอง

1. ชั่งสตาร์ชที่รู้ค่าความชื้นใน volatile pan แล้วเติมน้ำลงไปให้ได้อัตราส่วนสตาร์ชต่อน้ำทั้งหมดเท่ากับร้อยละ 35 : 65 โดยน้ำหนัก แล้วปิดฝาให้สนิทด้วยเครื่องมือปิดฝา เก็บ pan ไว้ที่อุณหภูมิห้องข้ามคืนเพื่อให้ความชื้นภายในเข้าสู่ภาวะสมดุล
2. เปิดเครื่อง DSC เพื่อเป็นการ warm up เครื่องก่อนการใช้งานประมาณ 2 ชั่วโมง
3. นำ pan ใส่ลงในช่อง sample (ด้านซ้าย) และวาง pan เปล่าชนิดเดียวกันกับที่ใส่ sample และปิดฝาให้เรียบร้อยแล้วลงในช่อง reference (ด้านขวา) ของเครื่อง DSC และตั้งค่าของเครื่องในช่วงอุณหภูมิ 30 – 110 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่ออนาที
4. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์โดยใช้ระบบ autocalculation และบันทึกค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลาคีโนเซชัน ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (onset temperature, T_0 °C) อุณหภูมิที่ ΔH สูงสุด (peak temperature, T_p °C) อุณหภูมิสิ้นสุดในการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (conclude temperature, T_c °C) และพลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลลาคีโนเซชัน (ΔH , หน่วยจูลต่อกรัม)

5. นำ pan ที่ผ่านการทดสอบการเกิดเจลลาติโนเซชันแล้วตามวิธีในข้อที่ 1 – 5 มาห่อด้วยฟอยล์และเก็บในถุงพลาสติกและปิดปากถุงให้สนิท
6. นำมาเก็บไว้ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 และ 14 วัน และเมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนดนำถุงที่บรรจุ pan มาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
7. นำ pan เข้าเครื่อง DSC และทำตามข้อ 4 – 5 ค่าต่างๆ ที่ได้จะเป็นค่าของสตาร์ชที่เกิดรีโทรเกรเดชันแล้ว
8. นำค่าที่ได้คำนวณร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชตามสูตร

$$\text{ร้อยละการเกิดรีโทรเกรเดชัน} = \frac{\Delta H_{\text{retrograde}}}{\Delta H_{\text{gelatinize}}} \times 100$$

ก. 16 ศึกษาเสถียรภาพต่อความเป็นกรด-ด่าง ดัดแปลงมาจากวิธีของ Norbert และคณะ (1995)

อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA รุ่น 4D (Newport Scientific รุ่น 4D, Australia) พร้อมด้วยบรรจุตัวอย่างอุณหภูมิเนียมที่มีใบกวน
2. เครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมเครื่อง RVA
3. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

วิธีการทดลอง

1. การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์ Citric acid- Na_2HPO_4
 - 1.1 ชั่ง Citric acid monohydrate 21.01 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
 - 1.2 ชั่ง Na_2HPO_4 141.98 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 1000 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น
 - 1.3 นำสารละลายข้อ 1.1 และ 1.2 มาผสมกันและวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ปรับจนกระทั่งได้สารละลายที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 3.5, 4.5, 5.0, 5.5 และ 6.5
2. วิเคราะห์เสถียรภาพต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง ตามวิธีในภาคผนวก ก.13 โดยเปลี่ยนจากการใช้น้ำกลั่นมาใช้สารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ต่างๆ ตามที่กำหนด

ก. 17 ศึกษาเสถียรภาพต่อกระบวนการแช่แข็งและละลาย ดัดแปลงมาจากวิธีของ Hoover และ Manuel (1995)

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Mult RF, USA.)
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ
3. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น Modell 600, Germany)

วิธีการทดลอง

1. เตรียมเจลสตาร์ชเข้มข้นร้อยละ 6 โดยน้ำหนักแห้ง โดยชั่งสตาร์ชใส่ในหลอดสำหรับปั่นเหวี่ยงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 30 มิลลิเมตร และเติมน้ำกลั่น จากนั้นจึงนำไปให้ความร้อนในอ่างน้ำร้อนที่ควบคุมอุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
2. ทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. นำไปแช่เย็นในตู้ควบคุมอุณหภูมิ 4 – 6 องศาเซลเซียส นาน 16 ชั่วโมง
4. นำไปแช่แข็งในตู้ควบคุมอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส นาน 22 ชั่วโมง
5. นำไปละลายในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง
6. ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 1000 x g นาน 20 นาที วัดปริมาณน้ำที่แยกออกจากเจล
7. ทำซ้ำข้อ 3 – 6 จนครบ 5 รอบและคำนวณหาร้อยละของการเกิด syneresis ตามสูตร

$$\text{ร้อยละของ syneresis} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่แยกออกจากเจล} \times 100}{\text{น้ำหนักเจลสตาร์ชเริ่มต้น}}$$

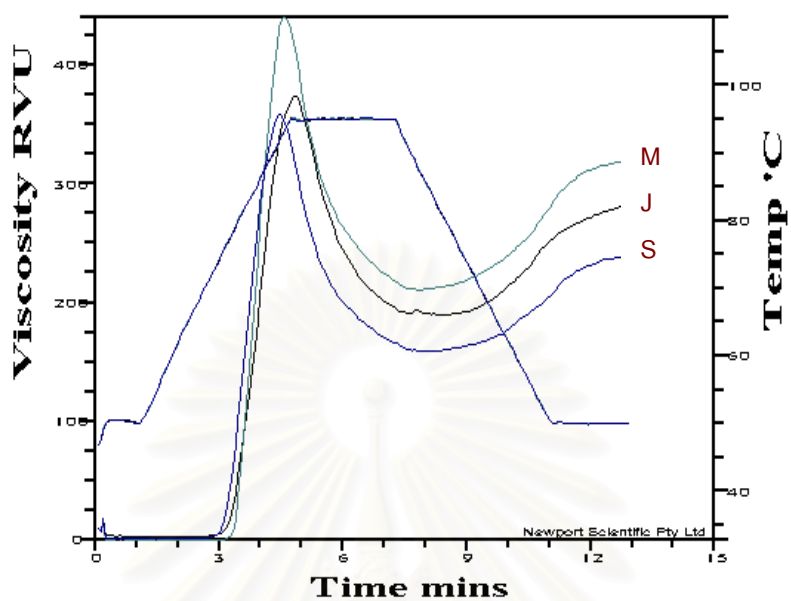
ภาคผนวก ข

ตารางและรูปแสดงสมบัติทางด้านความหนืดของสตาร์ชเผือก

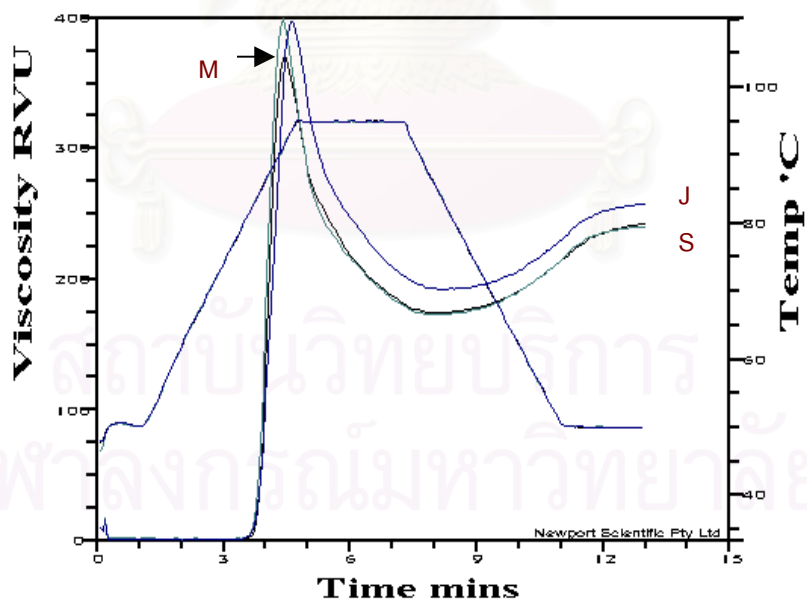
ตาราง ข. 1 สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอม

| ตัวอย่าง | Peak (RVU) | Trough (RVU) | Breakdown (RVU) | Final viscosity (RVU) | Set back (RVU) | Pasting Temperature (°C) |
|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| CH:J | 371 ± 3.4 ^b | 187 ± 3.6 ^b | 184 ± 0.1 ^b | 282 ± 0.6 ^b | 95 ± 3.0 ^b | 81 ± 0.0 ^a |
| CH:M | 441 ± 0.5 ^a | 212 ± 2.1 ^a | 228 ± 1.5 ^a | 321 ± 0.4 ^a | 108 ± 0.1 ^a | 80 ± 1.2 ^a |
| CH:S | 355 ± 5.0 ^b | 158 ± 1.8 ^c | 198 ± 3.1 ^b | 238 ± 4.1 ^c | 82 ± 0.3 ^c | 78 ± 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 389 ± 40.8 ^A | 186 ± 24.5 ^A | 203 ± 20.5 ^A | 280 ± 37.2 ^A | 95 ± 11.9 ^A | 5 ± 0.2 ^C |
| SB:J | 402 ± 7.4 ^a | 192 ± 0.8 ^a | 211 ± 8.2 ^b | 260 ± 2.8 ^a | 68 ± 3.6 ^a | 83 ± 1.2 ^a |
| SB:M | 400 ± 0.3 ^a | 174 ± 2.0 ^b | 226 ± 2.3 ^a | 241 ± 1.0 ^b | 67 ± 1.0 ^a | 83 ± 0.0 ^a |
| SB:S | 371 ± 0.8 ^b | 178 ± 4.6 ^b | 193 ± 5.4 ^b | 244 ± 1.2 ^b | 66 ± 3.5 ^a | 84 ± 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 391 ± 15.9 ^A | 181 ± 8.6 ^B | 210 ± 15.4 ^A | 248 ± 9.2 ^B | 67 ± 2.5 ^C | 5 ± 0.1 ^B |
| KB:J | 333 ± 0.8 ^a | 145 ± 0.6 ^a | 188 ± 1.4 ^a | 203 ± 0.9 ^a | 89 ± 0.4 ^a | 84 ± 0.6 ^a |
| KB:M | 324 ± 1.5 ^a | 147 ± 1.0 ^a | 176 ± 2.5 ^b | 204 ± 0.4 ^a | 87 ± 0.6 ^a | 85 ± 0.5 ^a |
| KB:S | 264 ± 1.4 ^b | 135 ± 1.4 ^b | 130 ± 0.0 ^c | 196 ± 1.8 ^b | 61 ± 0.4 ^b | 84 ± 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 307 ± 33.3 ^B | 142 ± 5.9 ^B | 165 ± 4.4 ^B | 201 ± 4.4 ^A | 59 ± 1.8 ^C | 5 ± 0.1 ^B |
| TR:J | 366 ± 2.7 ^b | 177 ± 0.4 ^b | 189 ± 0.4 ^b | 249 ± 1.0 ^b | 72 ± 1.4 ^b | 84 ± 0.4 ^a |
| TR:M | 311 ± 0.7 ^c | 146 ± 0.3 ^c | 164 ± 1.1 ^c | 206 ± 1.1 ^c | 61 ± 1.4 ^c | 87 ± 2.6 ^a |
| TR:S | 407 ± 3.0 ^a | 190 ± 1.1 ^a | 216 ± 4.1 ^a | 265 ± 0.7 ^a | 74 ± 0.4 ^a | 86 ± 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 361 ± 43.2 ^A | 171 ± 19.8 ^A | 190 ± 27.1 ^B | 240 ± 27.1 ^B | 69 ± 6.7 ^B | 4 ± 0.1 ^A |

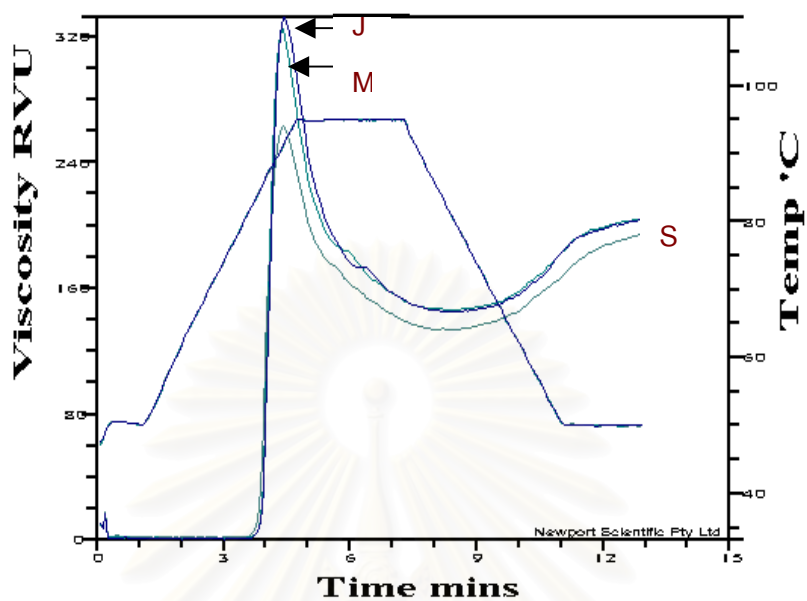
A,B,C และ D ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
a,b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)



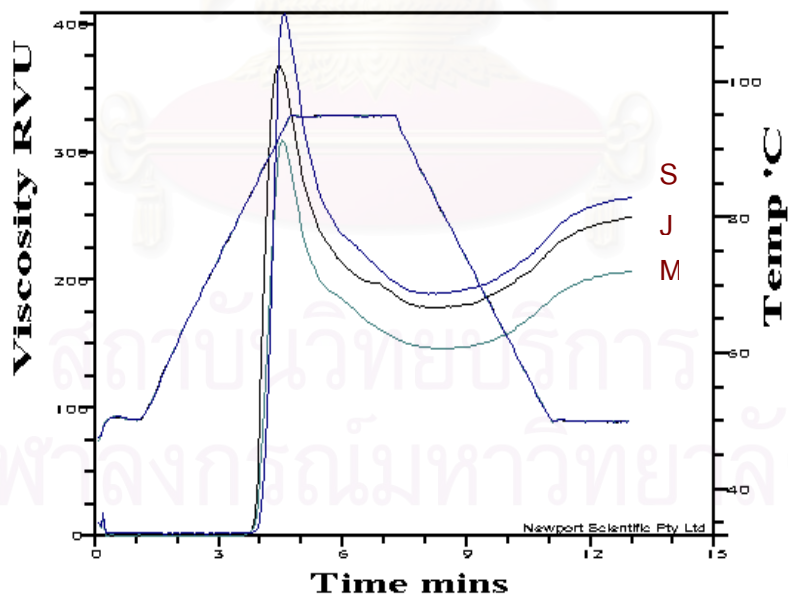
เชียงใหม่



สระบุรี



กาญจนบุรี



ตราด

รูปที่ ข.1 pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอม

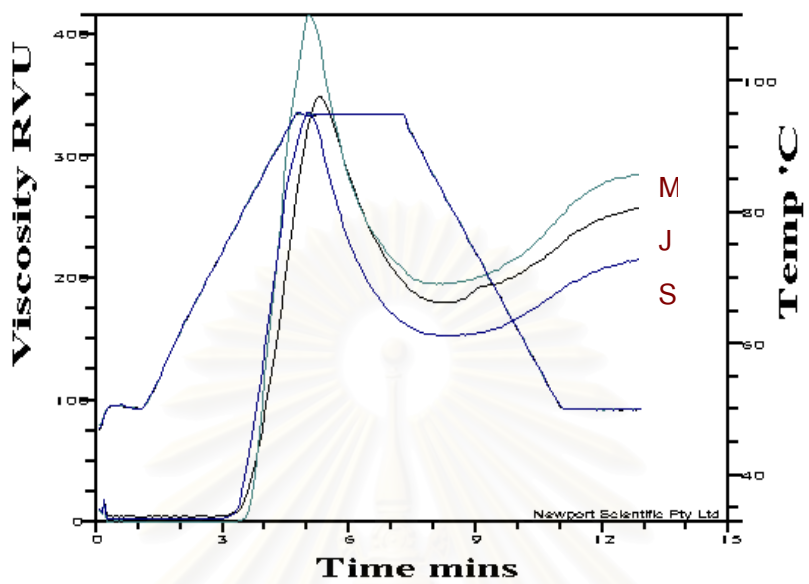
ตาราง ข. 2 สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 3.5

| ตัวอย่าง | Peak (RVU) | Trough (RVU) | Breakdown (RVU) | Final viscosity (RVU) | Set back (RVU) | Pasting Temperature ($^{\circ}\text{C}$) |
|-----------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|--|
| CH:J | 349 \pm 0.2 ^b | 180 \pm 0.4 ^a | 169 \pm 0.5 ^b | 259 \pm 1.1 ^a | 79 \pm 3.0 ^a | 89 \pm 0.4 ^a |
| CH:M | 413 \pm 4.1 ^a | 196 \pm 2.1 ^a | 216 \pm 6.1 ^a | 267 \pm 1.7 ^a | 90 \pm 0.4 ^a | 83 \pm 0.0 ^a |
| CH:S | 335 \pm 2.1 ^b | 152 \pm 1.6 ^b | 183 \pm 0.5 ^b | 215 \pm 1.7 ^b | 63 \pm 0.1 ^b | 85 \pm 0.6 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 365 \pm 37.1 ^A | 176 \pm 20.8 ^A | 190 \pm 21.8 ^C | 254 \pm 32.4 ^A | 77 \pm 12.3 ^A | 5 \pm 0.1 ^B |
| SB:J | 412 \pm 5.8 ^a | 172 \pm 0.0 ^a | 240 \pm 5.8 ^a | 241 \pm 0.3 ^a | 69 \pm 0.3 ^a | 87 \pm 0.1 ^a |
| SB:M | 408 \pm 2.8 ^a | 151 \pm 1.3 ^b | 257 \pm 1.5 ^a | 214 \pm 0.1 ^b | 63 \pm 1.4 ^b | 87 \pm 0.5 ^a |
| SB:S | 364 \pm 6.2 ^a | 149 \pm 1.5 ^b | 215 \pm 2.2 ^b | 204 \pm 0.7 ^b | 58 \pm 1.4 ^c | 86 \pm 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 394 \pm 24.4 ^{AB} | 157 \pm 11.8 ^A | 237 \pm 19.4 ^A | 219 \pm 17.3 ^B | 63 \pm 5.0 ^B | 5 \pm 0.1 ^B |
| KB:J | 363 \pm 2.6 ^a | 134 \pm 0.5 ^a | 229 \pm 2.1 ^a | 183 \pm 0.7 ^a | 48 \pm 0.2 ^a | 89 \pm 0.1 ^a |
| KB:M | 346 \pm 5.5 ^b | 136 \pm 1.1 ^b | 210 \pm 4.4 ^b | 184 \pm 0.2 ^a | 48 \pm 1.4 ^a | 90 \pm 0.1 ^a |
| KB:S | 342 \pm 2.9 ^b | 139 \pm 1.7 ^b | 203 \pm 2.2 ^b | 186 \pm 1.4 ^a | 47 \pm 0.6 ^a | 89 \pm 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 382 \pm 31.7 ^B | 136 \pm 2.1 ^B | 214 \pm 12.14 ^B | 184 \pm 1.5 ^C | 48 \pm 1.1 ^C | 5 \pm 5.3 ^A |
| TR:J | 388 \pm 7.0 ^a | 163 \pm 3.2 ^b | 224 \pm 3.8 ^a | 228 \pm 2.8 ^b | 65 \pm 6.0 ^a | 87 \pm 0.0 ^a |
| TR:M | 344 \pm 1.6 ^b | 149 \pm 0.9 ^c | 196 \pm 0.7 ^b | 205 \pm 0.2 ^c | 56 \pm 1.1 ^b | 90 \pm 0.1 ^a |
| TR:S | 414 \pm 0.6 ^a | 192 \pm 4.8 ^a | 227 \pm 3.1 ^a | 250 \pm 1.1 ^a | 64 \pm 1.1 ^a | 90 \pm 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 382 \pm 31.7 ^{AB} | 168 \pm 19.9 ^A | 216 \pm 15.8 ^B | 228 \pm 20.4 ^B | 62 \pm 5.0 ^B | 5 \pm 0.1 ^A |

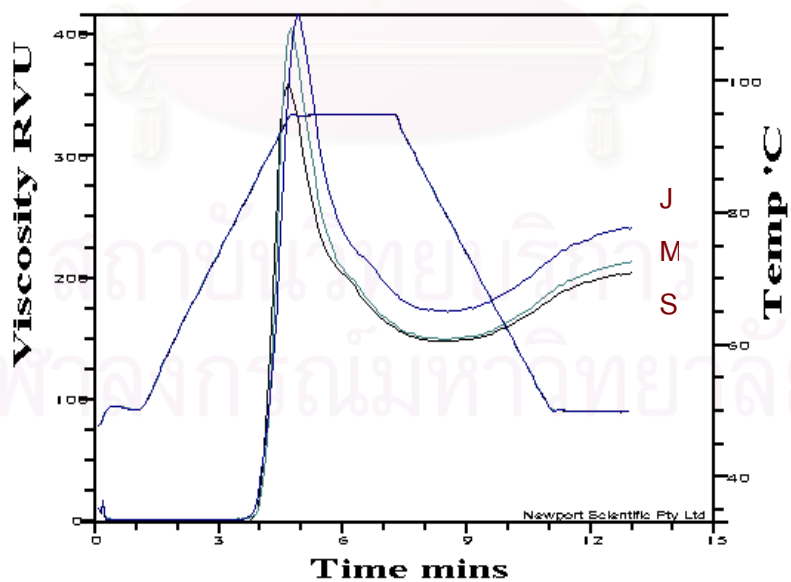
A,B,C และ D ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

a,b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

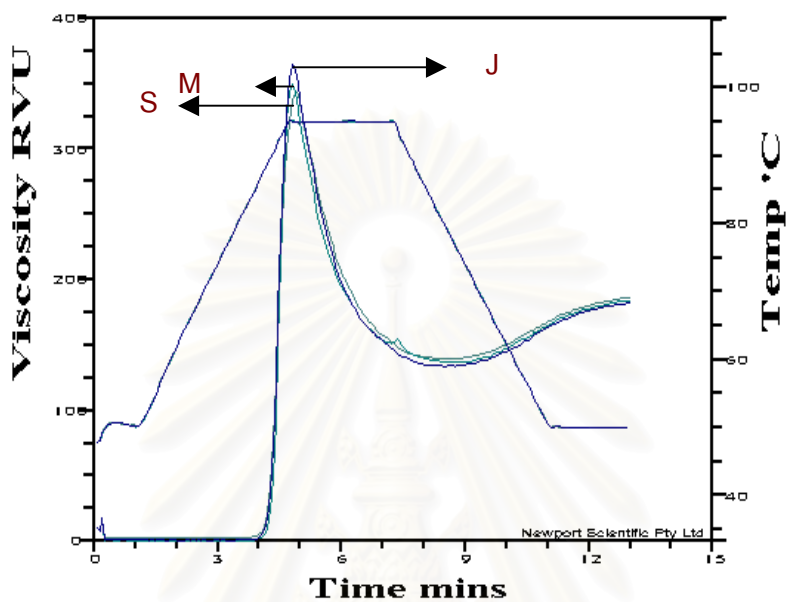
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



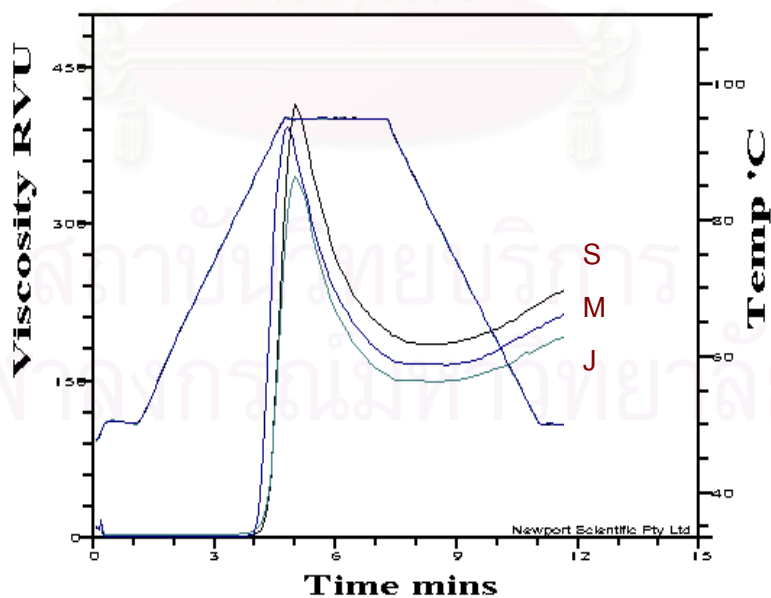
เชียงใหม่



สระบุรี



กาญจนบุรี



ตราด

รูปที่ ๑. 2 pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 3.5

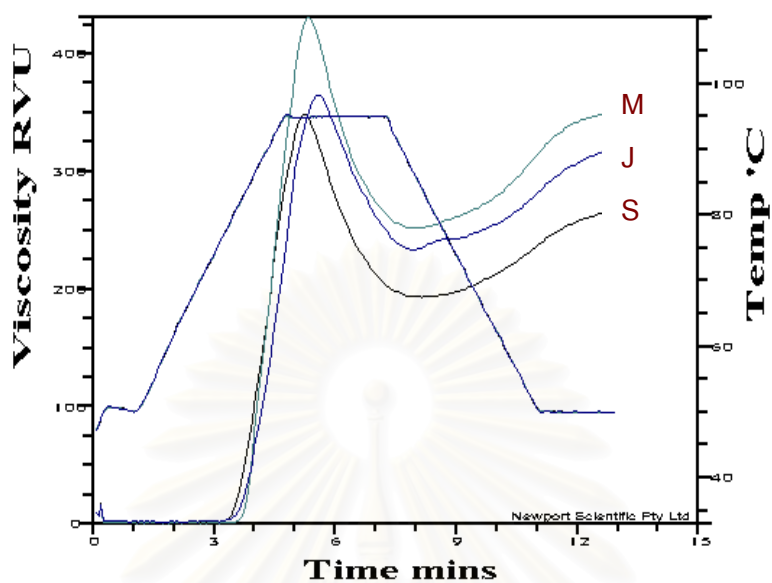
ตารางที่ ข. 3 สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 4.5

| ตัวอย่าง | Peak (RVU) | Trough (RVU) | Breakdown (RVU) | Final viscosity (RVU) | Set back (RVU) | Pasting Temperature (°C) |
|-----------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| CH:J | 363 ± 2.5 ^b | 231 ± 3.2 ^b | 132 ± 0.8 ^c | 317 ± 2.7 ^b | 86 ± 0.5 ^b | 93 ± 1.2 ^a |
| CH:M | 430 ± 1.7 ^a | 250 ± 2.6 ^a | 180 ± 1.0 ^a | 348 ± 3.4 ^a | 98 ± 0.8 ^a | 83 ± 0.0 ^b |
| CH:S | 348 ± 0.1 ^b | 192 ± 2.0 ^c | 156 ± 1.9 ^b | 267 ± 1.5 ^c | 75 ± 0.5 ^c | 85 ± 0.6 ^b |
| ค่าเฉลี่ย | 380 ± 39.2 ^{BC} | 224 ± 26.8 ^A | 156 ± 21.6 ^C | 311 ± 36.9 ^A | 86 ± 10.3 ^A | 88 ± 3.9 ^A |
| SB:J | 443 ± 3.0 ^a | 205 ± 0.5 ^a | 238 ± 2.4 ^b | 281 ± 0.6 ^a | 76 ± 0.1 ^a | 87 ± 0.1 ^a |
| SB:M | 441 ± 0.5 ^a | 185 ± 0.9 ^b | 256 ± 0.4 ^a | 256 ± 0.0 ^b | 72 ± 1.6 ^b | 87 ± 0.5 ^a |
| SB:S | 397 ± 2.8 ^b | 185 ± 1.4 ^b | 212 ± 1.4 ^c | 255 ± 2.1 ^b | 70 ± 0.8 ^b | 86 ± 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 427 ± 23.3 ^A | 192 ± 10.5 ^{BC} | 235 ± 19.9 ^A | 264 ± 13.3 ^B | 73 ± 2.9 ^B | 89 ± 0.5 ^A |
| KB:J | 385 ± 1.2 ^a | 173 ± 0.9 ^a | 212 ± 2.1 ^a | 232 ± 0.5 ^a | 59 ± 0.5 ^b | 90 ± 0.6 ^a |
| KB:M | 368 ± 4.1 ^b | 168 ± 3.9 ^b | 200 ± 8.0 ^a | 227 ± 4.0 ^b | 59 ± 0.1 ^b | 90 ± 0.1 ^a |
| KB:S | 352 ± 1.1 ^c | 166 ± 0.5 ^b | 186 ± 1.6 ^b | 231 ± 1.6 ^a | 65 ± 2.1 ^a | 90 ± 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 368 ± 14.7 ^C | 169 ± 3.4 ^C | 199 ± 12.4 ^B | 230 ± 2.9 ^C | 61 ± 3.0 ^C | 90 ± 0.5 ^A |
| TR:J | 407 ± 6.7 ^b | 2.3 ± 2.5 ^b | 204 ± 4.2 ^b | 280 ± 5.0 ^b | 77 ± 2.4 ^a | 88 ± 0.1 ^b |
| TR:M | 374 ± 3.8 ^c | 184 ± 1.3 ^c | 189 ± 2.5 ^c | 252 ± 2.0 ^c | 68 ± 0.7 ^b | 92 ± 0.1 ^a |
| TR:S | 491 ± 0.8 ^a | 256 ± 0.7 ^a | 236 ± 0.1 ^a | 328 ± 0.4 ^a | 73 ± 0.3 ^a | 92 ± 0.0 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 424 ± 54.4 ^{AB} | 214 ± 33.1 ^{AB} | 210 ± 21.3 ^B | 287 ± 34.6 ^{AB} | 72 ± 4.3 ^B | 91 ± 2.1 ^A |

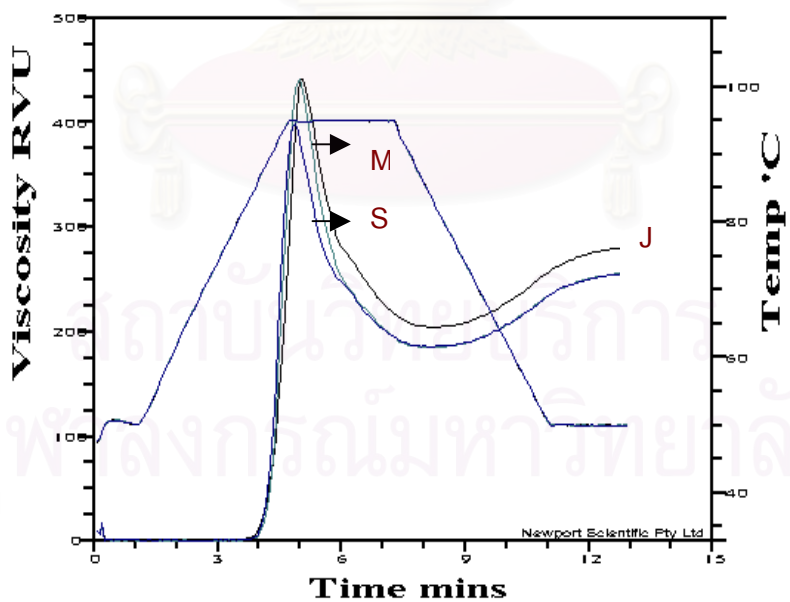
A,B,C และ D ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

a,b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

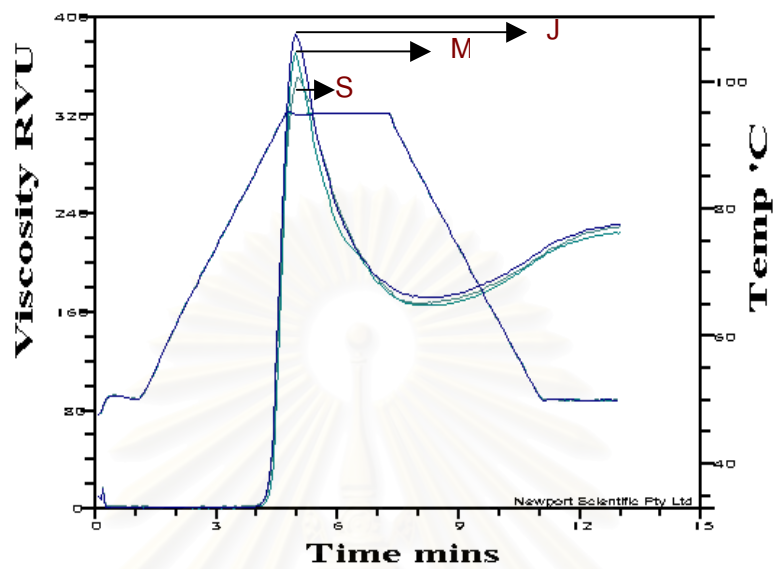
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



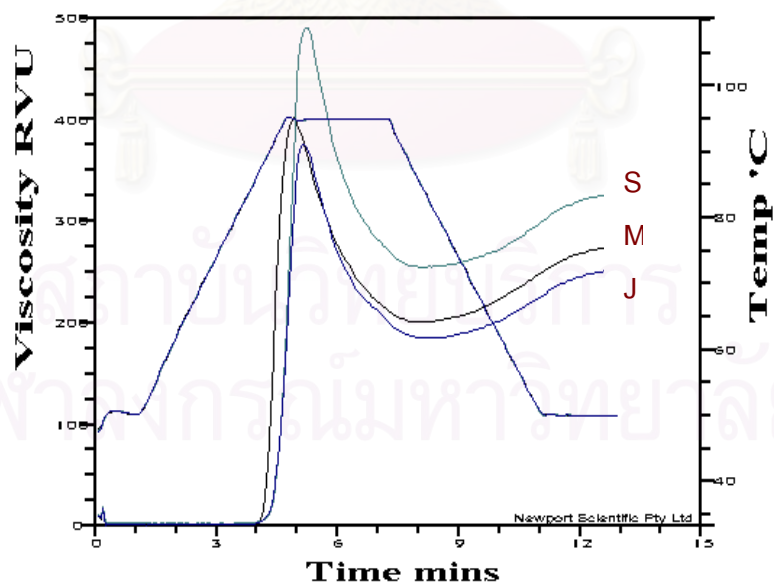
เชียงใหม่



สระบุรี



กาญจนบุรี



ตราด

รูปที่ ๓.๓ pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 4.5

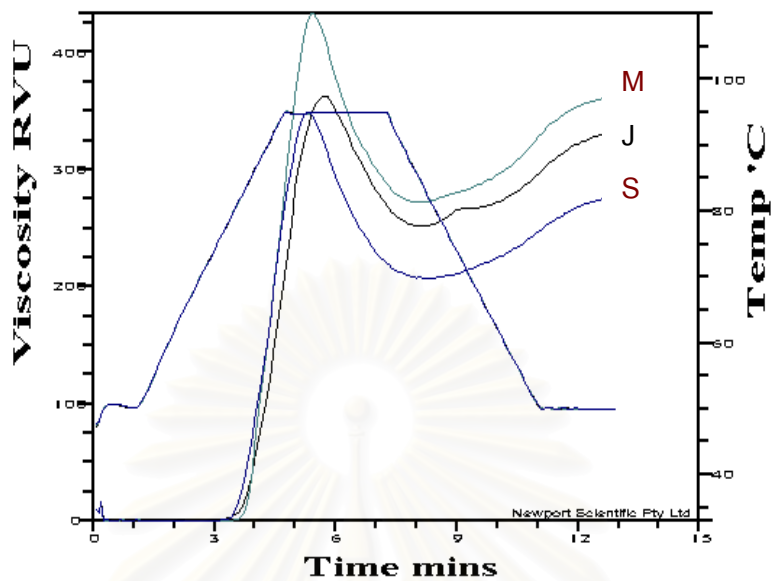
ตารางที่ ข.4 สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 5.0

| ตัวอย่าง | Peak (RVU) | Trough (RVU) | Breakdown (RVU) | Final viscosity (RVU) | Set back (RVU) | Pasting Temperature (°C) |
|-----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| CH:J | 367 ± 2.5 ^b | 255 ± 3.8 ^a | 112 ± 2.4 ^c | 335 ± 1.7 ^b | 80 ± 2.5 ^b | 92 ± 0.5 ^a |
| CH:M | 435 ± 2.4 ^a | 274 ± 2.2 ^a | 161 ± 0.0 ^a | 364 ± 1.1 ^a | 90 ± 1.2 ^a | 85 ± 0.0 ^b |
| CH:S | 350 ± 0.3 ^b | 208 ± 0.4 ^b | 142 ± 0.1 ^b | 279 ± 1.2 ^c | 72 ± 0.9 ^c | 90 ± 0.7 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 384 ± 40.6 ^A | 245 ± 30.5 ^A | 139 ± 22.1 ^C | 326 ± 38.4 ^C | 81 ± 8.3 ^A | 89 ± 3.4 ^A |
| SB:J | 459 ± 3.1 ^a | 219 ± 0.5 ^a | 240 ± 3.6 ^b | 297 ± 1.0 ^a | 78 ± 0.5 ^a | 90 ± 0.1 ^a |
| SB:M | 449 ± 1.8 ^a | 197 ± 1.9 ^b | 252 ± 0.1 ^a | 270 ± 2.3 ^b | 73 ± 0.4 ^b | 89 ± 0.6 ^a |
| SB:S | 405 ± 2.1 ^b | 196 ± 1.2 ^b | 209 ± 0.9 ^c | 268 ± 0.7 ^b | 72 ± 0.5 ^b | 89 ± 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 438 ± 25.5 ^A | 204 ± 36.6 ^B | 234 ± 19.8 ^A | 178 ± 14.5 ^C | 74 ± 3.1 ^{AB} | 89 ± 0.4 ^B |
| KB:J | 383 ± 0.1 ^a | 187 ± 2.8 ^a | 196 ± 2.8 ^a | 253 ± 4.8 ^a | 66 ± 7.6 ^a | 90 ± 0.0 ^a |
| KB:M | 385 ± 0.6 ^a | 185 ± 5.8 ^a | 200 ± 6.5 ^a | 245 ± 2.8 ^b | 60 ± 3.1 ^b | 91 ± 0.1 ^a |
| KB:S | 362 ± 2.1 ^b | 187 ± 4.4 ^a | 175 ± 2.4 ^b | 252 ± 3.1 ^a | 65 ± 1.4 ^a | 90 ± 0.0 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 377 ± 11.6 ^B | 186 ± 3.7 ^B | 190 ± 12.5 ^B | 250 ± 4.8 ^C | 64 ± 4.7 ^C | 91 ± 0.5 ^B |
| TR:J | 414 ± 2.4 ^b | 218 ± 2.8 ^b | 195 ± 0.4 ^b | 297 ± 5.2 ^b | 78 ± 2.5 ^a | 89 ± 0.1 ^a |
| TR:M | 384 ± 1.4 ^c | 205 ± 4.5 ^c | 179 ± 5.8 ^c | 270 ± 1.5 ^c | 65 ± 3.0 ^c | 92 ± 0.0 ^a |
| TR:S | 482 ± 13 ^a | 279 ± 4.0 ^a | 202 ± 16.6 ^a | 351 ± 3.0 ^a | 72 ± 1.1 ^b | 92 ± 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 426 ± 45.3 ^A | 234 ± 35.6 ^A | 192 ± 13.4 ^B | 306 ± 37.2 ^{AB} | 72 ± 6.1 ^B | 91 ± 1.6 ^B |

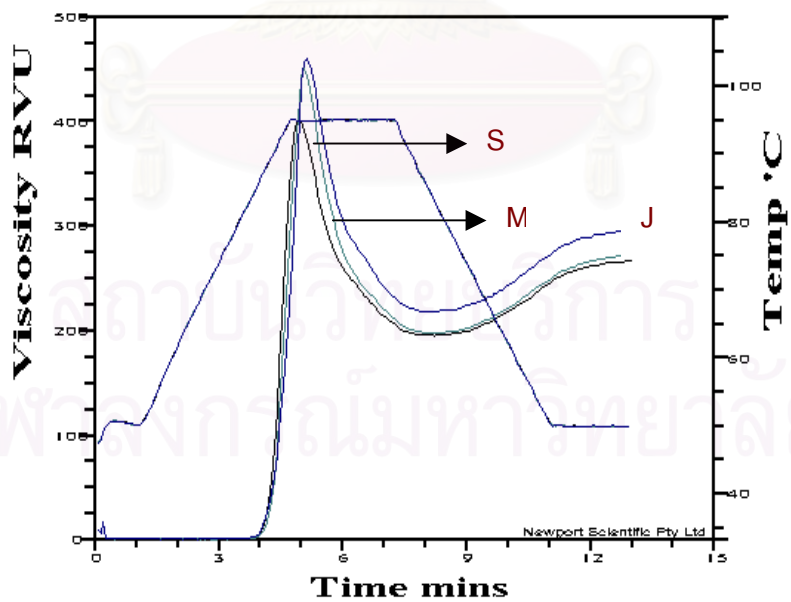
A,B,C และ D ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

a,b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

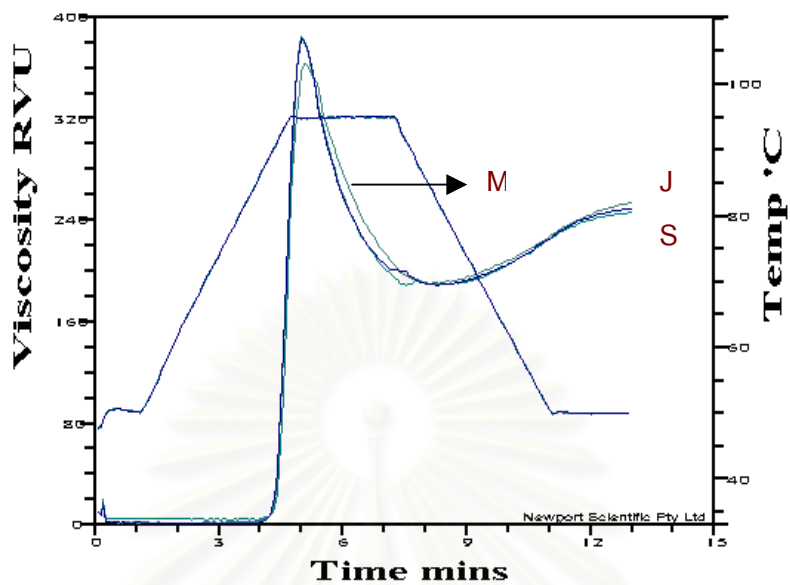
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



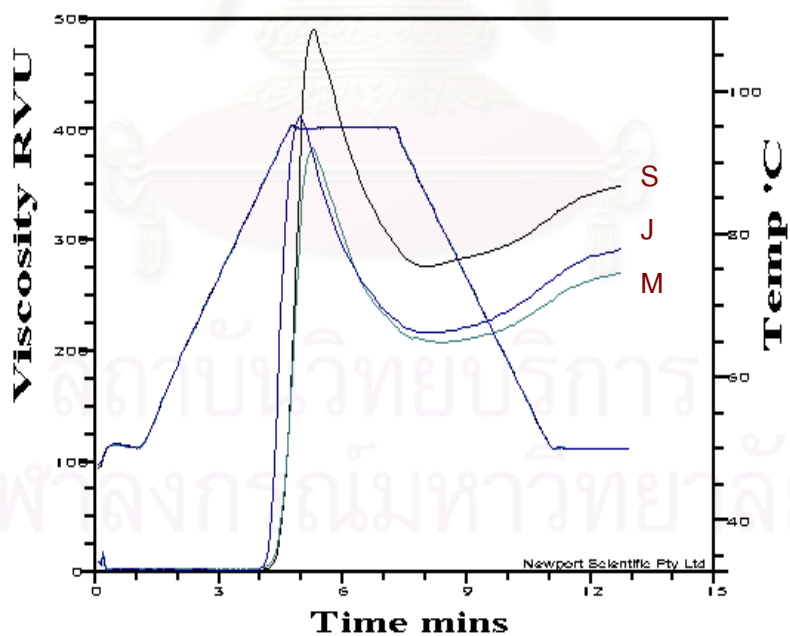
เชียงใหม่



สระบุรี



กาญจนบุรี



ตราด

รูปที่ ๑.๔ pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 5.0

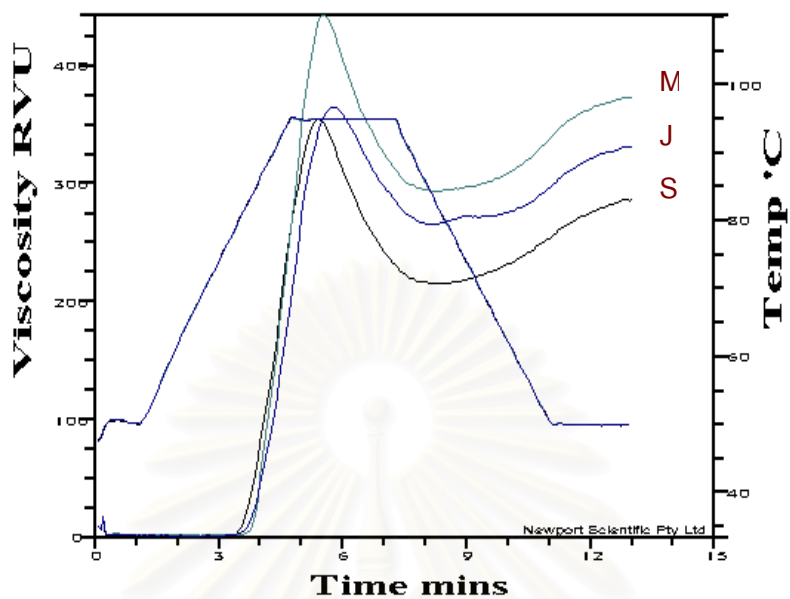
ตารางที่ ข.5 สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 5.5

| ตัวอย่าง | Peak (RVU) | Trough (RVU) | Breakdown (RVU) | Final viscosity (RVU) | Set back (RVU) | Pasting Temperature (°C) |
|-----------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------------------|------------------------|--------------------------------|
| CH:J | 367 ± 2.2 ^b | 266 ± 1.0 ^b | 101 ± 1.2 ^c | 334 ± 2.8 ^b | 68 ± 1.8 ^b | 93 ± 0.0 ^a |
| CH:M | 445 ± 2.4 ^a | 292 ± 3.6 ^a | 153 ± 6.0 ^a | 372 ± 0.9 ^a | 81 ± 3.4 ^a | 86 ± 0.0 ^b |
| CH:S | 354 ± 1.8 ^b | 216 ± 0.6 ^c | 138 ± 2.4 ^b | 286 ± 0.9 ^c | 70 ± 1.6 ^b | 90 ± 0.6 ^{ab} |
| ค่าเฉลี่ย | 389 ± 43.9 ^{BC} | 258 ± 34.3 ^A | 131 ± 24.2 ^C | 331 ± 38.6 ^A | 73 ± 6.7 ^A | 89 ± 3.2 ^A |
| SB:J | 454 ± 11.4 ^a | 226 ± 0.4 ^a | 228 ± 11.1 ^a | 298 ± 0.7 ^a | 72 ± 0.0 ^a | 90 ± 0.1 ^a |
| SB:M | 436 ± 0.4 ^b | 207 ± 1.3 ^b | 229 ± 1.7 ^a | 276 ± 0.1 ^b | 69 ± 1.4 ^a | 90 ± 0.1 ^a |
| SB:S | 407 ± 0.8 ^c | 200 ± 0.9 ^b | 207 ± 0.1 ^b | 270 ± 1.0 ^b | 69 ± 0.0 ^a | 89 ± 0.0 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 432 ± 21.7 ^A | 211 ± 11.9 ^{BC} | 222 ± 12.2 ^A | 281 ± 13.4 ^{BC} | 70 ± 1.8 ^A | 90 ± 0.7 ^A |
| KB:J | 383 ± 1.6 ^a | 200 ± 6.6 ^a | 184 ± 8.2 ^b | 263 ± 1.9 ^a | 64 ± 8.5 ^a | 91 ± 0.1 ^a |
| KB:M | 388 ± 3.7 ^a | 182 ± 2.3 ^b | 207 ± 1.4 ^a | 234 ± 0.8 ^b | 52 ± 1.5 ^b | 92 ± 0.6 ^a |
| KB:S | 356 ± 2.1 ^b | 182 ± 0.8 ^b | 175 ± 0.6 ^c | 246 ± 6.3 ^c | 64 ± 5.5 ^a | 90 ± 0.6 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 378 ± 13.6 ^C | 188 ± 9.7 ^C | 189 ± 15.2 ^B | 248 ± 13.4 ^C | 60 ± 7.4 ^B | 91 ± 0.8 ^A |
| TR:J | 414 ± 4.7 ^b | 223 ± 1.5 ^b | 191 ± 3.2 ^a | 301 ± 0.8 ^b | 78 ± 2.3 ^a | 89 ± 0.1 ^b |
| TR:M | 385 ± 5.9 ^c | 210 ± 7.7 ^c | 175 ± 1.8 ^b | 272 ± 4.1 ^c | 62 ± 3.6 ^b | 92 ± 0.5 ^a |
| TR:S | 485 ± 5.2 ^a | 296 ± 2.6 ^a | 190 ± 7.9 ^a | 358 ± 0.2 ^a | 62 ± 2.4 ^b | 93 ± 0.6 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 428 ± 46.4 ^{AB} | 243 ± 41.2 ^{AB} | 185 ± 8.8 ^B | 310 ± 38.9 ^{AB} | 68 ± 8.6 ^{AB} | 91 ± 1.9 ^A |

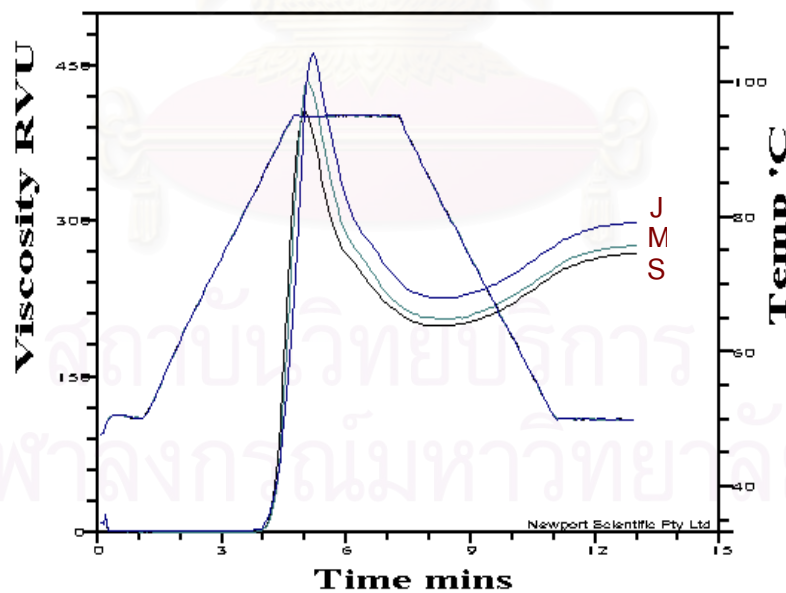
A,B,C และ D ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

a,b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

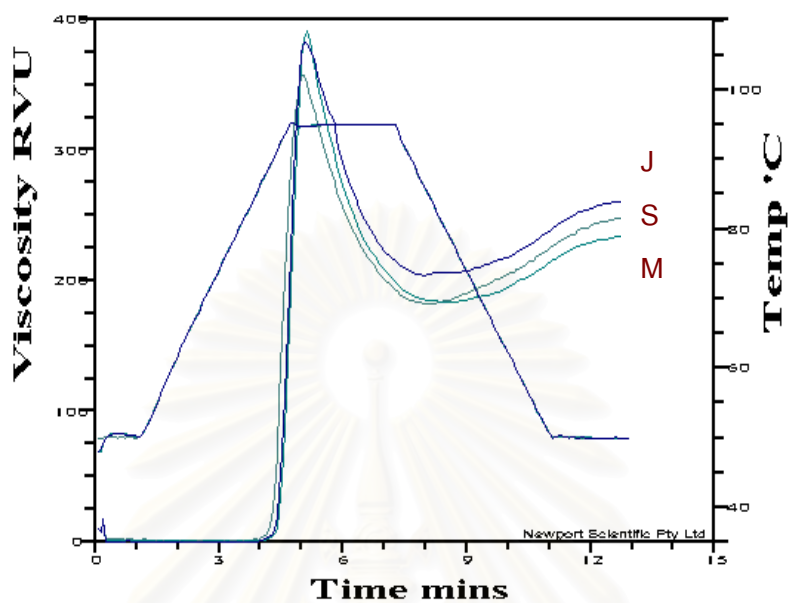
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



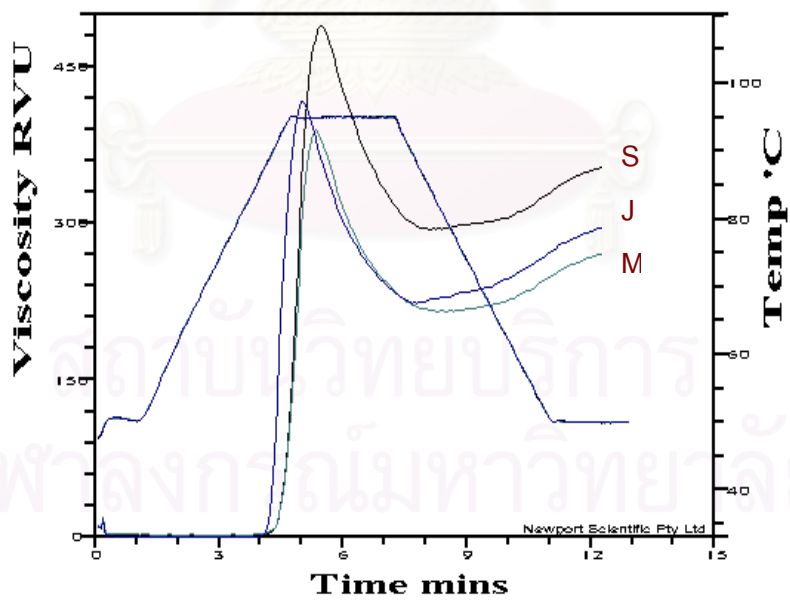
เชียงใหม่



สระบุรี



กาญจนบุรี



ตราด

รูปที่ ๑.๕ pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 5.5

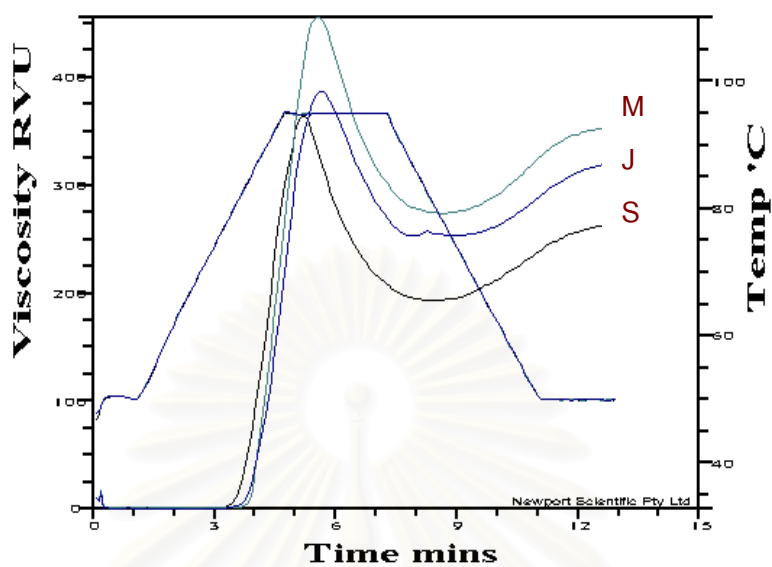
ตารางที่ ข.6 สมบัติทางด้านความหนืดของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 6.5

| ตัวอย่าง | Peak (RVU) | Trough (RVU) | Breakdown (RVU) | Final viscosity (RVU) | Set back (RVU) | Pasting Temperature (^o C) |
|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|---|
| CH:J | 386 ± 1.4 ^b | 241 ± 16.8 ^b | 145 ± 15.4 ^c | 318 ± 7.1 ^b | 77 ± 9.7 ^{ab} | 90 ± 1.2 ^a |
| CH:M | 456 ± 0.2 ^a | 278 ± 6.0 ^a | 182 ± 0.8 ^a | 354 ± 0.6 ^a | 81 ± 0.4 ^a | 86 ± 0.1 ^b |
| CH:S | 363 ± 1.6 ^c | 196 ± 4.7 ^c | 167 ± 6.3 ^b | 266 ± 3.0 ^c | 70 ± 1.8 ^b | 88 ± 1.7 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 402 ± 43.0 ^{AB} | 239 ± 37.5 ^A | 165 ± 18.2 ^C | 313 ± 39.8 ^A | 76 ± 6.8 ^A | 88 ± 2.0 ^B |
| SB:J | 449 ± 0.8 ^a | 220 ± 0.5 ^a | 229 ± 1.1 ^{ab} | 289 ± 1.9 ^a | 69 ± 2.4 ^b | 89 ± 0.6 ^a |
| SB:M | 441 ± 3.3 ^a | 198 ± 5.6 ^b | 242 ± 8.9 ^a | 271 ± 4.9 ^{ab} | 73 ± 10.5 ^a | 90 ± 0.1 ^a |
| SB:S | 403 ± 2.6 ^b | 197 ± 4.2 ^b | 210 ± 2.4 ^b | 257 ± 0.5 ^b | 64 ± 0.3 ^c | 89 ± 0.1 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 430 ± 21.9 ^A | 205 ± 12.2 ^B | 227 ± 15.3 ^A | 272 ± 14.5 ^B | 69 ± 6.3 ^B | 89 ± 0.4 ^{AB} |
| KB:J | 389 ± 2.2 ^a | 172 ± 4.5 ^a | 217 ± 6.8 ^a | 228 ± 11.7 ^a | 55 ± 6.5 ^b | 91 ± 0.7 ^a |
| KB:M | 381 ± 5.5 ^a | 166 ± 6.2 ^{ab} | 215 ± 0.6 ^b | 219 ± 6.2 ^b | 53 ± 0.0 ^b | 90 ± 0.1 ^a |
| KB:S | 341 ± 1.1 ^b | 153 ± 10.8 ^b | 188 ± 9.7 ^a | 215 ± 16.1 ^b | 62 ± 5.3 ^a | 90 ± 0.5 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 370 ± 23.2 ^B | 164 ± 10.7 ^C | 207 ± 15.3 ^B | 221 ± 11.1 ^C | 57 ± 5.8 ^C | 90 ± 0.5 ^A |
| TR:J | 427 ± 0.4 ^b | 204 ± 2.2 ^b | 223 ± 1.8 ^{ab} | 276 ± 6.4 ^a | 71 ± 4.9 ^a | 89 ± 0.6 ^a |
| TR:M | 386 ± 0.4 ^c | 180 ± 2.5 ^c | 206 ± 2.8 ^b | 243 ± 1.1 ^c | 64 ± 1.4 ^b | 91 ± 0.1 ^a |
| TR:S | 489 ± 5.7 ^a | 251 ± 11.6 ^a | 238 ± 5.9 ^a | 317 ± 6.9 ^a | 66 ± 4.7 ^b | 91 ± 1.2 ^a |
| ค่าเฉลี่ย | 434 ± 46.7 ^A | 212 ± 32.9 ^{AB} | 223 ± 14.7 ^{AB} | 279 ± 33.3 ^B | 67 ± 4.6 ^B | 91 ± 1.2 ^A |

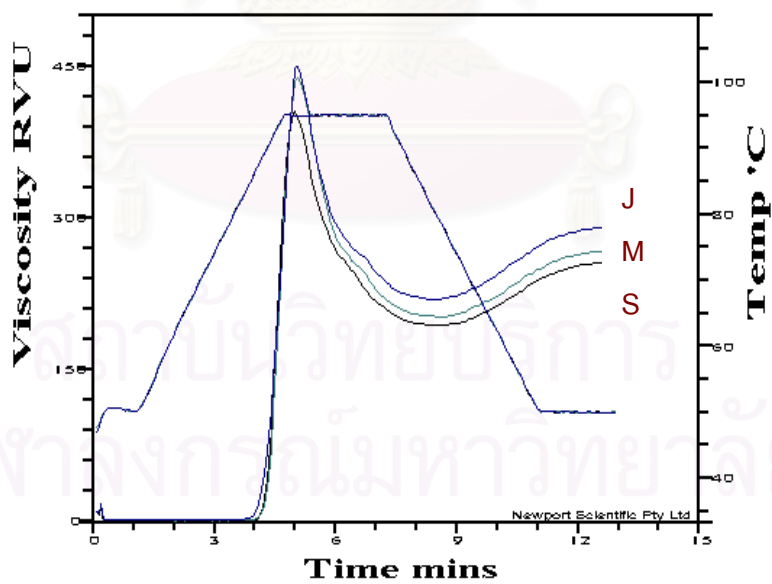
A,B,C และ D ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของแหล่งปลูกแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

a,b ที่แตกต่างกันในแนวตั้งหมายถึง ค่าเฉลี่ยของขนาดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

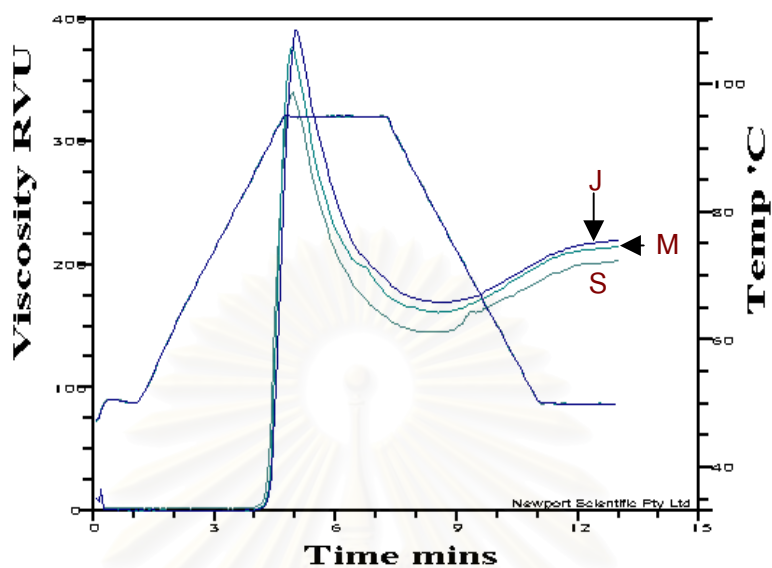
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



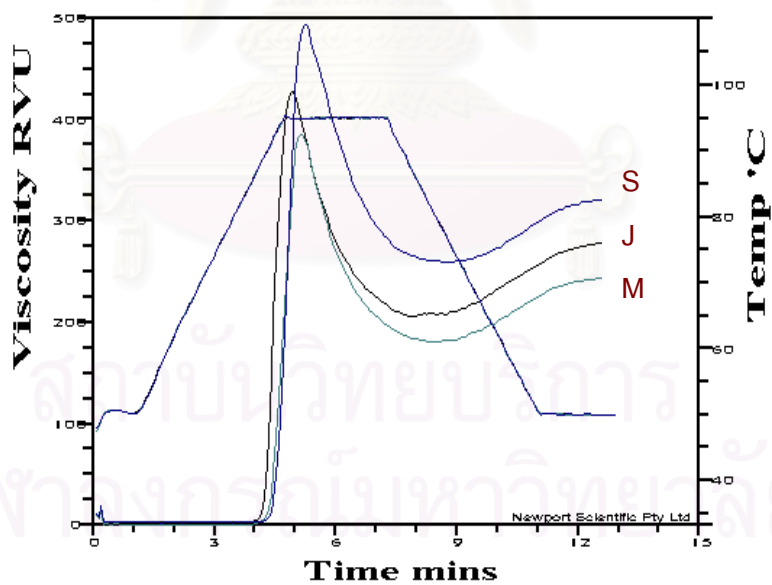
เชียงใหม่



สระบุรี



กาญจนบุรี

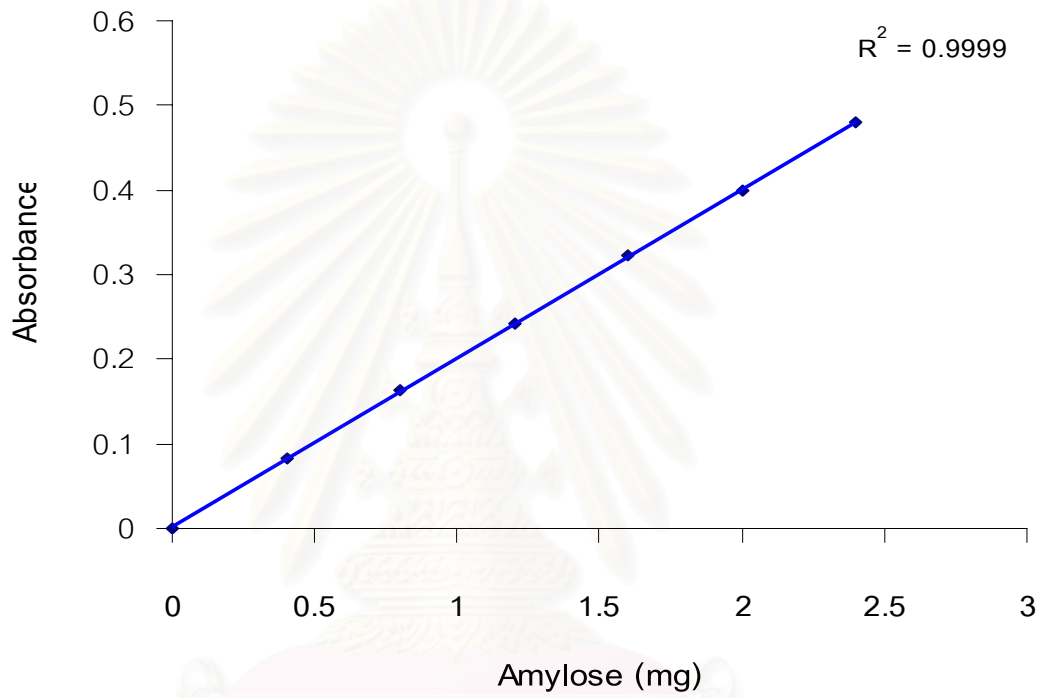


ตราด

รูปที่ 1.6 pasting profile ของแป้งเปียกจากสตาร์ชเผือกหอมที่ pH 6.5

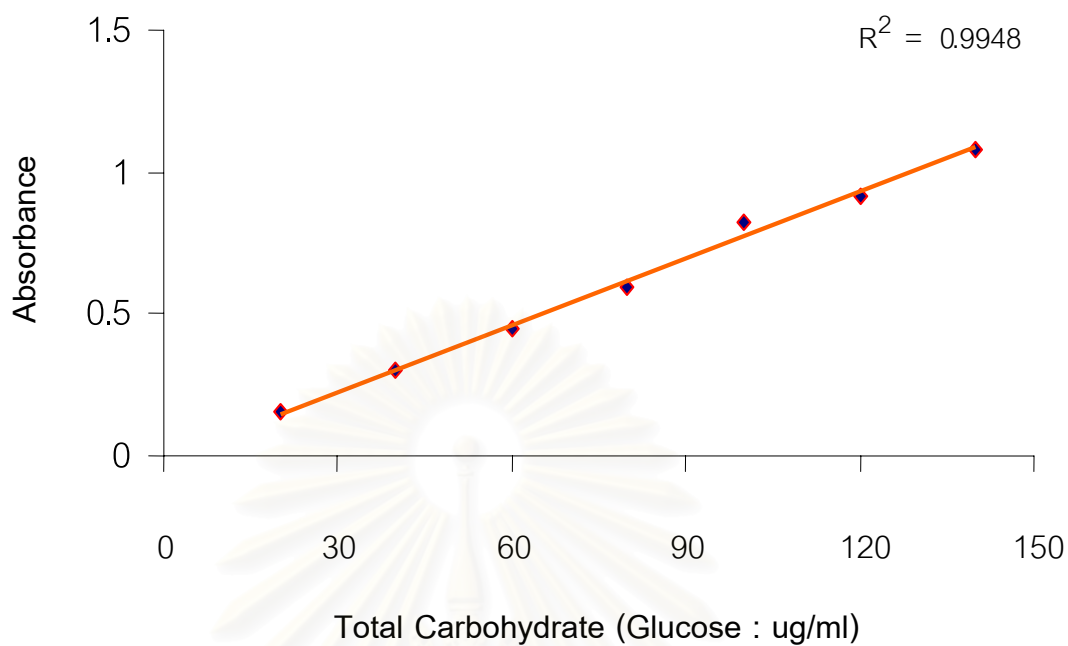
ภาคผนวก ค

กราฟมาตรฐาน

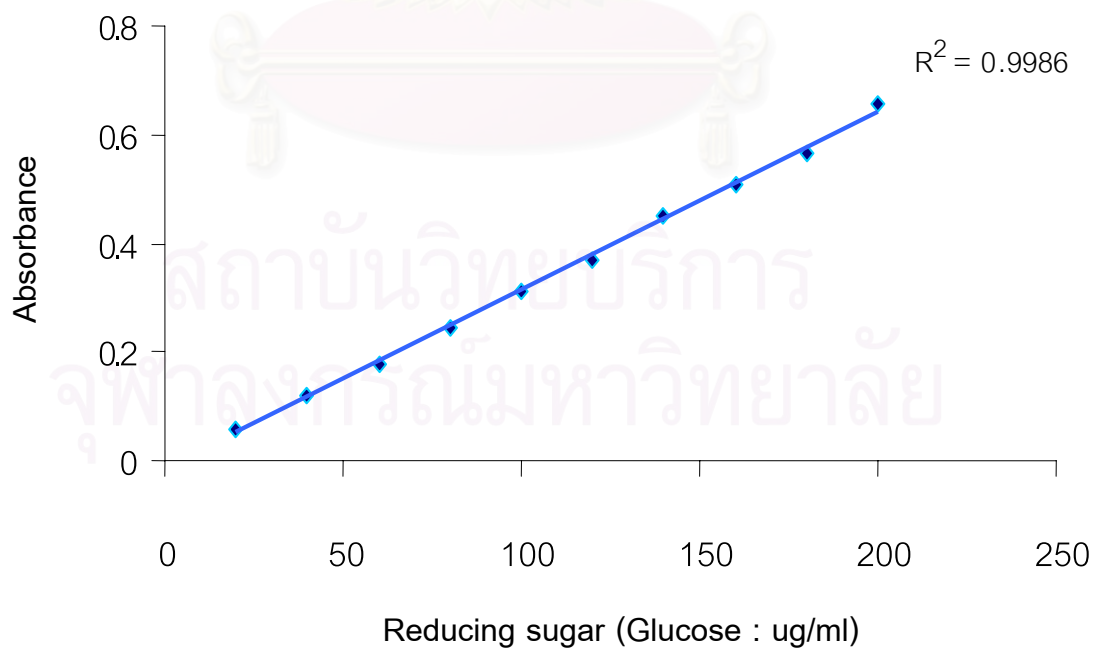


รูปที่ ค.1 กราฟมาตรฐานปริมาณอะมิโดส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ค.2 กราฟมาตรฐานปริมาณคาร์โบไฮเดรตรวม



รูปที่ ค.3 กราฟมาตรฐานปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุชฎี อัครศักดิ์สกุล เกิดเมื่อวันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร) เมื่อปีการศึกษา 2540 จากนั้นได้เข้าทำงานที่บริษัท เอ็ม เค เวสโตรองต์ จำกัด ตำแหน่งเจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ เป็นระยะเวลา 2 ปี 1 เดือน และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคปลาย ปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย