

ผลของการคัดแยกขนาดต่อสมบัติของฟลาวรรี่ที่เตรียมจากถั่วพุ่มเมล็ดขาว
Canavalia ensiformis L. ทั้งเมล็ดและที่แยกเปลือกแข็ง

นางสาวชาร่า สุนทรสวรรค์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์นี้พร้อมด้วยเอกสารฉบับวิทยานิพนธ์
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

EFFECT OF FRACTIONATION ON PROPERTIES OF FLOUR FROM WHOLE AND
DEHULLED JACK BEAN *Canavalia ensiformis* L.

Miss Sara Soonthonsun

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

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของการคัดแยกขนาดต่อสมบัติของฟลาโวนที่เตรียม
จากถั่วพุ่มเมล็ดขาว *Canavalia ensiformis* L. ทั้ง
เมล็ดและที่แยกเปลือกแข็ง

โดย

นางสาวซาร่า สุนทรสวรรค์

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราวัฒน์ ทัตติยกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสวดี ประทีปะเสน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราวัฒน์ ทัตติยกุล)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ดิรัช กวักเพชญ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ)

ชาร่า สุทรสวรรค์ : ผลของการคัดแยกขนาดต่อสมบัติของฟลาวร์ที่เตรียมจากถั่วพว้าเมล็ดขาว *Canavalia ensiformis* L. ทั้งเมล็ดและที่แยกเปลือกแข็ง. (EFFECT OF FRACTIONATION ON PROPERTIES OF FLOUR FROM WHOLE AND DEHULLED JACK BEAN *Canavalia ensiformis* L.) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร. จิรารัตน์ ทัดติยกุล 137 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการคัดแยกขนาดต่อสมบัติของฟลาวร์จากถั่วพว้าเมล็ดขาวทั้งเมล็ดและที่แยกเปลือกแข็ง ไม่แห้งและแยกขนาดโดยตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูเปิดเท่ากับ 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน จากการทดลองพบว่า ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าและถั่วพว้าทั้งเมล็ดมีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้าร้อยละ 55.2 และ 56.3 35.2 และ 30.7 4.7 และ 3.4 1.7 และ 6.6 3.3 และ 3.3 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เปลือกแข็งมีคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ และเถ้าร้อยละ 36.2 4.4 0.9 55.0 และ 3.6 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ โดยฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าที่ผ่านตะแกรงขนาด 45 ไมครอน มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงสุด (ร้อยละ 64.2 น้ำหนักแห้ง) ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน มีปริมาณโปรตีนสูงสุด (ร้อยละ 40.7 น้ำหนักแห้ง) ปริมาณโปรตีนมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง สำหรับปริมาณไขมันฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน ปริมาณไขมันสูงสุด (ร้อยละ 4.7 น้ำหนักแห้ง) ฟลาวร์มีปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 21.9-33.9 ของสตาร์ชแห้ง ฟลาวร์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กที่สุดมีแอมิโลสสูงสุด เม็ดสตาร์ชของถั่วพว้ามีรูปร่างกลมและรี มีพื้นผิวขรุขระและมี birefringence ที่ชัดเจน ฟลาวร์ทุกขนาดอนุภาคมีโครงสร้างผลึกแบบ C_A ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าและฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดมีขนาดเฉลี่ย 57.8 และ 78.8 ไมครอน ตามลำดับ และขนาดเฉลี่ยของอนุภาคมีแนวโน้มลดลงเมื่อร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูเปิดเล็กลง ฟลาวร์ทั้งสองชนิดมีปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นครบทั้ง 8 ชนิด โดยมีเมไทโอนีนในปริมาณต่ำที่สุด แต่มีปริมาณกรดกลูตามิกสูงสุด ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดวัดโดยวิธี Folin Cioculteu ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าและฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดมีค่าอยู่ในช่วง 1043.5-4266.0 ไมโครกรัมต่อกรัม และ 946.9-3773.3 ไมโครกรัมต่อกรัมตามลำดับ ปริมาณสารฟีนอลิกในเปลือกแข็งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง ปริมาณ RS_2 และ RS_3 ในฟลาวร์แต่ละขนาดอนุภาคมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) ในช่วงร้อยละ 9.1-17.3 และ 0.8-2.8 ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าและฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดมีค่าปริมาณ RS_3 อยู่ในช่วงร้อยละ 8.8-10.6 และ 0.7-4.5 ตามลำดับ ฟลาวร์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กลงมีแนวโน้มของความสว่าง และความเป็นสีแดงมากขึ้นและมีค่าความเป็นสีเหลืองลดลง ความสามารถในการจับน้ำและน้ำมันของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า ฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด และเปลือกแข็งที่ขนาดอนุภาคแตกต่างกันอยู่ในช่วง 1.1-1.6 1.2-2.0 และ 5.5-7.7 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง และ 8.3-8.5 8.1-8.6 และ 7.6-7.9 กรัมต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ความสามารถในการจับน้ำไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ชัดเจน แต่ความสามารถในการจับน้ำมันของฟลาวร์ทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง กำลังการพองตัวและการละลายของฟลาวร์ทั้งสองชนิดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดมีกำลังการพองตัวที่สูงกว่าฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และมีการละลายที่ต่ำกว่า ฟลาวร์ทั้งสองชนิดมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลที่ในเซชันเท่ากับ 81.7-88.8°C และ 78.4-88.3°C ตามลำดับ และฟลาวร์ที่ผ่านตะแกรงขนาด 45 ไมครอน มีค่าพลังงานในการเกิดเจลที่ในเซชันสูงสุด อุณหภูมิในการเกิดความร้อนสูงสุดของฟลาวร์ไม่แตกต่างกัน แต่ความหนืดสูงสุดและความหนืดสุดท้ายของฟลาวร์ทั้งสองชนิดเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง

ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2554

5272697923 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS: JACK BEAN/ FRACTIONATION/ PHYSICAL PROPERTIES/ FUNCTIONAL PROPERTIES

SARA SOONTHONSUN : EFFECT OF FRACTIONATION ON PROPERTIES OF FLOUR
FROM WHOLE AND DEHULLED JACK BEAN *Canavalia ensiformis* L.. ADVISOR : ASST.
PROF. JIRARAT TATTIYAKUL, Ph. D., 137 pp.

The objective of the study was to investigate the effect of fractionation on properties of flour from whole and dehulled Jack bean (*Canavalia ensiformis* L.). Dehulled- and whole Jack bean were dry-milled into flour and sieved through meshes having the opening of 300 μm , 150 μm , 125 μm , 75 μm , and 45 μm . The result showed that flour from dehulled-Jack bean contained 55.2% carbohydrates, 35.2% protein, 4.7% fat, 1.7% crude fiber, and 3.3% ash while that from whole Jack bean contained 56.3% carbohydrates, 30.7% protein, 3.4% fat, 6.6% crude fiber, and 3.0% ash. The hull contained 36.2% carbohydrates, 4.4% protein, 0.9% fat, 55.0% crude fiber, and 3.6% ash. The dehulled flour passing 45 μm opening mesh had the highest carbohydrate content (64.2% db) while that passing the 300 μm mesh had the highest protein content (40.7% db) The flour from whole bean passing 300 μm mesh was found to possess the highest fat content (4.7% db). The amylose content of the flour samples ranged between 21.9-33.9% of dry starch. The amylose content was the highest in the flour with smallest particle size. Jack bean starch granules were oval and round in shape. The granules had rough surfaces and presented distinctive birefringence. All flour particles displayed the characteristic of C_A type of diffraction pattern. The dehulled flour had an average size of 57.8 μm while the whole bean flour had an average size of 78.8 μm , and was decreased with decreasing mesh opening size. Both of flour samples contained eight essential amino acids. The dehulled and whole bean flour was found to have low methionine and high glutamic acid. The total phenolic contents measured by Folin-Ciocalteu reagent method of dehulled and whole bean flour varied from 1043.5-4266.0 $\mu\text{g/g}$ and 946.9-3773.3 $\mu\text{g/g}$, respectively. Decrease in particle size resulted in an increase in total phenolic compounds in hull. RS_2 and RS_3 contents of flours with different particle sizes differed ($p \leq 0.05$). The RS_2 contents of dehulled and whole bean flour fell within the 9.1-17.3 and 0.8-2.8% ranges and RS_3 varied from 8.8-10.6 and 0.7-4.5 %, respectively. Lightness and red color were found to increase as the flour particle size decreased, while yellow color decreased with particle size reduction. The water binding capacity (WBC) and oil holding capacity (OHC) of dehulled and whole bean flours and hull having different particle sizes fell within the range of 1.1-1.6, 1.2-2.0 and 5.5-7.7 g water/g (db) and 8.3-8.5, 8.1-8.6 and 7.6-7.9 g oil/g (db), respectively. The WBC of dehulled and whole bean flour was not correlated with the flour particle size whereas the OHC increased as the particle size decreased. An increase in temperature caused better swelling power and solubility of dehulled and whole bean flour. The dehulled flour was found to possess higher swelling power and lower solubility than whole bean flour. The gelatinization temperatures (using DSC) of dehulled and whole bean flour were in the range of 81.7-88.8°C and 78.4-88.3°C, respectively. The flour with the smallest particle size had the highest gelatinization enthalpy. There was no significant difference ($p > 0.05$) among pasting temperature of the flour samples. However, increase in peak viscosity and final viscosity of dehulled and whole bean flours were found with particle size reduction.

Department : Food Technology Student's Signature :

Field of Study : Food Technology Advisor's Signature :

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิราวัฒน์ ทัดตียกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ และตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสวดี ประทีปะเสน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.ตรีษ กวักเพฑูรย์ และ ดร.เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ รวมถึงได้เสนอแนวทางแก้ไขและปรับปรุง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

กราบขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย ทั้งในด้านวิชาการและจริยธรรม ซึ่งเป็นรากฐานอย่างดียิ่งในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมารดา ญาติ พี่ น้อง ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษา และคอยให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ตลอดจนให้กำลังใจอันมีค่ายิ่งเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 ถั่วพุ่ม (Jack bean).....	3
2.2 กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก.....	4
2.3 แป้ง.....	7
2.4 สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญของแป้ง.....	7
2.5 แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์.....	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาอิทธิพลขนาดของอนุภาคแป้ง.....	19
3 วิธีการทดลอง	
3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	21
3.2 การเตรียมฟลาวัวร์.....	21
3.3 การเตรียมสตาร์ช.....	22
3.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	23
4 ผลการทดลองและวิจารณ์	
4.1 ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพุ่ม และฟลาวัวร์จากถั่วพุ่มทั้งเมล็ด.....	26
4.2 สมบัติทางเคมี.....	30
4.3 สมบัติทางกายภาพ.....	37
4.4 สมบัติเชิงหน้าที่.....	57

	หน้า
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	68
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	68
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
รายการอ้างอิง.....	70
ภาคผนวก.....	76
ภาคผนวก ก.....	77
ภาคผนวก ข.....	97
ภาคผนวก ค.....	106
ภาคผนวก ง.....	126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	137

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	กลุ่มของสารประกอบพีนอลิก..... 4
4.1	ปริมาณผลผลิต ขนาด และการกระจายขนาดของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ด ถั่วพรี้าที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ..... 28
4.2	ปริมาณผลผลิต ขนาด และการกระจายขนาดของฟลาวัวร์จากถั่วพรี้า ทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ..... 29
4.3	องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า ฟลาวัวร์จากถั่วพรี้า ทั้งเมล็ดและเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ..... 32
4.4	กรดอะมิโนในฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้าและฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด (กรัม/100 กรัมตัวอย่าง)..... 34
4.5	ปริมาณสารประกอบพีนอลิกทั้งหมดของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า ฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด และเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (ไมโครกรัมแกลลิก/กรัมตัวอย่างแห้ง)..... 35
4.6	ปริมาณ Resistant starch (RS ₂ , RS ₃) ของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า และฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ..... 36
4.7	เปรียบเทียบองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า ฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ..... 37
4.8	ค่าสีของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า ฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดและ เปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ..... 39
4.9	ความเป็นผลึก (%) ของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้าและฟลาวัวร์จากถั่วพรี้า ทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ..... 54
4.10	สมบัติทางความร้อนของสารละลายตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ที่มีอัตราส่วนฟลาวัวร์ : น้ำ เท่ากับ 1 : 3.3 ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC..... 58
4.11	ความสามารถในการจับน้ำและน้ำมันของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า ฟลาวัวร์ จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด และเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ..... 60
4.12	กำลังการพองตัว (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง) ของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า และฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ..... 63

ตารางที่	หน้า
4.13 การละลาย (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง) ของฟลาวรรี่จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีและฟลาวรรี่จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	64
4.14 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของฟลาวรรี่จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวรรี่จากถั่วพรีทั้งเมล็ดและสตาร์ชถั่วพรี.....	65
4.15 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของฟลาวรรี่จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีและฟลาวรรี่จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	67
ก.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่เป็นแบบ A, B และ C.....	91
ก.2 Temperature profile STD1.....	96
ค.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวรรี่จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด.....	106
ค.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวรรี่จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 μm	107
ค.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวรรี่จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 μm	108
ค.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวรรี่จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 125 μm	109
ค.5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวรรี่จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm	110
ค.6 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวรรี่จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 45 μm	111
ค.7 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวรรี่จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด.....	112
ค.8 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวรรี่จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 μm	113
ค.9 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวรรี่จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 μm	114
ค.10 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวรรี่จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 125 μm	115

ตารางที่	หน้า
ค.11 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรง ขนาด 75 μm	116
ค.12 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรง ขนาด 45 μm	117
ค.13 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด.....	118
ค.14 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 μm	119
ค.15 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 μm	120
ค.16 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 125 μm	121
ค.17 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm	122
ค.18 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 45 μm	123
ค.19 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วพรี้า.....	124
ค.20 กำลังการพองตัว (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง) และการละลาย (%) ของฟลาวอร์ และสตาร์ชที่อุณหภูมิต่างๆ.....	125
ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า และ ฟลาวอร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	126
ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ด ถั่วพรี้าที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	126
ง.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของฟลาวอร์จากถั่วพรี้า ทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	127
ง.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของเปลือกแข็งที่ผ่าน ตะแกรงขนาดต่างๆ.....	128
ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของ ตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	128
ง.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยของเอนไซม์ ของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้าและฟลาวอร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรง ขนาดต่างๆ.....	129
ง.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	129

ตารางที่	หน้า
ง.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความเป็นผลึกของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	130
ง.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางความร้อนของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	131
ง.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการจับน้ำและน้ำมันของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	132
ง.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	132
ง.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการละลายของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	133
ง.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	133
ง.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการละลายของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	134
ง.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	135
ง.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	136

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	โครงสร้างหลักของ catechol..... 5
2.2	โครงสร้างหลักของกรดแคฟเฟอิก..... 5
2.3	โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์..... 6
2.4	โครงสร้างของแอมิโลส..... 7
2.5	โครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมัน..... 8
2.6	โครงสร้างของแอมิโลเพกทิน..... 9
2.7	โครงสร้างบริเวณผลึก และส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้ง..... 11
2.8	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A, B, C และ V..... 12
2.9	ค่าต่างๆ ที่วัดได้จากเครื่อง Rapid Visco Analyzer..... 14
2.10	การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกตามการเกิดเจลลาทีโนเซชันของแป้ง..... 16
3.1	ถั่วพว้าเมล็ดขาว <i>Canavalia ensiformis</i> L..... 21
3.2	เนื้อเมล็ดของถั่วพว้าเมล็ดขาว <i>Canavalia ensiformis</i> L..... 22
3.3	เปลือกแข็งของถั่วพว้าเมล็ดขาว <i>Canavalia ensiformis</i> L..... 22
4.1	ลักษณะการกระจายขนาดของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า ฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพว้า..... 27
4.2	ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด..... 41
4.3	ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด..... 44
4.4	รูปร่างและลักษณะ birefringence ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด..... 48

ภาพที่	หน้า
4.5 รูปร่างและลักษณะ birefringence ของของพลวอร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด.....	50
4.6 X-ray diffraction pattern ของพลวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า พลาวอร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด สตาร์ชถั่วพรี้า และเปลือกแข็ง.....	52
4.7 X-ray diffraction pattern ของพลวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้าที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด.....	54
4.8 X-ray diffraction pattern ของพลวอร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด.....	55
4.9 X-ray diffraction pattern ของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด.....	55
4.10 กำลังการพองตัวของพลวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า พลาวอร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพรี้า.....	61
4.11 การละลายของของพลวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า พลาวอร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพรี้า.....	62
ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด.....	83
ก.2 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส.....	85
ข.1 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของสตาร์ชถั่วพรี้า.....	97
ข.2 รูปร่างและลักษณะ birefringence สตาร์ชถั่วพรี้า.....	97
ข.3 กำลังการพองตัวของพลวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้าที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	98
ข.4 การละลายของพลวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้าที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	98
ข.5 กำลังการพองตัวของพลวอร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	99
ข.6 การละลายของพลวอร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	99
ข.7 สมบัติทางความร้อนของพลวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้าที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด.....	100
ข.8 สมบัติทางความร้อนของพลวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้าที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 μm	100

ภาพที่	หน้า
ข.9 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 μm	100
ข.10 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 125 μm	101
ข.11 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm	101
ข.12 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 45 μm	101
ข.13 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด.....	102
ข.14 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 μm	102
ข.15 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 μm	102
ข.16 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 125 μm	103
ข.17 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm	103
ข.18 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 45 μm	103
ข.19 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชถั่วพรี.....	104
ข.20 สมบัติด้านการเกิดเฟสท์ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	104
ข.21 สมบัติด้านการเกิดเฟสท์ของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ.....	105
ข.22 สมบัติด้านการเกิดเฟสท์ของสตาร์ชถั่วพรี.....	105

บทที่ 1

บทนำ

ถั่วพรีเป็นพืชล้มลุก สามารถเจริญเติบโต และปรับตัวได้ดีในสภาพดินฟ้าอากาศเกือบทุกภาคของประเทศไทย ทั้งภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ (วิษญาดา ชัยศรีษะ, 2548) โดยทั่วไปนิยมใช้ถั่วพรีเป็นปุ๋ยพืชสด พืชหมุนเวียน หรือพืชแซม ให้น้ำหนักสดประมาณ 2.5-4.0 ตันต่อไร่ และหลังจากไถกลบจะมีธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมประมาณร้อยละ 3.04 0.37 และ 3.12 ของน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (ประภักดิ์ พิศวงษ์, 2545) ถั่วพรีแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ถั่วพรีเมล็ดขาว และถั่วพรีเมล็ดแดง ส่วนประกอบที่สำคัญของถั่วพรี คือ คาร์โบไฮเดรตที่มีปริมาณสูงถึงร้อยละ 65 และสัดส่วนของโปรตีนประมาณร้อยละ 35 ถั่วพรีอุดมไปด้วยโปรตีน (Sridhar and Seená, 2006) เป็นแหล่งพลังงานที่ดี และยังมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพบางอย่างที่มีประโยชน์ (Agbede and Aletor, 2005) มีหลักฐานว่าการรับประทานพืชตระกูลถั่วสามารถลดความเสี่ยงของโรคหัวใจ (heart disease) โรคหลอดเลือด (vascular disease) โรคเบาหวาน (diabetes) ความอ้วน (obesity) และโรคมะเร็ง (carcinoma) บางชนิดได้ (Díaz-Batalla *et al.*, 2006) มีรายงานว่าแป้งถั่วมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยสูงกว่าแป้งจากแหล่งอื่นๆ (Vargas-Torres *et al.*, 2004) สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยจัดเป็นใยอาหารกลุ่มหนึ่งซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบทางเดินอาหาร ช่วยให้ขับถ่ายเป็นปกติและเพิ่มปริมาณของอุจจาระ การบริโภคสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยในปริมาณที่มากเพียงพอจะช่วยเพิ่มระดับของกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acids) ที่ได้จากการหมักของแบคทีเรียที่มีประโยชน์ในลำไส้ใหญ่ ซึ่งกรดไขมันสายสั้นส่งเสริมการสร้างเซลล์ที่ปกติ และยับยั้งการสร้างเซลล์ที่ผิดปกติในลำไส้ใหญ่

อุตสาหกรรมอาหารส่วนใหญ่ นำฟลาวรรี่มาใช้ผสมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอาหาร เช่น ทำให้เกิดเจล ควบคุมความคงตัวและเนื้อสัมผัสของอาหาร ป้องกันเนื้อสัมผัสของอาหารเสียรูปเนื่องจากกระบวนการแช่แข็งและคืนรูปจากเยือกแข็ง เป็นต้น จากงานวิจัยที่ผ่านมา พบว่า ขนาดของเม็ดสตาร์ชส่งผลต่อพฤติกรรมทางด้านการเกิดเพสต์และการพองตัว โดยที่เม็ดสตาร์ชขนาดเล็กจะมีกำลังการพองตัว และความหนืดสูงสุดสูงกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่ (Huang *et al.*, 2007) เมื่อนำไปใช้ประกอบอาหาร อาจทำให้ได้สมบัติต่างๆ ที่แตกต่างกัน แม้จะเป็นแป้งจากแหล่งเดียวกัน นอกจากนี้ ในปัจจุบันยังมีความพยายามในการผลิตอาหารที่มีปริมาณเส้นใยเป็น

ส่วนประกอบมากขึ้น เนื่องจากมีผลดีดังที่ได้กล่าวข้างต้น การเสริมเส้นใยอาจทำได้โดยการเติมเส้นใยที่ผลิตจากแหล่งอื่นลงในแป้ง เปลือกถั่วเป็นส่วนที่มีเส้นใยในปริมาณสูง ในอดีตเปลือกถั่วมักจะถูกแยกออกในขั้นตอนต้นๆ ของการผลิตแป้งถั่ว ส่งผลให้ได้แป้งที่มีปริมาณเส้นใยต่ำ การผลิตแป้งจากถั่วทั้งเมล็ดเป็นวิธีหนึ่งที่จะเพิ่มปริมาณเส้นใยอาหารในแป้งถั่วโดยไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเพิ่มเส้นใยในภายหลัง อีกทั้งยังเป็นการลดขั้นตอนการผลิตแป้งถั่ว

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของฟลาวัวร์จากถั่วพว้าเมล็ดขาว และผลของขนาดอนุภาคและเปลือกแข็งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของฟลาวัวร์จากถั่วพว้าเมล็ดขาว ทั้งนี้เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและอุตสาหกรรมต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม และเพื่อเป็นการขยายการใช้ประโยชน์ของฟลาวัวร์จากถั่วพว้าเมล็ดขาวให้กว้างขวางยิ่งขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ถั่วพรี้า (Jack bean)

ถั่วพรี้าเป็นพืชตระกูลถั่วชนิดหนึ่งใน Order Leguminosae มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Canavalia ensiformis* ส่วนชื่อสามัญที่นิยมเรียก ได้แก่ Jack bean, Horse bean, Sabre bean, Snake bean, Sunshine bean, และ Sword bean เป็นต้น ถั่วพรี้ามีต้นกำเนิดในแถบประเทศอินเดียตะวันตก และอเมริกากลาง ปัจจุบันถั่วพรี้ามีการปลูกและบริโภคกันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะประเทศที่อยู่ในเขตร้อนหรือกึ่งร้อน ลักษณะโดยทั่วไปของถั่วพรี้าเป็นพืชล้มลุก ลำต้นเป็นพุ่มสูงประมาณ 60-120 เซนติเมตร มีรากลึก ลำต้นเล็กและเป็นไม้แข็ง ใบเป็นแบบ trifoliolate มีสีเขียว ดอกเป็นกลุ่มสีชมพู อาจแบ่งได้เป็น 3 ช่วง คือ พันธุ์ดอกช่วงต้นฤดูหลังจากการหว่านเมล็ด 58 วัน ช่วงกลางฤดูหลังจากการหว่านเมล็ด 84 วัน และช่วงปลายฤดูหลังจากการหว่านเมล็ด 90-110 วัน (Nwokolo and Smartt, 1996) ฝักมีลักษณะคล้ายดาบห้อยลง เมล็ด 1 กิโลกรัม มีจำนวนประมาณ 1000-1200 เมล็ด เมล็ดพันธุ์หว่านจะงอกภายในหนึ่งสัปดาห์ และมีเปอร์เซ็นต์การงอกค่อนข้างสูง มีศัตรูพืชรบกวนน้อย ขึ้นได้ในสภาพอากาศทั่วไป บนดินดอน การระบายน้ำดี ทนความแห้งแล้งได้ดี เจริญเติบโตในดินเค็มเล็กน้อย และขึ้นได้ในที่ร่ม สามารถเจริญเติบโต และปรับตัวได้ดีในสภาพดินฟ้าอากาศเกือบทุกภาคของประเทศไทย ทั้งภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคใต้ (วิชฎาดา ชัยศรีษะ, 2548)

มีรายงานว่าผลผลิตของถั่วพรี้าที่ได้ในลาตินอเมริกาจะมีปริมาณเฉลี่ยอยู่ในช่วง 1733-2655 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ ซึ่งดีกว่าเมื่อเทียบกับถั่วลิสง (*Phaseolus vulgaris*) และถั่วเหลือง (*Glycine max*) ซึ่งมีผลผลิต 500-700 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ และ 600-1000 กิโลกรัมต่อเฮกเตอร์ ตามลำดับ ถั่วพรี้าเป็นแหล่งของโปรตีนที่ดี โดยปริมาณโปรตีนของถั่วพรี้าอยู่ระหว่างร้อยละ 22-35 และมีคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดประมาณร้อยละ 45-65 ทั้งหมดนี้เป็นสตาร์ชประมาณร้อยละ 37 ไขมันประมาณร้อยละ 2-12 เส้นใยหยาบประมาณร้อยละ 5-11 soluble sugar ประมาณร้อยละ 4 และเถ้าประมาณร้อยละ 2-5 (Nwokolo and Smartt, 1996; Sridhar and Seená, 2006)

นอกจากจะเป็นแหล่งที่สำคัญของสารอาหารจำพวกโปรตีน สตาร์ช เส้นใยอาหาร และแร่ธาตุแล้ว ยังมีรายงานว่าการบริโภคถั่วสามารถที่จะป้องกันโรคเรื้อรังในมนุษย์ได้ เนื่องจากถั่วมีสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ ได้แก่ ฟีนอลิกที่สามารถลดการย่อยของโปรตีน และการดูดซึมแร่ธาตุได้ ซึ่ง

สารต้านอนุมูลอิสระจะขึ้นอยู่กับความหลากหลายทางชีวภาพของพืช เทคนิคกระบวนการผลิต และการออกของเมล็ดสามารถส่งผลกระทบต่อระดับของสารต้านอนุมูลอิสระธรรมชาติในเมล็ดธัญพืชได้ (Amarowicz and Pegg, 2008)

2.2 กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก

สารประกอบฟีนอลิกเป็นสารในกลุ่มของ secondary metabolites โดยพืชจะสร้างสารกลุ่มนี้ขึ้นเพื่อประโยชน์ในกระบวนการเจริญเติบโตและการขยายพันธุ์ สารประกอบฟีนอลิกมีโครงสร้างหลักเป็นวงแหวนอะโรมาติก และมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุลอย่างน้อยหนึ่งหมู่ สารประกอบฟีนอลิกส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้ มักพบอยู่ในรูปของการรวมกันกับโมเลกุลน้ำตาลในรูปของสารประกอบไกลโคไซด์ โดยน้ำตาลดังกล่าวอาจอยู่ในรูปของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำตาลโมเลกุลคู่หรือโพลิแซคคาไรด์ (Vermerris and Nicholson, 2006) สารประกอบฟีนอลิกอาจแบ่งได้ตามจำนวนคาร์บอนและโครงสร้างหลัก (basic skeleton) ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิก

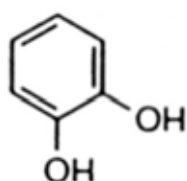
Amount of Carbon	Basic skeleton	Group
6	C ₆	simple phenols, benzoquinones
7	C ₆ -C ₁	phenolic acids and aldehydes
8	C ₆ -C ₂	acetophenone, phenylacetic acid
9	C ₆ -C ₃	hydroxycinnamic acid, polypropene, coumarin, isocoumarin
10	C ₆ -C ₄	napthoquinone
13	C ₆ -C ₁ -C ₆	xanthone
14	C ₆ -C ₂ -C ₆	stilbene, anthraquinone
15	C ₆ -C ₃ -C ₆	flavonoids, isoflavonoids
18	(C ₆ -C ₃) ₂	lignans, neolignans
30	(C ₆ -C ₃ -C ₆) ₂	biflavonoids
n	(C ₆ -C ₃) _n	lignins

ที่มา: Harborne (1980)

กลุ่มของสารประกอบฟีนอลิกที่มักพบในอาหาร และมีส่วนร่วมในการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลในอาหารมี 3 กลุ่ม ได้แก่ simple phenols อนุพันธ์ของกรดซินนามิก และฟลาโวนอยด์ (Eskin, 1990)

2.2.1 Simple Phenols

สารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มนี้มีโครงสร้างหลักเป็นเบนซีนริง 1 วง และมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่ในโมเลกุลอย่างน้อย 1 หมู่ ตัวอย่างสารในกลุ่ม mono-phenol เช่น L-tyrosine ortho-diphenol เช่น catechol เป็นต้น (ภาพที่ 2.1)

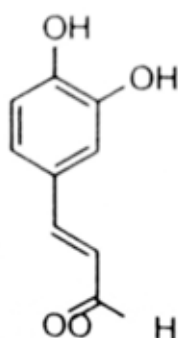


ภาพที่ 2.1 โครงสร้างหลักของ catechol

ที่มา: Shahidi และ Naczk (1951)

2.2.2 อนุพันธ์ของกรดซินนามิก

สารประกอบฟีนอลิกในกลุ่มนี้มีโครงสร้างหลักเป็น C_6-C_3 ตัวอย่างสารในกลุ่มนี้ เช่น กรดคลอโรเจนิค (chlorogenic acid) กรดพารา-คูมาริก (*p*-coumaric acid) กรดแคฟเฟอิก (caffeic acid) (ภาพที่ 2.2) กรดเฟอร์ูลิก (Ferulic acid) และกรดไซแนปิก (sinapic acid) ซึ่งกรดคลอโรเจนิคเป็นสารที่มีความสำคัญต่อการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลที่ใช้เอนไซม์

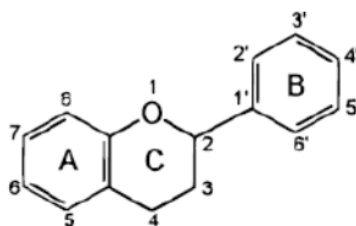


ภาพที่ 2.2 โครงสร้างหลักของกรดแคฟเฟอิก

ที่มา: Shahidi และ Naczk (1951)

2.2.3 ฟลาโวนอยด์

ฟลาโวนอยด์มีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ และมีมากกว่า 5,000 ชนิด มีสูตรโครงสร้างหลักเป็นฟลาแวนนิวเคลียส (flavan nucleus) ซึ่งประกอบด้วยคาร์บอน 15 อะตอม จัดเรียงตัวเป็นวงแหวน 3 วง (C₆-C₃-C₆) เรียกเป็นวงแหวน เอ บี และซี ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างหลักของฟลาโวนอยด์

ที่มา: Pietta (2000)

สารกลุ่มฟลาโวนอยด์สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อยได้ตามโครงสร้าง โดยแต่ละกลุ่มมีโครงสร้างต่างกันที่บริเวณวงแหวนซี ในขณะที่สารแต่ละชนิดในกลุ่มจะมีโครงสร้างแตกต่างกัน บริเวณวงแหวนเอ และบี โดยการมีหมู่ไฮดรอกซิล หมู่เมทอกซิล หรือน้ำตาลเข้ามาแทนที่ในคาร์บอนตำแหน่งต่างๆ (Pietta, 2000)

Folin-Ciocalteu assay เป็นวิธีที่นิยมสำหรับวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย และใช้เวลาในการวิเคราะห์น้อย ซึ่งหลักการในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของวิธีการนี้ คือ สารประกอบฟีนอลิกจะถูกออกซิไดซ์ในสภาวะที่เป็นด่าง จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจะไปรีดิวซ์สารประกอบเชิงซ้อน phosphotungstic phosphomolybdic ได้ผลิตภัณฑ์เชิงซ้อนที่มีสีน้ำเงิน และดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร (Waterman and Mole, 1994) ปัจจุบันนิยมใช้กรดแกลลิกเป็นสารมาตรฐานในการวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด เนื่องจากมีราคาไม่แพง และมีความคงตัวสูง (Waterhouse, 2005)

2.3 แป้ง

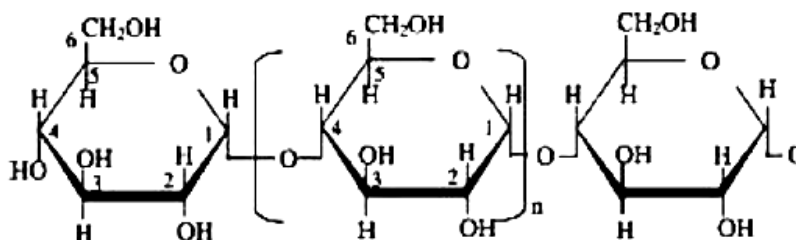
“แป้ง” ที่คนไทยเรียกกันทั่วไปนั้น ได้หมายความเกี่ยวกับการเรียกแป้งในภาษาอังกฤษ 2 ประเภทเข้าด้วยกัน คือ แป้งฟลาวัวร์ (flour) และสตาร์ช (starch)

แป้งฟลาวัวร์ หมายถึง ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบทางการเกษตรชนิดต่างๆ เช่น ข้าวเจ้า ข้าวเหนียว ข้าวสาลี ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มันฝรั่ง มันสำปะหลัง มันเทศ ลำต้นสาकु เป็นต้น โดยนำวัตถุดิบมาไม่หรืออบหรือตีจนละเอียดมาก ดังนั้น ส่วนประกอบของฟลาวัวร์จึงประกอบไปด้วยสารอาหารต่างๆ ที่มีอยู่ในวัตถุดิบดั้งเดิมทั้งหมด คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เส้นใย แร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น ในขณะที่แป้ง (starch) คือ ผลิตภัณฑ์แป้งที่ผลิตจากวัตถุดิบชนิดต่างๆ ที่ใช้ผลิตแป้งฟลาวัวร์เช่นเดียวกัน แต่กรรมวิธีการผลิตจะแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นสารอาหารคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนใหญ่ (อรพิน ภูมิภมร, 2533)

2.4 สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่สำคัญของแป้ง

2.4.1 สมบัติทางเคมี

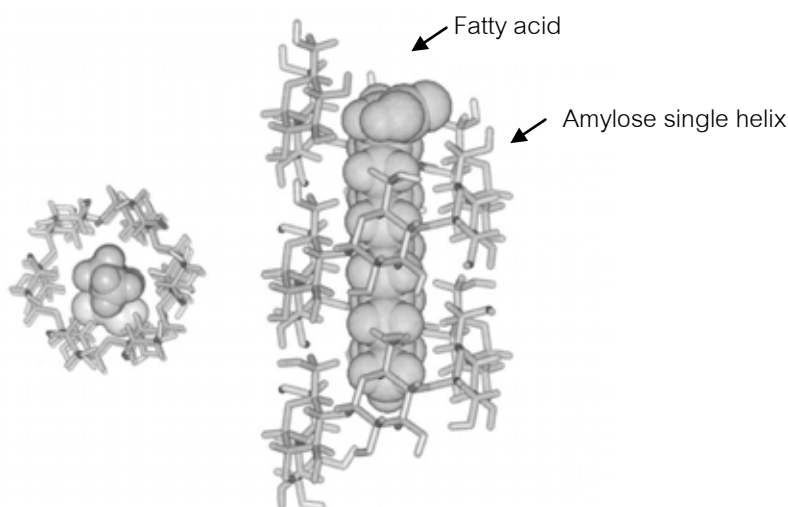
แป้งเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน ในอัตราส่วน 6: 10: 5 มีสูตรทางเคมีทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ แป้งเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคส ซึ่งประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ทางด้านตอนปลายของสายพอลิเมอร์ที่มีหมู่แอลดีไฮด์ เรียกว่า ปลายรีดิวซิง แป้งประกอบด้วยพอลิเมอร์ของกลูโคส 2 ชนิด คือ แอมิโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้น และแอมิโลเพกทินซึ่งเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่ง วางตัวในแนวรัศมี แป้งจากแหล่งที่แตกต่างกันจะมีอัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติของแป้งแต่ละชนิดแตกต่างกัน



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของแอมิโลส

ที่มา: Juliano (1971)

แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก ชนิดแอลฟา-1, 4 (α -1, 4) ดังแสดงในภาพที่ 2.4 แอมิโลสเป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลจำนวนมาก จึงทำให้สามารถจับกับโมเลกุลชนิดอื่นได้ด้วยพันธะไฮโดรเจน เช่น จับกับแอมิโนเพกทินเป็นเกลียวเดี่ยวหรือเกลียวคู่ ทำให้เกิดโครงสร้างสามมิติ ซึ่งเป็นโครงสร้างที่แข็งแรง (Bowers, 1992) นอกจากนี้ แอมิโลสยังสามารถจับกับไขมันเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (amylose lipid complex) ที่มีความเสถียร (ภาพที่ 2.5)

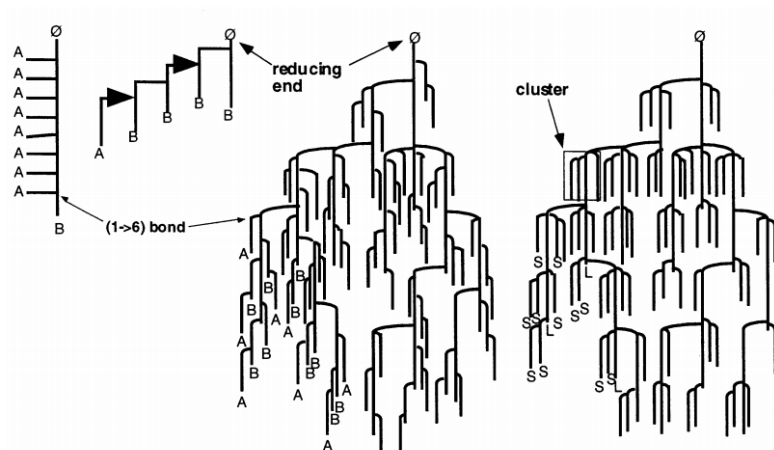


ภาพที่ 2.5 โครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมัน

ที่มา: Buleon และคณะ (1998)

แม้แต่ละชนิดจะมีน้ำหนักโมเลกุลที่แตกต่างกันไป โดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของแอมิโลสอยู่ในช่วง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน และมีขนาดโมเลกุล หรือระดับขั้นการเกิดพอลิเมอร์ (Degree of polymerization, DP) ของแอมิโลสที่แตกต่าง โดยแอมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนให้สีน้ำเงิน ซึ่งจะใช้เป็นลักษณะเฉพาะที่บ่งบอกถึงแป้งที่มีแอมิโลสเป็นองค์ประกอบ แอมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มของแอมิโนเพกทิน บางส่วนกระจายอยู่บริเวณออสตรูชัน และส่วนผลึก ด้วยคุณสมบัติทางเคมีของโมเลกุลแอมิโลสที่เป็นสายสั้น ซึ่งมันสนับสนุนต่อระดับคุณค่าทางโภชนาการ แอมิโลสนั้นย่อยได้ช้าซึ่งมีผลประโยชน์ต่อสุขภาพของมนุษย์ ซึ่งมีหลักฐานที่บ่งชี้ว่าแอมิโลสมีความสำคัญในการลดระดับน้ำตาลในเลือด และอินซูลินของอาหาร และในการเพิ่มความสามารถในการเผาผลาญไขมันในร่างกาย ซึ่งอาจช่วยในการรักษาน้ำหนักเพื่อสุขภาพ (Hu, Burton and Yang, 2010)

แอมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคส เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 4 และส่วนที่เป็นกิ่งก้านสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มี DP 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิกชนิด α -1, 6 แสดงดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของแอมิโลเพกทิน

ที่มา: Buleon และคณะ (1998)

แอมิโลเพกทินมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 1,000 เท่าของแอมิโลส คือ ประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราการคืนตัวต่ำ เนื่องจากแอมิโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่ง ปริมาณของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินที่แตกต่างกันทำให้สมบัติของแป้งแตกต่างกัน นอกจากนี้ในแป้งยังมีสารตัวกลาง ได้แก่ ไขมัน โปรตีน เป็นต้น ซึ่งไขมันที่รวมอยู่ในเม็ดแป้งจะไปลดความสามารถในการพองตัว การละลาย และความสามารถในการจับน้ำ และยังอาจรวมตัวกับแอมิโลสเกิดเป็น inert complex ทำให้เกิดฟิล์มที่มีลักษณะทึบแสงหรือขุ่น โปรตีนที่เกาะอยู่บริเวณผิวของเม็ดแป้งทำให้เกิดประจุบนพื้นผิว ส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลในไซชันเปลี่ยนแปลงไป (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

2.4.2 ส่วนประกอบอื่นๆ ของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งมีส่วนประกอบหลายอย่างเช่นเดียวกับเมื่ออยู่ในรูปของวัตถุดิบ ซึ่งมักจะประกอบด้วยความชื้น 10-20% โปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส และอนินทรีย์สารต่างๆ ส่วนประกอบเหล่านี้จะมีในปริมาณเพียงเล็กน้อย และมีผลต่อคุณสมบัติของแป้งเมื่อนำไปใช้

2.4.2.1 ความชื้น

ปริมาณความชื้นในผลิตภัณฑ์แป้งขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในบรรยากาศที่เก็บแป้งนั้นๆ กล่าวคือ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ลดลง แป้งจะมีความชื้นลดลงด้วย และถ้าความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นแป้งจะดูดความชื้นเข้าไปมากด้วย ภายใต้สภาวะบรรยากาศต่างๆ ไป แป้งจะมีความชื้นประมาณ 10-20% โดยน้ำหนัก ความชื้นสมดุลของแป้งจะต่ำเมื่อบรรยากาศที่เก็บแป้งมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ณ ที่ความชื้นสัมพัทธ์เป็นศูนย์ ปริมาณความชื้นในแป้งก็จะเข้าใกล้ศูนย์ และที่มีความชื้นสัมพัทธ์ 20% ปริมาณความชื้นในแป้งจะมีประมาณ 5-6% โดยน้ำหนัก สำหรับโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในแป้งอาจจะอยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ในโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคส

2.4.2.2 ไขมัน

ผลิตภัณฑ์แป้งที่ได้จากส่วนหัว ราก และลำต้นของพืช เช่น มันฝรั่ง มันสำปะหลัง จะมีสารประกอบไขมันอยู่ในปริมาณน้อยกว่า (0.1%) แป้งที่ผลิตจากธัญพืช (0.6-0.8%) ไขมันภายในแป้งมีทั้งที่อยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดแป้ง ซึ่งประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์ กรดไขมันอิสระ กลูโคลิพิด และไขมันที่กระจายอยู่ทั่วไปภายในเม็ดแป้ง โดยเชื่อมพันธะกับคาร์โบไฮเดรตอย่างหลวมๆ ไขมันจะรวมตัวกับแอมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลสเป็นแอมิโลส-ลิพิด โมเลกุลเชิงซ้อนนี้จะไม่ละลายน้ำและมีแนวโน้มที่จะไปกีดการพองตัวของเม็ดแป้ง แต่เมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 125°C จะทำให้โครงสร้างการเชื่อมของไขมันและแอมิโลสแตกตัวออก ส่วนของแอมิโลสก็จะละลายได้ และส่วนไขมันจะทำให้แป้งมีกลิ่นหืนได้เมื่อเก็บไว้นาน

2.4.2.3 โปรตีน

ผลิตภัณฑ์แป้งที่ได้จากส่วนหัว ราก และลำต้นของพืช จะมีโปรตีนต่ำกว่าแป้งที่ผลิตจากธัญพืช โดยโปรตีนจะเกาะอยู่บริเวณผิวของเม็ดแป้ง มีผลต่อการกระจายของเม็ดแป้ง ทำให้แป้งมีอัตราการดูดซับน้ำ อัตราการพองตัว และอัตราการเกิดเจลลาที่ในเซชันเปลี่ยนแปลงไป ทำให้เกิดปฏิกิริยาเมลลาร์ดระหว่างการทำปฏิกิริยาของกรดอะมิโนกับน้ำตาลรีดิวซิง สีและกลิ่นของผลิตภัณฑ์เปลี่ยนแปลงไป การที่มีโปรตีนอยู่ในแป้งทำให้แป้งจากธัญพืชมีกลิ่นที่เรียกว่า mealy flavor และยังมีส่วนทำให้เกิดฟอง สำหรับปริมาณโปรตีนที่มีอยู่ในแป้ง มักจะวิเคราะห์โดยทางปริมาณไนโตรเจน (Kjeldahl Nitrogen) แล้วคูณด้วย 6.25 ซึ่งถือว่าเป็นโปรตีนแท้ นอกจากนี้ยัง

อาจจะประกอบด้วยเปปไทด์ เอไมด์ กรดอะมิโน กรดนิวคลีอิก และเอนไซม์ ดังนั้นค่าโปรตีนที่ได้จากการคำนวณดังกล่าวจึงอาจจะสูงเกินความเป็นจริง

2.4.2.4 ฟอสฟอรัส

แป้งส่วนใหญ่มีองค์ประกอบของฟอสฟอรัสน้อยกว่า 0.1% ฟอสฟอรัสในแป้งมักจะอยู่รวมกับไขมัน เรียกว่า ฟอสโฟลิปิด (phospholipid)

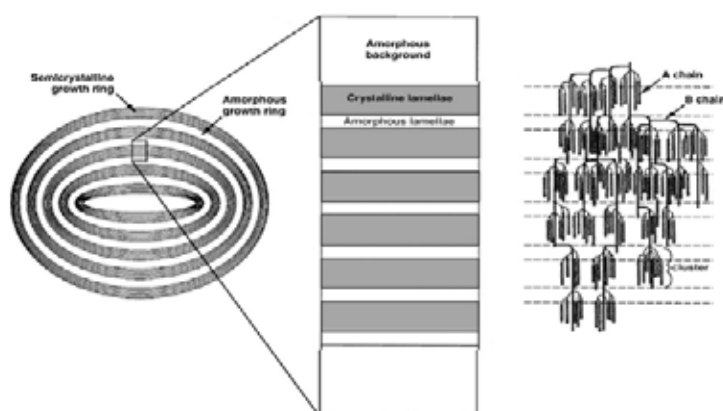
2.4.2.5 เถ้า

แป้งโดยทั่วไปมีสารประกอบอนินทรีย์อยู่ในปริมาณเล็กน้อย ปริมาณเถ้าในแป้งจากธัญพืชส่วนหนึ่งจะเป็นปริมาณฟอสโฟลิปิด เถ้าของแป้งส่วนใหญ่จะประกอบด้วยโซเดียมโปแตสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียม โดยอยู่ในรูปของสารประกอบโลหะ สามารถวิเคราะห์หาปริมาณเถ้าได้จากส่วนที่เหลือจากการเผาไหม้โดยสมบูรณ์

2.4.3 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่

2.4.3.1 ลักษณะของเม็ดแป้ง

แป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปของเม็ดแป้งขนาดเล็ก เม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่าง และลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับแหล่งของแป้งนั้นๆ โดยสามารถตรวจสอบดูลักษณะ

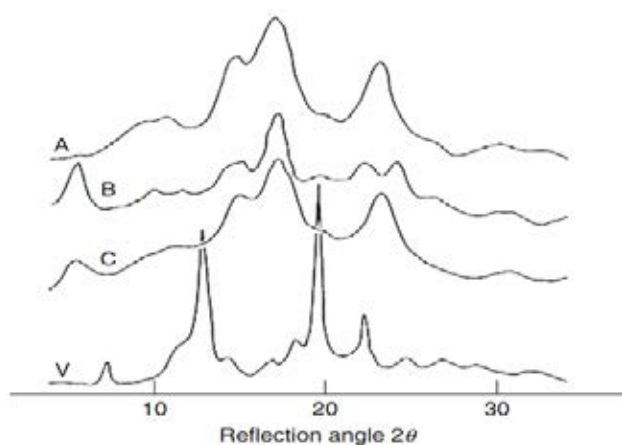


ภาพที่ 2.7 โครงสร้างบริเวณผลึก และส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้ง

ที่มา: Waigh, Jenkins และ Donald (1996)

เม็ดแป้งได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบธรรมดาและแบบอิเล็กตรอนส่องกราด เม็ดแป้งมีโครงสร้างกิ่งผลึก โดยโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในเม็ดแป้งเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึกและส่วนอสัณฐานดังภาพที่ 2.7 ส่วนสายโซ่สั้นของแอมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวม้วนคู่ ซึ่งบางส่วนจะเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดแป้งจะประกอบด้วยโมเลกุลของแอมิโลสและสายโซ่ยาวของแอมิโลเพกทิน (Blazek and Gilbert, 2011)

เม็ดแป้งจะมีลักษณะโครงสร้างผลึก 3 แบบ ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการจัดเรียงตัวของเกลียวคู่ ถ้าเกิดการเรียงตัวหนาแน่นมากจะเกิดเป็นผลึกแบบ A เช่น แป้งจากธัญพืชต่างๆ ถ้าเรียงตัวหลวมๆ จะเกิดผลึกแบบ B เช่น แป้งจากพืชหัว ถ้าเกิดการเรียงตัวทั้งแบบ A และ B รวมกันเป็นผลึกแบบ C เช่น พืชตระกูลถั่ว โครงสร้างผลึกแบบ V เป็นลักษณะของแอมิโลสรวมตัวกับกรดไขมัน และโมโนกลีเซอไรด์ ซึ่งจะปรากฏเมื่อสตาร์ชเกิดการเจลาทิไนเซชันมีการตรวจพบน้อยมากในสตาร์ชธรรมชาติ โครงสร้างของผลึกที่แตกต่างกันจะให้ลักษณะการกระจายตัวของแสงที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถตรวจสอบชนิดโครงสร้างของเม็ดแป้งได้โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ (wide angle x-ray diffraction) (Ratnayake and Jackson, 2008) แสดงดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A, B, C และ V ที่มา: Zobel (1988)

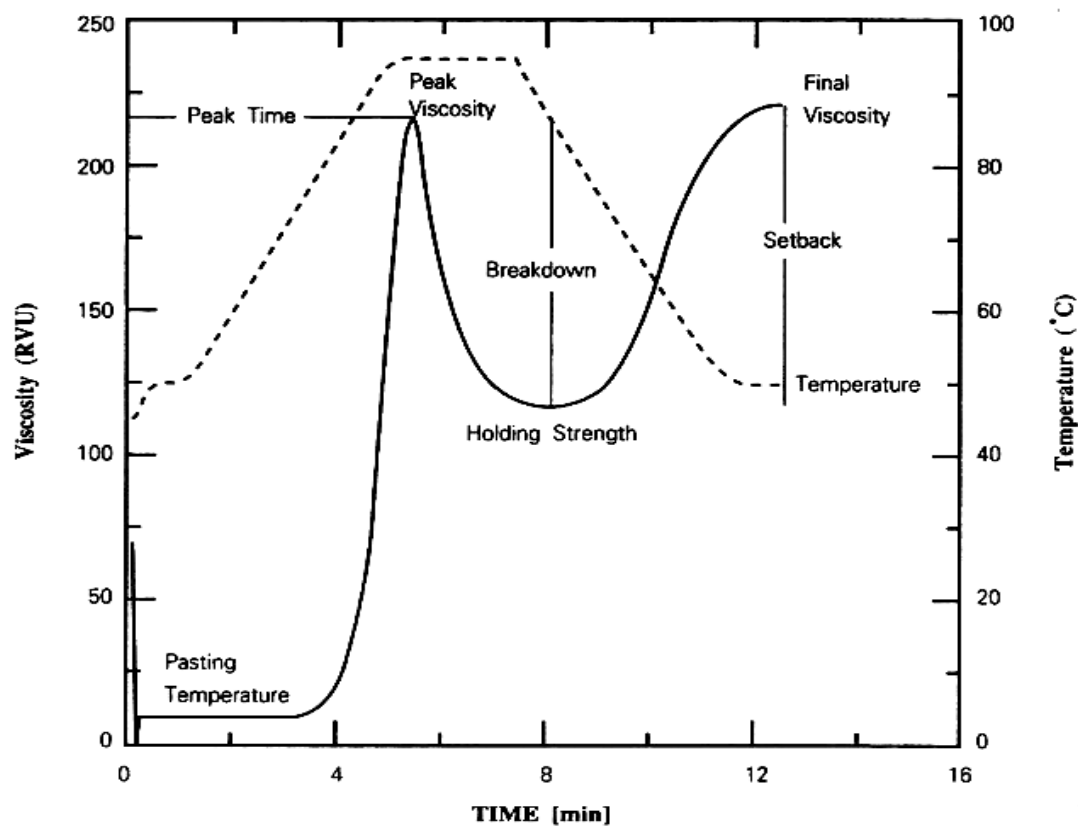
2.4.3.2 กำลังการพองตัวและการละลาย

น้ำที่อยู่ในเม็ดแป้งมีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบ คือ น้ำในผลึก น้ำในรูปที่ไม่อิสระ และน้ำในรูปอิสระ เมื่อเติมน้ำลงในแป้งแต่ละตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดแป้งจะดูดน้ำที่เติมลงไป

ภายใต้สภาวะบรรยากาศของห้อง จนเกิดสมดุลระหว่างความชื้นภายในเมล็ดแป้ง กับน้ำที่เติมและบรรยากาศ การจับของน้ำกับหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 ของกลูโคสและหน่วยแป้ง จะได้สตาร์ชโมโนไฮเดรต $[n(C_6H_{10}O_5 \cdot H_2O)]$ แป้งดิบไม่ละลายในน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาทีนในเซชัน เนื่องจากมีพันธะไฮโดรเจนซึ่งเกิดจากหมู่ไฮดรอกซิลของโมเลกุลแป้งที่อยู่ใกล้ๆ กันเชื่อมต่อกันอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงกว่าช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลาทีนในเซชัน พันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย โมเลกุลของน้ำเข้ามาจับกับหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นอิสระ เม็ดแป้งเกิดการพองตัว ทำให้การละลาย ความหนืด ความใสเพิ่มขึ้น คุณสมบัติของการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ (birefringence) ในเม็ดแป้งเปลี่ยนแปลงไป กำลังการพองตัวของแป้งจะแสดงเป็นปริมาณหรือน้ำหนักของเม็ดแป้งที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด เมื่อเม็ดแป้งพองตัวได้อย่างอิสระในน้ำ (กล้าณรงค์ ศิริรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) ชนิดและขนาดของเม็ดแป้ง ความแข็งแรง และลักษณะร่างแหภายในเม็ดแป้ง เช่น อัตราส่วนของแอมิโลสและแอมิโลเพกทิน จำนวนกิ่งก้านสาขา รวมถึงการจัดเรียงตัว ความยาวของกิ่งก้านสาขาในแอมิโลเพกทิน สิ่งเจือปนในเม็ดสตาร์ชที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต เช่น ไขมัน โปรตีน ฟอสฟอรัส และปริมาณน้ำ ซึ่งส่งผลต่อกำลังการพองตัวและการละลาย (Leach, McCowen and Schoch, 1959)

2.4.3.3 สมบัติด้านความหนืด (pasting properties)

ความหนืดเป็นสมบัติด้านทานการไหลของของเหลว ซึ่งในกรณีของแป้งนั้น ถ้า นำแป้งดิบผสมกับน้ำ โครงสร้างที่เป็นระเบียบของเม็ดแป้งในธรรมชาติจะทำให้เม็ดแป้งดูดซึมน้ำได้อย่างจำกัด แต่เมื่อให้ความร้อน เม็ดแป้งจะเกิดการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้าง ทำให้การพองตัวมากขึ้น เป็นผลให้ปริมาตรของเม็ดแป้งในของเหลวเพิ่มมากขึ้น พร้อมกับโมเลกุลของแป้งบางส่วนหลุดออกมาจากเม็ดแป้ง จึงทำให้น้ำแป้งมีความต้านทานการไหลมากขึ้น กล่าวคือ มีความหนืดมากขึ้น ซึ่งความหนืดที่เกิดขึ้นเป็นผลมาจากการกระบวนการเกิดเจลาทีนในเซชัน การเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งสามารถตรวจวัดได้หลายวิธี โดยเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA) เป็นเครื่องมือสำหรับประเมินความหนืดของตัวอย่างขณะที่มีการให้ความร้อน และขณะทำให้เย็น คุณสมบัติพิเศษ คือ มีความสามารถในการเปลี่ยนระดับของอุณหภูมิ สามารถทำให้ร้อนและเย็นได้อย่างแม่นยำและรวดเร็ว และสามารถรักษาอุณหภูมิให้คงที่ได้ เนื่องจากมีกลไกการส่งผ่านความร้อนที่ดี และใช้ปริมาณตัวอย่างน้อยในการวิเคราะห์ความหนืดของแป้งด้วยเครื่อง RVA สามารถอ่านค่าต่างๆ ได้ดังนี้ (ภาพที่ 2.9)



ภาพที่ 2.9 ค่าต่างๆ ที่วัดได้จากเครื่อง Rapid Visco Analyzer

ที่มา: Newport scientific (2007)

1. Peak time คือ เวลาที่เกิดความหนืดสูงสุด หรือเวลาที่เกิดพีคของความหนืด มีหน่วยเป็นนาที
2. Pasting temperature คือ อุณหภูมิที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด หรือมีค่าความหนืดเพิ่มขึ้น 2 RVU ในเวลา 20 วินาที มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
3. Peak temperature คือ อุณหภูมิที่เกิดความหนืดสูงสุด หรืออุณหภูมิที่เกิดพีคของความหนืด มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส
4. Peak viscosity คือ ความหนืดที่จุดสูงสุด มีหน่วยเป็น RVU หรือ cP
5. Breakdown คือ ค่าความแตกต่างของความหนืดสูงสุด และความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU หรือ cP
6. Final viscosity คือ ความหนืดสุดท้ายของการทดลอง มีหน่วยเป็น RVU หรือ cP

7. Setback from peak คือ ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืด ที่จุดสูงสุด (peak) มีหน่วยเป็น RVU หรือ cP

9. Setback from trough: ผลต่างของความหนืดสุดท้ายกับความหนืดต่ำสุด มีหน่วยเป็น RVU หรือ cP

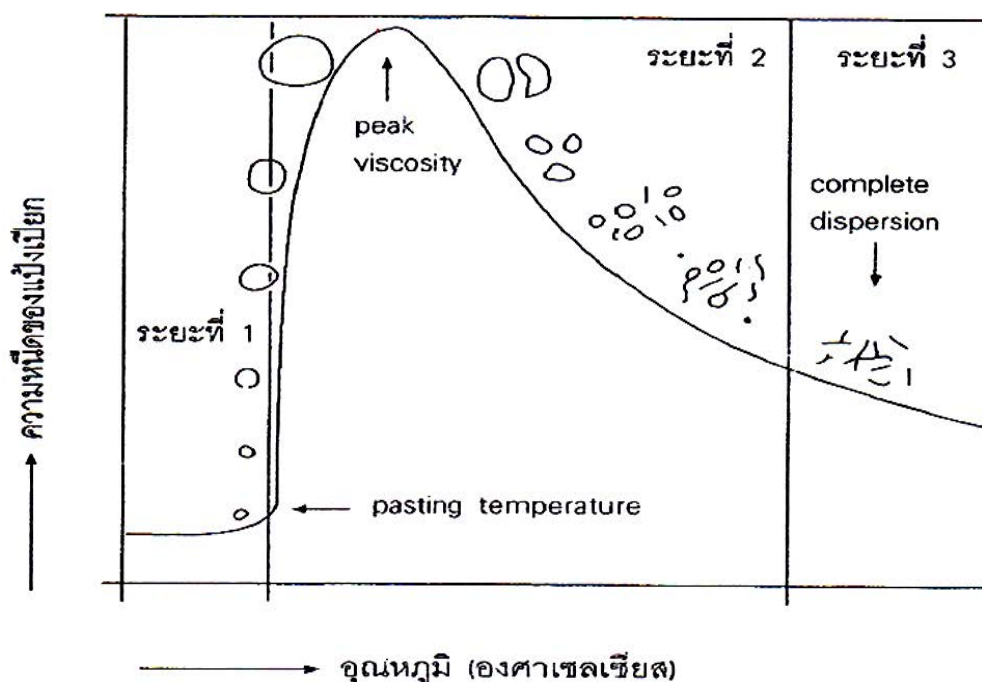
ในการวิเคราะห์สมบัติทางด้านความหนืดของสตาร์ชโดยใช้ RVA นั้น เมื่อเม็ดแป้งได้รับความร้อนจะดูดน้ำและเกิดการพองตัวขยายใหญ่ขึ้น น้ำบริเวณรอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยาก เมื่อเพิ่มอุณหภูมิความหนืดก็จะเพิ่มขึ้น จนถึงจุดที่มีความหนืดสูงสุด (peak viscosity) เป็นจุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาต่อไปอีก รวมทั้งมีการกวนอย่างต่อเนื่อง ทำให้โครงสร้างภายในแตกออก ความหนืดลดลง เมื่อมีการลดอุณหภูมิลงทำให้เกิดการรีโทรเกรดชัน (retrogradation) ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอีก ซึ่งเป็นความหนืดที่เกิดจากการเรียงตัวกันใหม่ของโมเลกุลแอมิโลสที่หลุดออกจากเม็ดแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

2.4.3.4 การเกิดเจลาทีนในเซชัน

โมเลกุลของแป้งประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิล จำนวนมากยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจน มีคุณสมบัติชอบน้ำ แต่เนื่องจากเม็ดแป้งอยู่ในรูปของร่างแห ดังนั้นการจัดเรียงตัวลักษณะนี้จะทำให้เม็ดแป้งละลายน้ำเย็นได้ยาก ดังนั้นในขณะที่แป้งอยู่ในน้ำเย็น เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำและพองตัวได้เล็กน้อย แต่เมื่อให้ความร้อนกับน้ำแป้ง พันธะไฮโดรเจนจะคลายตัวลง เม็ดแป้งจะเกิดการดูดน้ำแล้วพองตัว โมเลกุลของน้ำอิสระที่เหลืออยู่รอบๆ เม็ดแป้งเหลือน้อยลง ทำให้เม็ดแป้งเคลื่อนไหวได้ยากเกิดความหนืดขึ้น เรียกว่า การเกิดเจลาทีนในเซชัน (gelatinization) พลาวัลแต่ละชนิดจะมีการเกิดเจลาทีนในเซชันที่แตกต่างกัน อุณหภูมิในการเกิดเจลาทีนในเซชันของพลาวัลแต่ละชนิดไม่เท่ากัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

ในการเกิดเจลาทีนในเซชันของแป้งทำให้หมู่ไฮดรอกซิลของแป้งสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นๆ ได้ดีขึ้น รวมทั้งพร้อมที่จะถูกย่อยด้วยน้ำย่อยต่างๆ ได้ดีกว่า โดยการเกิดเจลาทีนในเซชันของเม็ดแป้งแบ่งได้เป็น 3 ระยะ (ภาพที่ 2.10) คือ ระยะแรกเม็ดแป้งจะดูดน้ำเย็นได้อย่างจำกัด และเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ เนื่องจากร่างแหโมเลกุลยึดเหนี่ยวได้จำกัด ความหนืดของสารละลายแขวนลอยจะไม่เพิ่มขึ้นจนเห็นได้ชัดเจน เม็ดแป้งยังคงรักษารูปร่าง และโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงประมาณ 65°C ซึ่งอุณหภูมิที่แท้จริงขึ้นอยู่กับชนิดของแป้ง เมื่อเริ่มเข้าสู่ระยะที่ 2 เม็ดแป้งจะพองตัวอย่างรวดเร็ว

เนื่องจากพันธะไฮโดรเจนถูกทำลาย ร่องแห่ระหว่างโมเลกุลภายในเม็ดแป้งจะอ่อนแอลง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำมากและเกิดการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เม็ดแป้งมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและโครงสร้างแบบที่เกิดการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ได้ ความหนืดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อมีการเพิ่มอุณหภูมิต่อไปอีกจนเข้าสู่ระยะที่ 3 การละลายของแป้งจะเพิ่มขึ้น รูปร่างของเม็ดแป้งจะไม่แน่นอน เมื่อนำไปทำให้เย็นจะเกิดเป็นเจล (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)



ภาพที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงความหนืดของแป้งเปียกตามการเกิดเจลาติไนเซชันของแป้ง
ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550)

2.4.3.5 การเกิดรีโทรเกรเดชัน (Retrogradation)

เมื่อแป้งได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่เกิดการเจลาติไนเซชันแล้วให้ความร้อนต่อไปอีก เม็ดแป้งจะพองตัวเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่พองตัวเต็มที่แล้วแตกออก โมเลกุลของแอมิโลสจะกระจัดกระจายออกมา เมื่อปล่อยให้เย็นตัวลง ความหนืดจะลดลง โมเลกุลแอมิโลสที่อยู่ใกล้กันจะเกิดการจัดเรียงตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เกิดเป็นโครงสร้างร่างแหสามมิติที่สามารถอุ้มน้ำและไม่มีการดูดน้ำกลับเข้ามาอีก เกิดลักษณะเจลเหนียวคล้ายฟิล์มหรือผลึกความหนืดคงตัวมากขึ้น ซึ่งเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชันหรือการคืนตัว เมื่อลดอุณหภูมิ

ให้ต่ำลง การจัดเรียงตัวของโครงสร้างจะแน่นมากขึ้น โมเลกุลของน้ำจะถูกบีบออกมาจนเจลด ความหนืดเพิ่มขึ้นและเจลดมีลักษณะขาวขุ่น ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า syneresis (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

2.5 แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์

แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์ (resistant starch) หมายถึง แป้งที่ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้ด้วยเอนไซม์ และดูดซึ่มภายในลำไส้เล็กได้ของมนุษย์ปกติได้ แป้งทนเอนไซม์สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติแต่เป็นส่วนน้อย โดยเม็ดแป้งจะถูกห่อหุ้มอยู่ในร่างแหของโปรตีน หรือถูกตรึงอยู่ในเซลล์หุ้มเมล็ดพืช ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถเข้าไปทำปฏิกิริยาในเม็ดแป้งได้ ในการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้ง การให้ความร้อนแก่น้ำแป้ง เพื่อทำให้แป้งสุก แล้วทิ้งให้น้ำแป้งเย็นตัวลง โมเลกุลแป้งที่ละลายออกมาจะเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ ได้เป็นผลึกแป้งที่แข็งแรง และสามารถถูกย่อยได้ด้วยเอนไซม์น้อยลง อาจทำการย่อยส่วนโครงสร้างที่ไม่เป็นผลึกอีกด้วยเอนไซม์หรือกรด เพื่อลดปริมาณการย่อยของเอนไซม์ นิยมใช้กับแป้งที่มีปริมาณแอมิโลสสูง เนื่องจากคุณสมบัติที่สำคัญของ resistant starch คือ ไม่สามารถถูกย่อยสลายได้โดยลำไส้เล็ก ดังนั้น resistant starch จึงมีคุณสมบัติเทียบเท่ากับเส้นใยอาหาร (dietary fiber) ซึ่งมีประโยชน์ต่อระบบขับถ่ายและระบบหมุนเวียนเลือด โดย resistant starch ที่ไม่ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ในลำไส้เล็ก จะผ่านมาถึงส่วนของลำไส้ใหญ่ และถูกหมักโดยจุลินทรีย์ภายในลำไส้ใหญ่ ได้เป็นกรดไขมันสายสั้นๆ และสามารถถูกดูดซึ่มภายในลำไส้ใหญ่และขนส่งไปถึงตับได้ นอกจากนี้การบริโภค resistant starch หรือเส้นใยอาหาร จะช่วยป้องกันหรือลดภาวะโรคอ้วน และมีบทบาทในการลดปริมาณคอเลสเตอรอลในเส้นเลือด ลดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคไขมันอุดตันในเส้นเลือด โรคหัวใจ และโรคเบาหวานอีกด้วย (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550)

2.5.1 โครงสร้างของแป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์

แป้งที่ทนต่อการย่อยด้วยเอนไซม์แบ่งได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

2.5.1.1 RS₁

RS₁ คือ แป้งที่มีลักษณะทางกายภาพขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ (physically inaccessible) มีลักษณะเช่นเดียวกับลักษณะทางกายภาพของสตาร์ชที่ยึดติดกันใน

cellular matrix โดยแป้งที่ทนต่อการย่อยชนิดนี้จะพบในธัญพืชทั้งเมล็ด, เมล็ดถั่ว และผัก เป็นต้น แป้งชนิดนี้ทนต่อความร้อน และใช้ในส่วนผสมของอาหาร

2.5.1.2 RS₂

RS₂ คือ เม็ดแป้งดิบที่ทนต่อการทำงานของเอนไซม์ (raw or ungelatinized starches) พบในแป้งที่ยังไม่เกิดการเจลาติไนเซชัน หรือกระบวนการทำให้สุก สตาร์ชจะจัดเรียงตัวกันอย่างหนาแน่นในแนวรัศมี และสัมพันธ์กับการ dehydrate โครงสร้างนี้จะจำกัดการเข้าถึงของเอนไซม์ ทำให้คงทนต่อการย่อย รูปแบบการทนย่อยตามธรรมชาติของ RS₂ พบมากในมันฝรั่งดิบ ก๋วยเตี๋ยว ถั่วบางชนิด และข้าวโพดที่แอมิโลสสูง

2.5.1.3 RS₃

RS₃ คือ สตาร์ชที่ผ่านการเจลาติไนเซชัน และแสดงการเกิดรีโทรเกรดของสตาร์ช เป็นประเภทแป้งคืนตัว (retrograded starch) ดังนั้น ในรูปแบบของ RS₃ เม็ดแป้งจะประกอบด้วยน้ำอย่างสมบูรณ์ แอมิโลสเกิดการปลดปล่อยลงสู่สารละลายอยู่รูปเกลียวม้วนอิสระ เมื่อถูกทำให้เย็นลงจะเกิดการจัดเรียงตัวของแอมิโลสใหม่ ตัวอย่างของแป้งชนิดนี้ เช่น มันฝรั่งที่ต้มแล้วทำให้เย็น เปลือกขนมปัง คอร์นเฟลคส์ และการคืนตัวของแป้งข้าวโพดที่มีแอมิโลสสูง เป็นต้น

2.5.1.4 RS₄

RS₄ คือ เป็นแป้งที่มีโครงสร้างเกิดจากการดัดแปรโดยใช้สารเคมีในการคลออลิงก์ เช่น ฟอสเฟสเอสเทอร์ ทำให้ในโครงสร้างแป้งเกิดพันธะแบบใหม่ ในอาหารส่วนใหญ่ที่มีการใช้พวกสตาร์ชดัดแปร เช่น ขนมปัง เค้ก เป็นต้น

2.5.2 สมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งที่ทนย่อยด้วยเอนไซม์

แป้งที่ทนย่อยด้วยเอนไซม์มีอนุภาคขนาดเล็ก ลักษณะปรากฏสีขาว และมีรสหวาน มีความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำ แต่มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่พึงประสงค์ อย่างเช่น การพองตัว ความหนืดเพิ่มขึ้น การเกิดเจล และความสามารถในการจับน้ำ ทำให้มีประโยชน์หลากหลายในอาหาร คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้เป็นไปได้ที่จะใช้สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยเพื่อแทนที่ฟลาวาร์โดยที่ไม่มีผลต่อความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแป้ง สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยไม่

เพียงแต่เป็นการเสริมสร้างเส้นใย มีรสชาติหวาน สีขาว มีขนาดอนุภาคละเอียด จึงไม่ส่งผลกระทบต่อเนื้อสัมผัส มีคุณสมบัติในการเกิดเจลลาที่ในเซชันสูง อัดขึ้นรูปได้ดี มีคุณภาพในการขึ้นรูปฟิล์ม และสมบัติการอุ้มน้ำที่ต่ำกว่าผลิตภัณฑ์จากเส้นใยแบบเดิม (Sajilata, Singhal and Kulkarni, 2006)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาอิทธิพลขนาดของอนุภาคแป้ง

แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติของสตาร์ชจะส่งผลให้รูปร่าง ลักษณะ และขนาดของเม็ดสตาร์ชที่แตกต่างกันไป ตั้งแต่ขนาดของสตาร์ชมีขนาดเล็กมาก (สตาร์ชจากข้าวเจ้า ข้าวโอ๊ต) ไปจนถึงสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่ (สตาร์ชจากกล้วย และสตาร์ชจากมันฝรั่ง) ซึ่งขนาดที่แตกต่างกันของเม็ดสตาร์ชจะส่งผลต่อลักษณะทางเคมีและกายภาพ ได้แก่ องค์ประกอบของสตาร์ช สัดส่วนของแอมิโลสต่อแอมิโลเพกติน กำลังการพองตัว และการละลาย กระบวนการเกิดเจลลาที่ในเซชัน อีกทั้งโครงสร้างของสตาร์ชและน้ำหนักโมเลกุลอีกด้วย (Lindeboom, Chang and Tyler, 2004)

Tang และคณะ (2001) ได้ศึกษาสมบัติการเกิดเจลลาที่ในเซชันของสตาร์ช 3 ขนาด คือ ขนาดใหญ่ 18.4 ไมครอน ขนาดกลาง 12.3 ไมครอน ขนาดเล็ก 2.2 ไมครอน พบว่า ค่าอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อน (T_o) ของเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่จะมีค่าสูงกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดกลางและที่มีขนาดเล็ก ค่าความร้อนสุดท้าย (conclusion temperature; T_c) ของเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่และขนาดกลางจะมีค่าที่ต่ำกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดเล็ก และค่าพลังงานที่ใช้ในการเกิดเจลลาที่ในเซชัน (enthalpy of gelatinization; ΔH) ของเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่มีค่าสูงกว่าขนาดกลาง และขนาดเล็ก ตามลำดับ

Tang, Watanabe และ Mitsunaga (2002) ได้ศึกษาโครงสร้างและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และเม็ดสตาร์ชขนาดเล็กของสตาร์ชข้าวบาร์เลย์ และข้าวบาร์เลย์ข้าวเหนียว พบว่า ขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และเล็กมีค่าเท่ากับ 18.1, 11.4 และ 2.2 ไมครอน ตามลำดับ ในสตาร์ชข้าวบาร์เลย์ และ 17.2, 9.2 และ 2.0 ไมครอน ตามลำดับ ในสตาร์ชข้าวบาร์เลย์ข้าวเหนียว พบว่า เม็ดสตาร์ชของข้าวบาร์เลย์ขนาดเล็กมีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ในส่วนของข้าวบาร์เลย์ข้าวเหนียว พบว่า ปริมาณแอมิโลสไม่มีความแตกต่างกัน เม็ดสตาร์ชขนาดเล็กมีกำลังการพองตัวที่ดีกว่า และเกิดรีโทรเกรเดชันที่รวดเร็วในสตาร์ชทั้งสองชนิด

Huang และคณะ (2007) ได้ศึกษาสมบัติของขนาดเม็ดสตาร์ชที่แยกออกเป็น 3 ขนาด ของสตาร์ช yellow pea, cowpea และ chickpea พบว่า ขนาดของเม็ดสตาร์ชที่แตกต่างกันนี้ ส่งผล

ต่อการพองตัวของสตาร์ช และพฤติกรรมการเกิดเพสต์ โดยเม็ดสตาร์ชที่มีขนาดเล็กจะมีกำลังการพองตัว และความหนืดสูงสุดที่สูงกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่

Chen, Schols และ Voragen (2003) ได้ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี สมบัติทางกายภาพ และความเหมาะสมของความแตกต่างของขนาดเม็ดสตาร์ชจากมันฝรั่ง และมันเทศสำหรับการทำเส้นก๋วยเตี๋ยว พบว่าสตาร์ชมันฝรั่งที่ขนาดของอนุภาคเล็กกว่ามีปริมาณเถ้าที่สูงกว่าเม็ดสตาร์ชขนาดใหญ่ ปริมาณแอมิโลสในสตาร์ชมันฝรั่งและมันเทศมีปริมาณลดลงเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง และที่ขนาดอนุภาคเล็กกว่าจะมีปริมาณฟอสฟอรัสที่สูงกว่า และมีกำลังการพองตัวที่สูงกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ เส้นก๋วยเตี๋ยวที่ทำจากสตาร์ชที่มีอนุภาคขนาดเล็กส่งผลให้ได้เส้นก๋วยเตี๋ยวที่มีความยาวกว่า เส้นมีความโปร่งแสงที่มากกว่า มี cooking loss ที่น้อยกว่า และมีลักษณะของเนื้อสัมผัสที่ดีกว่า

นอกจากนี้ ยังมีงานวิจัยของ Wang และ Flores (2000) ที่ศึกษาผลของขนาดอนุภาคของฟลาวัวร์จากข้าวสาลีต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของ tortilla และผลของฟลาวัวร์ที่คัดแยกขนาดต่อคุณภาพของโปรตีน โดยแยกขนาดอนุภาคผ่านตะแกรงร่อนขนาดต่างๆ ได้แก่ รูเปิดของตะแกรงขนาด 75 ไมครอน มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 75-53 ไมครอน รูเปิดขนาด 53 ไมครอน มีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 53-38 ไมครอน และรูเปิดขนาด 38 ไมครอน พบว่า ฟลาวัวร์ข้าวสาลีที่มีอนุภาคขนาดใหญ่จะมีปริมาณของโปรตีนที่สูงกว่าฟลาวัวร์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาดเล็กลง ปริมาณ damage starch ของฟลาวัวร์จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง ส่งผลให้ Tortillas ที่ทำจากอนุภาคที่ผ่านรูเปิดตะแกรงขนาด 75 ไมครอน จะให้ลักษณะของการแยกออกที่ยาวและสามารถม้วนพับได้ดีกว่าฟลาวัวร์ที่มีอนุภาคขนาดเล็กลง

Bolade, Adeyemi และ Ogunsua (2009) ได้ศึกษาผลของการคัดแยกขนาดอนุภาคของฟลาวัวร์ข้าวโพดต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลอาหาร โดยคัดแยกขนาดของอนุภาคออกเป็น 4 ขนาด คือ ขนาดอนุภาคเล็กกว่า 75 ไมครอน 75-150 ไมครอน 150-300 ไมครอน และ 300-425 ไมครอน และฟลาวัวร์ทั้งเมล็ด พบว่า ปริมาณโปรตีน เถ้า และเส้นใยหยาบมีแนวโน้มลดลง เมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง ในส่วนของ damage starch พบว่า มีปริมาณสูงขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง การคัดแยกขนาดอนุภาคส่งผลต่อลักษณะสีของฟลาวัวร์และสมบัติด้านการเกิดเพสต์ในทุกขนาดอนุภาคของฟลาวัวร์ ที่ขนาดอนุภาค 75-150 ไมครอน จะให้ลักษณะของเจลที่มีสมบัติ hand-malleability และ swallow ability ได้ง่าย ซึ่งเป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่สำคัญสำหรับการยอมรับ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย

วัตถุดิบที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ ถั่วพว้าเมล็ดขาว (Jack bean) *Canavalia ensiformis* L. จากจังหวัดกาญจนบุรี (ภาพที่ 3.1)

3.2 การเตรียมฟลาวัวร์

แบ่งถั่วพว้าเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกนำไปเตรียมฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า โดยการนำถั่วพว้าทั้งเมล็ดล้างน้ำทำความสะอาด แช่ในน้ำกลั่นเป็นเวลา 2 ชั่วโมง อัตราส่วนโดยน้ำหนักของถั่วและน้ำเท่ากับ 1: 2 แกะส่วนเปลือกออก และล้างทำความสะอาดอีกครั้ง นำส่วนเนื้อเมล็ด (ภาพที่ 3.2) และเปลือกแข็ง (ภาพที่ 3.3) ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ส่วนที่สองนำไปเตรียมฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด เตรียมโดยการนำถั่วพว้าทั้งเมล็ดล้างน้ำทำความสะอาดนำไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ผ่านการอบแห้งเรียบร้อยแล้วมาโม่ด้วยเครื่องโม่แห้งแบบ vertical stone mill ทำการโม่ 2 ครั้ง ในส่วนของเปลือกแข็งนำไปบดละเอียดด้วยเครื่องบดแห้ง บรรจุตัวอย่างในถุงซิปล็อคพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน และใส่ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีสารดูดความชื้น เก็บในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้องเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป



ภาพที่ 3.1 ถั่วพว้าเมล็ดขาว *Canavalia ensiformis* L.



ภาพที่ 3.2 เนื้อเมล็ดของถั่วพรางเมล็ดขาว *Canavalia ensiformis* L.



ภาพที่ 3.2 เปลือกแข็งของถั่วพรางเมล็ดขาว *Canavalia ensiformis* L.

3.3 การเตรียมสตาร์ช

การเตรียมสตาร์ชถั่วพรางใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Lawal และคณะ (2011) โดยซังฟลาวร์ ปริมาณ 500 กรัม แช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.3% ปริมาตร 5 ลิตร ที่ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นของเหลวทิ้ง และแช่ในสารละลายต่างอีก ครั้ง คนเป็นเวลา 20 นาที ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 6 ชั่วโมง เทส่วนใสออก ทำซ้ำอีก 2 ครั้ง นำ ส่วนที่เป็นตะกอนมาล้างน้ำ และปรับความเป็นกรดต่างของสารแขวนลอยแบ่งในน้ำ ด้วยกรด ไฮโดรคลอริกความเข้มข้น 0.5 M กรองผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh นำสารแขวนลอยแบ่ง ไปปั่นเหวี่ยงที่ 3000×g เป็นเวลา 10 นาที นำตะกอนแบ่งที่ได้มาล้างด้วยน้ำอีกครั้ง แล้วนำไปปั่น เหวี่ยงอีกครั้ง จากนั้นนำตะกอนแบ่งที่ได้ไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็น

เวลา 12 ชั่วโมง บดให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นผสม ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 100 mesh บรรจุสตาร์ชในถุงซิปล็อคพลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน และใส่ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีสารดูดความชื้น เก็บในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้องเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

3.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี และฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งหมดตามข้อ 3.4.1.1-3.4.11 และเปลือกแข็งถั่วพรีตามข้อ 3.4.1.1-3.4.1.7

3.4.1.1 ปริมาณความชื้น ตามวิธีของ AOAC (2005) หัวข้อที่ 32.1.03 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1)

3.4.1.2 ปริมาณโปรตีน ตามวิธีของ AOAC (2005) หัวข้อที่ 32.1.22 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2)

3.4.1.3 ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC (2005) หัวข้อที่ 32.1.13 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.3)

3.4.1.4 ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธีของ AOAC (2005) หัวข้อที่ 32.1.15 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4)

3.4.1.5 ปริมาณเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2005) หัวข้อที่ 32.1.05 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5)

3.4.1.6 ปริมาณคาร์โบไฮเดรต คำนวณได้จากผลรวมขององค์ประกอบต่างๆ ในข้อ 3.4.1.2 ถึง 3.4.1.5 ลบออกจาก 100 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.6)

3.4.1.7 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ตามวิธีของ Waterhouse (2005) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.7)

3.4.1.8 ปริมาณแอมิโลส ใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Juliano (1971) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.8)

3.4.1.9 ปริมาณสตาร์ช ตามวิธีของ AOAC (2005) หัวข้อที่ 25.1.11 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.9)

3.4.1.10 วิเคราะห์ปริมาณ Resistant starch: RS₂ และ RS₃ ของตัวอย่าง ตามวิธีของ AOAC (2005) หัวข้อที่ 2002.02 และ AACC (2000) หัวข้อที่ 32-40 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.10)

3.4.1.11 ปริมาณกรดอะมิโน โดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.11)

3.4.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของฟลาวร์ถั่วพรีตามข้อ 3.4.2.1-3.4.2.10 และเปลือกแข็งถั่วพรีตามข้อ 3.4.2.1, 3.4.2.4, 3.4.2.6 และ 3.4.2.7

3.4.2.1 ค่าสี (L^* , a^* , b^*) โดยใช้เครื่อง Chroma meter (Minolta รุ่น CR-300 series, Japan) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.12)

3.4.2.2 รูปร่างและลักษณะพื้นผิวของตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) (JEOL รุ่น JSM-6400 LV, Japan) ตามวิธีของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.13)

3.4.2.3 รูปร่างและลักษณะ birefringence ของตัวอย่างโดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Olympus รุ่น CH30RF200, Japan) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.14)

3.4.2.4 รูปแบบและโครงสร้างผลึกตัวอย่างโดยใช้เครื่อง X-ray diffractometer (Bruker รุ่น D8-Discover ดัดแปลงจากวิธีของ Zobel (1964) และคำนวณ degree of crystallinity (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.15)

3.4.2.5 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายขนาดของตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Laser Diffraction Particle Size Analyzer (Beckman Coulter รุ่น LS 13 320, USA) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.16)

3.4.2.6 สมบัติทางความร้อนตัวอย่างโดยใช้เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) (Netzsch รุ่น 204 F1 Phoenix, Germany) ใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Kim และคณะ (1995) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.17)

3.4.2.7 ความสามารถในการจับน้ำ (Water Binding Capacity) ของตัวอย่าง ใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Medcalf และ Gilles (1965) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.18)

3.4.2.8 ความสามารถในการจับน้ำมัน (Oil Holding Capacity) ของตัวอย่าง ใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Lawal และ Adebawale (2005) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.19)

3.4.2.9 กำลังการพองตัว (Swelling power) และการละลาย (Solubility) ของตัวอย่าง ตามวิธีของ Lawal และ Adebawale (2005) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.20)

3.4.2.10 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของตัวอย่าง โดยใช้เครื่อง Rapid Visco Analyzer (Newport Scientific รุ่น RVA-4, Australia) ใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Norbert, Mintus และ Detmold (1995) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.21)

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (ยกเว้นการทดลองข้อ 3.4.2.4, 3.4.2.5, 3.4.2.6 และ 3.4.2.10 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ) วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT)

3.4.3 ศึกษาผลของขนาดอนุภาคต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า ฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด และเปลือกแข็ง

3.4.3.1 การแยกขนาดอนุภาค

แยกขนาดของอนุภาคออกเป็น 5 ขนาด โดยใช้เครื่องร่อนแยกขนาดของอนุภาค (RETSCH รุ่น AS200, Germany) ใช้ตะแกรงร่อน 5 ขนาด คือ 50 mesh (รูเปิด 300 μm), 100 mesh (รูเปิด 150 μm), 120 mesh (รูเปิด 125 μm), 200 mesh (รูเปิด 75 μm) และ 325 mesh (รูเปิด 45 μm) โดยในการทดลองจะชั่งตัวอย่างให้มีน้ำหนักที่แน่นอนใส่ลงบนตะแกรงร่อนชั้นบนสุด โดยวางเรียงขนาดของตะแกรงร่อนเป็นชั้นจากด้านล่างขึ้นด้านบน เรียงจากขนาดของรูเปิดขนาดเล็กไปยังรูเปิดขนาดใหญ่ ปิดฝาครอบตัวอย่างให้สนิท ตั้งระดับของความแรงในการสั่นสะเทือนอยู่ในระดับ 2.5 ใช้เวลาในการร่อนแยกขนาดประมาณ 30 นาที จะได้ตัวอย่างทั้งหมด 5 ขนาดที่ผ่านการร่อนแยกขนาด บรรจุตัวอย่างที่ร่อนแล้วในถุงซิปลาสติกชนิดพอลิเอทิลีน และใส่ในถุงอลูมิเนียมฟอยล์ที่มีสารดูดความชื้นอีกครั้ง เก็บในโถดูดความชื้นที่อุณหภูมิห้องเพื่อรอการวิเคราะห์ต่อไป

3.4.3.2 วิเคราะห์สมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ของตัวอย่าง เช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.4.1.1-3.4.1.10 และ 3.4.2

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) ทำการทดลอง 3 ซ้ำ (ยกเว้นการทดลองข้อ 3.4.2.4, 3.4.2.5, 3.4.2.6 และ 3.4.2.10 ทำการทดลอง 2 ซ้ำ) วิเคราะห์ความแปรปรวนและเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's New Multiple Range Test (DNMRT)

บทที่ 4

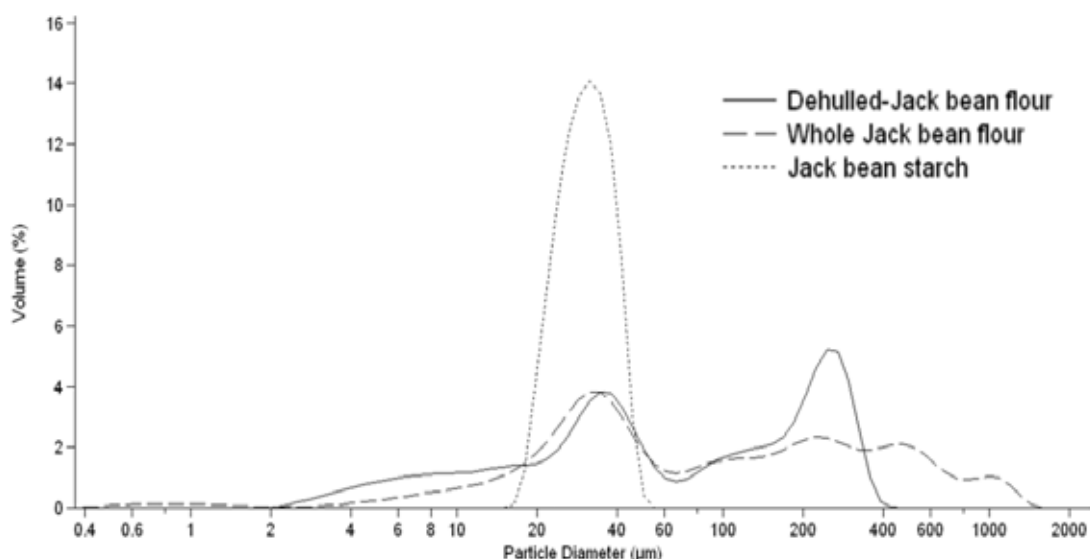
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 ขนาดและการกระจายขนาดของอนุภาคของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีและฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด

ขนาดของอนุภาคเป็นสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งที่น่าไปใช้ในการพิจารณาความเหมาะสมในการนำไปใช้ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆ ซึ่งการวัดขนาดอนุภาคสามารถทำได้หลายวิธี สำหรับการศึกษขนาดและการกระจายขนาดอนุภาคของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพรี (ภาพที่ 4.1) ในงานวิจัยนี้ทำโดยใช้เครื่อง Multi-wavelength Particle Size Analyzer with Tornado System โดยใช้ Dry Powder Module จากการศึกษาพบว่าฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีมีขนาดอยู่ในช่วง 8.8-271.8 ไมครอน โดยมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 55.8 ± 0.9 ไมครอน ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดมีขนาดอยู่ในช่วง 15.5-547.4 ไมครอน โดยมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 78.8 ± 6.3 ไมครอน สตาร์ชถั่วพรีจะปรากฏเป็นพีคเดียวที่ชัดเจนและมีขนาดอยู่ในช่วง 22.0-40.4 ไมครอน โดยมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 30.1 ± 0.1 ไมครอน ขนาดเฉลี่ยที่มากกว่า 25 ไมครอน สามารถจัดอยู่ในกลุ่มของสตาร์ชที่มีขนาดใหญ่ได้ (Lindeboom *et al.*, 2004) ซึ่งฟลาวัวร์ทั้งสองชนิดแสดงขนาดเฉลี่ยที่สูงกว่าขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ช ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากฟลาวัวร์มีแกรนูลที่รวมกันอยู่เป็นกลุ่มก้อนขนาดใหญ่

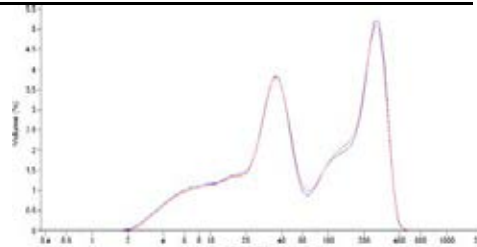
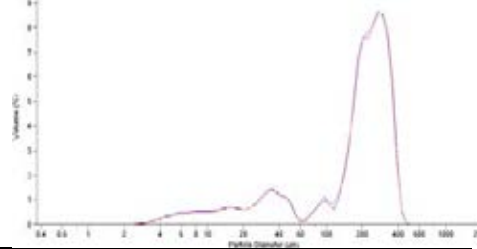
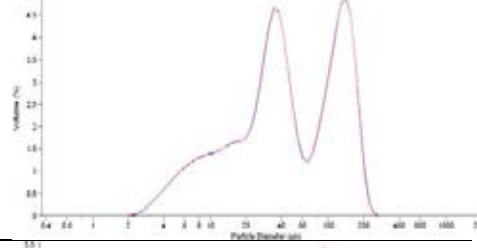
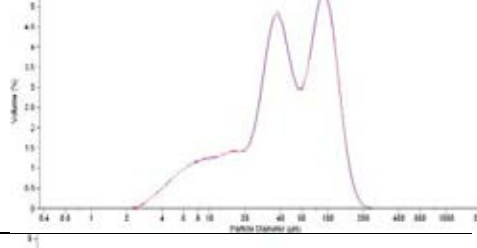
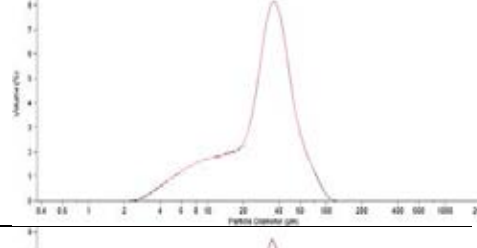
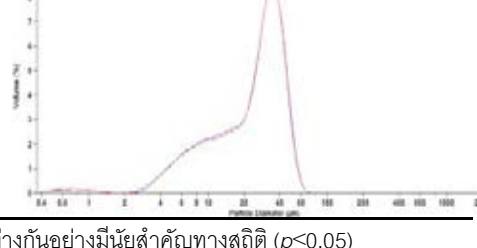
เมื่อแยกขนาดของอนุภาคของฟลาวัวร์ออกเป็น 5 ขนาด โดยใช้ตะแกรงร่อนที่มีรูเปิดต่างกัน (300 150 125 75 และ 45 ไมครอน) โดยอาศัยความสามารถของอนุภาคที่จะสามารถลอดผ่านรูเปิดของตะแกรงได้ พบว่าฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน มีปริมาณผลผลิตสูงที่สุดเท่ากับ 33.8% (ตารางที่ 4.1) ส่วนฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด (ตารางที่ 4.2) ที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน ให้ปริมาณผลผลิตสูงสุด (32.2%) เช่นเดียวกับฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวัวร์ทั้งสองชนิดมีขนาดและการกระจายตัวในแต่ละขนาดของอนุภาคแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 138.7 ไมครอน 41.3 ไมครอน 39.8 ไมครอน 26.2 ไมครอน และ 20.4 ไมครอน เมื่อผ่านตะแกรงร่อนที่มีขนาดรูเปิด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน ตามลำดับ ส่วนฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดมีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 126.7 ไมครอน 41.0 ไมครอน 40.7 ไมครอน 32.3 ไมครอน และ 24.9 ไมครอน ตามลำดับ จากภาพที่แสดงลักษณะของการกระจายขนาดของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี และ

ฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ขนาดของอนุภาคต่างๆ พบว่า เมื่อร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูเปิดเล็กลง การกระจายขนาดอนุภาคของฟลาวัวร์ปรากฏเป็นพีคเดียวที่ชัดเจนมากขึ้น ดังเช่นฟลาวัวร์ที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 และ 45 ไมครอน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเทคนิคการร่อนฟลาวัวร์ผ่านตะแกรงโดยวิธีทางกล สามารถแยกองค์ประกอบที่ถูกลดขนาดได้ยาก เช่น เปลือกที่มีเส้นใยหยาบในสัดส่วนที่มาก และกลุ่มของเม็ดแป้งที่เกาะกันโดยมีโปรตีนเชื่อม ทำให้ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้ามีความบริสุทธิ์มากขึ้น ลักษณะแกรนูลที่เป็นกลุ่มก้อนมีแนวโน้มลดลง ต่างจากฟลาวัวร์ที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 150 และ 125 ไมครอน ที่ปรากฏลักษณะการกระจายขนาดของอนุภาคฟลาวัวร์เป็นสองพีค ซึ่งเป็นพีคของเม็ดสตาร์ชที่มีลักษณะเป็นแกรนูลเดี่ยว และพีคของแกรนูลที่อยู่รวมกันเป็นกลุ่ม



ภาพที่ 4.1 ลักษณะการกระจายขนาดของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า ฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพว้า

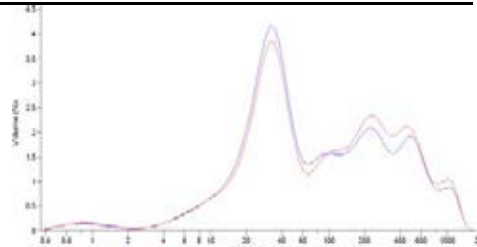
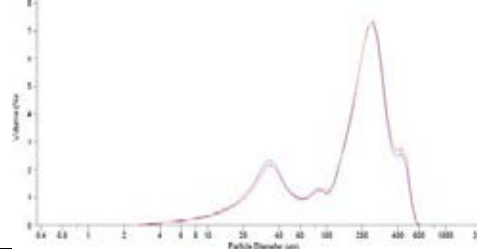
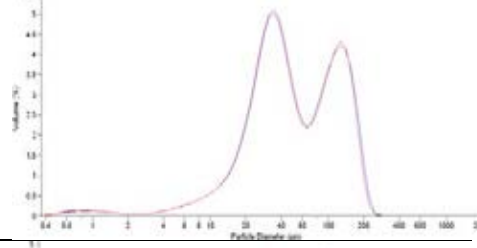
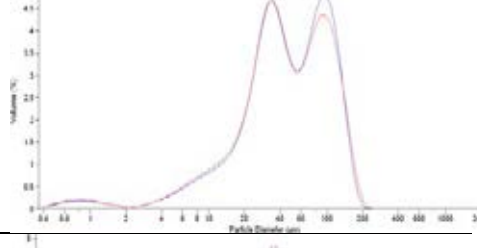
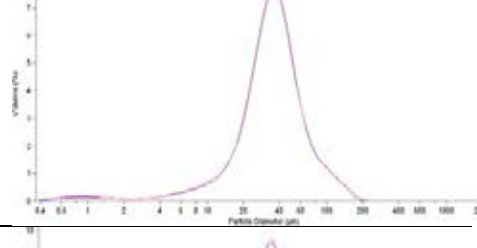
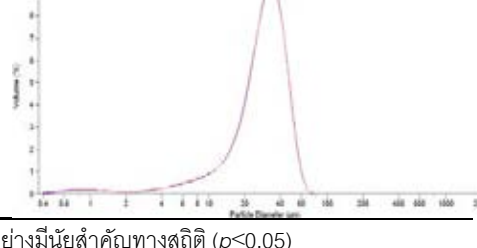
ตารางที่ 4.1 ปริมาณผลผลิต ขนาด และการกระจายขนาดของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

	ผลผลิตที่ได้ (%) [*]	ขนาดเฉลี่ย (μm)	ภาพแสดงลักษณะการกระจายขนาด
Unclassified	-	$57.8^b \pm 0.9$	
300 μm	33.8	$138.7^a \pm 2.6$	
150 μm	14.4	$41.3^c \pm 0.6$	
125 μm	13.3	$39.8^c \pm 0.3$	
75 μm	23.8	$26.2^d \pm 0.2$	
45 μm	11.2	$20.4^e \pm 0.0$	

a, b, c, d, e หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* หมายถึง มีส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน เท่ากับ 3.5%

ตารางที่ 4.2 ปริมาณผลผลิต ขนาด และการกระจายขนาดของฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

	ผลผลิตที่ได้ (%)*	ขนาดเฉลี่ย (μm)	ภาพแสดงลักษณะการกระจายขนาด
Unclassified	-	$78.8^b \pm 6.3$	
300 μm	32.2	$126.7^a \pm 4.7$	
150 μm	15.3	$41.0^c \pm 0.6$	
125 μm	22.2	$40.7^c \pm 0.8$	
75 μm	14.8	$32.3^d \pm 0.2$	
45 μm	8.0	$24.9^d \pm 0.2$	

a, b, c, d, e หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่มีตัวอักษรกำกับมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

* หมายถึง มีส่วนที่ไม่ผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน เท่ากับ 7.5%

4.2 สมบัติทางเคมี

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมี

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า ฟลาวรรูจากถั่วพว้าทั้งเมล็ด และเปลือกแข็งที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด (ตารางที่ 4.3) พบว่า ฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักมากที่สุด คือ ร้อยละ 55.2 โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมา คือ โปรตีน ไขมัน ถั่ว และเส้นใยหยาบร้อยละ 35.2 4.7 3.3 และ 1.6 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส พบว่า ฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพว้ามีปริมาณแอมิโลสเป็นองค์ประกอบร้อยละ 33.9 ของสตาร์ช ซึ่งมีค่าที่ใกล้เคียงกับสตาร์ชจากถั่วพว้าเมล็ดขาวจากประเทศเม็กซิโก ที่วิเคราะห์หาปริมาณแอมิโลสด้วยวิธี iodometric พบว่า มีปริมาณแอมิโลสเท่ากับร้อยละ 37.5 (Ancona *et al.*, 2002)

ฟลาวรรูจากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักมากที่สุด คือ ร้อยละ 56.3 โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมา คือ โปรตีน เส้นใยหยาบ ไขมัน และถั่ว ร้อยละ 30.7 6.6 3.4 และ 3.0 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส พบว่า ฟลาวรรูจากถั่วพว้าทั้งเมล็ดมีปริมาณแอมิโลสเป็นองค์ประกอบร้อยละ 23.6 ของสตาร์ช ในส่วนของเปลือกแข็ง พบว่า มีปริมาณเส้นใยหยาบเป็นองค์ประกอบหลัก คือ ร้อยละ 55.0 โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมา คือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ถั่ว และไขมัน ร้อยละ 36.2 4.4 3.6 และ 0.9 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบทางเคมีของฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าที่ขนาดอนุภาคต่างๆ พบว่า ฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพว้ามีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8.9-10.4 โดยน้ำหนักเปียก มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในช่วงร้อยละ 49.3-64.2 โดยน้ำหนักแห้ง มีโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 29.0-40.7 มีไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 3.3-4.7 มีเส้นใยหยาบอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5-1.8 และมีถั่วอยู่ในช่วงร้อยละ 3.1-3.6 โดยน้ำหนักแห้ง และปริมาณแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 24.2-33.9 ของสตาร์ช องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวรรูจากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ขนาดอนุภาคต่างๆ พบว่า มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 11.1-11.5 โดยน้ำหนักเปียก มีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในช่วงร้อยละ 49.8-65.3 โดยน้ำหนักแห้ง มีโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 27.3-31.0 มีไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 3.0-3.7 มีเส้นใยหยาบอยู่ในช่วงร้อยละ 0.4-12.6 และมีถั่วอยู่ในช่วงร้อยละ 2.6-3.0 โดยน้ำหนักแห้ง และแอมิโลสอยู่ในช่วงร้อยละ 21.9-29.9 ของสตาร์ช ทั้งนี้เมื่อฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และฟลาวรรูจากถั่วพว้าทั้งเมล็ดผ่านการแยกขนาดอนุภาคมีค่าความชื้น โปรตีน ไขมัน

ถั่ว ถั่วเขียว และคาร์โบไฮเดรตแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยพบว่า ปริมาณโปรตีน ไขมัน ถั่ว ถั่วเขียวมีแนวโน้มลดลง เมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง ปริมาณ คาร์โบไฮเดรตและปริมาณแอมิโลส มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง

ในส่วนของเปลือกแข็งพบว่า มีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 8.0-11.5 โดยน้ำหนัก เปียก มีเส้นใยหยาบเป็นองค์ประกอบหลักอยู่ในช่วงร้อยละ 31.1-61.6 มีคาร์โบไฮเดรตอยู่ในช่วง ร้อยละ 32.2-52.4 มีโปรตีนอยู่ในช่วงร้อยละ 3.1-8.0 มีไขมันอยู่ในช่วงร้อยละ 0.5-1.8 และมีถั่ว อยู่ในช่วงร้อยละ 2.6-6.4 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลงส่งผลให้ปริมาณของเส้นใย หยาบลดลงตามไปด้วย ปริมาณโปรตีน ไขมัน ถั่ว และคาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาด ของอนุภาคเล็กลง เนื่องจากขั้วเมล็ดซึ่งอาจจะมีโปรตีน ไขมัน ถั่ว และคาร์โบไฮเดรตสูงกว่า สามารถถูกลดขนาดอนุภาคได้ง่ายกว่า ทำให้มีขนาดที่เล็กมากกว่า ดังนั้นส่วนของขั้วเมล็ดจึงอยู่ ในส่วนของอนุภาคขนาดเล็กมากกว่าส่วนของเปลือกแข็ง ซึ่งอาจจะมีปริมาณเส้นใยหยาบสูงกว่า

ในการวิเคราะห์ปริมาณสตาร์ชโดยวิธี direct acid hydrolysis พบว่า ฟลาวร์จากเนื้อ เมล็ดถั่วพวามีสตาร์ชอยู่ร้อยละ 33.6 และ 44.0 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในช่วงที่ใกล้เคียงกับปริมาณ สตาร์ชในถั่วอื่นๆ ดังเช่นงานวิจัยของ Vergas-Torres และคณะ (2004) ได้รายงานปริมาณสตาร์ช ใน common bean ทั้ง 4 สายพันธุ์ พบว่า มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 33.6 ถึง 36.7 อย่างไรก็ตาม ตาม Bravo และคณะ (1999) ได้รายงานปริมาณสตาร์ช ในถั่ว 6 สายพันธุ์ คือ moth bean horse gram black gram green gram haricot bean และ chickpea พบว่ามีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 31.8 ถึง 39.9 ซึ่งจากการรายงานดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับปริมาณสตาร์ชในฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่ว พว้า และฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด เมื่อพิจารณาขนาดของอนุภาคของฟลาวร์ทั้งสองชนิด พบว่า ปริมาณสตาร์ชมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง แต่ในฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดมีค่า ปริมาณสตาร์ชที่สูงกว่าในส่วนของเนื้อเมล็ด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีการใช้กรดย่อย ในวิธี direct acid hydrolysis นั้นมีการย่อยเส้นใยที่ละลายได้ในเปลือกแข็งให้เป็นน้ำตาลรีดิคิง ซึ่งจะถูกวัด ปริมาณแล้วนำมาคำนวณเป็นปริมาณสตาร์ช (ดังแสดงในภาคผนวก ก.9) ดังนั้นจึงทำให้ค่า ปริมาณสตาร์ชที่วัดได้สูงกว่าปริมาณที่มีอยู่จริง ส่งผลให้สตาร์ชในส่วนของฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้ง เมล็ดมีค่าสูงกว่าในส่วนของเนื้อเมล็ดถั่วพว้า

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวอร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดและเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

		องค์ประกอบทางเคมี							
		ความชื้น	โปรตีน	ไขมัน	เส้นใยหยาบ	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต	ปริมาณสตาร์ช	แอมิโลส
		(% wb)	(% db)	(% db)	(% db)	(% db)	(% db)	(% db)	(% of starch)
ฟลาวอร์จากเนื้อ เมล็ดถั่วพรี	Unclassified	8.9 ^d ± 0.0	35.2 ^c ± 0.1	4.7 ^a ± 0.1	1.6 ^b ± 0.1	3.3 ^c ± 0.0	55.2 ^d ± 0.1	33.6	33.9 ^a ± 0.1
	300 µm	10.0 ^b ± 0.0	40.7 ^a ± 0.1	4.7 ^a ± 0.0	1.7 ^a ± 0.0	3.6 ^a ± 0.0	49.3 ^f ± 0.1	36.5	24.3 ^c ± 0.2
	150 µm	10.0 ^b ± 0.0	35.2 ^c ± 0.2	4.4 ^b ± 0.0	1.6 ^b ± 0.0	3.5 ^b ± 0.0	55.4 ^c ± 0.2	43.1	24.2 ^c ± 0.1
	125 µm	9.9 ^c ± 0.1	36.1 ^b ± 0.0	4.4 ^b ± 0.0	1.8 ^a ± 0.1	3.5 ^b ± 0.0	54.2 ^e ± 0.1	43.5	24.3 ^c ± 0.4
	75 µm	10.4 ^a ± 0.0	31.0 ^d ± 0.0	3.4 ^c ± 0.1	1.4 ^c ± 0.1	3.2 ^d ± 0.0	61.0 ^b ± 0.2	47.0	28.8 ^b ± 0.3
	45 µm	10.4 ^a ± 0.1	29.0 ^e ± 0.1	3.3 ^d ± 0.0	0.5 ^d ± 0.0	3.1 ^d ± 0.1	64.2 ^a ± 0.2	49.8	29.1 ^b ± 0.0
ฟลาวอร์จากถั่วพรี ทั้งเมล็ด	Unclassified	11.1 ^d ± 0.0	30.7 ^b ± 0.2	3.4 ^c ± 0.0	6.6 ^b ± 0.1	3.0 ^{bc} ± 0.1	56.3 ^e ± 0.2	44.0	23.6 ^d ± 1.1
	300 µm	11.3 ^b ± 0.0	30.9 ^a ± 0.1	3.6 ^b ± 0.0	12.6 ^a ± 0.1	3.1 ^a ± 0.0	49.8 ^f ± 0.2	33.8	21.9 ^e ± 0.0
	150 µm	11.4 ^b ± 0.0	31.0 ^a ± 0.1	3.5 ^c ± 0.0	2.8 ^c ± 0.0	3.0 ^{ab} ± 0.0	59.7 ^d ± 0.1	39.1	28.5 ^{ab} ± 0.6
	125 µm	11.5 ^a ± 0.1	29.8 ^c ± 0.0	3.7 ^a ± 0.0	1.9 ^d ± 0.0	3.1 ^a ± 0.1	61.4 ^c ± 0.0	44.9	26.2 ^c ± 0.2
	75 µm	11.5 ^a ± 0.0	27.3 ^e ± 0.1	3.4 ^c ± 0.0	1.8 ^e ± 0.1	2.9 ^c ± 0.0	64.6 ^b ± 0.0	49.4	27.8 ^b ± 1.2
	45 µm	11.1 ^c ± 0.0	28.7 ^d ± 0.1	3.0 ^d ± 0.1	0.4 ^f ± 0.0	2.6 ^d ± 0.1	65.3 ^a ± 0.1	50.7	29.9 ^a ± 1.1
เปลือกแข็ง	Unclassified	8.9 ^e ± 0.1	4.4 ^e ± 0.0	0.9 ^e ± 0.0	55.0 ^b ± 0.1	3.6 ^e ± 0.1	36.2 ^e ± 0.1	-	-
	300 µm	8.0 ^f ± 0.0	3.1 ^f ± 0.1	0.5 ^f ± 0.0	61.6 ^a ± 0.1	2.6 ^f ± 0.0	32.2 ^f ± 0.0	-	-
	150 µm	10.2 ^d ± 0.0	6.4 ^d ± 0.0	1.3 ^d ± 0.0	47.2 ^c ± 0.1	4.4 ^d ± 0.0	40.8 ^d ± 0.1	-	-
	125 µm	10.8 ^c ± 0.0	7.0 ^c ± 0.2	1.6 ^c ± 0.0	40.5 ^d ± 0.1	5.0 ^c ± 0.1	45.9 ^c ± 0.2	-	-
	75 µm	11.6 ^b ± 0.0	8.0 ^b ± 0.2	1.8 ^b ± 0.0	35.5 ^e ± 0.1	5.8 ^b ± 0.0	49.0 ^b ± 0.3	-	-
	45 µm	11.7 ^a ± 0.0	8.0 ^a ± 0.1	2.1 ^a ± 0.0	31.1 ^f ± 0.0	6.4 ^a ± 0.1	52.4 ^a ± 0.2	-	-

a, b, c, d, e, f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในสตมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

- หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

4.2.2 ปริมาณกรดอะมิโน

กรดอะมิโนเป็นหน่วยพื้นฐานที่เล็กที่สุดของโปรตีนต่อเชื่อมกันเป็นโมเลกุลของโปรตีน แบ่งกรดอะมิโนได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย ซึ่งร่างกายสังเคราะห์เองไม่ได้ และกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นต่อร่างกายซึ่งร่างกายสังเคราะห์เองได้อย่างเพียงพอ

จากการศึกษาปริมาณกรดอะมิโนของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และฟลาวอร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด (ตารางที่ 4.4) พบว่า กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และฟลาวอร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดประกอบด้วย glutamic acid เป็นองค์ประกอบสูงสุดที่สุดเท่ากับ 3,240.0 กรัม/100 กรัมตัวอย่าง และ 2,571.5 กรัม/100 กรัมตัวอย่าง ตามลำดับ รองลงมาคือ aspartic acid alanine tyrosine proline glycine และ cystine ตามลำดับ

ในส่วนของกรดอะมิโนที่จำเป็นต่อร่างกาย พบว่า ฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้ามี leucine เป็นองค์ประกอบสูงสุด (1,824.9 กรัม/100 กรัมตัวอย่าง) รองลงมาคือ lysine, arginine, phenylalanine, threonine, histidine, valine, isoleucine, tryptophan และ methionine ตามลำดับ ฟลาวอร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดมี leucine เป็นองค์ประกอบสูงสุด (1,497.2 กรัม/100 กรัมตัวอย่าง) รองลงมาคือ lysine phenylalanine threonine arginine histidine valine isoleucine tryptophan และ methionine ตามลำดับ ฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้ามีปริมาณกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบสูงกว่าฟลาวอร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบของเปลือกถั่วส่วนใหญ่จะเป็นเส้นใยหยาบ ดังนั้นเมื่อแยกเปลือกถั่วออก จึงส่งผลให้ฟลาวอร์มีปริมาณของโปรตีน และสัดส่วนของกรดอะมิโนสูงขึ้น

4.2.3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

สารฟีนอลิกตามธรรมชาติมีผลต่อสุขภาพที่เป็นประโยชน์ส่วนใหญ่จากฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ สารเหล่านี้มีความสามารถในการกำจัดอนุมูลอิสระ การกระตุ้นการทำงานของเอนไซม์ และยับยั้งการเกิดออกซิเดชัน (Heim, Tagliaferro, and Bobilya, 2002) จากการศึกษาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า ฟลาวอร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด และเปลือกแข็งที่สกัดด้วยสารละลายเมทานอล ด้วยวิธี Folin-Ceocalteu คำนวณในรูปของกรดแกลลิกต่อกรัมตัวอย่าง แสดงดังตารางที่ 4.5 พบว่า ฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาดอนุภาคมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 4,266.9 ไมโครกรัมแกลลิกต่อกรัมตัวอย่างแห้ง ฟลาวอร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาดมีสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

เท่ากับ 3,727.8 ไมโครกรัมแกลลิกตอกรัมตัวอย่างแห้ง และเปลือกแห้งมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดเท่ากับ 975.5 ไมโครกรัมแกลลิกตอกรัมตัวอย่างแห้ง ซึ่งในส่วนของเนื้อเมล็ดมีแนวโน้มของสารประกอบฟีนอลิกมากที่สุด เมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของพลาร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า พลาร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด และเปลือกแห้งที่ขนาดอนุภาคแตกต่างกัน พบว่า สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของพลาร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า มีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง เช่นเดียวกับพลาร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด ในส่วนของเปลือกแห้ง พบว่า สารประกอบฟีนอลิกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง

ตารางที่ 4.4 กรดอะมิโนในพลาร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้าและพลาร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด (กรัม/100 กรัมตัวอย่าง)

กรดอะมิโน	พลาร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า	พลาร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด
Non-essential amino acid		
Aspartic acid	2,724.3	2,292.3
Tyrosine	1,029.0	971.9
Serine	1,553.2	1,303.9
Glutamic acid	3,240.0	2,571.5
Proline	954.9	788.0
Glycine	902.5	785.7
Alanine	1,072.5	910.4
Cystine	101.6	90.2
Essential amino acid		
Valine	735.4	564.8
Methionine	146.1	123.4
Isoleucine	612.3	440.9
Leucine	1,824.9	1,497.2
Threonine	1,059.4	897.0
Phenylalanine	1,139.6	1,018.7
Histidine	736.3	674.8
Lysine	1,238.8	1,063.5
Arginine	1,175.7	871.4
Tryptophan	205.2	168.3

ตารางที่ 4.5 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวอร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด และเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (ไม่โครกรัมแกลลิค/กรัมตัวอย่างแห้ง)

	ฟลาวอร์จากเนื้อ เมล็ดถั่วพรี	ฟลาวอร์จากถั่วพรี ทั้งเมล็ด	เปลือกแข็ง
Unclassified	4266.9 ^a ± 90.6	3727.8 ^a ± 116.4	975.5 ^b ± 48.9
300 µm	3963.9 ^b ± 69.6	3250.9 ^c ± 61.1	655.5 ^d ± 42.6
150 µm	3605.0 ^c ± 73.9	3773.2 ^a ± 8.1	777.1 ^c ± 31.4
125 µm	3683.8 ^c ± 65.4	3350.4 ^b ± 33.5	1541.7 ^a ± 32.4
75 µm	3427.7 ^d ± 45.1	998.4 ^d ± 9.8	1573.2 ^a ± 127.6
45 µm	1043.5 ^e ± 7.7	946.9 ^d ± 3.7	1024.7 ^b ± 13.9

^{a, b, c, d, e} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.2.4 ปริมาณ Resistant starch

ความสามารถของฟลาวอร์ในการทนต่อการย่อยของเอนไซม์ α -amylase และ amyloglucosidase ที่เข้าไปตัดพันธะที่ α -1, 4 glycosidic linkage ของสายแอมิโลสหรือแอมิโลเพกตินในสภาวะที่ฟลาวอร์ไม่เกิดเจลาทีโนเซชัน วัดในรูปของ Resistant starch (RS) จากการศึกษาความสามารถในการทนต่อการย่อยของเอนไซม์ของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวอร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพรีที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาดของอนุภาค (ตารางที่ 4.6) พบว่าปริมาณ RS₂ ของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวอร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพรีมีค่าเท่ากับร้อยละ 17.3 10.4 และ 9.2 ตามลำดับ ปริมาณ RS₃ ซึ่งแสดงถึงฟลาวอร์ที่เกิดรีโทรเกรเดชันแล้ว พบว่า ฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวอร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดและสตาร์ชถั่วพรีมี RS₃ เท่ากับร้อยละ 1.5 0.7 และ 3.4 ตามลำดับ

เมื่อขนาดอนุภาคของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีเล็กลงมีค่าความสามารถในการทนต่อการย่อยของเอนไซม์ลดลง ในส่วนของฟลาวอร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดพบว่า ฟลาวอร์ที่ผ่านตะแกรง 150 ไมครอน มีค่าความสามารถต่อการทนย่อยของเอนไซม์สูงสุด ในการศึกษาปริมาณ RS₃ พบว่า ฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี และฟลาวอร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดมีแนวโน้มของค่าความสามารถในการทนย่อยต่อเอนไซม์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากฟลาวอร์ที่ผ่านตะแกรงร่อนที่มีรูเปิดเล็กลงมีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบเพิ่มขึ้น ซึ่งสตาร์ชสามารถเจลาทีโนเซชันและเกิดรีโทรเกรเดชันได้ดี จึงส่งผลให้ RS₃ มีแนวโน้มสูงขึ้น

ตารางที่ 4.6 ปริมาณ Resistant starch (RS₂, RS₃) ของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าและฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

	ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า			ฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด		
	RS ₂	RS ₃	Starch	RS ₂	RS ₃	Starch
Unclassified	17.3 ^a ± 0.2	1.5 ^c ± 0.0	33.6	10.4 ^{bc} ± 0.3	0.7 ^d ± 0.0	44.0
300 µm	12.8 ^c ± 0.0	1.2 ^d ± 0.0	36.5	10.3 ^{bc} ± 0.2	0.7 ^{cd} ± 0.0	33.8
150 µm	10.5 ^d ± 0.3	1.2 ^d ± 0.0	43.1	11.2 ^a ± 0.1	0.8 ^c ± 0.0	39.1
125 µm	9.2 ^e ± 0.2	0.8 ^e ± 0.1	43.5	8.8 ^d ± 0.0	0.6 ^e ± 0.0	44.9
75 µm	9.1 ^f ± 0.2	2.7 ^b ± 0.0	47.0	10.0 ^c ± 0.3	1.6 ^b ± 0.0	49.4
45 µm	16.0 ^b ± 0.1	2.8 ^a ± 0.0	49.8	10.6 ^b ± 0.2	4.5 ^a ± 0.0	50.7

a, b, c, d, e, f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.7 แสดงปริมาณคาร์โบไฮเดรตของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ขนาดอนุภาคแตกต่างกัน รวมทั้งปริมาณสตาร์ชของฟลาวัวร์ทั้งสองชนิด จากการคำนวณโดยการหักค่าปริมาณสตาร์ชที่วัดได้ออกจากปริมาณคาร์โบไฮเดรตทั้งหมด พบว่าฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้ามีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่สตาร์ชอยู่ในช่วง 10.7 ถึง 21.6% เช่นเดียวกับฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่มีคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่สตาร์ชอยู่ในช่วง 12.3 ถึง 20.6% เนื่องจากการวิเคราะห์สตาร์ชทำโดยวิธี direct acid hydrolysis ซึ่งอาจส่งผลให้มีการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่สตาร์ชไปบางส่วน ทำให้ปริมาณสตาร์ชที่คำนวณได้มีค่าสูงเกินจริง ส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่สตาร์ชมีค่าต่ำกว่าที่ควรจะเป็น จากการรายงานของ Martin-Cabrejas และคณะ (2008) พบว่า ถั่วพว้าเมล็ดขาวมีปริมาณเส้นใยที่ละลายได้ประมาณ 33.3% ซึ่งสูงกว่าปริมาณคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่สตาร์ชที่รายงานในการทดลองนี้ ดังนั้นข้อสันนิษฐานข้างต้นว่าการย่อยคาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่สตาร์ชบางส่วนจึงอาจเป็นจริง

ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

		คาร์โบไฮเดรต (% db)	ปริมาณสตาร์ช (% db)	Non-starch Carbohydrate*	RS ₂ (% db)
ฟลาวัวร์จากเนื้อ	Unclassified	55.2	33.6	21.6	17.3
เมล็ดถั่วพรี	300 µm	49.3	36.5	12.8	12.8
	150 µm	55.4	43.1	12.3	10.5
	125 µm	54.2	43.5	10.7	9.2
	75 µm	61.0	47.0	14.0	9.1
	45 µm	64.2	49.8	14.4	16.0
ฟลาวัวร์จากถั่ว	Unclassified	56.3	44.0	12.3	10.4
พรีทั้งเมล็ด	300 µm	49.8	33.8	16.0	10.3
	150 µm	59.7	39.1	20.6	11.2
	125 µm	61.4	44.9	16.5	8.8
	75 µm	64.6	49.4	15.2	10.0
	45 µm	65.3	50.7	14.6	10.6

*Non-starch Carbohydrate หมายถึง องค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่สตาร์ช เช่น สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยของเอนไซม์ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส เพกทิน และพวกน้ำตาลราฟฟิโนสหรือแมนโนส เป็นต้น โดยจะคิดจากปริมาณของคาร์โบไฮเดรตทั้งหมดลบด้วยปริมาณของสตาร์ช

4.3 สมบัติทางกายภาพ

4.3.1 ค่าสี (L*, a*, b*)

จากการวัดค่าสีของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด เปลือกแข็ง และสตาร์ชถั่วพรี (ตารางที่ 4.8) ด้วยเครื่อง Chroma meter พบว่า ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีมีค่า L* (ความสว่าง) a* (+ สีแดง, - สีเขียว) และ b* (+ สีเหลือง, - สีน้ำเงิน) เท่ากับ 71.1 ± 0.1 , -0.9 ± 0.0 และ 9.6 ± 0.1 ตามลำดับ ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดมีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 70.3 ± 0.1 , -2.0 ± 0.0 และ 9.7 ± 0.0 ตามลำดับ เปลือกแข็งมีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 58.9 ± 0.0 , 1.2 ± 0.1 และ 8.1 ± 0.0 ตามลำดับ และสตาร์ชถั่วพรีมีค่า L*, a* และ b* เท่ากับ 76.2 ± 0.0 , -1.2 ± 0.0 และ 3.4 ± 0.0 ตามลำดับ ซึ่งฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีจะมีสีครีมเหลืองตามธรรมชาติของเนื้อเมล็ดถั่วพรี และมีค่าความสว่างสูงกว่าฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดเล็กน้อย ในส่วนของเปลือกแข็งพบว่า มีค่าความสว่างค่อนข้างน้อย ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเปลือกแข็งจะมีส่วนของขั้วเมล็ดที่เป็นสีน้ำตาล อาจทำให้ค่าความสว่างของเปลือกแข็งมีค่าน้อยกว่าในส่วนของฟลาวัวร์ และสตาร์ช

ถั่วพรีจะมีสีขาวนวล และมีค่าความสว่างค่อนข้างสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับทั้งฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีและฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนการสกัดสตาร์ชด้วยสารละลายต่างอ่อน ทำให้สตาร์ชมีความบริสุทธิ์มากขึ้น เนื่องจากส่วนของโปรตีน ไขมัน และเส้นใยหยาบถูกกำจัดออกไป

จากการวัดค่าสีของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด และเปลือกแข็งที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (ตารางที่ 4.8) พบว่า ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีและถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน มีค่า L^* , a^* และ b^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 ไมครอน มีค่าความสว่างมากที่สุด ส่วนฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน มีค่าความสว่างน้อยที่สุด โดยฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 45 ไมครอน มีค่าความสว่างมากที่สุด ส่วนฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน มีค่าความสว่างน้อยที่สุด เปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน มีค่า L^* , a^* และ b^* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน มีค่าความสว่างมากที่สุด ส่วนเปลือกแข็งที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาดมีค่าความสว่างน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.8 ค่าสีของฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวรรูจากถั่วพรีทั้งเมล็ดและเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

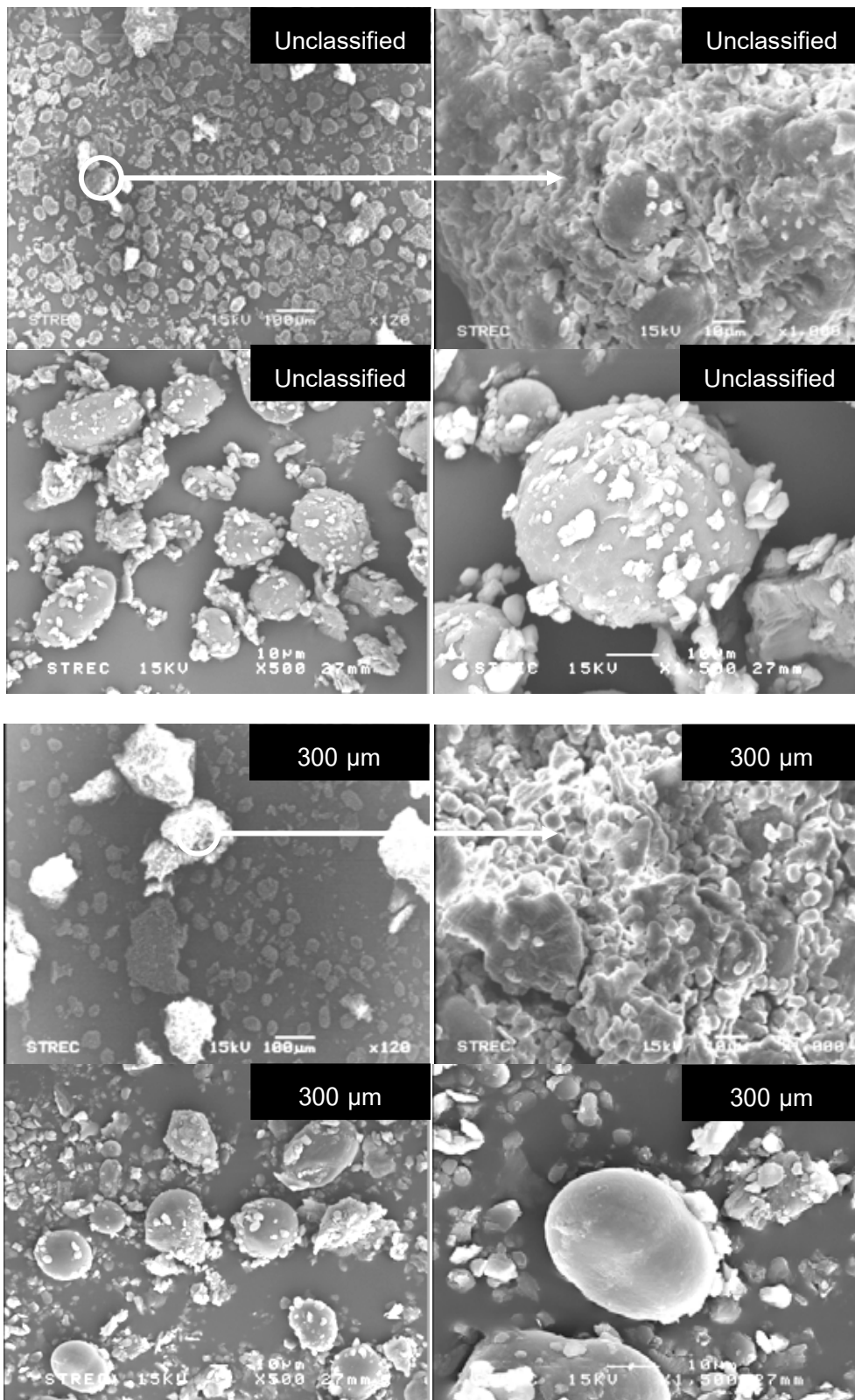
	L*			a*			b*		
	ฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	ฟลาวรรูจากถั่วพรีทั้งเมล็ด	เปลือกแข็ง	ฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	ฟลาวรรูจากถั่วพรีทั้งเมล็ด	เปลือกแข็ง	ฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	ฟลาวรรูจากถั่วพรีทั้งเมล็ด	เปลือกแข็ง
Unclassified	71.1 ^c ± 0.1	70.3 ^d ± 0.1	58.9 ^f ± 0.0	-0.9 ^b ± 0.0	-2.0 ^d ± 0.0	1.2 ^b ± 0.1	9.6 ^c ± 0.1	9.7 ^c ± 0.0	8.1 ^b ± 0.0
300	69.3 ^f ± 0.0	68.5 ^e ± 0.0	61.4 ^a ± 0.0	-0.4 ^a ± 0.1	-1.5 ^a ± 0.0	0.6 ^e ± 0.0	10.8 ^a ± 0.1	12.6 ^a ± 0.0	10.1 ^e ± 0.0
150	70.4 ^e ± 0.1	70.2 ^d ± 0.0	61.1 ^c ± 0.0	-1.0 ^c ± 0.0	-1.9 ^b ± 0.0	0.9 ^d ± 0.1	9.5 ^d ± 0.0	9.5 ^d ± 0.1	7.6 ^d ± 0.0
125	70.9 ^d ± 0.0	71.4 ^c ± 0.0	60.6 ^d ± 0.1	-1.1 ^d ± 0.0	-2.1 ^e ± 0.0	1.2 ^c ± 0.0	10.0 ^b ± 0.0	9.8 ^b ± 0.0	6.9 ^c ± 0.0
75	71.9 ^a ± 0.0	71.6 ^b ± 0.0	59.5 ^e ± 0.0	-1.1 ^e ± 0.0	-1.9 ^c ± 0.0	1.4 ^a ± 0.0	9.0 ^e ± 0.1	8.8 ^e ± 0.0	6.3 ^a ± 0.0
45	71.8 ^b ± 0.1	71.8 ^a ± 0.0	61.2 ^b ± 0.1	-1.3 ^f ± 0.0	-1.9 ^b ± 0.0	1.1 ^c ± 0.0	8.4 ^f ± 0.1	8.3 ^f ± 0.0	6.2 ^c ± 0.0

a, b, c, d, e, f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในสตมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

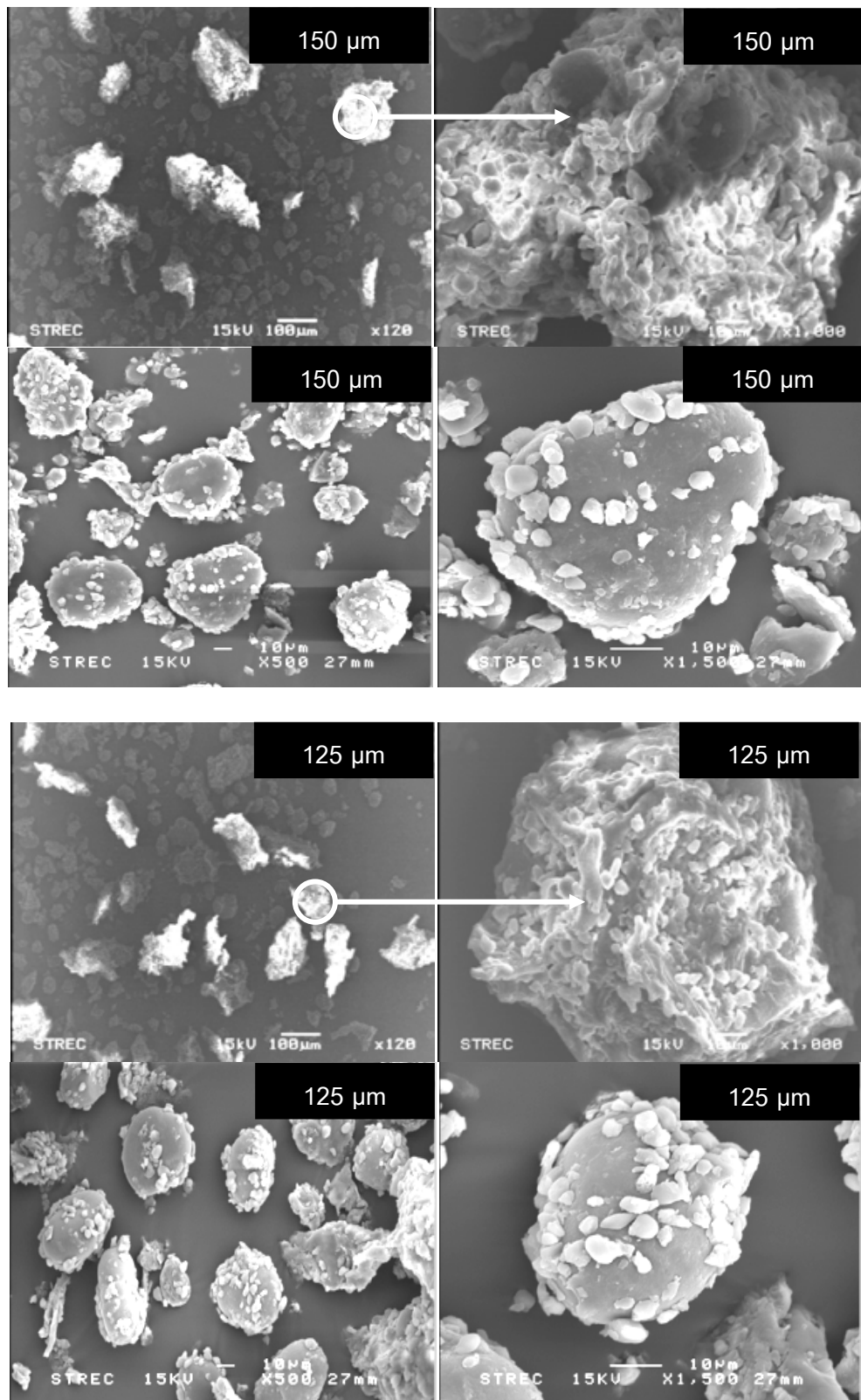
4.3.2 รูปร่างและลักษณะพื้นผิว

จากการศึกษารูปร่างและลักษณะพื้นผิวของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ที่กำลังขยาย 60 500 1,000 และ 1,500 เท่า (ภาพที่ 4.2-4.3) พบว่าแกรนูลของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดโดยส่วนใหญ่มีรูปร่างรี และกลม มีขนาดของแกรนูลหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดเล็กไปจนถึงขนาดใหญ่ และแสดงลักษณะของแกรนูลที่รวมกันเป็นกลุ่มก้อน และพบว่าฟลาวร์ทั้งสองชนิดมีลักษณะของสภาพพื้นผิวที่ขรุขระ เนื่องมาจากอนุภาคของโปรตีน ไขมันยังคงเกาะอยู่บริเวณโดยรอบของพื้นผิวแกรนูล และแกรนูลยังคงมีความสมบูรณ์ในส่วนของฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดจะแสดงอนุภาคของเปลือกแข็งที่มีลักษณะเป็นชั้นของเส้นใย เมื่อเปรียบเทียบกับแกรนูลของสตาร์ชถั่วพว้า (ภาพที่ ข.1) ซึ่งมีรูปร่างกลมและรี สภาพพื้นผิวส่วนใหญ่เรียบ และเม็ดสตาร์ชยังคงมีความสมบูรณ์เช่นกัน แสดงให้เห็นว่าในขั้นตอนการสกัดหรือการบดและร่อนไม่ได้ส่งผลต่อลักษณะของเม็ดสตาร์ช

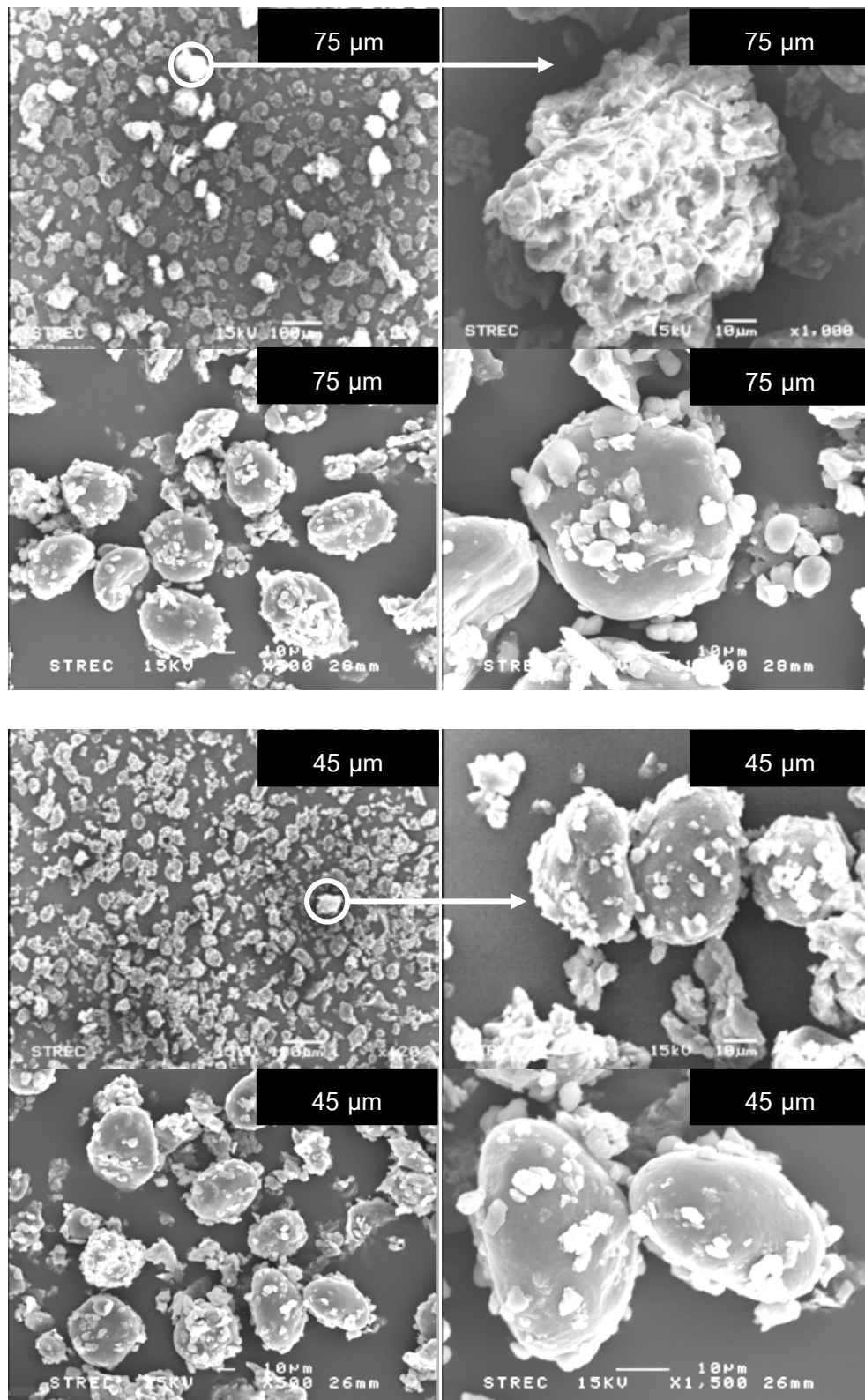
จากการศึกษารูปร่าง และลักษณะพื้นผิวของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ผ่านการแยกขนาด พบว่า ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงที่มีรูเปิดขนาดต่างๆ และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาดอนุภาค มีรูปร่างและลักษณะของแกรนูล และพื้นผิวที่คล้ายคลึงกัน โดยแกรนูลจะมีรูปร่างกลมและรี และลักษณะพื้นผิวส่วนใหญ่ที่ขรุขระ และลักษณะของแกรนูลยังคงมีความสมบูรณ์ เมื่อขนาดรูเปิดของตะแกรงเล็กลงจะเห็นลักษณะของแกรนูลที่รวมกันเป็นกลุ่มก้อนน้อยลง และอนุภาคที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 และ 45 ไมครอน แสดงลักษณะของแกรนูลเดี่ยวเป็นส่วนใหญ่ ในส่วนของฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดก็แสดงลักษณะดังกล่าวเช่นเดียวกัน และฟลาวร์ที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 ไมครอน แสดงส่วนอนุภาคของเปลือกแข็งที่ชัดเจนที่สุด



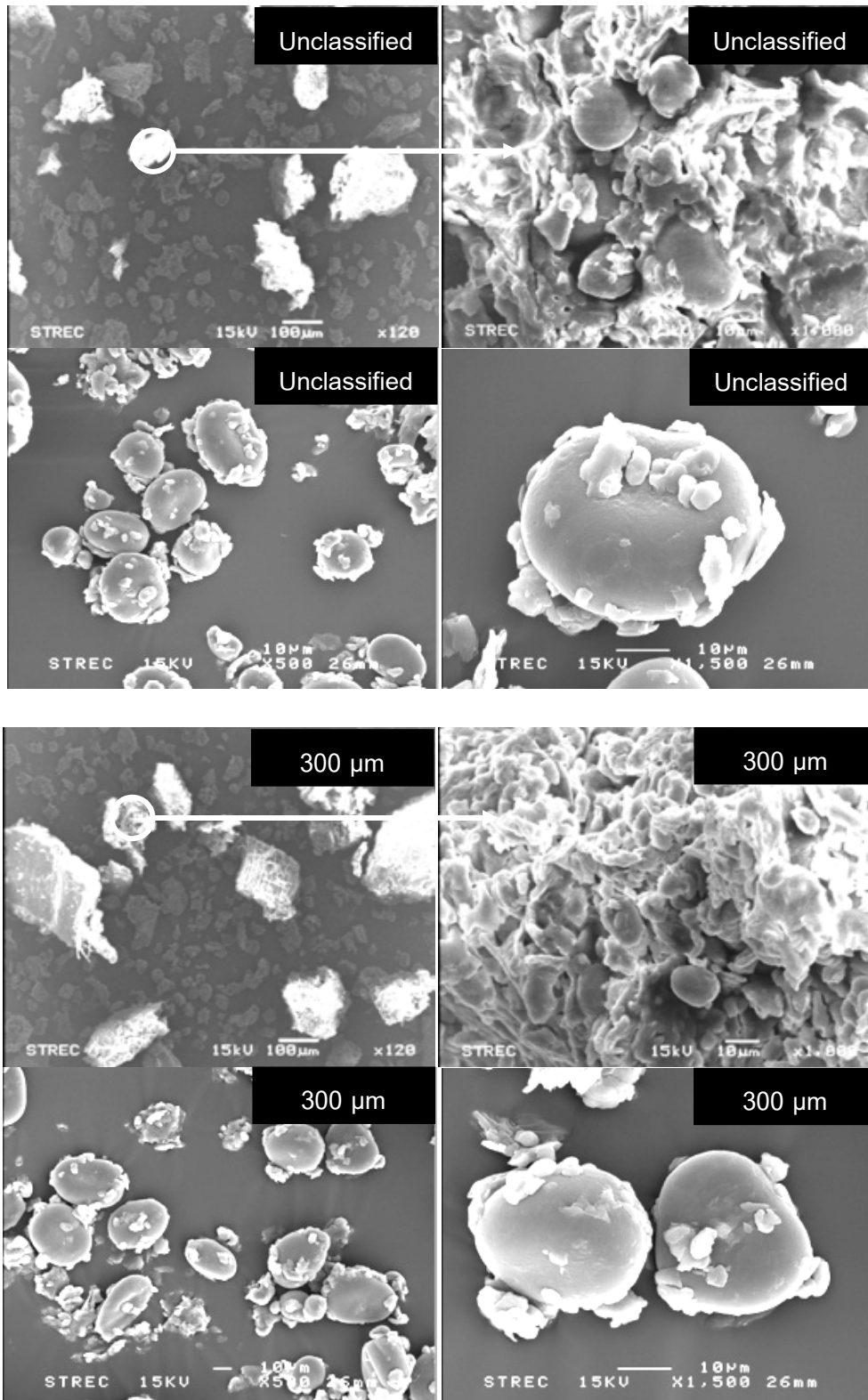
ภาพที่ 4.2 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดแตงฟรุ้งที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด



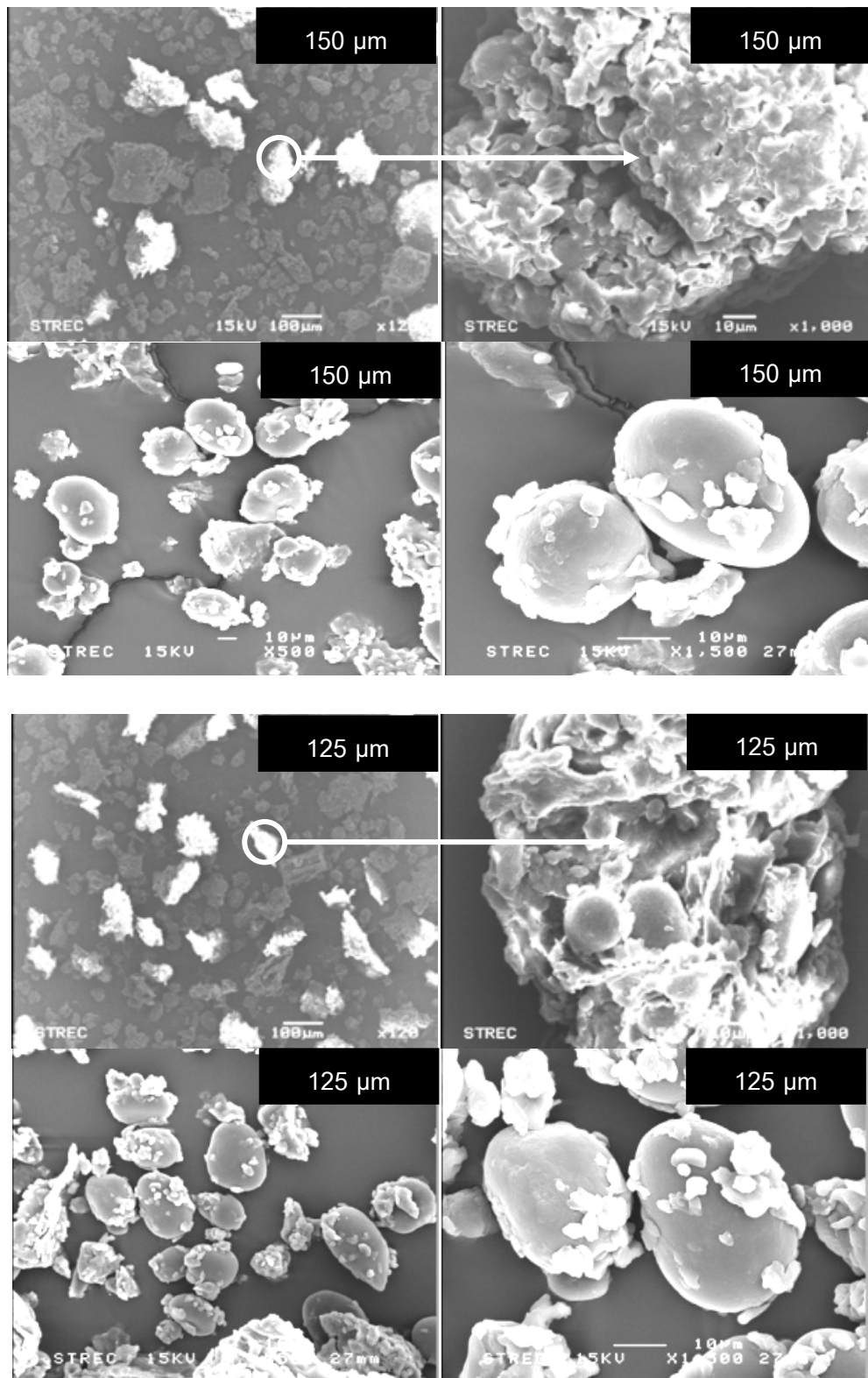
ภาพที่ 4.2 (ต่อ) ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพำที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด



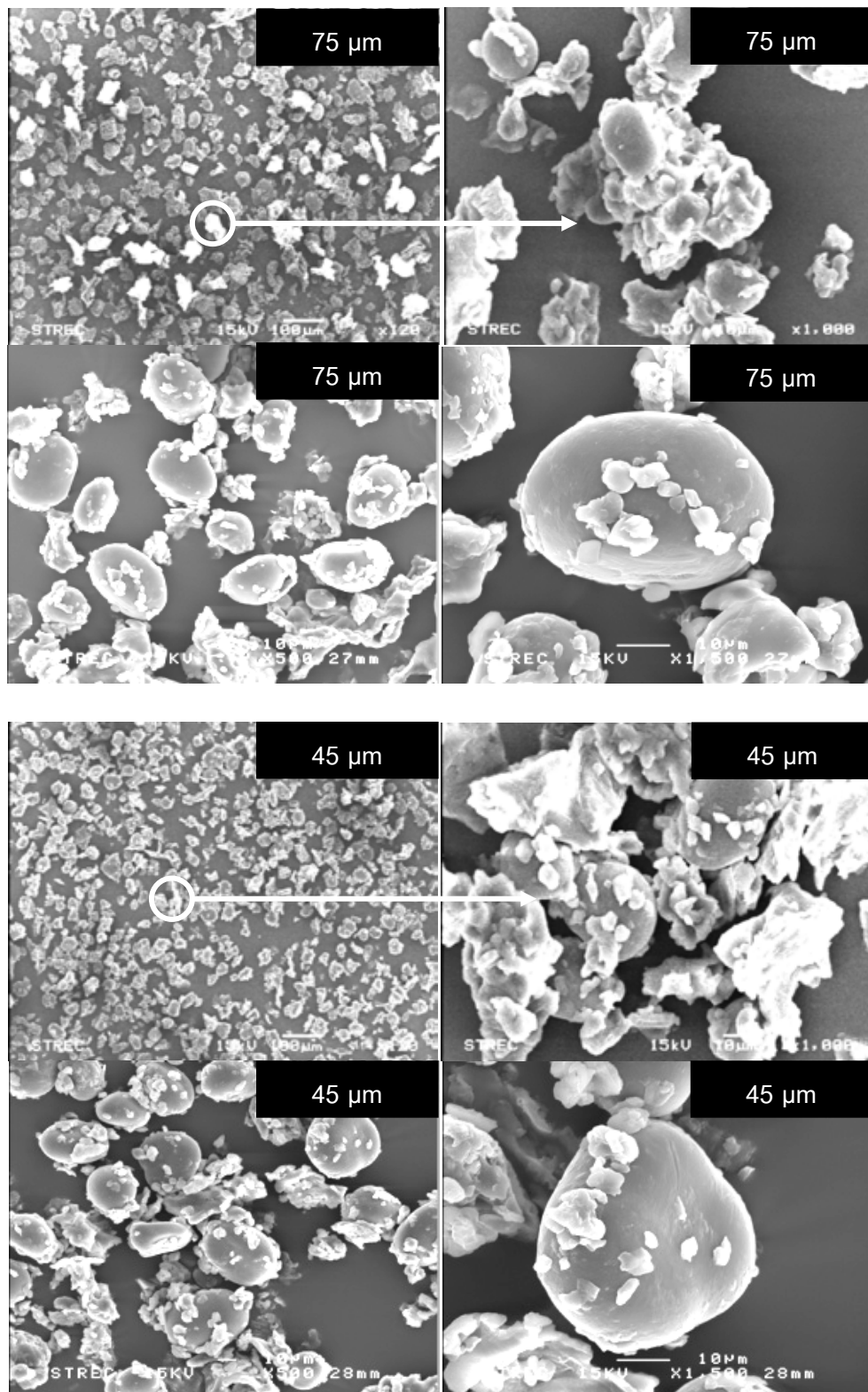
ภาพที่ 4.2 (ต่อ) ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของพลารักษ์จากเนื้อเมล็ดถั่วพำที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด



ภาพที่ 4.3 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของพลาร์จากถั่วพรางทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด



ภาพที่ 4.3 (ต่อ) ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟลาวัวร์จากถั่วพื้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด



ภาพที่ 4.3 (ต่อ) ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของฟลาวอร์จากถั่วพื้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด

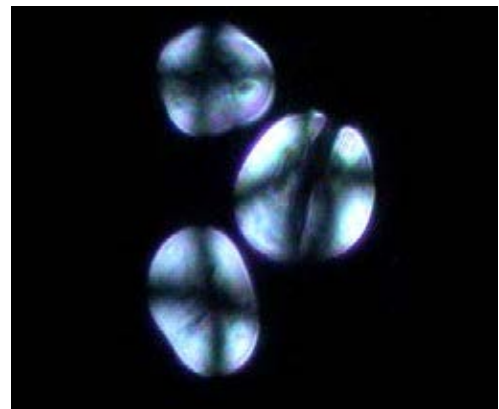
4.3.3 รูปร่างและลักษณะ birefringence

การตรวจลักษณะ birefringence ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าและฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสงโพลาไรซ์เป็นการตรวจสอบความเสียหายของแกรนูลโดยทั่วไปเมล็ดสตาร์ชจะแสดงสมบัติในการบิดระนาบแสงโพลาไรซ์ ซึ่งสังเกตได้เมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ภายใต้แสงโพลาไรซ์จะเห็นเงาดำรอบกากบาท ซึ่งเรียกว่า maltese cross พาดอยู่บนเมล็ดสตาร์ชโดยจุดที่กากบาทมาตัดกันจะเรียกว่า ไฮลัม (hilum) ซึ่งสันนิษฐานว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการสังเคราะห์เมล็ดสตาร์ช ลักษณะหรือปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้เรียกว่า birefringence จากการทดลองพบว่า ฟลาวร์ทั้งสองชนิดที่กำลังขยาย 20 และ 40 เท่า (ภาพที่ 4.4-4.5) มีลักษณะ birefringence ที่ชัดเจน และมีตำแหน่งของไฮลัมที่จุดศูนย์กลางของเมล็ดสตาร์ช และมีลักษณะไม่แตกต่างจากสตาร์ชถั่วพว้า (ภาพที่ ข.2) สันนิษฐานว่าการสร้างสายพอลิเมอร์ของแอมิโลสและแอมิโลเพกตินเริ่มจากจุดศูนย์กลางของแกรนูล และขยายออกตามแนวรัศมีของแกรนูล และการเห็นลักษณะ birefringence ที่ชัดเจนนี้เป็นการชี้ให้เห็นว่าแกรนูลไม่เกิดความเสียหาย กล่าวคือ ในกระบวนการไม่แห้ง และการสกัดสตาร์ชด้วยต่างอ่อนนั้น โครงสร้างผลึกในแกรนูลไม่ถูกทำลาย

เมื่อพิจารณาลักษณะ birefringence ของฟลาวร์ทั้งสองชนิดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน พบว่า ฟลาวร์ทั้ง 5 ขนาด ปรากฏลักษณะ birefringence ที่ชัดเจน และมีลักษณะไม่แตกต่างกันในแต่ละขนาดของอนุภาคของฟลาวร์ ทั้งนี้เนื่องจากการแยกขนาดของอนุภาคด้วยตะแกรงร่อนไม่ได้มีผลต่อลักษณะของ birefringence และในส่วนของเปลือกแข็งก็ไม่ได้ส่งผลต่อลักษณะของ birefringence เช่นเดียวกัน เนื่องจากการตรวจสอบลักษณะของ birefringence จะเกี่ยวเนื่องกับลักษณะโครงสร้างที่เป็นผลึกบางส่วน (semi-crystalline) ของแกรนูล เมื่อแสงโพลาไรซ์ผ่านผลึกบางส่วนที่มีโครงสร้างขนานหรือตั้งฉากกับระนาบของแสง ก็จะทำให้เกิดการบิดระนาบ ปรากฏเป็นลักษณะเครื่องหมายกากบาทขึ้นมา (Oates, 1997)

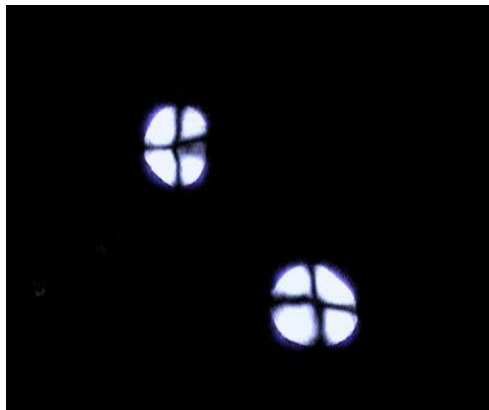


(20x)



(40x)

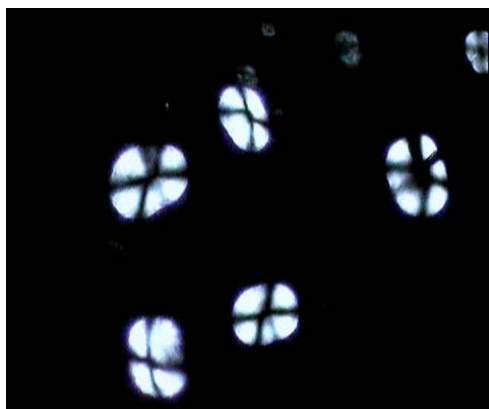
Unclassified



(20x)



(40x)

300 μm 

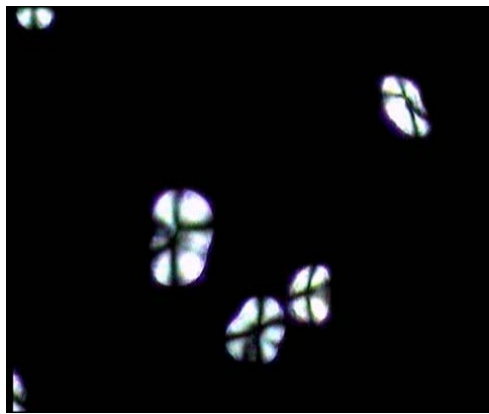
(20x)



(40x)

150 μm

ภาพที่ 4.4 รูปร่างและลักษณะ birefringence ของฟลวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพำที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด



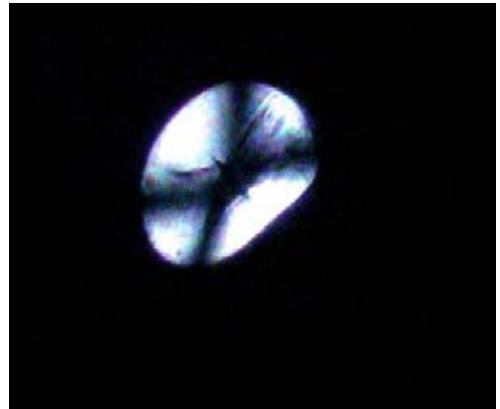
(20x)



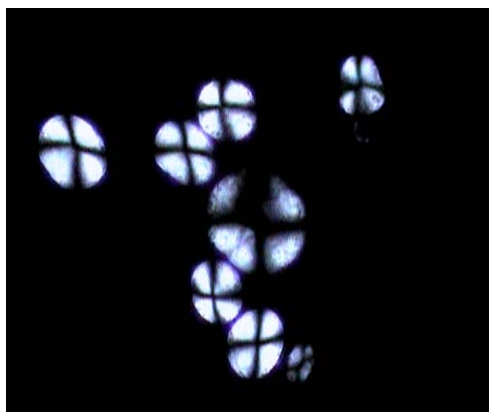
(40x)



(20x)



(40x)



(20x)

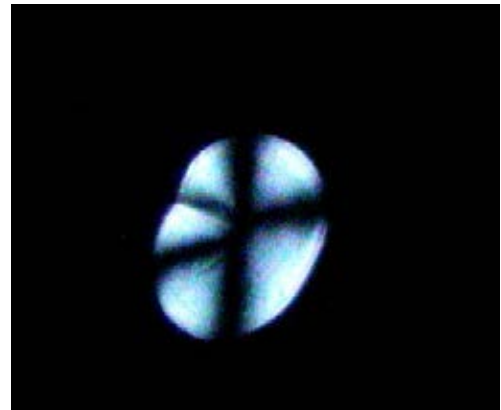


(40x)

ภาพที่ 4.4 (ต่อ) รูปร่างและลักษณะ birefringence ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพำที่ผ่าน
ตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด

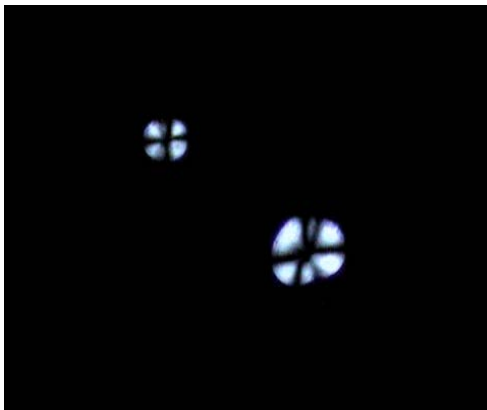


(20x)



(40x)

Unclassified



(20x)



(40x)

300 μ m

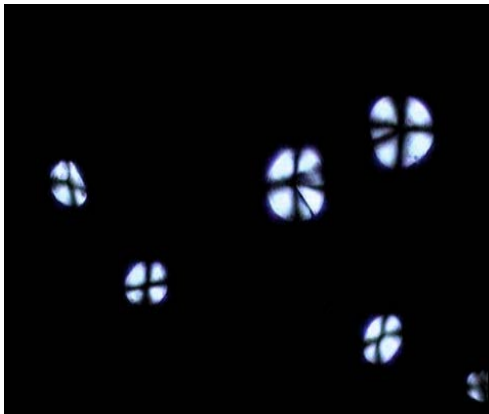
(20x)



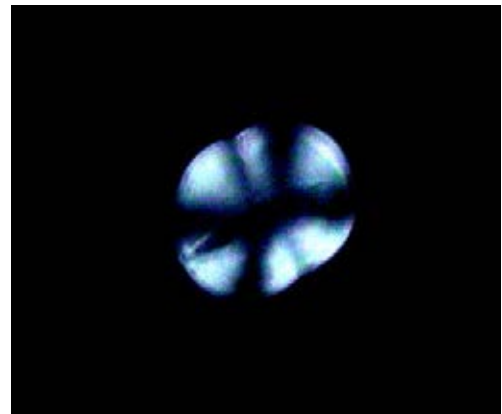
(40x)

150 μ m

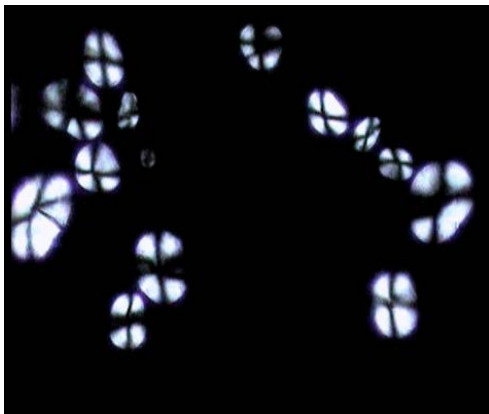
ภาพที่ 4.5 รูปร่างและลักษณะ birefringence ของของฟลอร่าจากถั่วพุ่มที่เมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด



(20x)



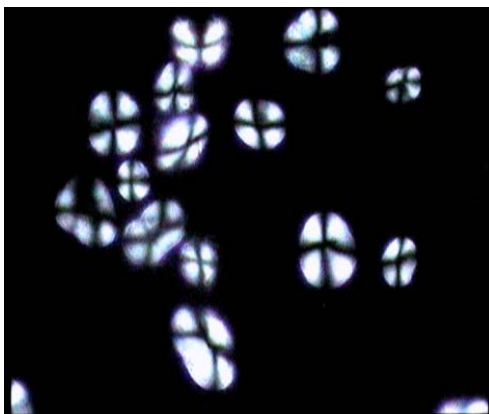
(40x)

125 μ m

(20x)



(40x)

75 μ m

(20x)



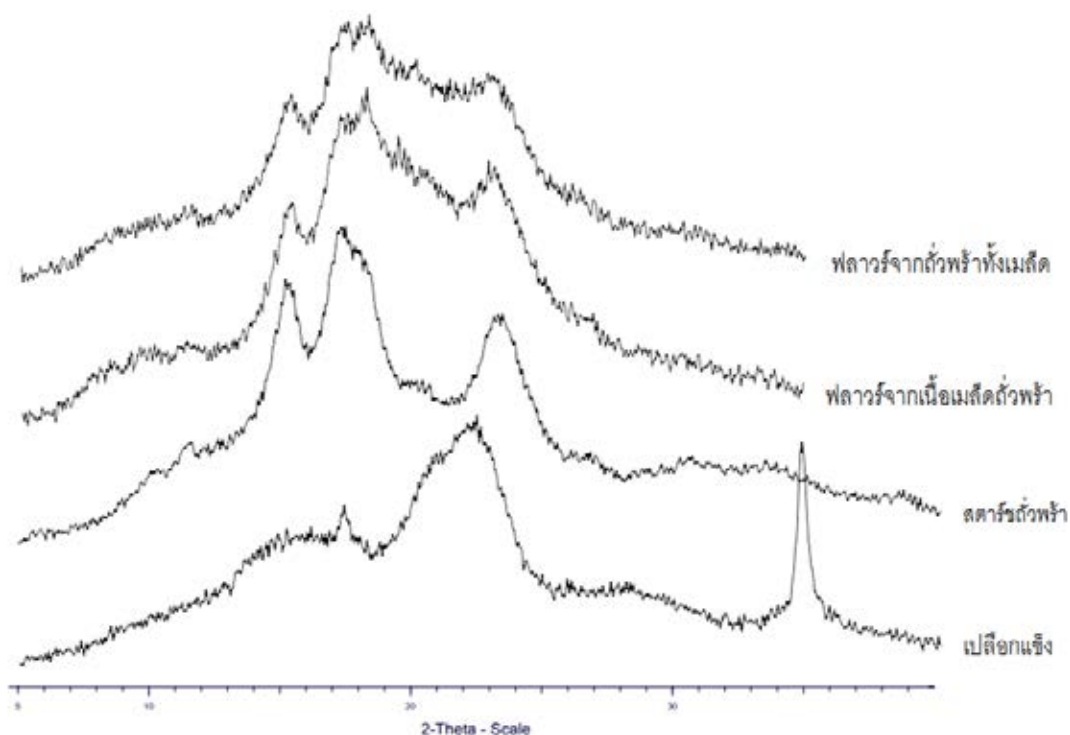
(40x)

45 μ m

ภาพที่ 4.5 (ต่อ) รูปร่างและลักษณะ birefringence ของของพลาร์จากถั่วพำทั้งเมล็ดที่ผ่าน
ตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด

4.3.4 รูปแบบและโครงสร้างผลึก

จากการศึกษาแบบและโครงสร้างผลึกของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด สตาร์ชถั่วพรี และเปลือกแข็งที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด (ภาพที่ 4.6) โดยใช้ Wide Angle X-Ray Diffraction ในการตรวจสอบ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอกซ์ พบว่า ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีมีพีคเกิดขึ้นที่ 15.3 17.4 18.1 และ 22.9 องศา (2θ) ฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดมีพีคเกิดขึ้นที่ 15.3 17.4 18.3 และ 23.0 องศา (2θ) สตาร์ชถั่วพรีมีพีคเกิดขึ้นที่ 15.2 17.19 18.1 และ 23.2 องศา (2θ) ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ C_A ที่มักพบในโครงสร้างของสตาร์ชจากพืชตระกูลถั่ว โดยเป็นลักษณะโครงสร้างผสมระหว่างโครงสร้างผลึกแบบ A ที่พบในธัญพืช ซึ่งมีโครงสร้างผลึกที่เรียงตัวกันแบบหนาแน่น และโครงสร้างผลึกแบบ B ที่ส่วนใหญ่พบในพืชหัวและสตาร์ชที่มีแอมิโลสสูง ซึ่งมีการเรียงตัวแบบหลวมๆ (Buleon *et al.*, 1998)



ภาพที่ 4.6 X-ray diffraction pattern ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด สตาร์ชถั่วพรี และเปลือกแข็ง

ทั้งนี้ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า ฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพว้ามีความเป็นผลึกเท่ากับร้อยละ 8.9 ± 0.0 , 8.9 ± 0.5 และ 22.7 ± 0.1 ตามลำดับ โดยจะเห็นว่าในสตาร์ชถั่วพว้าจะมีปริมาณความเป็นผลึกสูงกว่าฟลาวัวร์ ทั้งนี้เนื่องจากในฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดจะมีปริมาณสตาร์ชเป็นองค์ประกอบประมาณร้อยละ 33.6 และ 44.0 ดังนั้น เมื่อทำการวิเคราะห์รูปแบบของโครงสร้างผลึก ส่งผลให้ฟลาวัวร์ทั้งสองชนิดปรากฏเป็นพีคที่แบนกว่าในสตาร์ชถั่วพว้า และในส่วนของเปลือกแข็งพบว่า มีพีคปรากฏที่ 17.3 22.4 25.8 และ 34.7 องศา (2 θ) ซึ่งการปรากฏพีคดังกล่าวมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับที่พบในงานวิจัยของ Zhao และคณะ (2007) ที่ศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึกของเส้นใยเซลลูโลส

เมื่อแยกขนาดอนุภาคของฟลาวัวร์แล้ว (ภาพที่ 4.7-4.9) พบว่า ฟลาวัวร์ทุกตัวอย่างทั้งที่ผ่านการแยกขนาดแล้วและที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาดอนุภาค มีรูปแบบ X-ray diffraction pattern ไม่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นลักษณะโครงสร้างผลึกแบบ C_A ที่มักพบในโครงสร้างของฟลาวัวร์พืชตระกูลถั่ว และในการวิเคราะห์ปริมาณความเป็นผลึก (ตารางที่ 4.9) ของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าที่ขนาดอนุภาคขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน พบว่า มีค่าเท่ากับร้อยละ 7.9 8.7 9.4 13.4 และ 12.5 ตามลำดับ และฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดมีค่าเท่ากับ 11.1 10.9 11.1 9.1 และ 12.7 ตามลำดับ เมื่อฟลาวัวร์ผ่านตะแกรงร่อนที่มีรูเปิดเล็กลง องค์ประกอบของปริมาณโปรตีนไขมัน และเส้นใยหยาบลดลง ส่งผลให้ฟลาวัวร์มีความบริสุทธิ์เพิ่มขึ้น ปริมาณสตาร์ชมีแนวโน้มมากขึ้น ความเป็นผลึกของตัวอย่างจึงสูงขึ้นตามไปด้วย ในสตาร์ชถั่วพว้ามีความเป็นผลึกมากกว่าทั้งสองชนิด เนื่องจากสตาร์ชมีความบริสุทธิ์มากกว่า ฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 300 150 และ 125 ไมครอน จะมีพีคที่ 34 องศา (2 θ) ซึ่งเป็นพีคที่ใหญ่ ส่งผลให้ตัวอย่างมีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกสูง ฟลาวัวร์ที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 75 และ 45 ไมครอน มีเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกลดลง เนื่องจากการร่อนด้วยตะแกรงที่มีขนาดรูเปิดเล็กลง ส่งผลให้เส้นใยหยาบถูกกำจัดออก พีคที่ 34 องศา (2 θ) มีขนาดเล็กลง เปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกจึงลดลง

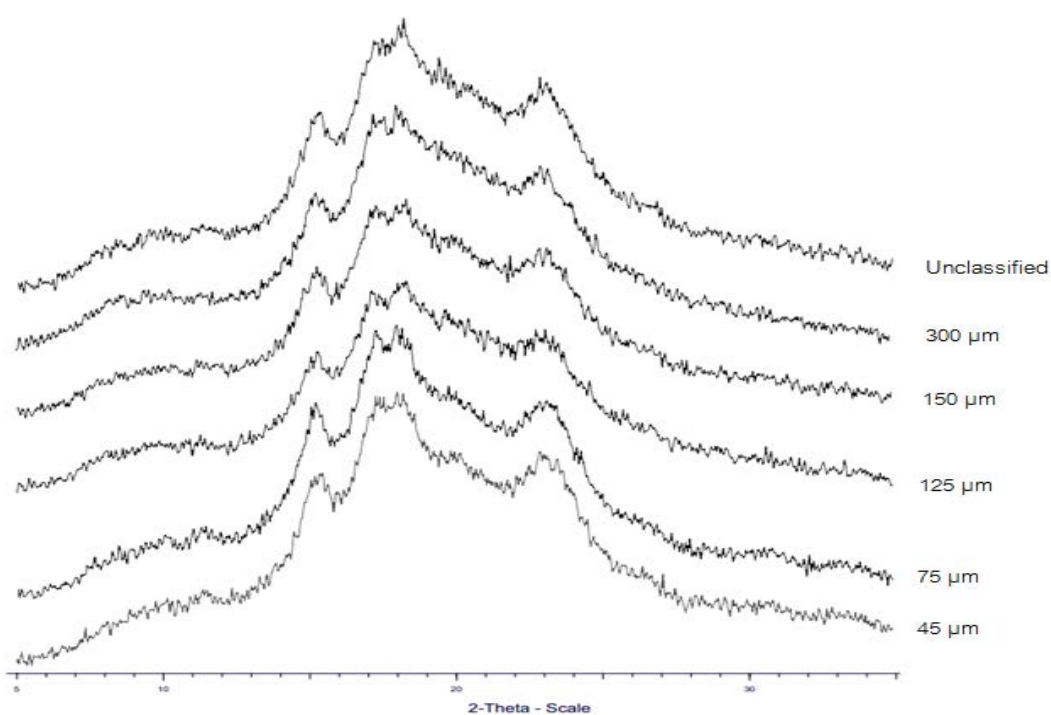
Huang และคณะ (2007) ได้ศึกษารูปแบบโครงสร้างผลึกของสตาร์ช cowpea chickpea และ yellow pea พบว่าสตาร์ชทั้ง 3 ชนิดมีรูปแบบผลึกชนิด C แสดงพีคที่ 15.2 17.2 และ 23.2 cowpea มีพีคเกิดขึ้นที่ 18.0 องศา (2 θ) เห็นเป็นพีคคู่ ซึ่ง relative crystallinity ของ yellow pea starch ต่ำกว่า cowpea และ chickpea อาจจะเป็นเนื่องจากการที่ yellow pea มีปริมาณแอมิโลสที่สูงสุด Chung และคณะ (2008) ได้ศึกษารูปแบบโครงสร้างของสตาร์ชถั่วแขกสายพันธุ์แตกต่างกันจากประเทศแคนาดา พบว่าทั้ง 3 สายพันธุ์ แสดงรูปแบบโครงสร้างผลึกแบบ C

ตารางที่ 4.9 ความเป็นผลึก (%) ของฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพรีาและฟลาวรรูจากถั่วพรีาทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

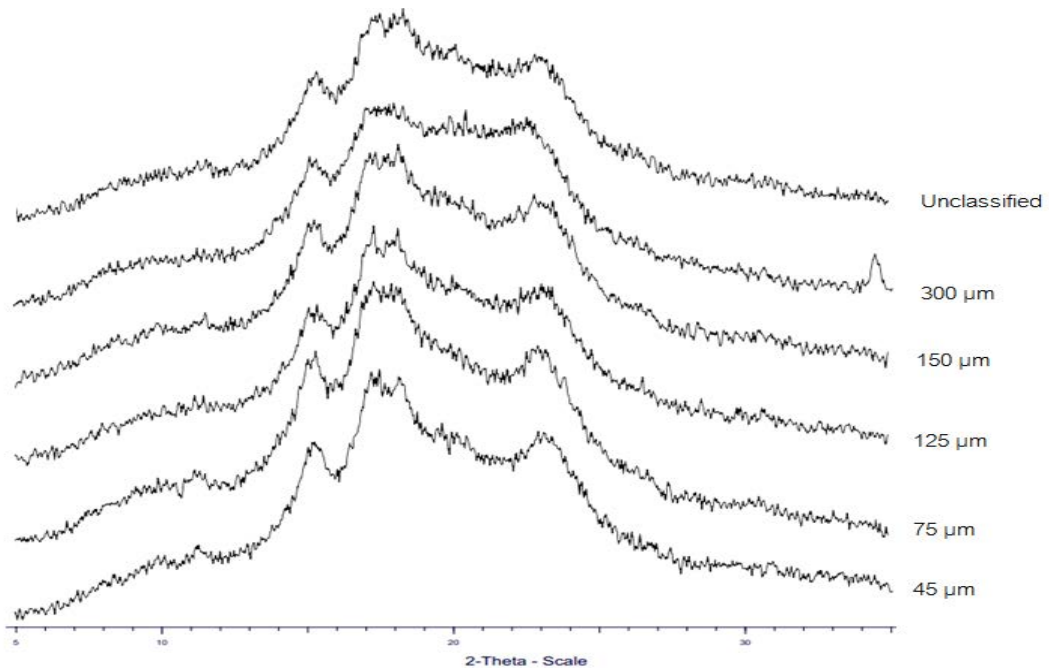
	% ความเป็นผลึก		
	ฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพรีา	ฟลาวรรูจากถั่วพรีาทั้งเมล็ด	สตาร์ชถั่วพรีา
Unclassified	8.9 ^{bc} ± 0.0	8.9 ^c ± 0.5	22.7 ± 0.1
300 μm	7.9 ^c ± 0.3	11.1 ^b ± 0.5	-
150 μm	8.7 ^{bc} ± 0.1	10.9 ^b ± 0.8	-
125 μm	9.4 ^b ± 0.4	11.1 ^b ± 0.4	-
75 μm	13.4 ^a ± 0.0	9.1 ^c ± 0.7	-
45 μm	12.5 ^a ± 1.0	12.7 ^a ± 0.2	-

^{a, b, c} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

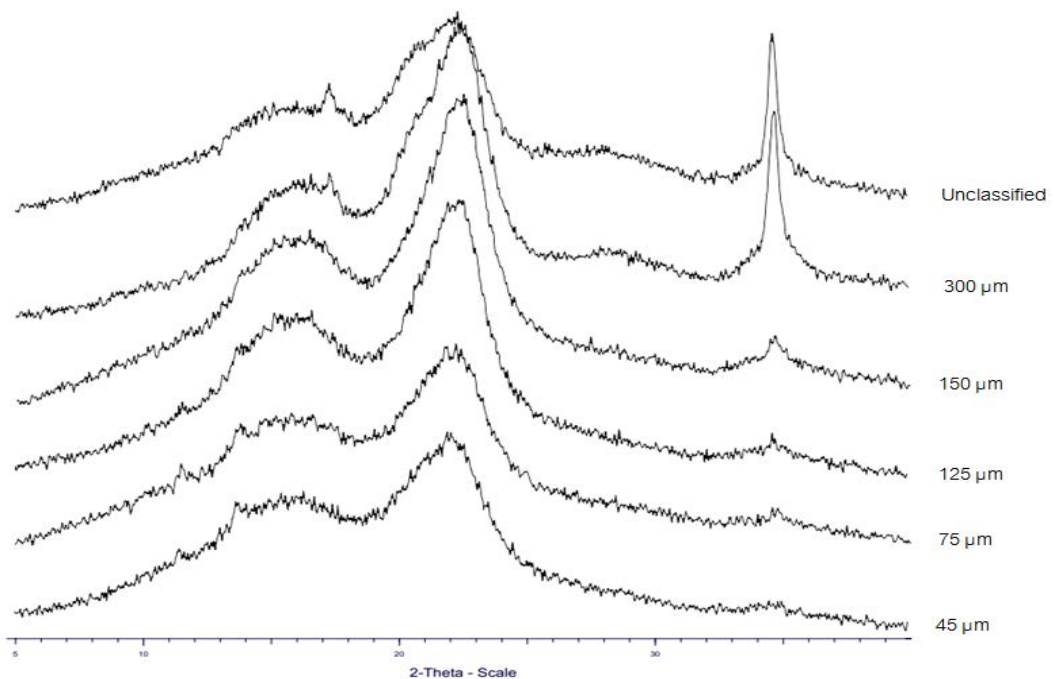
- หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์



ภาพที่ 4.7 X-ray diffraction pattern ของฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพรีาที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด



ภาพที่ 4.8 X-ray diffraction pattern ของฟลาร์จากถั่วพีร่าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด



ภาพที่ 4.9 X-ray diffraction pattern ของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 150 125 75 และ 45 ไมครอน และที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด

4.3.5 สมบัติทางความร้อน

จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนด้วยเครื่อง DSC ที่ช่วงอุณหภูมิระหว่าง 30 ถึง 95°C ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพรีที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาดของอนุภาค (ตารางที่ 4.10) แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงเพียงครั้งเดียวซึ่งสะท้อนถึงการเกิดเจลลีนในเซชัน จากการบันทึกสมบัติทางความร้อน ได้ค่า onset temperature (T_o), peak temperature (T_p), conclusion temperature (T_c), ช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลีนในเซชัน (ΔT) และ enthalpy of gelatinization (ΔH_{gel}) พบว่าฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพรีที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาดมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลลีนในเซชัน (gelatinization of temperature range; ΔT) เท่ากับ 7.1°C, 9.9°C และ 12.1°C ตามลำดับ โดยช่วงอุณหภูมิการเกิดเจลลีนในเซชัน จะบอกถึงความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงของ crystallites ภายในผลึกของเม็ดสตาร์ช (Chung และคณะ, 2008) จากผลการทดลอง สตาร์ชมีค่า ΔT สูงที่สุด จึงอาจกล่าวได้ว่าสตาร์ชมีความเสถียรต่อการเปลี่ยนแปลงความเป็นผลึกที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากสตาร์ชมีความเป็นผลึกสูง นอกจากนี้สตาร์ชถั่วพรีมีค่า ΔH สูงที่สุดเท่ากับ 13.8 J/g_{starch} สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ความเป็นผลึกที่มีค่าสูงสุด (22.7%) ส่วนฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีและฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดมีค่า ΔH ที่ต่ำกว่าเท่ากับ 10.7 และ 7.1 J/g_{starch} ตามลำดับ ซึ่งการที่ฟลาวร์ทั้งสองชนิดใช้พลังงานในการหลอมละลายผลึกเพื่อเกิดเจลลีนในเซชันที่ต่ำกว่าเนื่องจากในฟลาวร์จะมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่สตาร์ชรวมอยู่ด้วย จึงทำให้มีปริมาณผลึกที่ต่ำกว่าในสตาร์ชถั่วพรี อนึ่ง สังเกตได้ว่า ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีมีปริมาณสตาร์ช (33.6%) ที่วิเคราะห์ด้วยวิธี direct acid hydrolysis ต่ำกว่าฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด (44.0%) จึงน่าจะมี ΔH ต่ำกว่า แต่จากผลการทดลองจะเห็นว่าฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีมี ΔH เท่ากับ 10.7 J/g_{starch} ซึ่งสูงกว่าฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดซึ่งมีค่าเท่ากับ 7.1 J/g_{starch} จึงอาจเป็นไปได้ว่าการวิเคราะห์สตาร์ชโดยวิธี direct acid hydrolysis ในตัวอย่างฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด ให้ผลปริมาณสตาร์ชที่สูงเกินจริง เนื่องจากฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดมีส่วนเปลือกซึ่งมีคาร์โบไฮเดรตอยู่สูงถึงประมาณ 36.2% ซึ่งอาจเป็นเส้นใยที่ละลายน้ำได้ที่ถูก hydrolyze เป็นน้ำตาลรีดิวซิงได้ด้วยกรด

เมื่อพิจารณาค่า T_o และค่า pasting temperature ที่ได้จากการวัดด้วยเครื่อง RVA พบว่าค่า T_o ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี และฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดมีค่าต่ำกว่า pasting temperature ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่สารละลายเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความหนืด เมื่อเม็ดแป้งเริ่มดูดน้ำและพองตัวในระดับหนึ่ง ในขณะที่ T_o วัดจากการเปลี่ยนแปลงด้านความร้อน (heat flux) คือ

เมื่อฟลาวัวร์เริ่มเกิดเจลาทีโนเซชันต้องมีการดูดความร้อนเข้าไปในระบบโดยความหนืดอาจยังไม่มี การเปลี่ยนแปลง จึงทำให้ค่า T_0 ต่ำกว่าค่า pasting temperature (Jane *et al.*, 1999)

เมื่อเปรียบเทียบผลของขนาดอนุภาค พบว่า ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าและฟลาวัวร์ จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด $45\ \mu\text{m}$ ใช้พลังงานในการเกิดเจลาทีโนเซชันสูงสุด ซึ่งอาจ เนื่องมาจากฟลาวัวร์ทั้งสองชนิดที่ขนาดอนุภาคดังกล่าวมีปริมาณสตาร์ชสูงกว่าฟลาวัวร์ที่ผ่าน ตะแกรงที่มีรูเปิดขนาดใหญ่กว่า (49.8 และ 50.7%) และสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ปริมาณ ผลึก (12.5 และ 12.7%) มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง โดยอุณหภูมิและพลังงาน ในการเกิดเจลาทีโนเซชันจะบ่งบอกถึงความแตกต่างของโครงสร้างผลึกของเม็ดแป้ง แสดงว่ามี ความเป็นผลึกมากหรือมีโครงสร้างที่คงทนต่อการเกิดเจลาทีโนเซชันได้มากกว่า (Barichello *et al.*, 1990) อุณหภูมิในการเกิดเจลาทีโนเซชันสูงชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นผลึกที่สมบูรณ์มากกว่า (Huang *et al.*, 2007)

4.4 สมบัติเชิงหน้าที่

4.4.1 ความสามารถในการจับน้ำและน้ำมัน

จากการศึกษาความสามารถในการจับน้ำของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า ฟลาวัวร์จาก ถั่วพว้าทั้งเมล็ด เปลือกแข็ง และสตาร์ชถั่วพว้า (ตารางที่ 4.11) พบว่า ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า ฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด เปลือกแข็ง และสตาร์ชถั่วพว้ามีความสามารถในการจับน้ำเท่ากับ 1.4 ± 0.0 2.0 ± 0.1 7.7 ± 0.1 และ 1.0 ± 0.0 กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ ซึ่งสตาร์ชถั่วพว้ามี การจับน้ำค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับฟลาวัวร์ และเปลือกแข็ง โดยทั่วไปสตาร์ชไม่ละลายในน้ำเย็นที่มี อุณหภูมิต่ำกว่าการเกิดเจลาทีโนเซชัน ดังนั้นเมื่อเติมน้ำลงในสตาร์ชและตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เม็ดสตาร์ชจึงดูดน้ำและพองตัวได้เพียงเล็กน้อย แต่สังเกตได้ว่าเปลือกแข็งมีความสามารถในการ จับน้ำสูงที่สุด อาจเนื่องมาจากเปลือกแข็งมีเส้นใยซึ่งสามารถจับน้ำได้ดีเป็นองค์ประกอบใน ปริมาณที่สูง

จากการศึกษาความสามารถในการจับน้ำมันของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า ฟลาวัวร์ จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด เปลือกแข็ง และสตาร์ชถั่วพว้า พบว่า สตาร์ชถั่วพว้ามีแนวโน้มของ ความสามารถในการจับน้ำมันสูงสุดเท่ากับ 8.6 ± 0.0 กรัม/น้ำมัน/กรัมตัวอย่างแห้ง รองลงมาคือ ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า ฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด และเปลือกแข็ง ซึ่งมีความสามารถในการ จับน้ำมันเท่ากับ 8.4 ± 0.0 8.1 ± 0.1 และ 7.7 ± 0.1 กรัม/น้ำมัน/กรัมตัวอย่างแห้ง ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 สมบัติทางความร้อนของสารละลายตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ ที่มีอัตราส่วนฟลาวัวร์ : น้ำ เท่ากับ 1 : 3.3 ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC

		Unclassified	300 μm	150 μm	125 μm	75 μm	45 μm
T_o ($^{\circ}\text{C}$)	ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	81.7 ^a \pm 0.1	81.6 ^{ab} \pm 0.1	81.4 ^b \pm 0.0	81.1 ^c \pm 0.1	81.4 ^b \pm 0.1	81.1 ^c \pm 0.1
	ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	78.4 ^{ab} \pm 0.1	79.3 ^a \pm 0.1	78.0 ^b \pm 0.1	78.7 ^{ab} \pm 0.4	78.0 ^b \pm 0.6	78.8 ^{ab} \pm 0.4
	สตาร์ชถั่วพรี	74.8 \pm 0.3	-	-	-	-	-
T_p ($^{\circ}\text{C}$)	ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	81.9 ^{ab} \pm 0.1	85.0 ^a \pm 0.1	84.9 ^{ab} \pm 0.1	84.8 ^{ab} \pm 0.0	84.6 ^b \pm 0.2	84.6 ^b \pm 0.1
	ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	82.9 ^a \pm 0.1	84.7 ^b \pm 0.4	82.6 ^a \pm 0.6	83.4 ^a \pm 0.4	82.8 ^a \pm 0.4	83.4 ^a \pm 0.0
	สตาร์ชถั่วพรี	80.4 \pm 0.1	-	-	-	-	-
T_c ($^{\circ}\text{C}$)	ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	88.8 ^{ab} \pm 0.2	89.1 ^a \pm 0.4	88.7 ^{ab} \pm 0.4	88.4 ^b \pm 0.1	88.4 ^b \pm 0.1	88.1 ^b \pm 0.1
	ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด ^{NS}	88.3 \pm 0.1	88.5 \pm 0.6	87.4 \pm 0.1	88.3 \pm 0.6	87.5 \pm 0.4	88.5 \pm 0.7
	สตาร์ชถั่วพรี	86.9 \pm 0.4	-	-	-	-	-
ΔT ($^{\circ}\text{C}$) ($T_c - T_o$)	ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ^{NS}	7.1 \pm 0.4	7.6 \pm 0.5	7.3 \pm 0.4	7.3 \pm 0.0	7.0 \pm 0.0	7.0 \pm 0.1
	ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด ^{NS}	9.9 \pm 0.1	9.2 \pm 0.4	9.4 \pm 0.1	9.6 \pm 0.1	9.6 \pm 0.2	9.8 \pm 1.1
	สตาร์ชถั่วพรี	12.1 \pm 0.1	-	-	-	-	-
ΔH (J/g)	ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	3.6 ^c \pm 0.0	2.9 ^e \pm 0.0	3.5 ^c \pm 0.1	3.2 ^d \pm 0.0	4.5 ^b \pm 0.0	4.7 ^a \pm 0.0
	ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	3.2 ^d \pm 0.0	2.1 ^f \pm 0.0	3.3 ^c \pm 0.0	2.7 ^e \pm 0.0	4.1 ^b \pm 0.0	5.0 ^a \pm 0.1
ΔH (J/g _{starch})	ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	10.7 ^a \pm 0.0	8.0 ^d \pm 0.0	8.2 ^c \pm 0.2	7.4 ^e \pm 0.0	9.5 ^b \pm 0.0	9.4 ^b \pm 0.0
	ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	7.1 ^c \pm 0.1	6.3 ^d \pm 0.0	8.4 ^b \pm 0.0	6.0 ^e \pm 0.0	8.4 ^b \pm 0.0	9.8 ^a \pm 0.2
	สตาร์ชถั่วพรี	13.8 \pm 0.0	-	-	-	-	-

a, b, c, d, e, f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{NS} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ซึ่งอาจเป็นเพราะ non-polar side chains ในสตาร์ช ที่สามารถเกาะกับ hydrocarbon side chains ของน้ำมันได้ดี เมื่อสัดส่วนของสตาร์ชลดลง ฟลาวัวร์จึงมีความสามารถในการจับน้ำมันลดลง จากผลการทดลองนี้ จะเห็นว่าฟลาวัวร์อาจมีประโยชน์ในโครงสร้างของอาหาร ในแง่ของการกักเก็บไขมันซึ่งจะมีส่วนช่วยเก็บรักษารสชาติความอร่อยของอาหาร และการยืดอายุการเก็บรักษาในผลิตภัณฑ์บางชนิด เช่น ผลิตภัณฑ์เบเกอรี่ (Adebowale and Lawal, 2004)

ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด และเปลือกแข็งมีค่าความสามารถในการจับน้ำที่แตกต่างกันตามแต่ละขนาดอนุภาคอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง ความสามารถในการจับน้ำของฟลาวัวร์ทั้ง 2 ชนิด มีแนวโน้มลดลง จากผลการทดลอง พบว่า เปลือกแข็งจะมีแนวโน้มของความสามารถในการจับน้ำสูงกว่าฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีและฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด อาจเนื่องจากเปลือกแข็งมีเส้นใยหยาบเป็นองค์ประกอบที่สูงกว่า ซึ่งมีส่วนช่วยในการอุ้มน้ำได้

ความสามารถในการจับน้ำมันของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด และเปลือกแข็งที่ผ่านการแยกขนาด มีความสามารถในการจับน้ำมันใกล้เคียงกัน และเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง ไม่พบแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการจับน้ำมันที่ชัดเจน ส่วนเปลือกแข็งทุกขนาดมีความสามารถในการจับน้ำมันน้อยกว่าฟลาวัวร์ทั้ง 2 ชนิด และแปรผันในช่วงแคบๆ (7.6-7.9 กรัมไขมัน/ต่อกรัมตัวอย่างแห้ง)

ตารางที่ 4.11 ความสามารถในการจับน้ำและน้ำมันของฟลาวรรูจากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า ฟลาวรรูจากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด และเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

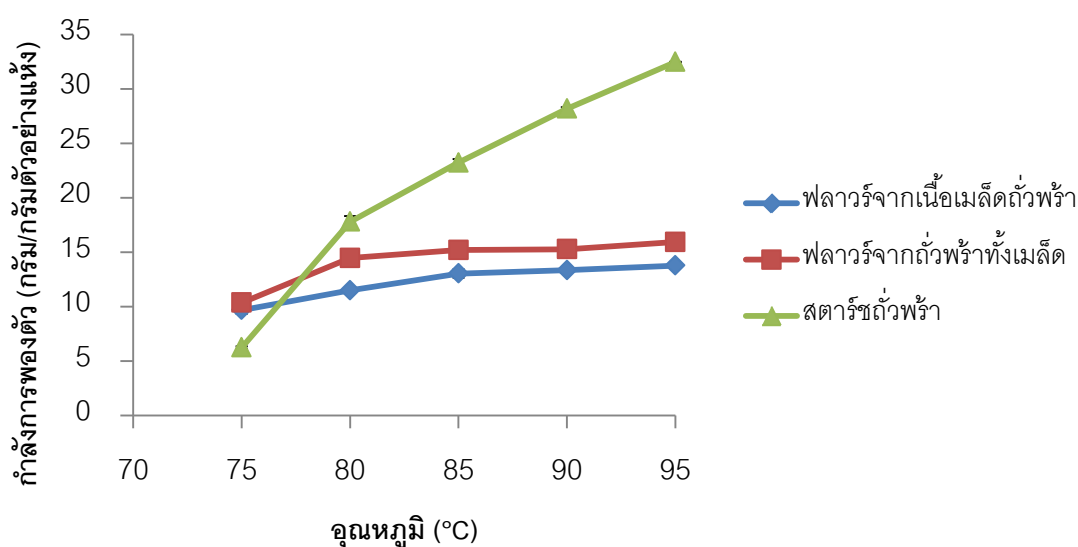
	ความสามารถในการจับน้ำ (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)				ความสามารถในการจับน้ำมัน (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง)			
	ฟลาวรรูจากเนื้อ เมล็ดถั่วพรี้า	ฟลาวรรูจากถั่ว พรี้าทั้งเมล็ด	เปลือกแข็ง	สตาร์ชถั่วพรี้า	ฟลาวรรูจากเนื้อ เมล็ดถั่วพรี้า	ฟลาวรรูจากถั่ว พรี้าทั้งเมล็ด	เปลือกแข็ง	สตาร์ชถั่วพรี้า
Unclassified	1.4 ^b ± 0.0	2.0 ^a ± 0.1	7.6 ^b ± 0.0	1.0 ± 0.0	8.4 ^a ± 0.0	8.1 ^c ± 0.0	7.7 ^b ± 0.1	8.6 ± 0.0
300 µm	1.2 ^d ± 0.0	1.6 ^b ± 0.1	5.5 ^f ± 0.0	-	8.3 ^b ± 0.1	8.1 ^c ± 0.0	7.9 ^a ± 0.0	-
150 µm	1.4 ^c ± 0.0	1.6 ^b ± 0.0	6.8 ^d ± 0.1	-	8.3 ^b ± 0.0	8.2 ^b ± 0.0	7.7 ^b ± 0.0	-
125 µm	1.6 ^a ± 0.0	1.6 ^b ± 0.0	7.7 ^a ± 0.0	-	8.4 ^a ± 0.0	8.2 ^b ± 0.0	7.6 ^b ± 0.1	-
75 µm	1.2 ^d ± 0.0	1.4 ^c ± 0.0	7.5 ^c ± 0.0	-	8.5 ^a ± 0.0	8.6 ^a ± 0.0	7.7 ^b ± 0.0	-
45 µm	1.1 ^e ± 0.0	1.2 ^d ± 0.1	6.2 ^e ± 0.0	-	8.4 ^a ± 0.0	8.5 ^a ± 0.0	7.7 ^b ± 0.1	-

^{a, b, c, d, e, f} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในสตมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

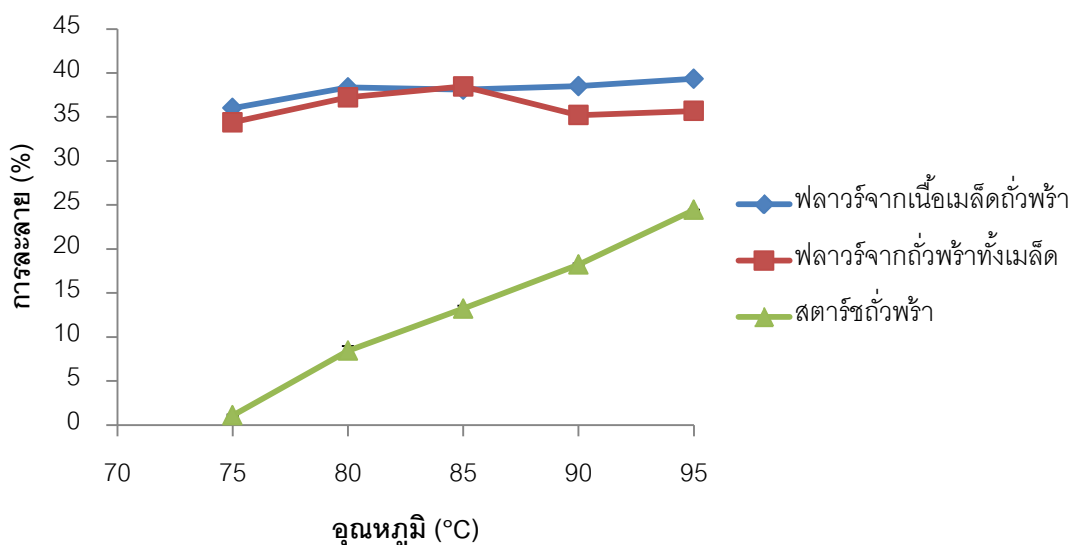
- หมายถึง ไม่ได้วิเคราะห์

4.4.2 กำลังการพองตัว และการละลาย

เมื่อสตาร์ชได้รับความร้อนในขณะที่มีน้ำเพียงพอ พันธะไฮโดรเจนที่เสถียรของโครงสร้าง double helices ในผลึกถูกทำลาย และถูกแทนที่ด้วยพันธะไฮโดรเจนกับน้ำ เม็ดสตาร์ชพองตัวและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น ซึ่งปริมาณการพองตัวของสตาร์ชเป็นผลเนื่องมาจากปริมาณแอมิโลส และโครงสร้างของแอมิโลเพกติน (Huang *et al.*, 2007) จากการศึกษา กำลังการพองตัว และการละลายของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า ฟลาวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพรี้า (ภาพที่ 4.10-4.11) พบว่า กำลังการพองตัว และการละลายจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากการหลอมละลายของส่วนผลึกของสตาร์ช ลักษณะการพองตัวโดยระยะแรกจะมีการพองตัวเล็กน้อย ระยะที่สองจะเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็ว เกิดการสูญเสีย birefringence ซึ่งประกอบกับการแยกตัวออกของกลุ่มผลึก และระยะสุดท้ายจะเกิดพองตัวสูงสุด กำลังการพองตัวของสตาร์ชจากถั่วจะสัมพันธ์ผกผันกับปริมาณแอมิโลส โดยฟลาวร์ที่มีปริมาณแอมิโลสสูงจะมีกำลังการพองตัวต่ำ แต่จะมีการละลายสูง สตาร์ชจากถั่วพรี้ามีการพองตัวที่สูงกว่าฟลาวร์จากถั่วพรี้า เนื่องจากสตาร์ชมีปริมาณโปรตีน และไขมันที่ต่ำกว่า ส่วนการละลายของสตาร์ชจะต่ำกว่า เนื่องจากในขั้นตอนการสกัดสตาร์ช ได้มีการใช้สารละลายต่างและมีการล้างด้วยน้ำหลายครั้ง ทำให้องค์ประกอบที่สามารถละลายน้ำได้ลดลง (Chung *et al.*, 2008)



ภาพที่ 4.10 กำลังการพองตัวของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า ฟลาวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดและสตาร์ชถั่วพรี้า



ภาพที่ 4.11 การละลายของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดธัญพืช ฟลาวร์จากธัญพืชทั้งเมล็ดและสตาร์ชธัญพืช

จากการศึกษากำล้างการพองตัวและการละลายของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดธัญพืช ฟลาวร์จากธัญพืชทั้งเมล็ดที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (ตารางที่ 4.12-4.13) พบว่า กำล้างการพองตัว และความสามารถในการละลายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ผลของการศึกษากำล้างการพองตัวที่อุณหภูมิ 95°C ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดธัญพืช ฟลาวร์จากธัญพืชทั้งเมล็ดที่ขนาดอนุภาคต่างๆ พบว่า ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดธัญพืชมีค่ากำล้างการพองตัวที่ต่ำกว่า ฟลาวร์จากธัญพืชทั้งเมล็ด ทั้งนี้อาจเนื่องจากฟลาวร์จากธัญพืชทั้งเมล็ดมีปริมาณเส้นใยหยาบที่สูงกว่า จึงส่งผลให้ฟลาวร์จากธัญพืชทั้งเมล็ดมีความสามารถในการจับน้ำที่สูงกว่าฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดธัญพืช ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดธัญพืชที่ขนาดอนุภาคต่างๆ มีค่าการละลายสูงกว่าฟลาวร์จากธัญพืชทั้งเมล็ด สอดคล้องกับงานวิจัยของ Adebooye และ Singh (2008) ที่พบว่าค่ากำล้างการพองตัวของฟลาวร์จากธัญพืชที่เอาเปลือกหุ้มเมล็ดออกมีค่าต่ำกว่าฟลาวร์จากธัญพืชทั้งเมล็ด และจะมีค่าการละลายที่สูงกว่าฟลาวร์จากธัญพืชทั้งเมล็ดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ การละลายที่มีค่าสูงเกิดเนื่องจากเมื่อเมล็ดสตาร์ชได้รับความร้อน ทำให้เกิดการพองตัวและแตกออก แอมิโลสที่เป็นองค์ประกอบอยู่ในเมล็ดสตาร์ชจึงสามารถละลายออกมาได้ นอกจากนี้ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดมีปริมาณของโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่สูงกว่า ซึ่งโปรตีนบางส่วนสามารถละลายได้ในน้ำ จึงทำให้ค่าการละลายของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดมีค่าที่สูงกว่า

ตารางที่ 4.12 กำลังการพองตัว (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง) ของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี และฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

		75°C	80°C	85°C	90°C	95°C
ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	Unclassified	9.7 ^b ± 0.4	11.5 ^e ± 0.2	13.0 ^c ± 0.4	13.3 ^d ± 0.2	13.8 ^c ± 0.1
	300 µm	15.1 ^a ± 0.6	15.2 ^a ± 0.4	14.0 ^{ab} ± 0.2	16.9 ^a ± 0.6	14.6 ^{bc} ± 0.3
	150 µm	9.6 ^b ± 0.2	13.0 ^c ± 0.5	14.2 ^{ab} ± 0.2	15.0 ^{bc} ± 0.3	14.9 ^b ± 0.2
	125 µm	10.2 ^b ± 0.4	13.7 ^b ± 0.4	14.6 ^a ± 0.5	14.6 ^c ± 0.3	16.2 ^a ± 0.9
	75 µm	8.3 ^c ± 0.0	12.3 ^d ± 0.3	13.7 ^b ± 0.1	15.1 ^{bc} ± 0.2	14.3 ^{bc} ± 0.7
	45 µm	8.0 ^c ± 0.2	12.2 ^d ± 0.2	14.7 ^a ± 0.7	15.6 ^b ± 0.2	16.8 ^a ± 0.3
ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	Unclassified	10.4 ^a ± 0.3	14.5 ^{ab} ± 0.6	15.2 ^b ± 0.3	15.3 ^c ± 0.1	15.9 ^b ± 0.2
	300 µm	8.9 ^{bc} ± 0.7	15.0 ^a ± 0.3	13.8 ^d ± 0.1	16.4 ^a ± 0.3	15.6 ^b ± 0.5
	150 µm	9.4 ^b ± 0.2	14.5 ^{ab} ± 0.5	14.3 ^c ± 0.2	15.4 ^c ± 0.2	15.8 ^b ± 0.3
	125 µm	10.4 ^a ± 0.2	15.0 ^a ± 0.4	15.1 ^b ± 0.3	16.3 ^{ab} ± 0.1	16.2 ^b ± 1.0
	75 µm	8.5 ^c ± 0.1	13.6 ^b ± 0.9	14.9 ^b ± 0.1	16.0 ^b ± 0.0	17.2 ^a ± 0.3
	45 µm	10.4 ^a ± 0.3	14.5 ^{ab} ± 0.6	15.2 ^b ± 0.3	15.3 ^c ± 0.1	15.9 ^b ± 0.2

a, b, c, d หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 4.13 การละลาย (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง) ของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าและฟลาวอร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

		75°C	80°C	85°C	90°C	95°C
ฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า	Unclassified	36.0 ^{bc} ± 0.4	38.4 ^c ± 0.9	38.1 ^b ± 1.0	38.5 ^d ± 0.1	39.3 ^{bc} ± 0.4
	300 µm	39.4 ^a ± 1.5	42.5 ^a ± 1.2	35.2 ^c ± 0.3	37.1 ^e ± 0.8	35.7 ^d ± 0.8
	150 µm	35.6 ^{bc} ± 1.5	39.8 ^{bc} ± 0.9	37.5 ^b ± 1.3	38.7 ^{cd} ± 0.7	41.2 ^a ± 0.2
	125 µm	36.8 ^b ± 0.5	40.8 ^b ± 0.8	38.5 ^b ± 0.6	39.4 ^{bc} ± 0.4	40.3 ^{abc} ± 1.2
	75 µm	36.9 ^b ± 1.9	39.7 ^{bc} ± 0.3	41.9 ^a ± 0.1	41.7 ^a ± 0.4	38.3 ^c ± 1.4
	45 µm	34.4 ^c ± 0.2	39.9 ^{bc} ± 0.9	41.4 ^a ± 1.1	40.2 ^b ± 0.0	40.6 ^{ab} ± 0.0
ฟลาวอร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด	Unclassified	34.7 ^b ± 0.3	37.2 ^c ± 0.8	38.5 ^{bc} ± 1.2	35.2 ^c ± 1.0	35.7 ^{bc} ± 1.4
	300 µm	35.2 ^b ± 0.2	35.4 ^d ± 0.7	31.9 ^d ± 0.1	33.8 ^c ± 0.5	34.6 ^c ± 0.5
	150 µm	39.6 ^a ± 0.3	41.1 ^a ± 0.4	39.0 ^{ab} ± 0.1	41.1 ^a ± 1.1	38.1 ^a ± 0.8
	125 µm	35.2 ^b ± 0.6	38.7 ^b ± 1.0	37.0 ^c ± 0.3	37.4 ^b ± 1.0	37.8 ^{ab} ± 1.8
	75 µm	32.0 ^c ± 0.4	35.5 ^d ± 0.6	38.9 ^{ab} ± 1.9	38.6 ^b ± 1.4	39.5 ^a ± 0.7
	45 µm	31.2 ^c ± 1.1	35.8 ^{cd} ± 1.2	40.4 ^a ± 0.5	37.7 ^b ± 0.6	39.7 ^a ± 1.5

^{a, b, c, d, e} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

4.4.3 สมบัติด้านการเกิดเพสต์

สมบัติทางการเกิดเพสต์เป็นสมบัติที่สำคัญของแป้ง ซึ่งมีประโยชน์ในการบ่งบอกพฤติกรรมของแป้ง เพื่อให้สามารถนำไปใช้ให้เหมาะสมต่อคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนการผลิตหรือการเปลี่ยนแปลงสูตรผสมได้ โดยสมบัตินี้มีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมี และลักษณะของโครงสร้างภายในของเม็ดสตาร์ช ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อความหนืดของฟลาวัวร์ ได้แก่ ชนิดของฟลาวัวร์ และการตัดแปรด้วยวิธีต่างๆ เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า ฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพรี้าที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาดของอนุภาค ด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer หรือ RVA เพื่อติดตามการเปลี่ยนแปลงความหนืดของน้ำแป้งตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงในตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า ฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด และสตาร์ชถั่วพรี้า

ค่าที่ได้จากเครื่อง RVA	ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า	ฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด	สตาร์ชถั่วพรี้า
Peak viscosity (RVU)	15.8 ± 0.0	12.4 ± 0.2	250.3 ± 0.8
Trough (RVU)	5.4 ± 0.1	1.6 ± 0.1	179.2 ± 1.3
Breakdown (RVU)	10.4 ± 0.1	10.8 ± 0.3	71.1 ± 0.5
Final Viscosity (RVU)	7.4 ± 0.1	3.3 ± 0.3	360.8 ± 1.8
Setback (RVU)	2.0 ± 0.0	1.7 ± 0.2	181.6 ± 0.5
Pasting temperature (°C)	86.4 ± 0.0	84.1 ± 0.1	82.5 ± 0.1
Peak time (minute)	4.4 ± 0.0	4.2 ± 0.0	4.8 ± 0.0

จากการศึกษา พบว่าฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า และฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ดมีค่าอุณหภูมิสูงสุดในการเกิดเจลที่ในเซชันที่ใกล้เคียงกันเท่ากับ 86.4°C และ 84.0°C ค่า peak viscosity ซึ่งแสดงความหนืดสูงสุดที่เกิดขึ้นที่จุดที่เม็ดแป้งพองตัวเต็มที่ ซึ่งฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี้า (15.8 RVU) และฟลาวัวร์จากถั่วพรี้าทั้งเมล็ด (12.4 RVU) มีค่าต่ำกว่าสตาร์ชจากถั่วพรี้า (250.3 RVU) อย่างเห็นได้ชัด สอดคล้องกับการทดลองในข้อ 4.4.2 ที่พบว่าสตาร์ชมีกำลังการพองตัวที่สูงกว่า จึงส่งผลให้ค่าความหนืดสูงสุดมีค่าสูง เนื่องจากฟลาวัวร์มีปริมาณโปรตีน ไขมันที่สูงกว่าซึ่งอาจจะไปขัดขวางการ

พองตัวของเม็ดแป้ง อีกทั้งฟลาวร์มีปริมาณของสตาร์ชเป็นองค์ประกอบเพียง 33.6 และ 44.0% และอาจเกิดจากการที่ฟลาวร์ไม่ผ่านการแยกขนาดอนุภาค ซึ่งจะมีอนุภาคขนาดใหญ่และเล็กอยู่รวมกัน อนุภาคที่มีขนาดใหญ่จะดูดน้ำและเกิดเจลลิ่งในเซชันได้ไม่ดี จึงส่งผลให้มีความหนืดสูงสุดที่ต่ำ

สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ แสดงในตารางที่ 4.15 พบว่า อุณหภูมิเริ่มเปลี่ยนค่าความหนืดไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) เมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง ส่วนค่าความหนืดสูงสุด และค่า breakdown ของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง เช่นเดียวกับฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของอนุภาคเล็กลง เนื่องจากเมื่อฟลาวร์มีขนาดของอนุภาคเล็กลง ปริมาณโปรตีนและไขมันมีค่าลดลง ส่งผลให้กำลังการพองตัวสูงขึ้น ดังที่ได้แสดงผลในหัวข้อที่ 4.4.2 ส่วนค่า breakdown ของฟลาวร์ทั้งสองตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคเล็กลง อาจเกิดเนื่องจากการที่ฟลาวร์ที่ขนาดเล็กลงมีปริมาณสตาร์ชสูงขึ้น และมีองค์ประกอบอื่นลดลง องค์ประกอบอื่น เช่น ไขมัน โปรตีน และเส้นใย เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยทำให้เพสต์มีเสถียรภาพดีขึ้น กล่าวคือ มีความหนืดลดลงหรือค่า breakdown ลดลง เมื่อองค์ประกอบอื่นถูกกำจัดออกในขั้นตอนการร่อนให้ฟลาวร์มีขนาดอนุภาคเล็กลง จึงส่งผลให้ฟลาวร์มีค่า breakdown สูงขึ้น

ค่าการคืนตัวของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าและฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดมีความแตกต่างกันตามขนาดอนุภาค แต่ไม่มีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามขนาดอนุภาค ความแตกต่างของการคืนตัว หรือการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งมีอิทธิพลมาจากมาหลายปัจจัย เช่น ปริมาณแอมิโลส ความยาวของโมเลกุลแอมิโลส และการกระจายตัวของสายแอมิโลส (Mishra and Rai, 2006)

ตารางที่ 4.15 สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีและฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

	ค่าที่ได้จากเครื่อง RVA	Unclassified	300 μ m	150 μ m	125 μ m	75 μ m	45 μ m
ฟลาวัวร์จากเนื้อ	Peak viscosity (RVU)	15.8 ^e \pm 0.0	9.0 ^f \pm 0.1	22.7 ^c \pm 0.8	17.5 ^d \pm 0.7	28.0 ^b \pm 0.7	33.3 ^a \pm 0.6
เมล็ดถั่วพรี	Trough (RVU)	5.4 ^b \pm 0.1	3.7 ^{cd} \pm 0.1	4.0 ^c \pm 0.0	3.5 ^d \pm 0.0	5.6 ^b \pm 0.3	8.7 ^a \pm 0.1
	Breakdown (RVU)	10.4 ^e \pm 0.1	5.3 ^f \pm 0.2	18.7 ^c \pm 0.8	14.0 ^d \pm 0.7	22.7 ^b \pm 1.0	24.7 ^a \pm 0.7
	Final Viscosity (RVU)	7.4 ^c \pm 0.1	6.6 ^d \pm 0.2	6.0 ^d \pm 0.1	6.2 ^d \pm 0.6	8.2 ^b \pm 0.2	12.0 ^a \pm 0.2
	Setback (RVU)	2.0 ^c \pm 0.0	3.0 ^{ab} \pm 0.1	2.0 ^c \pm 0.1	2.7 ^{ab} \pm 0.6	2.6 ^{bc} \pm 0.1	3.3 ^a \pm 0.1
	Pasting temperature ($^{\circ}$ C) ^{NS}	86.4 \pm 0.0	86.9 \pm 0.7	86.0 \pm 0.5	86.5 \pm 0.0	86.5 \pm 0.1	86.1 \pm 0.5
	Peak time (minute) ^{NS}	4.4 \pm 0.1	4.4 \pm 0.1	4.4 \pm 0.1	4.4 \pm 0.1	4.5 \pm 0.0	4.4 \pm 0.1
	ฟลาวัวร์จากถั่วพรี	Peak viscosity (RVU)	12.4 ^d \pm 0.2	9.4 ^e \pm 0.0	16.8 ^c \pm 0.2	16.9 ^c \pm 0.6	21.0 ^b \pm 0.2
ทั้งเมล็ด	Trough (RVU)	1.6 ^b \pm 0.1	0.4 ^d \pm 0.1	1.1 ^c \pm 0.1	0.6 ^d \pm 0.1	1.7 ^b \pm 0.1	4.5 ^a \pm 0.0
	Breakdown (RVU)	10.8 ^d \pm 0.3	9.2 ^e \pm 0.1	15.7 ^c \pm 0.2	16.3 ^c \pm 0.7	19.3 ^b \pm 0.1	23.0 ^a \pm 0.4
	Final Viscosity (RVU)	3.3 ^b \pm 0.3	2.2 ^{de} \pm 0.2	2.5 ^{cd} \pm 0.2	1.9 ^{ab} \pm 0.0	2.7 ^e \pm 0.3	6.2 ^a \pm 0.1
	Setback (RVU)	1.7 ^a \pm 0.2	1.7 ^a \pm 0.0	1.4 ^b \pm 0.2	1.3 ^{bc} \pm 0.1	1.1 ^c \pm 0.2	1.7 ^a \pm 0.1
	Pasting temperature ($^{\circ}$ C) ^{NS}	84.1 \pm 0.1	84.1 \pm 0.0	84.1 \pm 0.0	84.4 \pm 0.7	84.4 \pm 0.7	84.4 \pm 0.6
	Peak time (minute) ^{NS}	4.2 ^{de} \pm 0.1	4.1 ^e \pm 0.0	4.2 ^{cd} \pm 0.0	4.3 ^{bc} \pm 0.0	4.3 ^{ab} \pm 0.0	4.4 ^a \pm 0.1

a, b, c, d, e, f หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในสดมภ์เดียวกันที่มีตัวอักษรกำกับต่างกันมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

^{NS} หมายถึง ค่าเฉลี่ยของข้อมูลในแถวไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพวามีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ โปรตีน ไขมัน เกล็ด และเส้นใยหยาบ ตามลำดับ และมีปริมาณแอมิโลสสูงถึงร้อยละ 33.9 ของสตาร์ช ฟลาวัวร์จากถั่วพวาทั้งเมล็ดมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบหลัก รองลงมาคือ โปรตีน เส้นใยหยาบ ไขมัน และเกล็ด ตามลำดับ และมีปริมาณแอมิโลสร้อยละ 23.6 ของสตาร์ช เปลือกแข็งมีปริมาณเส้นใยหยาบเป็นองค์ประกอบหลัก (55.0%) ทำให้มีค่าความสามารถในการจับน้ำที่สูงกว่า กำลังการพองตัวที่สูงกว่า และมีความสามารถในการจับน้ำมันได้ต่ำกว่า ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดในเนื้อเมล็ดมีค่าสูงกว่าในส่วนของเปลือกแข็ง ปริมาณกรดอะมิโนในฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดจะมีค่าสูงกว่าฟลาวัวร์ที่มีเปลือกแข็งเป็นองค์ประกอบ โดยตามธรรมชาติฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพวามีสีเหลืองนวล เปลือกแข็งจะมีสีขาว ส่วนหัวเมล็ดจะมีสีน้ำตาล ส่งผลให้ค่าความสว่างในส่วนเปลือกแข็งน้อยกว่า เมื่อศึกษาสมบัติด้านการเกิดเพสต์ พบว่า ฟลาวัวร์มีอุณหภูมิเริ่มเกิดความร้อนค่อนข้างสูงถึง 86.4 และ 84.0°C มีความคงทนต่อแรงเฉือนและความร้อนได้ปานกลาง มีค่าความหนืดสูงสุดปานกลาง และค่าการคืนตัวค่อนข้างต่ำ มีค่า ΔH เท่ากับ 3.58 และ 3.15 J/g_{sample} ฟลาวัวร์จากถั่วพวาทั้งเมล็ดมีค่าอุณหภูมิของการเกิดเจลลาทีในเซชันสูงกว่า และมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยของเอนไซม์ (RS₂, RS₃) ที่ต่ำกว่าฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพวาทั้ง

เมื่อแยกขนาดของอนุภาคออกเป็น 5 ขนาด ซึ่งใช้วิธีแยกโดยการร่อนผ่านตะแกรงขนาด 50 100 120 200 และ 325 mesh ฟลาวัวร์ที่ได้มีขนาดเฉลี่ยต่างกัน มีค่าสีแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ขนาดอนุภาคของฟลาวัวร์มีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพ และสมบัติเชิงหน้าที่ โดยปริมาณโปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบ เกล็ด และปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดมีแนวโน้มลดลงตามขนาดของอนุภาคที่เล็กลง ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและปริมาณแอมิโลสมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดของอนุภาคที่เล็กลง ในส่วนของเปลือกแข็งพบว่าปริมาณโปรตีน ไขมัน เกล็ด และคาร์โบไฮเดรตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามขนาดอนุภาคที่เล็กลง และปริมาณเส้นใยหยาบมีแนวโน้มลดลงตามขนาดของอนุภาคที่เล็กลง ปริมาณ RS₂ และ RS₃ กำลังการพองตัว การละลาย และสมบัติด้านการเกิดเพสต์ ได้แก่ peak viscosity, final viscosity, setback และสมบัติด้านความร้อน ได้แก่ ΔH เมื่อ

ร่อนฟลาวัวร์ผ่านตะแกรงขนาด 45 ไมครอน (325 mesh) มีค่าสูงสุด และตัวอย่างดังกล่าวยังมีความสามารถในการจับน้ำและความสามารถในการจับน้ำมันต่ำที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมอาหาร จะผลิตอาหารที่มีปริมาณเส้นใยเป็นส่วนประกอบมากขึ้น หรือนิยมใช้สตาร์ชที่ทนต่อการย่อยเป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์แทนการใช้เส้นใยจากแหล่งอื่น เนื่องจากไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางด้านรสชาติ และไม่ทำให้เนื้อสัมผัสของอาหารมีลักษณะหยาบ เปลือกแข็งของถั่วพวามีปริมาณเส้นใยหยาบสูงถึง 55.0% และมีคาร์โบไฮเดรตซึ่งคาดว่าเป็นเส้นใยที่ละลายน้ำได้สูงถึง 36.2% เมื่อผลิตฟลาวัวร์จากถั่วพวามีโดยไม่แยกเปลือกแข็ง ออก พบว่า ได้ฟลาวัวร์ที่มีเส้นใยหยาบสูงถึง 6.6% และมีคาร์โบไฮเดรต 56.3% ซึ่งแบ่งเป็นสตาร์ช 44.0% และองค์ประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่สตาร์ชอีก 12.3% และมีกรดอะมิโนที่จำเป็นครบทั้ง 8 ชนิด นอกจากนี้ฟลาวัวร์จากถั่วพวาทังเมล็ด ยังมีปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยของเอนไซม์สูงถึง 10.4% จึงเห็นได้ว่าฟลาวัวร์จากถั่วพวาทังเมล็ดมีคุณค่าทางอาหารที่สูง สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์สุขภาพได้

การร่อนแยกขนาดอนุภาคฟลาวัวร์ด้วยตะแกรงร่อนเป็นวิธีที่ดีในการผลิตฟลาวัวร์ที่มีองค์ประกอบแตกต่างกัน โดยไม่ต้องพึ่งกรรมวิธีที่ใช้สารเคมี จากการวิจัยนี้ พบว่า ฟลาวัวร์ที่ร่อนผ่านตะแกรงที่มีรูเปิดขนาดใหญ่ มีองค์ประกอบจำพวก โปรตีน ไขมัน เส้นใยหยาบสูงกว่า แต่ฟลาวัวร์ที่ผ่านตะแกรงร่อนที่มีรูเปิดขนาดเล็กมีปริมาณสตาร์ชสูงกว่า โดยฟลาวัวร์ที่ได้แสดงสมบัติทางการเกิดเฟสส์ และสมบัติเชิงหน้าที่อื่นๆ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สามารถไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ตามความเหมาะสม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2550. เทคโนโลยีของแป้ง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 303 หน้า
- ประภำร์ พิศวงษ์. 2545. การใช้ถั่วพุ่ม (*Canavalia ensiformis* L.) เป็นพืชคลุมดินเพื่อลดการใช้สารกำจัดวัชพืชในไร่อ้อย (*Saccharum officinarum* L.). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาพืชไร่ ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- วิชญาดา ชัยศรีษะ. 2548. ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อรา Vesicular-arbuscular mycorrhiza (VAM) ในรากกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ได้รับและการเจริญเติบโตของถั่วพุ่ม (*Canavalia ensiformis*) และปอเทือง (*Crotalaria juncea*). วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพทางการเกษตร คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรพิน ภูมิภมร. 2533. เทคโนโลยีของแป้ง: เคมีของแป้งและเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์จากแป้งบางชนิดที่ผลิตในประเทศไทย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 212 หน้า.

ภาษาอังกฤษ

- AACC. Approved Methods of the AACC. 10th ed. St. Paul, Minnesota, USA : The American Association of Cereal Chemists, 2000.
- Agbede, J.O., and Aletor, V.A. 2005. Studies of the chemical composition and protein quality evaluation of differently processed *Canavalia ensiformis* and *Mucuna pruriens* seed flour. Journal of Food Composition and Analysis 18: 89-103.
- AOAC. 2005. Official Methods of Analysis, 17th ed. Washington, D. C.: The Association of Analytical Chemists.
- Adebowale, K. O., and Lawal, O. S. 2004. Comparative study of the functional properties of bambara groundnut (*Voandzeia subterranean*), jack bean (*Canavalia ensiformis*) and mucuna bean (*Mucuna pruriens*) flours. Food Research International 37: 355-365.

- Adebooye, O. C., and Singh, V. 2008. Physico-chemical properties of the flours and starches of two cowpea varieties (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). Innovative Food Science and Emerging Technologies 9: 92-100.
- Amarowicz, R., and Pegg, R. B. 2008. Legumes as a source of natural antioxidants. European Journal of Lipid Science and Technology 110: 865-878.
- Ancona, D. B., Mercado, G. P., Ordonez, Y. M., and Blanco, S. F. 2004. Physicochemical characterization of lima bean (*Phaseolus lunatus*) and Jack bean (*Canavalia ensiformis*) fibrous residues. Food Chemistry 84: 287-295.
- Barichello, V., Yada, R. Y., Coffin, R. H., and Stanley, D. W. 1990. Low temperature sweetening in susceptible and resistant potatoes: starch structure and composition. Journal of Food Science 54: 1054-1059.
- Blazek, J., and Gilbert, E. P. 2011. Application of small-angle X-ray and neutron scattering techniques to the characterisation of starch structure: A review. Carbohydrate Polymers 85: 281-293.
- Bolade, M. K., Adeyemi, I. A., and Ogunsua, A. O. 2009. Influence of particle size fractions on the physicochemical properties of maize flour and textural characteristics of a maize-based nonfermented food gel. International Journal of Food Science and Technology 44: 646-655.
- Bowers, J. 1992. Food Theory and Applications. New York: Maccillion.
- Buleon, A., Colonna, P., Planchot, V., and Ball, S. 1998. Starch granules: structure and biosynthesis. International Journal of Biological Macromolecules 23: 85-112.
- Bravo, L., Siddhuraju, P., and Suara-Calixto, F. 1999. Composition of underexploited Indian pulses. Comparison with Common legumes. Food Chemistry 64: 185-192.
- Chen, Z., Schols, H. A., and Voragen, A. G. J. 2003. Starch granule sizes strongly determines starch noodle processing and noodle quality. Journal of Food Science 68 (5): 1584-1589.
- Chung, H. J., Liu, Q., Pauls, K. P., Fan, M. Z., and Yada, R. 2008. In vitro starch

- digestibility, expected glycemic index and some physicochemical properties of starch and flour from common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Canada. Food Research International 41: 869-875.
- Diaz-Batalla, L., Widholm, J.M., Fahey, G.C., Castano-Tostado, E., and Paredes-Lopez, O. 2006. Chemical components with health implications in wild and cultivated Mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). Journal Agricultural and Food Chemistry 54: 2045-2052.
- Eskin, N. A. M. 1990. Biochemistry of Food, 2nd ed. San Diego: Academic Press.
- Harborne, J. B. 1980. Plant phenolics. In E. Bell, and B. Charlwood (Eds.), Encyclopedia of Plant Physiology 8: 329-402. Berlin: Springer-Verlag.
- Heim, K. E., Tagliaferro, A. R., and Bobilya, D. J. 2002. Flavonoild antioxidant: chemistry, metabolism and structure-activity relationships. Journal of Nutritional Biochemistry 13: 572-584.
- Huang, J., Schols, H.A., Jin, Z., Sulmann, E., and Voragen, A.G. 2007. Characterization of differently sized granule fractions of yellow pea, cowpea and chickpea starches after modification with acetic anhydride and vinyl acetate. Carbohydrate Polymers 67: 11-20.
- Hu, G., Burton, C., and Yang, C. 2010. Efficient measurement of amylose content in cereal grains. Journal of Cereal Science 51: 35-40.
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPhetson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., and Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylase content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chemistry 76 (5): 629-637.
- Juliano, B.O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. Cereal Science Today 16 (10): 334-360.
- Kim, Y. S., Wiesenborn, D. P., Orr, P. H., and Grant, L. A. 1995. Screening potato starch for novel properties using differential scanning calorimetry. Journal of Food Science 60 (5): 1060-1065.
- Lawal, O.S., and Adebowale, K.O. 2005. Physicochemical characteristics and thermal

- properties of chemically modified jack bean (*Canavalia ensiformis*) starch. Carbohydrate polymer 60: 331-341.
- Lawal, O. S., Lapasin, R., Bellich, B., Olayiwola, T. O., Cesàro, A., Yoshimura, M., and Nishinari, K. 2011. Rheology and functional properties of starches isolated from five improved rice varieties from West Africa. Food Hydrocolloids 25: 1785-1792.
- Leach, H. W., McCowen, L. D., and Schoch, T. J. 1959. Structure of the starch granule. I. Swelling and Solubility pattern of various starches. Cereal Chemistry 36: 534-544.
- Lindeboom, N., Chang, P. R., and Tyler, R. T. 2004. Analytical, biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with emphasis on small granule starches: a review. Starch/Stärke 56: 89-99.
- Martin-Cabrejas, M. A., Diaz, M. F., Aguilera, Y., Benitez, V., Molla, E. and Esteban, R. M. 2008. Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non-conventional legumes. Food Chemistry 107: 1045-1052.
- Medcalf, D.G., and Gilles, K.A. 1965. Wheat starches I. Comparison of physicochemical aspects of starch granule with emphasis on small granule starches: a review. Starch/Stärke 56: 89-99.
- Mishra, S., and Rai, T. 2006. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. Food Hydrocolloids 20: 557-566.
- Newport scientific. 2007. Rapid Visco Analyzer series 4 (RVA-4) installation and operation manual. (n.p.).
- Norbert, U. H., Mintus, T., and Detmold, D. W. 1995. Viscosity measurement of potato starch paste with Rapid Visco Analyzer. Starch/Stärke 47: 123-126.
- Nwokolo, E., and Smartt, J. 1996. Food and Feed from Legumes and Oilseeds. Boundary Row, London: Chapman & Hall.
- Oates, C. G. 1997. Towards and understanding of starch granule structure and hydrolysis. Trends in Food Science and Technology 8 : 375-382.
- Pietta, P. G. 2000. Flavonoids as antioxidants. Journal of Natural Products 63: 1035-1042.

- Ratnayake, W. S., and Jackson, D. S. 2008. Starch Gelatinization. Advances in Food and Nutrition Research 55: 221-268.
- Sajilata, M. G., Singhal, R. S., and Kulkarni, P. R. 2006. Resistant Starch-A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 5: 1-17.
- Shahidi, F., and Naczk, M. 1951. Phenolics in Food and Nutraceuticals. CRC Press, London.
- Sridhar, K.R., and Seena, S. 2006. Nutritional and antinutritional significance of four unconventional legumes of the genus *Canavalia* – A comparative study. Food Chemistry 99: 267-288.
- Tang, H., Ando, H., Watanabe, K., Takeda, Y., and Mitsunaga, T. 2001. Physicochemical properties and structure of large, medium and small granule starches in fractions of normal barley endosperms. Carbohydrate Polymers 330: 241-248.
- Tang, H., Watanabe, K., and Mitsunaga, T. 2002. Structure and functionality of large, medium, and small granule starches in normal and waxy barley endosperms. Carbohydrate Polymers 49(2): 217-224.
- Vargas-Torres, A., Osorio-Díaz, P., Tovar, J., Paredes-López, O., Ruales, J., and Bello-Pérez, L. A. 2004. Chemical Composition, Starch Bioavailability and Indigestible fraction of Common Beans (*Phaseolus Vulgaris* L.). Starch/Stärke 56: 74-78.
- Vermerris, W., and Nicholson, R. L. 2006. Phenolic Compound Biochemistry. Dordrecht: Springer.
- Waigh, T. A., Jenkins, P. J., and Donald, A. M. 1996. Quantification of water in carbohydrate lamellae using SANS. Faraday Discussions 103: 325-337.
- Wang, L. and Flores, R. A. 2000. Effects of flour Particle Size on the Textural Properties of Flour Tortillas. Journal of Cereal Science 31: 263-272.
- Waterhouse, A. 2005. Unit I1.1: Determination of total phenolics. In R. E. Wrolstad, T. E.

- Acree, E. A. Decker, M. H. Penner, D. S. Reid, S. J. Schwartz, C. F. Shoemaker, D. Smith, and P. Sporns (Eds.), Handbook of Food Analytical Chemistry V.2, pp. 463-470. New Jersey: John Wiley and Sons.
- Waterman, P. G., and Mole, S. 1994. Analysis of Phenolics Plant Metabolites. London: Blackwell Scientific Publication.
- Zhao, H., Kwak, J. H., Zhang, Z. C., Brown, H. M., Arey, B. W., and Holladay, J. E. 2007. Studying cellulose fiber structure by SEM, XRD, NMR and acid hydrolysis. Carbohydrate Polymers 68: 235-241.
- Zobel, H. F. 1964. X-ray analysis of granular starches. In R. L. Whistler, R. L., Smith, J. N. Bemiller, and M. L. Wolform (eds.) Methods in Carbohydrate Chemistry, Vol. IV. New York: Academic Press, pp. 109.
- Zobel, H. F. 1988. Starch crystal transformations and their industrial importance. Starch/Stärke 40: 1-7.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น ตามวิธี AOAC (2005) หัวข้อที่ 32.1.03

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Mettert รุ่น W350, Germany)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)
4. โถดูดความชื้น

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมที่อบแห้ง และทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างเข้าอบที่อุณหภูมิ $130 \pm 3^{\circ}\text{C}$ โดยเปิดฝาไว้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจน น้ำหนักคงที่
3. ปิดฝาภาชนะในขณะที่ตัวอย่างอยู่ในตู้อบ แล้วทิ้งให้เย็นจนถึงอุณหภูมิห้องในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนักที่แน่นอน
4. คำนวณปริมาณความชื้นตามสมการ

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

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ตามวิธี AOAC (2005) หัวข้อที่ 32.1.22

อุปกรณ์

1. Buchi digestion unit (รุ่น K-424, Switzerland)
2. Buchi scrubber (รุ่น B-414, Switzerland)
3. เครื่องกลั่นหาปริมาณไนโตรเจน (VELP scientific รุ่น UDK 127, USA)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

สารเคมี

1. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น (A.R. grade)
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 0.5M
3. สารละลายมาตรฐานโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 0.1M
4. สารละลายกรดบอริก (A.R. grade) ความเข้มข้น 4%
5. สารเร่งปฏิกิริยา (selenium reagent mixture) (A.R. grade)
6. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น (A.R. grade) 45% (w/v)
7. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมได้จากการละลายเมธิลเรด 1 กรัม ในเมทานอล 100 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 0.25-1 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ใส่ในหลอด Kjeldahl
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยาประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟิวริกเข้มข้นประมาณ 20 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่อง Buchi Digestion Unit โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 แล้วปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอน้ำ (scrubber) ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีน้ำตาลใส และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. เทสารละลายกรดบอริกปริมาณ 50 มิลลิลิตร ลงในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด นำไปต่อเข้ากับปลายคอนเดนเซอร์ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น นำสายสีดำของเครื่องกลั่นจุ่มลงในภาชนะบรรจุน้ำกลั่น ส่วนสายสีขาวจุ่มลงในภาชนะที่บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตั้งโปรแกรม distillation ดังนี้

NaOH	70	มิลลิลิตร
Time	8	นาที
6. ในระหว่างการกลั่นจะเกิดแอมโมเนียขึ้น และจะถูกจับไว้ด้วยสารละลายกรดบอริกในพลาสติก เมื่อครบกำหนดเวลาจะได้สารละลายสีเขียว
7. ล้างส่วนปลายของคอนเดนเซอร์ด้วยน้ำกลั่น ใสลงในพลาสติกที่รองรับสารที่กลั่นได้
8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในพลาสติกมาทำการไทเทรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานความเข้มข้น 0.5M จนถึงจุดยุติ (end point) สารละลายเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง

9. ทำแบลงค์โดยเติมน้ำกลั่นปริมาตร 2 มิลลิลิตร แทนตัวอย่าง และวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่าง

10. คำนวณหาปริมาณโปรตีนตามสมการ

$$\text{ปริมาณไนโตรเจน (\%)} = \frac{(V_a - V_b) \times N \times 1.4}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

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

เมื่อ V คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่าง

B คือ ปริมาตรของสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการไทเทรต blank

N คือ ความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ตามวิธี AOAC (2005) หัวข้อที่ 32.1.13

อุปกรณ์

1. Soxhlet (Gerhardt รุ่น HC61, Germany)
2. เครื่อง evaporator (Eyela รุ่น SB-651, Japan)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้ง และทราบน้ำหนักที่แน่นอน 2 กรัม ห่อด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 ใส่ใน thimble
2. ใส่ thimble ซึ่งมีตัวอย่างบรรจุอยู่ในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
3. เติม petroleum ether ซึ่งใช้เป็นตัวสกัดปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด
4. สกัดไขมันเป็นเวลา 3-4 ชั่วโมง โดยปรับความร้อนให้หยดของตัวทำละลายกลั่นจากคอนเดนเซอร์มีอัตรา 300-360 หยดต่อนาที
5. ระเหยส่วนของ petroleum ether ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบขวดสกัดที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 30 นาที หรือจนน้ำหนักคงที่
6. ทำให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด

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

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ ตามวิธี AOAC (2005) หัวข้อที่ 32.1.15

อุปกรณ์

1. crucible
2. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น W350, Germany)
3. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)
5. โถดูดความชื้น

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟิวริก (A.R. grade)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (A.R. grade) ความเข้มข้น 1.25% (w/v)
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%

วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำร้อน
3. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย bucher funnel ที่รองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.1 โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิลิตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์กรด ตรวจสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส
4. นำกากมาย่อยด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำร้อน
5. กรองตัวอย่างที่ถูกย่อยด้วย bucher funnel ที่กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman No.42 ที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน โดยใช้ความดันสุญญากาศ 25 มิลลิลิตรปรอท ล้างกากด้วยน้ำร้อนจนหมดฤทธิ์ต่าง
6. ล้างกากที่ได้ด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร 2 ครั้ง
7. นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105°C จนน้ำหนักคงที่
8. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา
9. นำตัวอย่างใส่ใน crucible ที่ผ่านการเผา และทราบน้ำหนักที่แน่นอน

10. เผาตัวอย่างบน hot plate จนหมดควัน ก่อนนำเข้าเตาเผาที่ 550°C จนได้เถ้าเป็นสีขาว

11. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา นำมาคำนวณหาปริมาณเส้นใยหยาบ

$$\text{ปริมาณเส้นใยหยาบ} = \frac{[\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (กรัม)} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)}] \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้า ตามวิธี AOAC (2005) หัวข้อที่ 32.1.05

อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
2. crucible
3. Hot plate
4. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)
5. โถดูดความชื้น

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 3-5 กรัม ใส่ใน crucible ที่เผา และทราบน้ำหนักที่แน่นอน
2. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้ hot plate ในตู้ดูดควัน จนตัวอย่างหมดควัน
3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550°C จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว หรือจนน้ำหนักคงที่
4. ทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ดูดความชื้นเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้ และคำนวณหาปริมาณเถ้า

$$\text{ปริมาณเถ้า (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

ก.6 การวิเคราะห์ปริมาณคาร์โบไฮเดรต

วิธีการคำนวณ

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

ก.7 การวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด ใช้วิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Waterhouse (2005)

อุปกรณ์

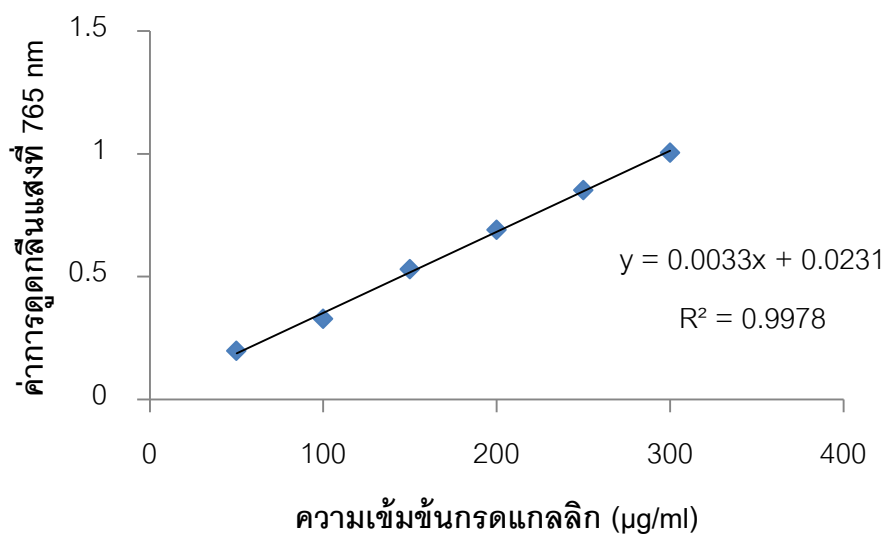
1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Thermo Spectronic รุ่น Genesys 10 UV, USA)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

วิธีทดลอง

1. ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 0.2 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง (สำหรับ blank ใช้น้ำกลั่นแทนตัวอย่าง)
2. เติมน้ำกลั่น 7.8 มิลลิลิตร แล้วปิเปตสารละลาย Folin-Ciocalteu เข้มข้น 2 นอร์มัล 0.5 มิลลิลิตร ลงในขวดกำหนดปริมาตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 4 นาที
3. เติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอิมิตัว 1.5 มิลลิลิตร เขย่าให้สารละลายเข้ากัน แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2 ชั่วโมง ในที่มืด
4. นำสารละลายไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร
5. นำผลของการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ได้เทียบกับกราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิก (รูปที่ ก.2) คำนวณหาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่มีในตัวอย่าง

การทำกราฟมาตรฐาน

1. ละลายกรดแกลลิก 0.5 กรัม ในเมทานอล 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น
2. ปิเปตสารละลายจากข้อ 1. มา 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น ซึ่งจะได้สารละลายกรดแกลลิกที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 50, 100, 150, 200, 250 และ 300 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามลำดับ นำแต่ละความเข้มข้นไปวิเคราะห์ปริมาณสารประกอบ ฟีนอลิกทั้งหมด เพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน รูปที่ ก.2



ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายกรดแกลลิกที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด

ก.8 การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส ดัดแปลงจากวิธีของ Juliano (1971)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Thermo Spectronic รุ่น Genesys 10 UV, USA)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

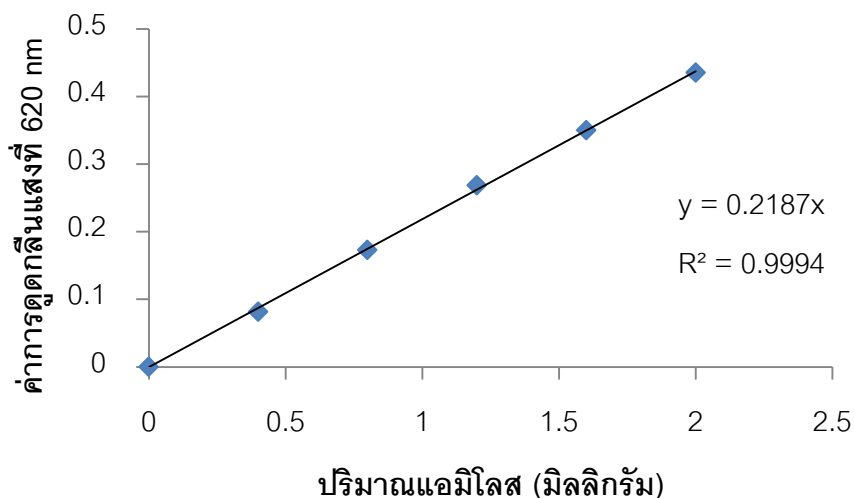
สารเคมี

1. แอมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (Amylose type III: from potato) (บริษัท Sigma-ALDRICH, Germany)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 N
3. เอทิลแอลกอฮอล์ 95%
4. สารละลายกรดแอสิติกความเข้มข้น 1 N
5. สารละลายไอโอดีน เตรียมสารละลายไอโอดีน 0.20 กรัม และโพแทสเซียมไอโอไดด์ 2.00 กรัม ปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น

วิธีทดลอง

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งแอมโมเนียมไนเตรตจากมันฝรั่งน้ำหนักที่แน่นอน 0.04 กรัม ใส่ในพลาสติกขนาด 50 มิลลิเมตร เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิเมตร และสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1N ปริมาตร 9 มิลลิเมตร เขย่าให้เข้ากัน
2. เตรียม blank โดยเติมสารละลายไซเตียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิเมตร และเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิเมตร ลงในพลาสติก 50 มิลลิเมตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ให้ความร้อนกับสารละลายในข้อ 1 และ 2 ในอ่างน้ำเดือด 5-10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะสารละลายแอมโมเนียมไนเตรตลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิเมตร (ใช้น้ำกลั่นชะสารละลายแอมโมเนียมไนเตรตออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิเมตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 ปริมาตร 1, 2, 3, 4 และ 5 มิลลิเมตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิเมตร 5 ขวด
6. ปิเปตสารละลายกรดแอสติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 มิลลิเมตร ลงในขวดวัดปริมาตรทั้ง 5 ใบ ตามลำดับ
7. เติมสารละลายไฮโอดีน 2 มิลลิเมตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิเมตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
8. ชะ blank ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิเมตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นปิเปตสารละลายมา 5 มิลลิเมตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิเมตร เติมสารละลายกรดแอสติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิเมตร และสารละลายไฮโอดีน 2 มิลลิเมตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิเมตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
10. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณแอมโมเนียมไนเตรต ดังรูปที่ ก.1



ภาพที่ ก.2 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมมิโลส

การวิเคราะห์ปริมาณแอมมิโลส

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างประมาณ 100 มิลลิกรัม ลงในพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมเอทิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5-10 นาที และตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะน้ำแป้งลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร ใช้น้ำกลั่นชะน้ำแป้งออกมาให้ได้มากที่สุด ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดแอสติกความเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
7. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปอ่านค่าจากกราฟมาตรฐาน แล้วคำนวณหาปริมาณแอมมิโลส ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ปริมาณแอมมิโลส (\% กรัมตัวอย่าง)} = \frac{\text{ค่าที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน (กรัม)} \times 100 \times 20}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่าง}}$$

$$\text{ปริมาณแอมมิโลส (\% กรัมสตาร์ช)} = \frac{\text{ปริมาณแอมมิโลส (\% กรัมตัวอย่าง)} \times 100}{\text{ปริมาณสตาร์ช}}$$

ก.9 การวิเคราะห์หาปริมาณสตาร์ช ตามวิธีของ AOAC (2005) หัวข้อที่ 25.1.11

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างประมาณ 5 กรัม ใส่ในน้ำเย็นปริมาตร 50 มิลลิลิตร คนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
 2. กรองตัวอย่าง และล้างด้วยน้ำเย็นปริมาตร 250 มิลลิลิตร
 3. นำตะกอนไปให้ความร้อนเป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง โดยเติมน้ำปริมาตร 250 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริก 20 มิลลิลิตร
 4. ทิ้งให้เย็น และปรับให้เป็นกลางโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ วัดด้วยกระดาษลิตมัส
 5. เทสารละลายลงขวดปรับปริมาตรขนาด 250 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปกรอง วัดปริมาณกลูโคสที่ได้จากสารละลายที่กรองแล้ว
 6. ตวงสารละลายที่ได้ปริมาณ 50 มิลลิลิตร เติมคอปเปอร์ซัลเฟตปริมาตร 25 มิลลิลิตร และอัลคาไลน์ทาร์เทรตปริมาตร 25 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนเริ่มเดือดเป็นเวลา 6 นาที
 7. กรองสารละลายที่ได้ ล้างด้วยน้ำ และชั่งน้ำหนัก
 8. ทำแบลงค์ โดยใช้ 50 มิลลิลิตร ของ reagent และ น้ำปริมาตร 50 มิลลิลิตร
6. คำนวณปริมาณสตาร์ชได้จากสูตรดังนี้

$$\text{ปริมาณสตาร์ช} = \text{น้ำหนักของกลูโคสที่ได้} \times 0.925$$

ก.10 ปริมาณ Resistant starch ตามวิธีของ AOAC (2005) และ AACC (2000)

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, USA)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
3. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer, Thermo Spectronic รุ่น Genesys 10 UV, USA)
4. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Bath circulator with water bath, Thermo Scientific รุ่น NESLAB EX 10, USA)

วิธีเตรียมตัวอย่าง RS₂

1. ใช้ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า และฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด ที่ผ่านการไม่แห้ง และร่อนแยกขนาดแล้ว ไปทำการวิเคราะห์

วิธีเตรียมตัวอย่าง RS₃ ดัดแปลงจากวิธีของ Vasanthan และ Bhatta (1998)

1. เตรียมสารละลายฟลาวัวร์ความเข้มข้น 10% w/v
2. ให้ความร้อนในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิเป็นเวลา 30 นาที
3. นำตัวอย่างเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 5 วัน
4. ทำแห้ง retrograded starch โดย homogenization ตัวอย่างในแอทานอลความเข้มข้น 80%
5. กรองตัวอย่าง และนำไปทำแห้งที่อุณหภูมิ 40°C ซ้ำมคี่น และนำตัวอย่างไปบดละเอียด

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 0.1 กรัม น้ำหนักที่แน่นอน ใส่ลงในหลอดทดลองฝาเกลียว
2. เติม Pancreatic α -amylase ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ปิดฝาให้แน่น ผสมให้เข้ากันด้วย vortex
3. วางลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 37°C แรงเขย่า 200 stroke/min เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
4. เติม ethanol 99% ปริมาตร 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex
5. นำไป centrifuge ที่ 1500×g เป็นเวลา 10 นาที
6. เทส่วนใสออก จากนั้นเติม ethanol 50% ปริมาตร 8 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันด้วย vortex นำไป centrifuge ที่ 1500×g เป็นเวลา 10 นาที
7. ทำซ้ำข้อ 6 มากกว่า 1 ครั้ง
8. ใส่หลอดตัวอย่างในอ่างน้ำแข็ง และวางลงบน magnetic stirrer ใส่ magnetic stirrer bar และ 2M KOH ปริมาตร 2 มิลลิลิตร stirring ประมาณ 20 นาที
9. เติม 1.2M Sodium acetate buffer ปริมาตร 8 มิลลิลิตร และเติม Amyloglucosidase ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตรทันที ผสมให้เข้ากัน และวางลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50°C เป็นเวลา 30 นาที และเอามาผสมด้วย vortex ทุกๆ 5 นาที
10. นำไป centrifuge ที่ 1500×g เป็นเวลา 10 นาที
11. ดูดส่วนใสปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ลงหลอดทดลอง เติม GOPOD reagent ปริมาตร 3 มิลลิลิตร วางลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 50°C เป็นเวลา 20 นาที
12. นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 517 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
13. คำนวณหาปริมาณ resistant starch (g/100g sample) ดังนี้

$$\% \text{ Resistant starch} = \Delta E \times F/W \times 9.27$$

เมื่อ	ΔE	คือ ค่าการดูดกลืนแสงเปรียบเทียบกับ blank
	F	คือ ค่าการดูดกลืนแสงของ D-glucose
	W	คือ น้ำหนักตัวอย่างแห้ง

ก.11 การวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนโดยเทคนิค High Performance Liquid Chromatography (HPLC)

อุปกรณ์

1. เครื่อง High Performance Liquid Chromatography (LC10A, Shimadzu, Japan)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่าง 20.8 มิลลิกรัม เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4.2 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร
2. ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
3. ทำให้เป็นกลางด้วยไฮโดรคลอริก และทำให้เย็น
4. ปรับปริมาตรเป็น 10 มิลลิลิตร (pH 4.25) และกรอง
5. นำตัวอย่างที่ได้มาวิเคราะห์กรดอะมิโนด้วยเครื่อง HPLC โดยใช้คอลัมน์ Shim-pack ISC-07/S1504 Na ควบคุมอุณหภูมิของคอลัมน์ที่ 40 องศาเซลเซียส ปริมาตรของสารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์เท่ากับ 25 ไมโครลิตร สำหรับเฟสเคลื่อนที่ (mobile phase) ที่ใช้เป็น sodium type mobile phase kit สำหรับวิเคราะห์กรดอะมิโน โดยควบคุมโปรแกรมให้เป็นแบบ gradient และมีอัตราการไหลเท่ากับ 0.3 มิลลิลิตรต่อนาที

ก.12 การวัดค่าสี (L*, a*, b*) โดยใช้เครื่อง Chroma meter

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดสี (Minolta Chroma Meter รุ่น CR 300 series, Japan)

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 15 นาที แล้ว calibrate เครื่องวัดสี
2. ตั้งเครื่องให้วัดค่า L* ความสว่าง a* (ค่าสีแดง) b* (ค่าสีเหลือง) วัดค่าสีของตัวอย่าง โดยนำหัววัดไปสัมผัสกับตัวอย่างที่บรรจุอยู่ในภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่าง

ก.13 ลักษณะรูปร่าง และพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชโดยใช้ Scanning Electron Microscope (SEM) (ตามวิธีการวิเคราะห์ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รุ่น JSM-6400, Japan)
2. เครื่องฉาบทอง (ion sputter) (Balzers Union รุ่น SCD 040, Liechtenstein)

วิธีทดลอง

1. นำ stab ติดด้วยเทปกาวยสองหน้า จากนั้นนำตัวอย่างใส่ลงบน stab และเคาะส่วนแป้งที่เกินออก
2. ฉาบด้วยทองคำประมาณ 20-30 มิลลิเมตร ด้วยเครื่อง ion sputter โดยใช้เทคนิค Hammer V Sputter Coater
3. บันทึกภาพโครงสร้างของตัวอย่างด้วย SEM ความดันที่ 15 KV ใช้กำลังขยาย 500 และ 1000 เท่า
4. วิเคราะห์ลักษณะรูปร่าง และพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชจากภาพที่บันทึกได้

ก.14 ลักษณะ birefringence โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Microscope)

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์ (Olympus รุ่น CH30RF200, Japan)
2. แผ่นฟิล์มโพลาไรซ์
3. อุปกรณ์ถ่ายภาพแบบดิจิทัล

วิธีทดลอง

1. เตรียมสารละลายกลีเซอริน และน้ำในอัตราส่วน 1:1
2. นำตัวอย่างสตาร์ชมาเกลี่ยบนแผ่นสไลด์ และเคาะส่วนเกินออก
3. หยดสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 1 ประมาณ 1-2 หยด
4. ปรับระยะภาพโฟกัสของกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยายต่ำสุด 10 เท่า ปรับความคมชัดของภาพให้เห็นภาพชัดเจนที่สุด จากนั้นเปลี่ยนกำลังขยายให้สูงขึ้นเป็น 40 เท่า
5. ปรับเลนส์สไลด์ให้ได้องค์ประกอบของภาพที่ต้องการ และปรับความคมชัดของภาพ

6. ตั้งระบบการทำงานของอุปกรณ์ถ่ายภาพเป็นแบบอัตโนมัติ
7. นำฟิล์มโพลาไรซ์วางปิดบนแหล่งกำเนิดแสงของกล้องจุลทรรศน์ และนำแผ่นฟิล์มอีก 1 แผ่นใส่ลงไปในห้องสำหรับใส่ฟิล์มโพลาไรซ์
8. หมุนแผ่นฟิล์มโพลาไรซ์ที่ตำแหน่งตรงแหล่งกำเนิดแสงของกล้องจุลทรรศน์ ให้สีของพื้นภาพเป็นสีดำ เพื่อให้มองเห็นลักษณะของ birefringence
9. ปรับความคมชัดของภาพ จากนั้นถ่ายภาพ birefringence ภายใต้แสงโพลาไรซ์ ที่เกิดจากแผ่นฟิล์มโพลาไรซ์

ก.15 การศึกษาโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ช และวิเคราะห์รูปแบบโดยใช้เครื่อง Wide Angle X-ray Diffractometer ดัดแปลงจากวิธีของ Zobel (1964a)

อุปกรณ์

เครื่อง Wide Angle X-ray Diffractometer (Bruker รุ่น D8-Discover, Germany)

วิธีทดลอง

1. นำตัวอย่างสตาร์ชโรยบน sample plate แล้วกด sample plate ให้เม็ดสตาร์ชเรียงตัวอัดกันแน่น
2. นำ sample plate ใส่เข้าเครื่อง Wide Angle X-ray Diffractometer ที่ช่อง sample holder แล้วเปิดเครื่องทิ้งไว้อย่างน้อย 15 นาที
3. วัดค่าในช่วงมุมที่ต้องการ โดยใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมสถานะ โดยมีรายละเอียดดังนี้

Target	:	Cu
Voltage	:	40 kV
Current	:	40 mA
Start Angle	:	5 degree
Stop Angle	:	40 degree
Increment	:	0.02 degree/step
Scan speed	:	0.5 sec/step
Detector	:	VANTEC-1 Detector (Super speed detector)

4. วิเคราะห์ X-ray Diffraction pattern โดยเทียบค่า 2θ , d-spacing และ Intensity ที่ได้รับลักษณะโครงสร้างผลึกของสตาร์ชที่เป็น pattern มาตรฐาน ดังตารางที่ ก.1

5. คำนวณหาค่า degree of crystallinity ดังนี้

$$\text{Degree of crystallinity (\%)} = \frac{A_c \times 100}{A_t}$$

เมื่อ A_c คือ พื้นที่ใต้กราฟของส่วนผลึก (พื้นที่ใต้พีค)

A_t คือ พื้นที่ใต้กราฟทั้งหมดที่วัดจาก base line

ตารางที่ ก.1 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่เป็นแบบ A, B และ C

Starch X-ray diffraction								
A type			B type			C type		
d-spacing	Intensity*	2θ	d-spacing	Intensity*	2θ	d-spacing	Intensity*	2θ
A°			A°			A°		
8.72	w-	10.1	15.80	M	5.59	15.40	w	5.73
7.70	w-	11.5	8.90	w-	9.93	8.82	w-	10.0
5.78	s	15.3	7.84	w-	11.1	7.65	w-	11.5
5.17	s	17.1	6.14	m	11.4	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 (+)

ที่มา: Zobel (1964)

ก.16 การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายอนุภาคด้วยเครื่อง Multi-wavelength Particle Size Analyzer with Tornado (Dry powder Module) System ตามวิธีของ Beckman Coulter

อุปกรณ์

เครื่อง Multi-wavelength Particle Size Analyzer with Tornado (Dry powder Module) System (Beckman Coulter รุ่น LS 13 320, USA)

วิธีการทดลอง

1. เปิดเครื่องทิ้งไว้ 15 นาที
2. เตรียมตัวอย่างประมาณ 2-5 กรัม ใส่ลงในภาชนะสำหรับบรรจุตัวอย่าง และประกอบเข้ากับตัวเครื่อง
3. ประมวลผลโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์หาขนาดของอนุภาคที่มีมากที่สุด และสร้างกราฟกระจายตัวของขนาดอนุภาค

ก.17 การวิเคราะห์สมบัติการเกิดเจลาตินในเซชันด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter (DSC) ดัดแปลงจากวิธีของ Kim และคณะ (1995)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Netzsch รุ่น 204 F1 Phoenix, Germany)
2. เครื่องมือสำหรับปิดผนึก DSC pan (climber)
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 6 ตำแหน่ง รุ่น (Ohaus รุ่น Explorer, Switzerland)

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่อง DSC ทิ้งไว้ประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่ออุ่นเครื่อง
2. ชั่งตัวอย่างที่ทราบความชื้นประมาณ 3 มิลลิกรัม ใส่ลงใน volatile aluminum pan หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นลงใน pan ปริมาตร 10 ไมโครลิตร
3. ปิดผนึกฝา pan ให้สนิทด้วยเครื่องปิดผนึก เก็บ pan ไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้ความชื้นตัวอย่างภายใน pan เข้าสู่ภาวะสมดุล

4. นำ pan ใส่ในช่องใส่ตัวอย่างของเครื่อง DSC และวาง Reference pan (panเปล่า) ให้เครื่อง scan ที่ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30 ถึง 95 °C ด้วยอัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที และใช้ indium ในการ calibrate

5. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์โดยใช้ระบบ auto calculation และบันทึกค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเกิดการเกิดเจลลาทีโนเซชัน ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (onset temperature, T_o หน่วย °C) อุณหภูมิที่จุดสูงสุดของเอนโดเทอร์ม (peak temperature, T_p หน่วย °C) อุณหภูมิสิ้นสุดในการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (conclusion temperature, T_c หน่วย °C) พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (enthalpy of gelatinization, ΔH หน่วย J/g)

ก.18 ความสามารถในการจับน้ำ (Water binding capacity) ดัดแปลงจากวิธีของ Medcalf และ Gilles (1965)

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, USA)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 1 กรัม ใส่หลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนัก
2. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 15 มิลลิลิตร
3. ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง และกวนเป็นระยะทุกๆ 5 นาที
4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ $5000 \times g$ เป็นเวลา 20 นาที
5. เทส่วนใสทิ้ง และคว่ำหลอดทิ้งไว้ประมาณ 10 นาที
6. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างที่ได้
7. คำนวณหาความสามารถในการจับน้ำ (กรัม น้ำต่อกรัมตัวอย่าง) ดังนี้

$$\text{ความสามารถในการจับน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการทดลอง} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

ก.19 ความสามารถในการจับน้ำมัน (Oil holding capacity) ดัดแปลงจากวิธีของ Lawal และ Adebawale (2005)

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, USA)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Denver Instrument รุ่น SI-234, Germany)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักที่แน่นอน 1 กรัม ใส่หลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนัก (กรัม)
2. เติมน้ำมันปริมาตร 10 มิลลิลิตร
3. ผสมให้เข้ากันเป็นเวลา 30 วินาที และวางทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที
4. นำไปปั่นเหวี่ยงที่ $5000 \times g$ เป็นเวลา 20 นาที
5. ชั่งน้ำหนักปริมาตรของส่วนใสที่ได้
6. คำนวณหาความสามารถในการจับน้ำมัน (กรัมน้ำมันต่อกรัมตัวอย่าง) ดังนี้

$$\text{ความสามารถในการจับน้ำมัน} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังการทดลอง} - \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

ก.20 กำลังการพองตัว และการละลาย (Swelling power and Solubility) ตามวิธีของ Lawal และ Adebawale (2005)

อุปกรณ์

1. เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) (Centrifuge Thermo IEC รุ่น IEC Multi-RF, USA)
2. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Bath circulator with water bath, Thermo Scientific รุ่น NESLAB EX 10, USA)
3. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น W350, Germany)

วิธีทดลอง

1. นำหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร อบให้แห้งแล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้น
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 0.1 กรัม ใส่ในหลอดพลาสติกสำหรับปั่นเหวี่ยงที่ทราบน้ำหนัก

3. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้ vortex
4. นำหลอดพลาสติกที่บรรจุตัวอย่างเรียบร้อยแล้ว แช่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 75, 80, 85, 90 และ 95 °C
5. ให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที พร้อมกับการกวนทุกๆ 5 นาที
6. เมื่อครบเวลา นำหลอดพลาสติกที่บรรจุตัวอย่างทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 × g เป็นเวลา 15 นาที
7. เทส่วนใส่ออกอย่างระมัดระวัง และปิเปตมา 5 มิลลิลิตร นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 °C จนน้ำหนักคงที่ ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น และชั่งน้ำหนัก
8. นำหลอดพลาสติกที่เทส่วนใส่ออกเรียบร้อยแล้วไปชั่งน้ำหนัก
9. คำนวณหากำลังการพองตัว และการละลายดังนี้

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

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างที่ละลายน้ำ} \times 100 \times 2}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง (กรัม)}}$$

ก.21 การวิเคราะห์สมบัติทางด้านความหนืดด้วยเครื่อง Rapid Visco Analyzer ดัดแปลงจากวิธีของ Norbert และคณะ (1995)

อุปกรณ์

1. เครื่อง RVA (Newport Scientific รุ่น 4D, Australia) พร้อมถ้วยบรรจุตัวอย่าง (can) และใบพัด (paddle)
2. คอมพิวเตอร์สำหรับควบคุมการทำงาน และประมวลผลเครื่อง RVA
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

วิธีทดลอง

1. เปิดเครื่อง RVA ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที เพื่ออุ่นเครื่อง
2. ตั้งค่าสภาวะการทำงานของเครื่อง RVA โดยใช้ temperature profile: STD 1 ดังตาราง

ที่ ก.2

3. ตวงน้ำกัลันปริมาตร 25.00 ± 0.1 มิลลิลิตร (สำหรับแป้งที่มีความชื้นร้อยละ 14) ใส่ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่าง (can)

4. ชั่งตัวอย่างฟลาวัวร์ 3.00 ± 0.1 กรัม ใส่ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่างที่มีน้ำกัลันอยู่แล้ว

5. ใส่ใบพัด (paddle) ลงในถ้วยบรรจุตัวอย่าง หมุนใบพัดกวนไปมาแรงๆ และดึงขึ้นเพื่อกวนตัวอย่างแรงๆ ประมาณ 10 ครั้ง ถ้ามีตัวอย่างจับกันเป็นก้อนที่ผิวหน้า หรือติดที่ใบพัดกวน ให้ทำซ้ำอีกครั้ง

6. นำภาชนะบรรจุตัวอย่างที่ใส่ใบพัดไว้แล้ว สอดเข้าไปในเครื่อง RVA กดมอเตอร์เพื่อให้เครื่อง RVA ทำงาน เสร็จแล้วนำถ้วยตัวอย่างออกมา เครื่อง RVA จะรายงานผลการวิเคราะห์เป็นค่าต่างๆ ดังนี้

6.1 เวลาที่เกิด peak ของความหนืด (peak time) มีหน่วยเป็นนาที

6.2 อุณหภูมิเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนืด (pasting temperature) มีหน่วยเป็น °C

6.3 อุณหภูมิที่เกิด peak (peak temperature) มีหน่วยเป็น °C

6.4 ความแตกต่างของความหนืดสูงสุดและความหนืดต่ำสุด (breakdown) มีหน่วย

เป็น RVU

6.5 ความหนืดสุดท้าย (final viscosity) มีหน่วยเป็น RVU

6.6 ความหนืดต่ำสุด (trough) มีหน่วยเป็น RVU

6.7 ผลต่างของความหนืดสุดท้าย กับความหนืดที่จุด trough (setback from trough)

มีหน่วยเป็น RVU

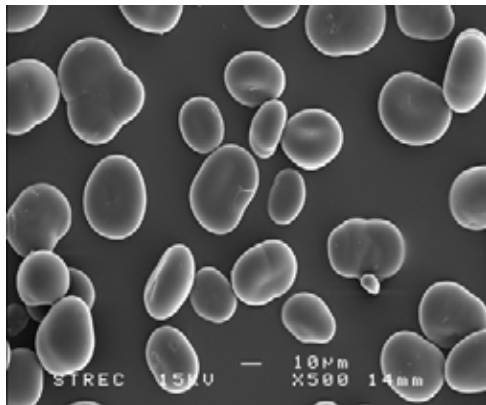
ตารางที่ ก.2 Temperature profile STD1

เวลา (นาทื.วินาที)	อุณหภูมิ (°C)	ความเร็วรอบ (rpm)
0.00	50	960
0.10	50	160
1.00	50	160
4.42	95	160
7.12	95	160
11.00	50	160
13.00	50	160

ที่มา: Newport Scientific (2007)

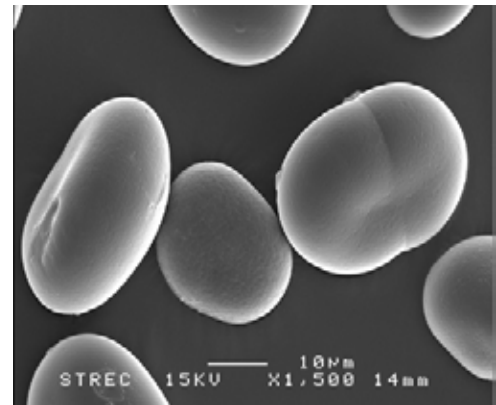
ภาคผนวก ข

รายละเอียดภาพและกราฟผลการทดลองเพิ่มเติม



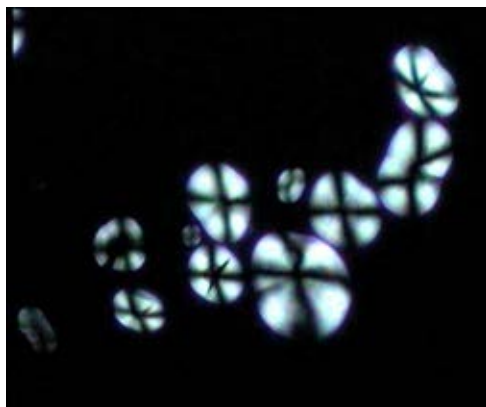
(500x)

สตาร์ชถั่วพรี



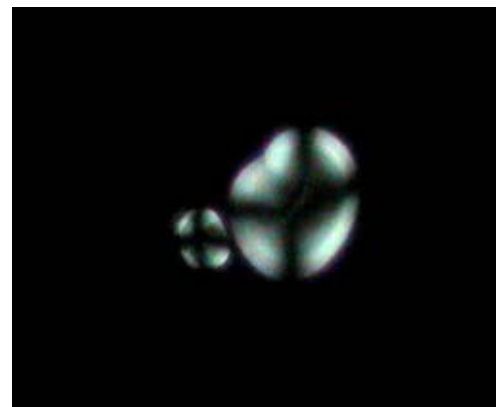
(1500x)

ภาพที่ ข.1 ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของสตาร์ชถั่วพรี



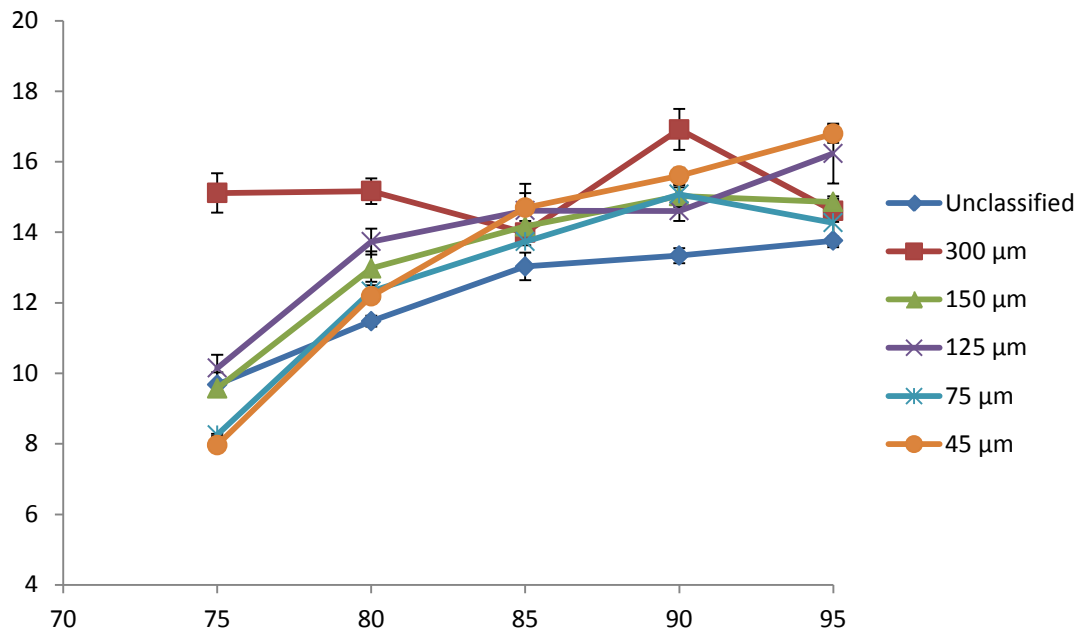
(20x)

สตาร์ชถั่วพรี

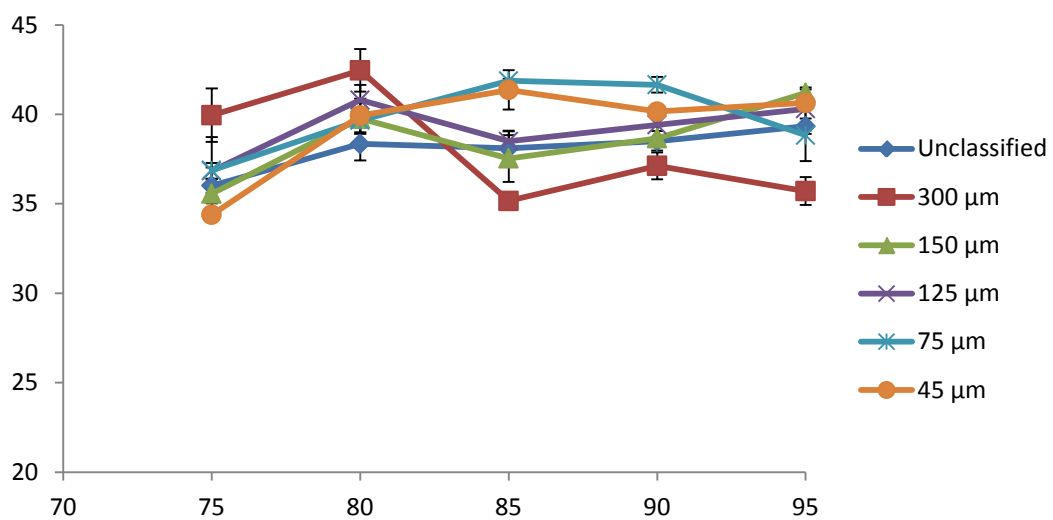


(40x)

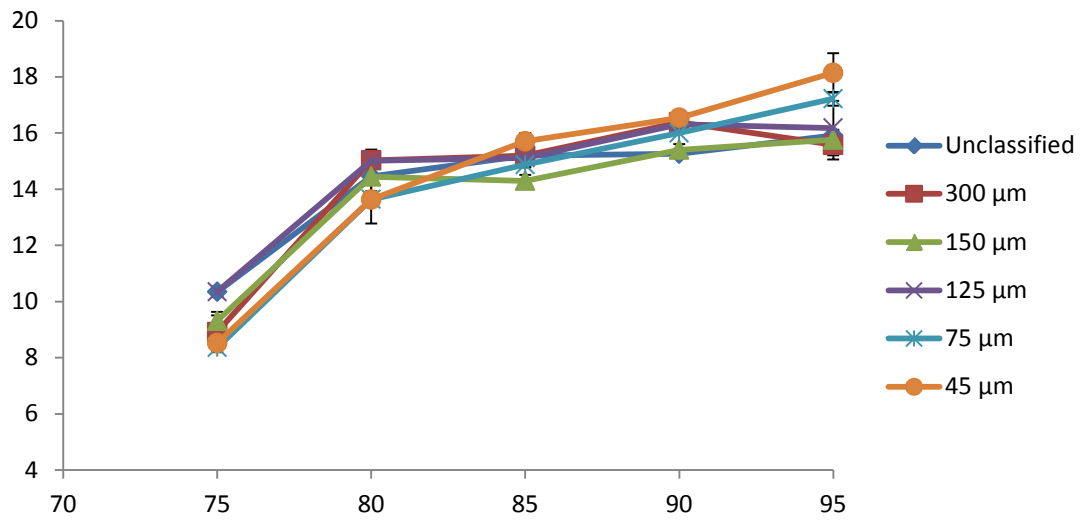
ภาพที่ ข.2 รูปร่างและลักษณะ birefringence สตาร์ชถั่วพรี



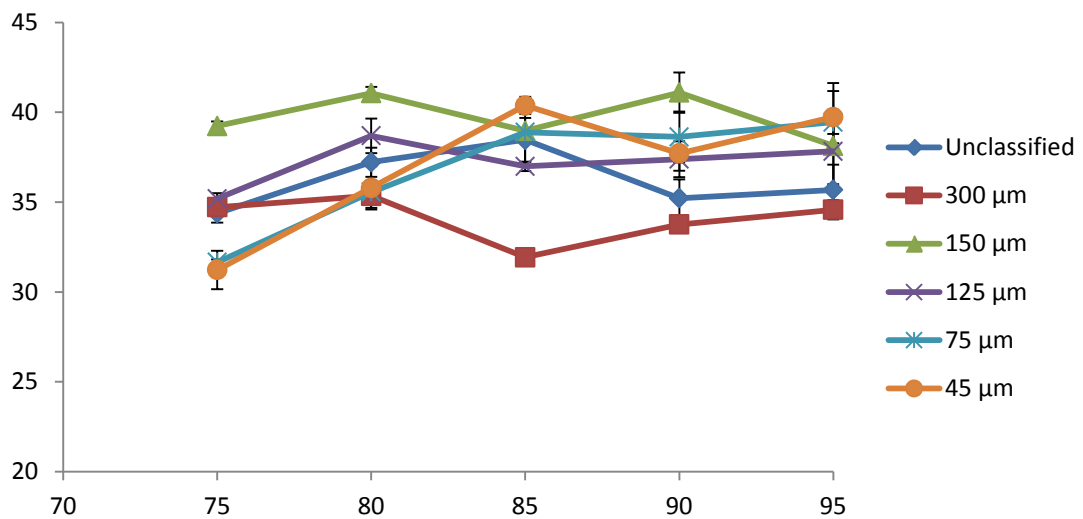
ภาพที่ ข.3 กำลังการพองตัวของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ



ภาพที่ ข.4 การละลายของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

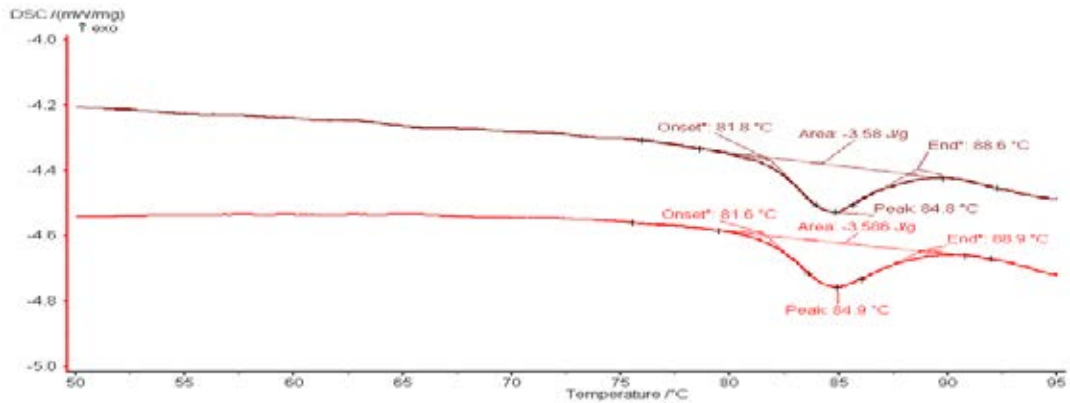


ภาพที่ ๑.๕ กำลังการฟองตัวของฟลาวร์จากถั่วพรีาทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

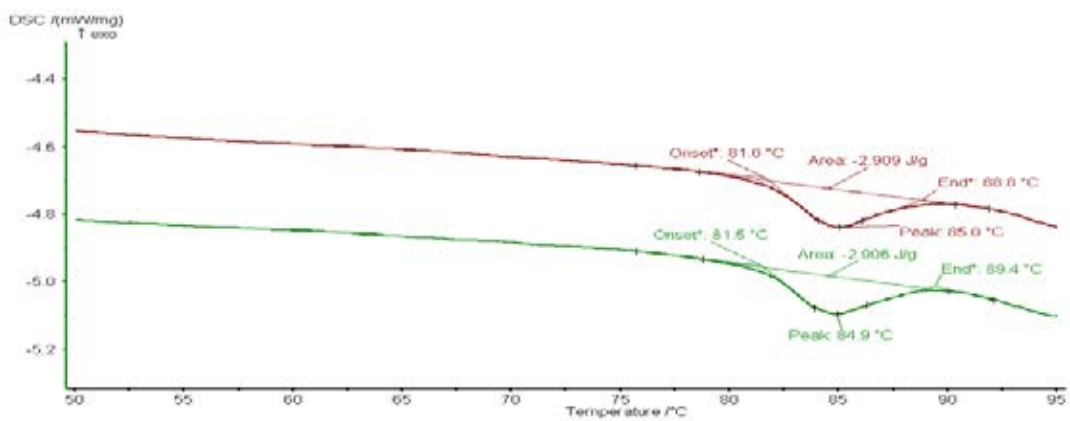


ภาพที่ ๑.๖ การละลายของฟลาวร์จากถั่วพรีาทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ

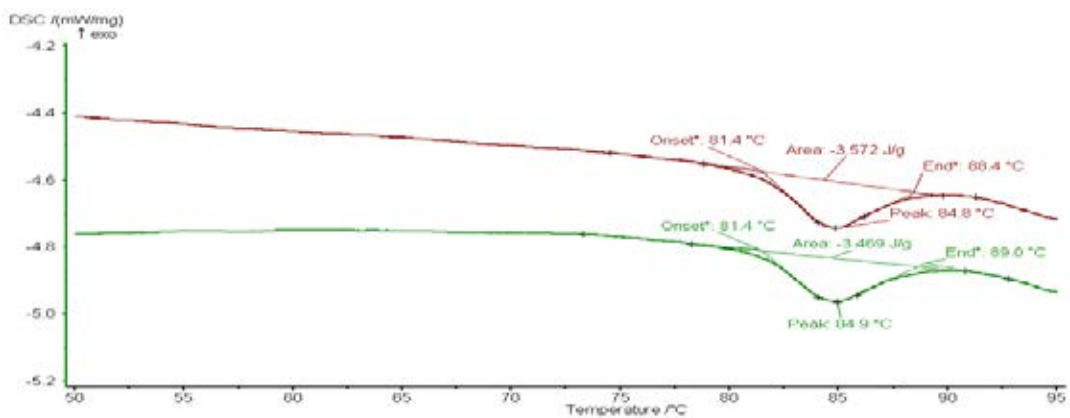
ข.4 สมบัติทางความร้อนของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี



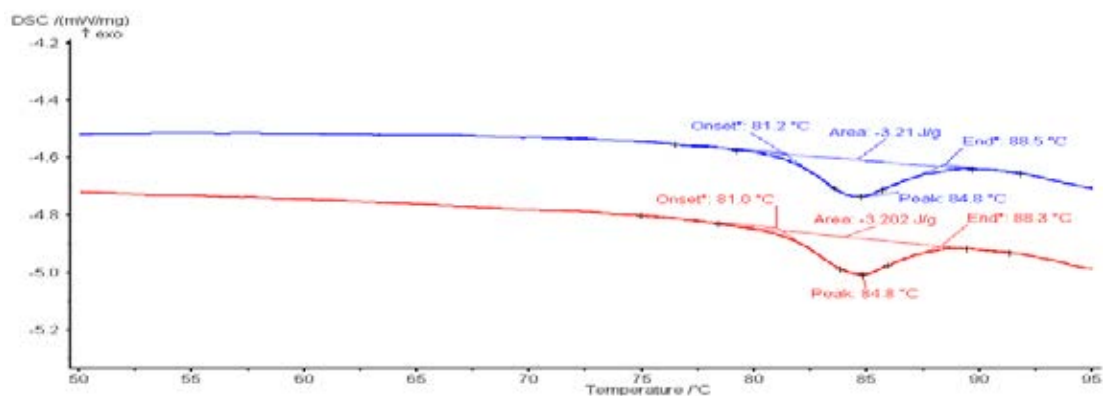
ภาพที่ ข.7 สมบัติทางความร้อนของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด



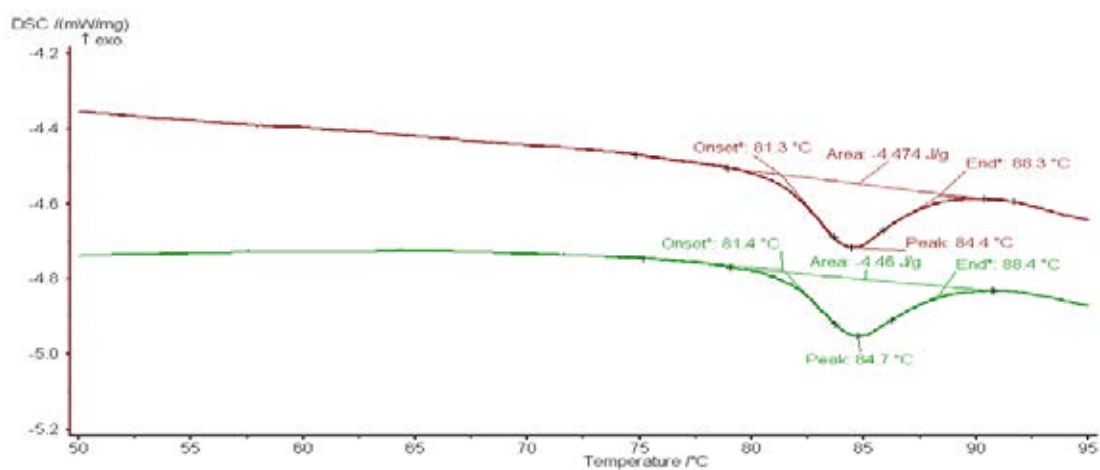
ภาพที่ ข.8 สมบัติทางความร้อนของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 µm



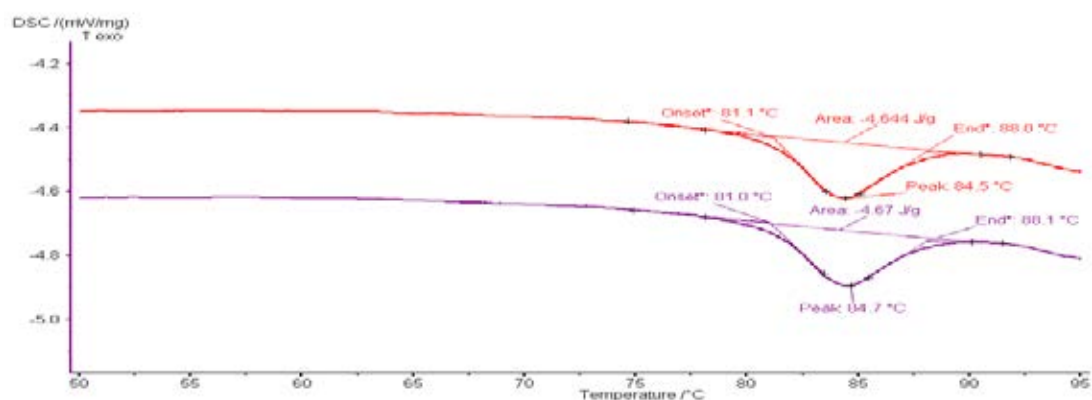
ภาพที่ ข.9 สมบัติทางความร้อนของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 µm



ภาพที่ ข.10 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 125 μm

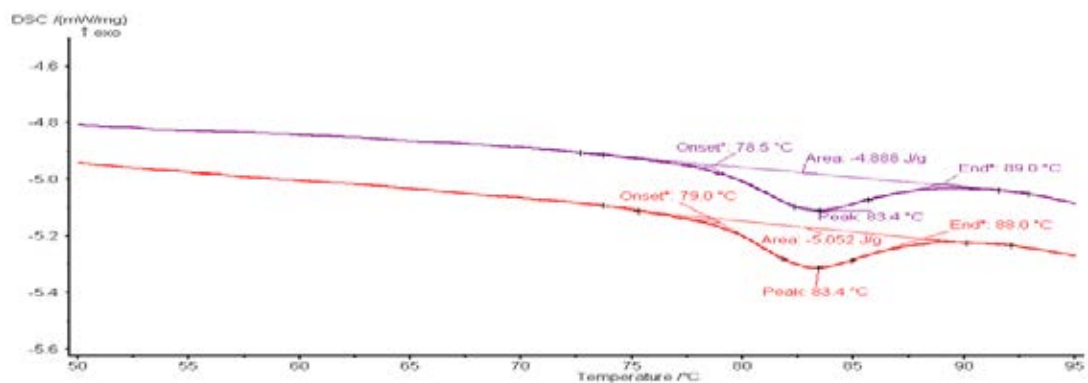


ภาพที่ ข.11 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm

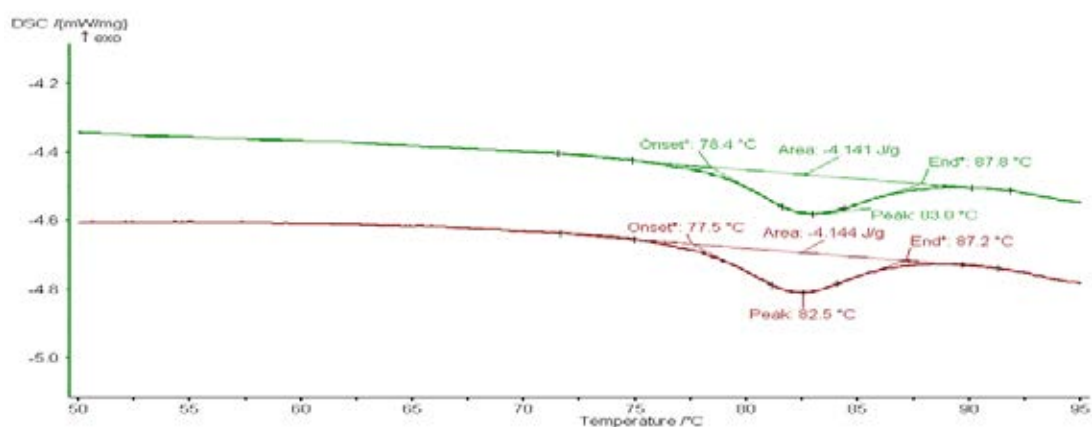


ภาพที่ ข.12 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาด 45 μm

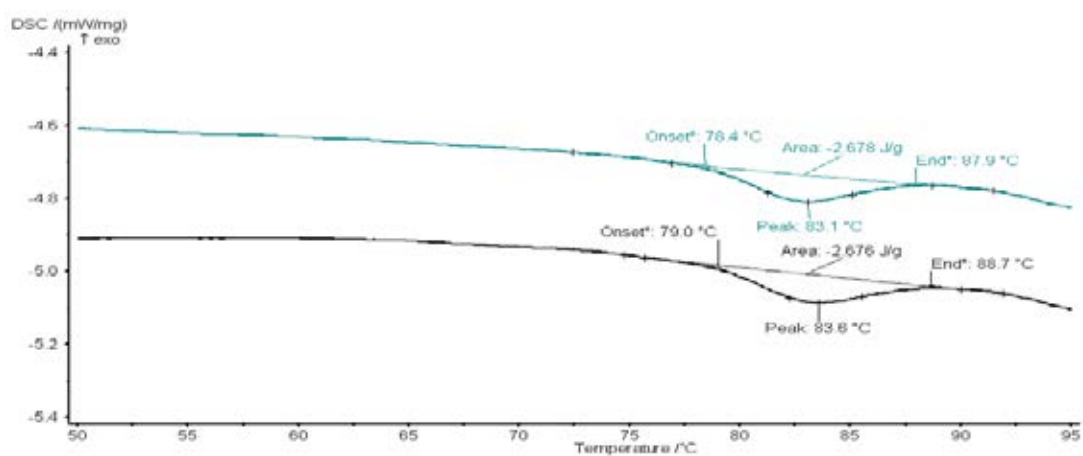
ข.5 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งหมด



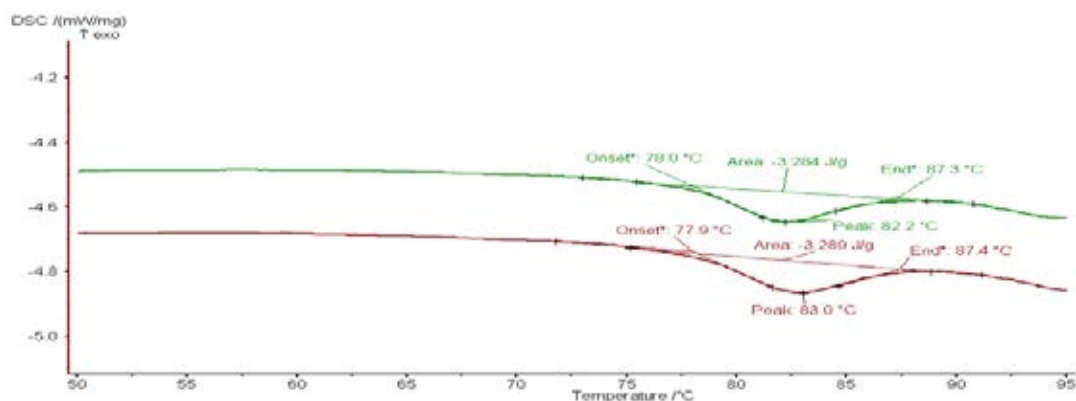
ภาพที่ ข.13 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งหมดที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด



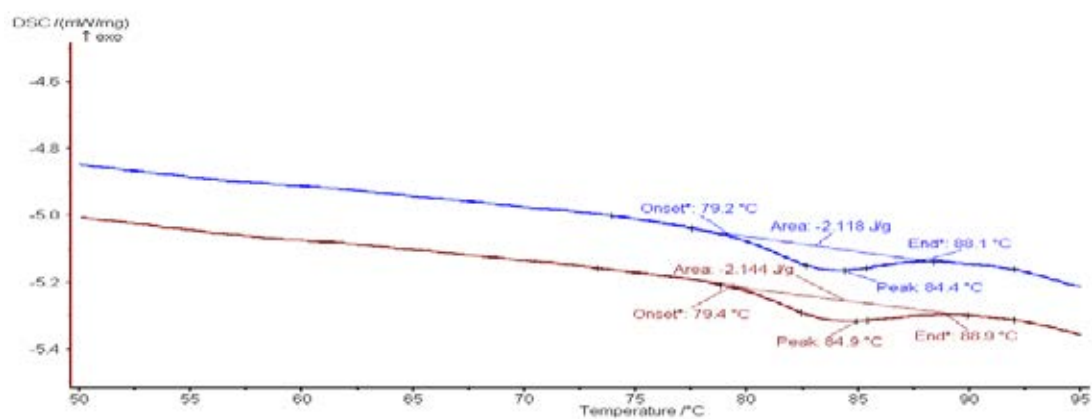
ภาพที่ ข.14 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งหมดที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 μm



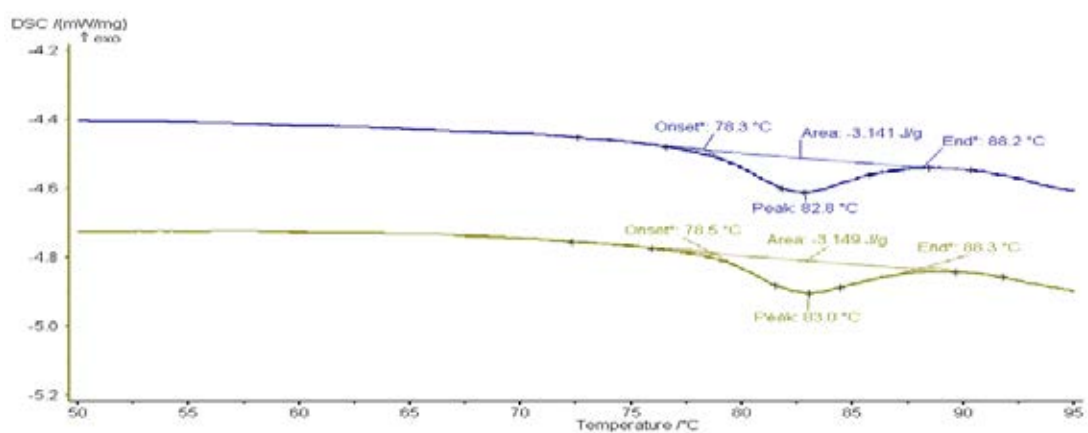
ภาพที่ ข.15 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งหมดที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 μm



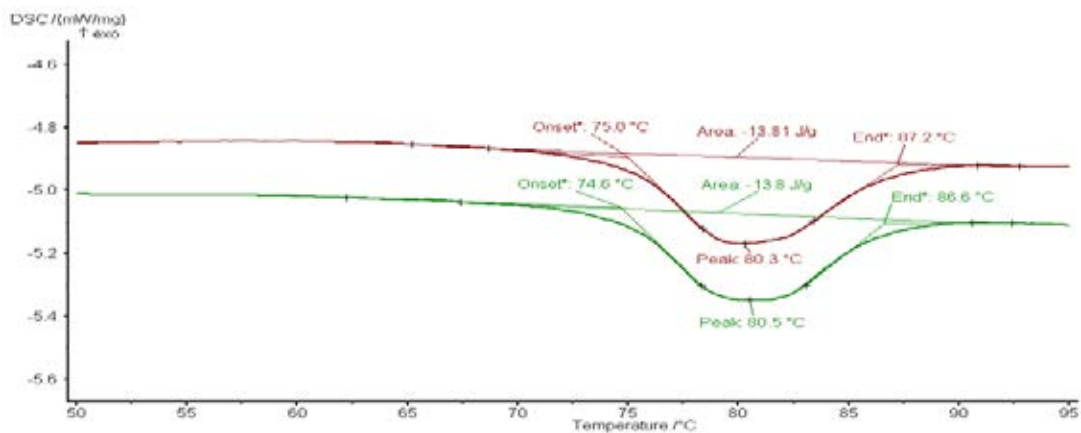
ภาพที่ ข.16 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีำทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 125 μm



ภาพที่ ข.17 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีำทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm

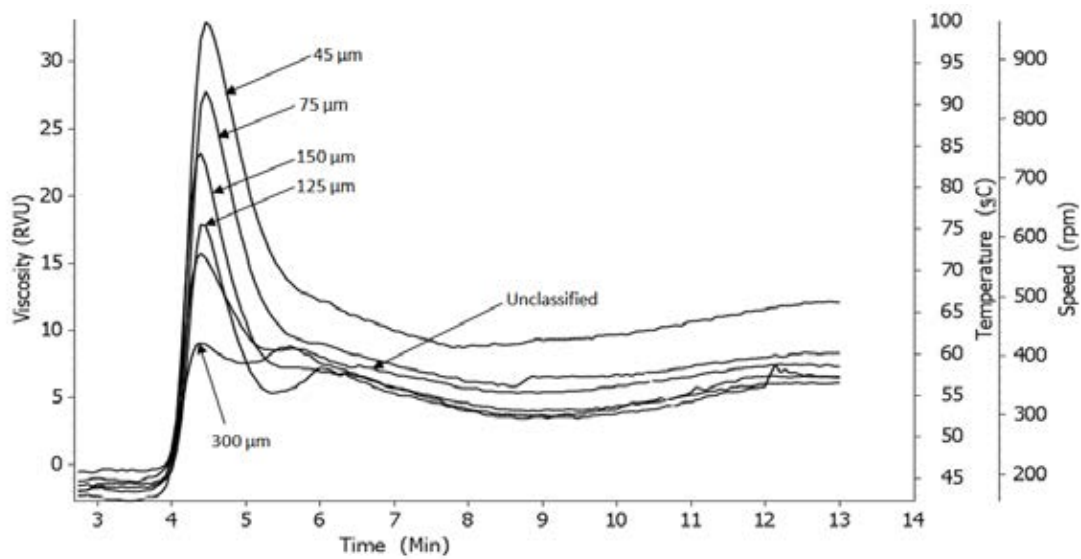


ภาพที่ ข.18 สมบัติทางความร้อนของฟลาวร์จากถั่วพรีำทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด 45 μm

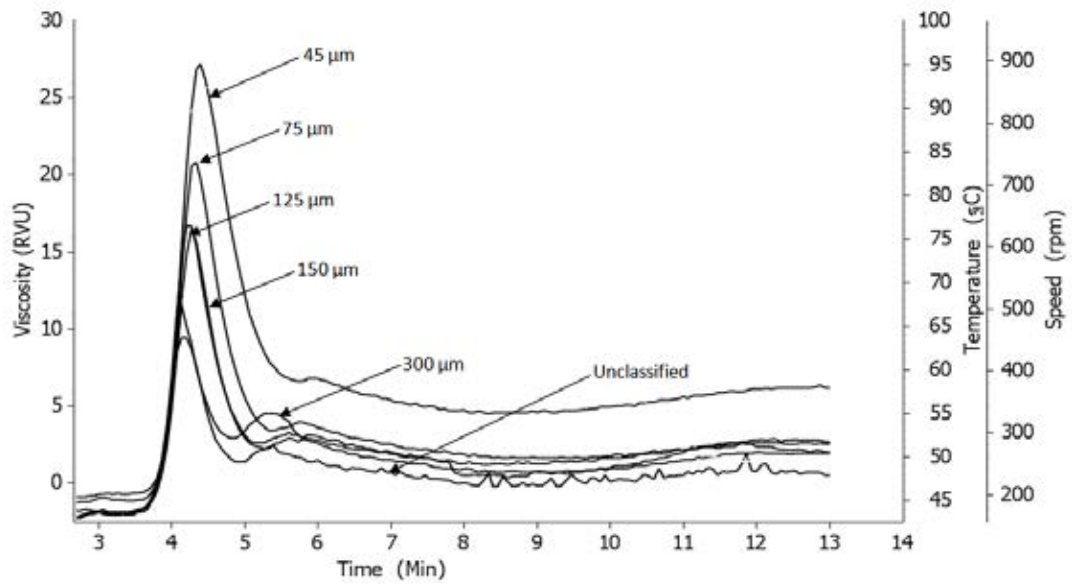


ภาพที่ ข.19 สมบัติทางความร้อนของสตาร์ชถั่วพราง

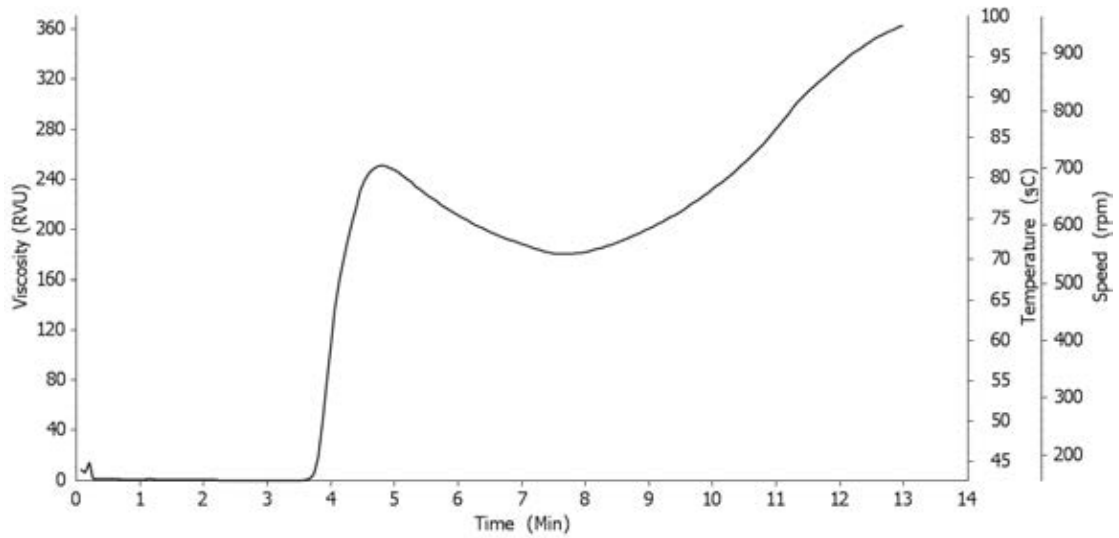
ข.7 สมบัติด้านการเกิดเฟส



ภาพที่ ข.20 สมบัติด้านการเกิดเฟสของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรางที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ



ภาพที่ ข.21 สมบัติด้านการเกิดเฟสของฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ



ภาพที่ ข.22 สมบัติด้านการเกิดเฟสของสตาร์ชถั่วพว้า

ภาคผนวก ค

รายละเอียดข้อมูลการทดลองเพิ่มเติม

ค.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพำ

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพำที่ไม่ได้ผ่านการแยก

ขนาด

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.1988	7.8947	799	50.2
15.2952	5.7883	1241	77.9
15.2952	5.1630	1544	97.0
17.3738	5.1001	1568	98.5
18.1063	4.8954	1592	100.0
22.9146	3.8779	1383	86.9
26.0745	3.4147	936	58.8
26.6481	3.3425	912	57.3
27.0947	3.2884	879	55.2

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.3182	7.8116	807	49.3
15.3633	5.7627	1260	77.0
17.2274	5.1432	1546	94.6
17.5062	5.0619	1554	95.0
18.0637	4.9069	1607	98.3
18.2423	4.8592	1635	100.0
19.4391	4.5627	1477	90.3
20.2848	4.3743	1377	84.2
22.9167	3.8776	1396	85.3
23.1552	3.8382	1378	84.2
26.0903	3.4126	932	57.0
26.9266	3.3085	900	55.0

ตารางที่ ค.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพำที่ผ่านตะแกรงขนาด

300 μm

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.3846	7.7662	839	53.0
15.2177	5.8176	1233	78.0
17.2747	5.1292	1537	97.1
18.0810	4.9022	1582	100.0
18.3216	4.8384	1581	100.0
19.1436	4.6324	1500	94.8
20.2567	4.3803	1442	91.2
23.0906	3.8488	1349	85.3
26.4374	3.3686	895	56.6

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
15.2953	5.7882	1258	75.4
17.2876	5.1254	1628	97.5
17.6810	5.0122	1620	97.1
18.0636	4.9069	169	100.0
23.0176	3.8608	1400	83.9
23.2806	3.8178	1385	83.0

ตารางที่ ค.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพำที่ผ่านตะแกรงขนาด

150 μm

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.1811	7.9071	701	51.1
15.2992	5.7868	1088	79.3
17.3249	5.1144	1342	97.8
18.0384	4.9137	1349	98.3
18.3581	4.8289	1372	100.0
19.9403	4.4491	1222	89.0
22.9571	3.8708	1171	85.3
23.1850	3.8333	1171	85.3

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
12.5517	7.0466	690	51.3
15.4087	5.7459	1053	78.2
17.2143	5.1470	1305	97.0
17.8780	4.9574	1345	100.0
18.3144	4.8403	1323	98.3
20.0002	4.4359	1219	90.6
20.3152	4.3679	1183	88.0
20.7192	4.2836	1187	88.3
21.0560	4.2158	1135	84.3
22.9464	3.8726	1171	87.1
23.1168	3.8444	1170	87.0
23.7287	3.7467	1093	81.2
25.2862	3.5193	853	63.4
26.4328	3.3692	790	58.7

ตารางที่ ค.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพำที่ผ่านตะแกรงขนาด

125 μm

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.3195	7.8107	703	52.1
15.3371	5.7725	1051	77.9
17.1853	5.1557	1307	96.9
18.3476	4.8316	1349	100.0
19.6873	4.5057	1228	91.0
23.1199	3.8439	1144	84.8

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
15.3692	5.7606	1029	77.7
17.3256	5.1142	1314	99.2
18.0618	4.9074	1324	100.0
20.2598	4.3797	1208	91.2
23.1260	3.8429	1126	85.1

ตารางที่ ค.5 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพำที่ผ่านตะแกรงขนาด

75 μm

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
12.9168	6.8482	910	50.9
15.0665	5.8756	1431	80.0
15.2258	5.8145	1450	81.0
17.2677	5.1313	1769	98.8
17.9911	4.9265	1790	100.0
18.1815	4.8754	1778	99.3
18.3610	4.8281	1734	96.9
18.4888	4.7950	1710	95.5
19.7780	4.4853	1521	85.0
23.1358	3.8413	1456	81.3
24.1670	3.6797	1249	69.8
24.3080	3.6587	1234	69.9

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
12.9565	6.8273	941	52.9
15.1710	5.8354	1428	80.2
15.4254	5.7397	1448	81.3
17.1943	5.1530	1766	99.2
17.3974	5.0933	1780	100.0
18.2696	4.8538	1752	98.4
18.4953	4.7933	1720	96.6
19.9857	4.4391	1529	85.9
23.1015	3.8470	1476	82.9
24.7972	3.5876	1161	65.2
28.5131	3.1279	889	49.9
29.0166	3.0748	856	48.1

ตารางที่ ค.6 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพำที่ผ่านตะแกรงขนาด

45 μm

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.4037	7.7533	836	50.2
15.2273	5.8139	1305	78.4
15.4783	5.7202	1320	79.3
17.3061	5.1200	1644	98.8
17.4426	5.0802	1639	98.5
17.5814	5.0404	1641	98.6
18.0364	4.9143	1664	100.0
18.2446	4.8586	1654	99.4
19.8711	4.4645	1412	84.8
22.9307	3.8752	1412	84.8
23.5269	3.7784	1383	83.1
26.4444	3.3678	930	55.9

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
15.3155	5.7806	1474	81.3
17.3048	5.1203	1814	100.0
17.5897	5.0380	1742	96.0
18.2251	4.8638	1784	98.3
19.6609	4.5117	1548	85.3
19.9806	4.4402	1527	84.2
23.1011	3.8470	1499	82.6
26.7022	3.3358	950	52.4

ค.2 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวัวร์จากถั่วพรางแห้งเมล็ด

ตารางที่ ค.7 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวัวร์จากถั่วพรางแห้งเมล็ดที่ไม่ได้ผ่านการแยก

ขนาด

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.5248	7.6720	743	51.8
15.2620	5.8008	1162	81.0
17.3933	5.0945	1435	100.0
18.2864	4.8476	1413	98.5
18.6324	4.7584	1380	96.2
20.2105	4.3902	1269	88.4
20.6923	4.2891	1229	85.7
21.0776	4.2116	1216	84.8
22.9489	3.8722	1262	88.0

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.5406	7.6616	715	52.8
15.3365	5.7727	1087	80.3
16.8751	5.2497	1243	91.7
17.5159	5.0591	1332	98.3
18.3137	4.8405	1355	100.0
20.1185	4.4101	1205	88.9
22.8474	3.8892	1160	85.6
26.3930	3.3742	767	56.6

ตารางที่ ค.8 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากถั่วพรางที่เมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด

300 μm

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
15.2270	5.8140	1145	83.1
17.1492	5.1664	1359	98.7
18.1052	4.8957	1377	100.0
18.4257	4.8113	1364	99.0
20.0428	4.4266	1319	95.8
20.6023	4.3076	1346	97.7
22.6895	3.9159	1317	95.6
34.6912	2.5837	727	52.8

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
15.2755	5.7957	1113	82.2
17.2262	5.1435	1349	99.7
18.1115	4.8940	1354	100.0
20.5620	4.3160	1279	94.5
22.5420	3.9412	1308	96.6
34.7371	2.5804	849	62.8

ตารางที่ ค.9 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากถั่วพรางที่เมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด

150 μm

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.5426	7.6603	803	52.6
15.0842	5.8588	1189	77.8
15.2960	5.7880	1203	78.7
15.5014	5.7117	1186	77.6
17.2033	5.1503	1488	97.4
17.3988	5.0929	1495	97.9
18.1638	4.8801	1528	100.0
22.3154	3.9807	1269	83.0
22.8417	3.8901	1311	85.8
28.4518	3.1345	764	50.0

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.3446	7.7935	783	54.0
14.9984	5.9021	1155	79.7
15.3646	5.7623	1164	80.3
17.0985	5.1816	1450	100.0
17.9276	4.9438	1430	98.6
18.3968	4.8188	1403	96.8
23.0007	3.8636	1211	83.5
25.8213	3.4476	832	57.4
28.2112	3.1607	719	49.6

ตารางที่ ค.10 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากถั่วพำที่แห้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด

125 μm

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.4067	7.7512	783	52.1
15.2253	5.8147	1206	80.3
17.2698	5.1306	1499	99.8
18.0077	4.9220	1502	100.0
23.0752	3.8513	1277	85.0
30.8283	2.8981	735	48.9

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
15.1076	5.8597	1145	76.6
15.3892	5.7531	1160	77.6
17.3285	5.1134	1494	100.0
18.1547	4.8825	1485	99.4
20.0274	4.4300	1287	86.2
23.0940	3.8482	1247	83.4

ตารางที่ ค.11 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากถั่วพำที่แห้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด

75 μm

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.4696	7.7089	762	56.4
15.2499	5.8054	1117	82.6
17.0858	5.1855	1349	99.8
15.5682	5.6874	1075	79.5
18.1226	4.8911	1352	100.0
22.9851	3.8662	1197	88.6
26.6153	3.3465	789	58.4

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.1854	7.9041	933	53.6
15.0770	5.8715	1404	80.7
15.3418	5.7708	1440	82.7
17.3306	5.1128	1740	100.0
17.9425	4.9397	1729	99.3
22.9851	3.8662	1465	84.2

ตารางที่ ค.12 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟลาวอร์จากถั่วพำที่แห้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาด

45 μm

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
10.0105	8.8290	715	48.1
11.3566	7.7853	759	51.1
15.2002	5.8242	1189	80.0
15.3636	5.7626	1189	80.0
17.3429	5.1092	1486	100.0
18.1487	4.8841	1467	98.7
20.0939	4.4155	1212	81.6
23.1711	3.8356	1236	83.2
26.4689	3.3647	816	54.9

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
9.9126	8.9160	729	47.7
11.2977	7.8258	775	50.7
15.168	5.7985	1219	79.8
17.1929	5.1534	1521	99.5
17.4693	5.0725	1528	100.0
18.1284	4.8895	1496	97.9
19.6101	4.5233	1302	85.2
20.4410	4.3413	1241	81.2
23.0860	3.8495	1256	82.2
30.9148	2.8902	704	46.1

ค.3 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกเปลือกแข็ง

ตารางที่ ค.13 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ไม่ได้ผ่านการแยกขนาด
(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
16.0662	5.5122	856	52.6
17.3271	5.1138	944	58.0
20.9968	4.2276	1150	70.7
22.0110	4.0350	1253	77.1
22.3594	3.9729	1291	79.4
25.7973	3.4507	660	40.6
28.0463	3.1789	652	40.1
31.7896	2.8126	529	32.5
34.7091	2.5824	1184	72.8
34.7353	2.5806	1627	100.0

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
15.9603	5.5485	838	51.5
17.3257	5.1142	891	54.8
21.2938	4.1693	1135	69.8
21.9965	4.0377	1229	75.6
22.3221	3.9795	1270	78.1
26.0272	3.4208	628	38.6
28.1687	3.1654	631	38.8
34.7353	2.5806	1627	100.0

ตารางที่ ค.14 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 300 μm
(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
16.0693	5.5111	986	56.8
17.2865	5.1257	1016	58.6
20.6939	4.2888	1301	75.0
21.2203	4.1836	1379	79.5
21.6151	4.1080	1553	89.5
22.4498	3.9572	1735	100.0
28.2665	3.1547	658	37.9
34.7439	2.5799	1309	75.4

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
16.1419	5.4865	1026	53.5
17.2861	5.1258	1066	55.6
20.3191	4.3670	1188	61.9
20.8734	4.2523	1292	67.4
22.4529	3.9566	1653	86.2
25.9334	3.4329	665	34.7
27.8340	3.2027	658	34.3
34.6980	2.5832	1917	100.0

ตารางที่ ค.15 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 150 μm
(ข้อที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
13.7695	6.4260	1060	52.3
16.0027	5.5339	1261	62.2
21.1792	4.1916	1590	78.5
22.3117	3.9813	2009	99.2
22.5669	3.9369	2026	100.0
33.8079	2.6492	573	28.3
34.6696	2.5853	694	34.3

(ข้อที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
13.8107	6.4069	975	53.7
16.0930	5.5030	1135	62.6
21.1963	4.1882	1465	80.7
22.2284	3.9961	1797	99.0
22.5035	3.9478	1815	100.0
34.7471	2.5811	662	36.4
35.1480	2.5512	601	33.1

ตารางที่ ค.16 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 125 μm
(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.5712	7.6414	760	44.2
13.7207	6.4488	1020	59.3
15.1684	5.8364	1181	68.7
16.0642	5.5129	1178	68.5
20.8783	4.2513	1366	79.4
21.9995	4.0371	1709	99.4
22.4424	3.9584	1720	100.0
34.7144	2.5821	609	35.4

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.6307	7.6024	703	47.4
13.8283	6.3988	949	64.0
14.8247	5.9709	1040	70.1
16.1406	5.4869	1057	71.3
20.9453	4.2379	1196	80.7
22.2752	3.9878	1483	100.0
22.6656	3.9199	1444	97.4
34.7118	2.5822	557	37.5

ตารางที่ ค.17 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 75 μm
(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.5080	7.6832	757	57.0
13.7961	6.4136	949	71.3
15.8251	5.5956	998	75.1
20.6607	4.2956	1116	83.9
21.8921	4.0567	1317	99.0
22.2287	3.9960	1330	100.0
24.9866	3.5608	724	54.4
34.8018	2.5758	549	41.3

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
9.4016	9.3994	617	45.1
10.0975	8.7531	650	47.5
11.3385	1.7977	724	530
13.7975	6.4130	981	71.8
15.2504	5.8052	1044	76.4
20.5710	4.3141	1154	84.4
21.7973	4.0741	1360	99.5
22.2067	3.9999	1367	100.0
34.5674	2.5927	544	39.8

ตารางที่ ค.18 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาด 45 μm
(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.589	7.6317	787	60.4
13.7699	6.4258	1013	77.8
15.9534	5.5509	1023	78.5
16.4028	5.3998	1020	78.3
21.9644	4.0435	1302	100.0
34.7112	2.5823	557	42.8

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.4478	7.7235	776	58.2
13.6660	6.4744	1008	75.6
16.3189	5.4274	1056	79.2
21.9694	4.0426	1334	100.0
34.5742	2.5922	533	39.9

ค.4 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วพราง

ตารางที่ ค.19 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วพราง

(ซ้ำที่ 1)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.3035	7.8218	913	46.1
15.1509	5.8431	1686	85.1
17.1935	5.1532	1982	100.0
17.4198	5.0868	1949	98.4
18.0896	4.8999	1821	91.9
20.2807	4.3752	1187	59.9
22.9117	3.8784	1475	74.4
23.2124	3.8288	1485	75.0
23.4570	3.7895	1456	73.5
26.6170	3.3463	808	40.8
29.2242	3.0534	757	38.2
30.6872	2.9111	764	38.6
33.2548	2.6920	757	38.2

(ซ้ำที่ 2)

Angle 2-Theta	d value Angstrom	Intensity Count	Intensity (%)
11.5185	7.6762	889	44.4
15.1161	5.8564	1731	86.4
17.2511	5.1362	1998	99.8
17.3963	5.0936	2002	100.0
17.7606	4.9899	1903	95.0
20.3194	4.3670	1213	60.6
23.0345	3.8580	1544	77.1
23.1877	3.8329	1552	77.5
23.3413	3.8080	1549	77.4
26.6852	3.3379	841	42.0
30.5432	2.9239	822	41.0
33.3309	2.6860	799	39.9

ตารางที่ ค.20 กำลังการพองตัว (กรัม/กรัมตัวอย่างแห้ง) และการละลาย (%) ของฟลาวัวร์และสตาร์ชที่อุณหภูมิต่างๆ

ช่วงของอุณหภูมิ	กำลังการพองตัว			การละลาย		
	ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	สตาร์ชถั่วพรี	ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	สตาร์ชถั่วพรี
	75°C	9.7 ± 0.4	10.4 ± 0.3	6.2 ± 0.1	36.0 ± 0.4	34.7 ± 0.3
80°C	11.5 ± 0.2	14.5 ± 0.6	17.8 ± 0.5	38.3 ± 0.9	37.2 ± 0.8	8.5 ± 0.4
85°C	13.0 ± 0.4	15.2 ± 0.3	23.2 ± 0.4	38.1 ± 1.0	38.5 ± 1.2	13.2 ± 0.4
90°C	13.3 ± 0.2	15.3 ± 0.1	28.2 ± 0.1	38.5 ± 0.1	35.2 ± 1.0	18.2 ± 0.2
95°C	13.8 ± 0.1	15.9 ± 0.2	32.5 ± 0.0	39.3 ± 0.4	35.7 ± 1.4	24.5 ± 0.7

ภาคผนวก ง

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ ง.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดอนุภาคของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีและฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.1-4.2)

ตัวอย่างทดสอบ	SOV	df	MS
ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	ขนาดอนุภาค	5	3,781.20*
	Error	6	1.29
ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	ขนาดอนุภาค	5	2,928.03*
	Error	6	10.45

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.3)

SOV	df	MS
ความชื้น	5	0.97*
	Error	12
โปรตีน	5	50.67*
	Error	12
ไขมัน	5	1.23*
	Error	12
เถ้า	5	0.12*
	Error	12
เส้นใยหยาบ	5	0.68*
	Error	12
คาร์โบไฮเดรต	5	83.86*
	Error	12
แอมิโลส	5	45.58*
	Error	12

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของฟลาวอร์จากถั่วพ้าทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.3)

SOV	df	MS
ความชื้น	5	0.10*
Error	12	0.00
โปรตีน	5	6.66*
Error	12	0.01
ไขมัน	5	0.182*
Error	12	0.00
เถ้า	5	0.11
Error	12	0.00
เส้นใยหยาบ	5	61.97*
Error	12	0.00
คาร์โบไฮเดรต	5	101.18*
Error	12	0.01
แอมิโลส	5	27.31*
Error	12	0.61

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนขององค์ประกอบทางเคมีของเปลือกแข็งที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.3)

SOV	df	MS
ความชื้น	5	6.87*
Error	12	0.00
โปรตีน	5	12.31*
Error	12	0.01
ไขมัน	5	1.05*
Error	12	0.00
เถ้า	5	5.66*
Error	12	0.00
เส้นใยหยาบ	5	410.39*
Error	12	0.01
คาร์โบไฮเดรต	5	180.35*
Error	12	0.03

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.5)

ตัวอย่างทดสอบ	SOV	df	MS
ฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก	5	4,030,822.31*
	Error	12	4,146.09
ฟลาวัวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก	5	5,339,881.27*
	Error	12	3,095.13
เปลือกแข็ง	ปริมาณสารประกอบฟีนอลิก	5	444,984.47*
	Error	12	3,783.91

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณสตาร์ชที่ทนต่อการย่อยของเอนไซม์ของฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีและฟลาวอร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ดที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.6)

ตัวอย่างทดสอบ	SOV	df	MS
ฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	RS ₂	5	24.45*
	Error	6	0.03
	RS ₃	5	1.47*
	Error	6	0.00
ฟลาวอร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	RS ₂	5	1.25*
	Error	6	0.04
	RS ₃	5	4.68*
	Error	6	0.00

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.8)

ตัวอย่างทดสอบ	SOV	df	MS
ฟลาวอร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	L*	5	2.67*
	Error	12	0.00
	a*	5	0.28*
	Error	12	0.00
	b*	5	2.04*
	Error	12	0.00
ฟลาวอร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	L*	5	4.71*
	Error	12	0.00
	a*	5	0.10*
	Error	12	0.00
	b*	5	6.70*
	Error	12	0.00

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.7 (ต่อ) การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.8)

ตัวอย่างทดสอบ	SOV	df	MS
เปลือกแข็ง	L*	5	3.01*
	Error	12	0.00
	a*	5	0.22*
	Error	12	0.00
	b*	5	6.53*
	Error	12	0.00

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณความเป็นผลึกของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.9)

ตัวอย่างทดสอบ	SOV	df	MS
ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้า	ปริมาณความเป็นผลึก	5	10.05*
	Error	6	0.20
ฟลาวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ด	ปริมาณความเป็นผลึก	5	4.08*
	Error	6	0.32

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ๓.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติทางความร้อนของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.10)

ตัวอย่างทดสอบ	SOV	df	MS
ฟลาวร์จากเนื้อ เมล็ดถั่วพรี	Onset temperature	5	0.13*
	Error	6	0.01
	Peak temperature	5	0.05
	Error	6	.013
	Conclusion temperature	5	0.27
	Error	6	0.07
	Enthalpy of gelatinization (J/g)	5	0.97
	Error	6	0.00
	Enthalpy of gelatinization (J/g _{starch})	5	3.0*
	Error	6	0.0
ฟลาวร์จากถั่วพรี ทั้งเมล็ด	Onset temperature	5	0.54
	Error	6	0.13
	Peak temperature	5	1.11*
	Error	6	0.12
	Conclusion temperature	5	0.52
	Error	6	0.22
	Enthalpy of gelatinization (J/g)	5	2.09
	Error	6	0.00
	Enthalpy of gelatinization (J/g _{starch})	5	4.3*
	Error	6	0.0

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความสามารถในการจับน้ำและน้ำมันของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.11)

ตัวอย่างทดสอบ	SOV	df	MS
ฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรี	ความสามารถในการจับน้ำ	5	0.11*
	Error	12	0.00
	ความสามารถในการจับน้ำมัน	5	0.01*
	Error	12	0.00
ฟลาวร์จากถั่วพรีทั้งเมล็ด	ความสามารถในการจับน้ำ	5	0.21*
	Error	12	0.00
	ความสามารถในการจับน้ำมัน	5	0.12*
	Error	12	0.00
เปลือกแข็ง	ความสามารถในการจับน้ำ	5	2.35*
	Error	12	0.00
	ความสามารถในการจับน้ำมัน	5	0.03*
	Error	12	0.00

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวของฟลาวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.12)

ลักษณะทดสอบ	SOV	df	MS
กำลังการพองตัว	75°C	5	20.15*
	Error	12	0.11
	80°C	5	5.19*
	Error	12	0.10
	85°C	5	1.14*
	Error	12	0.16
	90°C	5	4.15*
	Error	12	0.11
	95°C	5	4.16*
	Error	12	0.24

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการละลายของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.13)

ลักษณะทดสอบ	SOV	df	MS
การละลาย	75°C	5	10.63*
	Error	12	1.37
	80°C	5	5.68*
	Error	12	0.78
	85°C	5	18.85*
	Error	12	0.72
	90°C	5	7.25*
	Error	12	0.23
	95°C	5	11.72*
	Error	12	0.73

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวของฟลาวัวร์จากถั่วพรีที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.12)

ลักษณะทดสอบ	SOV	df	MS
กำลังการพองตัว	75°C	5	2.25*
	Error	12	0.12
	80°C	5	1.16*
	Error	12	0.29
	85°C	5	1.35*
	Error	12	0.06
	90°C	5	0.86*
	Error	12	0.04
	95°C	5	3.03*
	Error	12	0.32

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการละลายของฟลาวัวร์จากถั่วพว้าทั้งเมล็ดที่ผ่าน
ตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.13)

ลักษณะทดสอบ	SOV	df	MS
การละลาย	75°C	5	26.52*
	Error	12	0.31
	80°C	5	15.30*
	Error	12	0.67
	85°C	5	26.69*
	Error	12	0.90
	90°C	5	19.94*
	Error	12	1.00
	95°C	5	12.68*
	Error	12	1.46

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของฟลาวัวร์จากเนื้อเมล็ดถั่วพว้าที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.15)

ลักษณะทดสอบ	SOV	df	MS
สมบัติด้านการเกิดเพสต์	Peak viscosity	5	157.08*
	Error	6	0.33
	Trough	5	7.55*
	Error	6	0.02
	Breakdown	5	110.73*
	Error	6	0.45
	Final viscosity	5	9.95*
	Error	6	0.08
	Setback	5	0.53*
	Error	6	0.06
	Peaktime	5	0.00
	Error	6	0.01
	Pasting temperature	5	0.99
	Error	6	0.91

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ตารางที่ ง.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของฟลาวัวร์จากถั่วพ้ง้าทั้งเมล็ดที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (สำหรับตารางที่ 4.15)

ลักษณะทดสอบ	SOV	df	MS
สมบัติด้านการเกิดเพสต์	Peak viscosity	5	81.11*
	Error	6	0.10
	Trough	5	4.41*
	Error	6	0.01
	Breakdown	5	53.39*
	Error	6	0.13
	Final viscosity	5	5.00*
	Error	6	0.05
	Setback	5	0.16*
	Error	6	0.02
	Peaktime	5	0.01*
	Error	6	0.00
	Pasting temperature	5	0.07
	Error	6	0.22

* หมายถึง แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวซาร่า สุนทรธรรม์ เกิดวันที่ 7 ตุลาคม 2530 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552

ผลงานวิจัย

เสนอผลงานเรื่อง ผลของขนาดอนุภาคและเปลือกแข็งต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของฟลัวร์จากถั่วพุ่ม (EFFECTS OF PARTICLE SIZES AND HULL ON PHYSICO-CHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF FLOUR FROM JACK BEAN *Canavalia ensiformis* L.) ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ "PURE AND APPLIED CHEMISTRY CONFERENCE 2012 (PACCON 2012)" ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 11-13 มกราคม 2555 ณ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส จังหวัดเชียงใหม่