

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247862

เมล็ดของพืชเมล็ดถั่วที่อุดมไปด้วยไขมันและโปรตีนซึ่งเป็นที่นิยมใช้ทำอาหารสัตว์

Cajanus cajan (L.)

นางสาวปทุมวิภา วิไลพร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

600252462

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



247862

ผลของขนาดเมล็ดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ

Cajanus cajan (L.)



นางสาวปณทริกา วิไลพล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 1 7 2 3 6 6 0 2 3

EFFECTS OF GRANULE SIZE ON PHYSICO-CHEMICAL AND FUNCTIONAL
PROPERTIES OF PIGEON PEA *Cajanus cajan* (L.) STARCH

Miss Puntarika Wilaipol

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ผลของขนาดเมล็ดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและ
สมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ *Cajanus cajan* (L.)

โดย

นางสาวปยุตพรวิภา วิไลพล

สาขาวิชา

เทคโนโลยีทางอาหาร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัดติยกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัดติยกุล)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. นนิตฐา ธนานวงค์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ดริช กวัคเพชญ์)

ศาสตราจารย์ ดร. สุนีย์ โชติณีนานา
..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สุนีย์ โชติณีนานา)

ปญทริกา วิไลพล : ผลของขนาดเม็ดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ *Cajanus cajan* (L.). (Effects of Granule Size on Physico-Chemical and Functional Properties of Pigeon Pea *Cajanus cajan* (L.) Starch) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ. ดร. จิรารัตน์ ทัดติยกุล, 98 หน้า.

247862

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางเคมีและกายภาพของสตาร์ชถั่วมะแฮะ และผลของขนาดเม็ดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ พบว่า สตาร์ชถั่วมะแฮะมีคาร์โบไฮเดรต เส้นใยหยาบ ไขมัน เถ้า และโปรตีน เท่ากับ ร้อยละ 98.95, 0.64, 0.27, 0.10 และ 0.04 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ และมีเอมิโลสร้อยละ 64.61 ของสตาร์ช มีค่า L , a , b และค่าดัชนีความขาวเท่ากับ 76.09, -0.61, 1.16 และ 76.05 ตามลำดับ เม็ดสตาร์ชถั่วมะแฮะมีรูปร่างกลมและรี มีลักษณะสภาพพื้นผิวที่เรียบ มีลักษณะของ birefringence ที่ชัดเจน โดยเม็ดสตาร์ชมีขนาดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับ 27.32 ไมครอน และมีโครงสร้างผลึกแบบ C มีความสามารถในการจับน้ำ 0.74 กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง กำลังการพองตัว (กรัม/กรัมสตาร์ชแห้ง) และการละลาย (ร้อยละ) มีค่าเท่ากับ 2.41 และ 1.29 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 70 °C ซึ่งเพิ่มขึ้นเป็น 10.89 และ 10.84 ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 95 °C ในการวิเคราะห์จุลนศาสตร์การขยายขนาดของเม็ดสตาร์ช พบว่าอัตราการขยายขนาดของเม็ดสตาร์ชมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น และมีค่าพลังงานก่อกัมมันต์ของการเกิดเจลาติโนเซชันในช่วงอุณหภูมิ 69 °C ถึง 79 °C เท่ากับ 343.76 kJ mole⁻¹ จากการศึกษาสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ พบว่า มีค่า pasting temperature 81.28 °C, peak viscosity, breakdown และ setback เท่ากับ 4,106.5, 1,082.5 และ 2,812.5 cP ตามลำดับ สตาร์ชถั่วมะแฮะมีช่วงอุณหภูมิในการเกิดเจลาติโนเซชันเท่ากับ 70.95-83.95 °C และมีค่า ΔH เท่ากับ 12.97 J/g เจลของสตาร์ชถั่วมะแฮะมีค่า G' มากกว่า G'' ที่ทุกความถี่ของการทดสอบ ซึ่งแสดงถึงลักษณะของความเป็นของแข็งมากกว่าความเป็นของเหลว และเมื่อจำแนกสตาร์ชถั่วมะแฮะออกเป็น 4 ขนาด โดยใช้เวลาในการตกตะกอนเท่ากับ 15, 30, 60 และมากกว่า 60 นาที ซึ่งได้สตาร์ชที่มีขนาดเฉลี่ยเท่ากับ 28.13, 26.99, 24.50 และ 20.49 ไมครอน ตามลำดับ พบว่า เม็ดสตาร์ชทั้ง 4 ขนาด มีรูปร่างกลมและรี มีลักษณะสภาพพื้นผิวที่เรียบ มีลักษณะของ birefringence ที่ชัดเจน และมีโครงสร้างผลึกเป็นแบบ C แต่มีค่าที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในการวิเคราะห์จุลนศาสตร์การขยายขนาดของเม็ดสตาร์ช พบว่าอัตราการขยายขนาดของเม็ดสตาร์ชที่ตกตะกอนที่เวลา 15 นาที มีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น แต่การเพิ่มอุณหภูมิไม่ได้มีผลต่ออัตราการขยายขนาดของเม็ดสตาร์ชที่ตกตะกอนที่เวลา 30, 60 และมากกว่า 60 นาที ขนาดของเม็ดสตาร์ชมีผลต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ช โดยปริมาณเอมิโลส การละลาย สมบัติด้านการเกิดเพสต์ ได้แก่ peak viscosity, final viscosity และ setback และสมบัติด้านความร้อน ได้แก่ ΔH มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามขนาดเม็ดสตาร์ชที่ใหญ่ขึ้น ส่วนความสามารถในการจับน้ำ กำลังการพองตัว และสมบัติด้านการเกิดเพสต์ ได้แก่ pasting temperature มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นเมื่อขนาดเม็ดสตาร์ชเล็กลง ส่วนสมบัติทางการไหลของสตาร์ชถั่วมะแฮะทั้ง 4 ขนาดนั้น มีค่าใกล้เคียงกัน

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อนิสิต ปญทริกา วิไลพล
 สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
 ปีการศึกษา 2553

5172366023 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS : PIGEON PEA STARCH / GRANULE SIZE / FUNCTIONAL PROPERTIES

PUNTARIKA WILAIPOLO : EFFECTS OF GRANULE SIZE ON PHYSICO-CHEMICAL AND FUNCTIONAL PROPERTIES OF PIGEON PEA *Cajanus cajan* (L.) STARCH. THESIS ADVISOR : JIRARAT TATTIYAKUL, Ph. D., 98 pp.

217862

The objective of this research was to examine physico-chemical properties and effects of granule size on functional properties of pigeon pea starch. Pigeon pea starch contained 98.95% carbohydrate, 0.64% crude fiber, 0.27% fat, 0.10% ash, and 0.04% protein on dry weight basis. The starch contained 64.61% amylose. The L, a, b and white index values of the starch were 76.09, -0.61, 1.16 and 76.05, respectively. Pigeon pea starch granules were round and oval, had smooth surface, and had clear birefringence with an average size of 27.32 microns. The starch showed a characteristic C-type diffraction pattern. The starch was found to have low water binding capacity (0.74 g water / g dry starch). The swelling power and the solubility of pigeon pea starch was 2.41 g/g dry starch and 1.29%, respectively, at 70 °C and increased to 10.89 g/g dry starch and 10.84%, respectively, at 95 °C. The granule growth rate increased with increasing temperature. The activation energy of the gelatinization of pigeon pea starch dispersion in the temperature range of 69-79 °C was found to be 343.76 kJ mole⁻¹. The starch showed high pasting temperature (81.28 °C), peak viscosity (4,106.5 cP), breakdown (1,082.5 cP) and setback (2,812.5 cP). From DSC measurement, the gelatinization temperature of pigeon pea starch was 70.95-83.95 °C and ΔH was 12.97 J/g. From frequency sweep test, the 12% (w/w) pigeon pea starch gel gave higher G' than G'' indicating the typical characteristic of weak gel. Upon classified into four sizes using different setting time of 15, 30, 60 and over 60 min which resulted in starch with an average granule size of 28.13, 26.99, 24.50 and 20.49 microns, respectively. All pigeon pea starch with different granule sizes had round and oval shape, smooth surface, and clear birefringence. They showed a characteristic C-type diffraction pattern. The starch showed significantly different color. The fractions that had the largest granule sizes had the granule growth rate that increased with increasing temperature. The granule growth rate for the fractions with smaller granule sizes was not affected by gelatinization temperature. It was found that starch with larger granule sizes had higher amylose content, lower water binding capacity, lower swelling power, higher solubility, and higher ΔH. Peak viscosity, final viscosity and setback increased with an increase in average granule size but pasting temperature increased with a decrease in average granule size. From the rheological properties measurement, pigeon pea starch of different granule sizes exhibited similar profiles in temperature sweep test and frequency sweep test.

Department : Food Technology.....

Student's Signature Puntarika Wilai polo

Field of Study : Food Technology.....

Advisor's Signature J. W. Tattiyakul

Academic Year : 2010.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิราวัฒน์ ทัตติยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ และเป็นกำลังใจให้แก่ผู้วิจัยตลอดระยะเวลาการทำวิจัย และตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พาสวดี ประทีปะเสน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร. ชนิษฐา ธนานวงค์ อาจารย์ ดร. ดริษ กวักเพฑูรย์ และ ดร. สุนีย์ โชตินีรนาท ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ รวมถึงได้เสนอแนวทางแก้ไขและปรับปรุง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณผู้ให้ความอนุเคราะห์และให้การสนับสนุนด้านต่าง ๆ ของงานวิจัยนี้ ทุนวิจัยและวัตถุดิบสารสกัดมะฮะสะจากโครงการวิทยาเพื่อพื้นที่ในแผนพัฒนาวิชาการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2551-2555: งานวิจัยด้านอาหารจากทรัพยากรท้องถิ่นเพื่อพัฒนาอาชีพของชุมชน โครงการย่อย: การพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหารจากแป้งถั่วมะฮะสะ และทุนวิจัยสนับสนุนโครงการส่งเสริมการทำงานวิจัยเชิงลึกในสาขาวิชาที่มีศักยภาพสูง กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ปีงบประมาณ 2553 กลุ่มวิจัยอาหารและน้ำ (Food and Water Cluster) เรื่อง “โครงการวิจัยการจำแนกขนาดเม็ดแป้งและสมบัติเชิงหน้าที่ของแป้งถั่วมะฮะสะเพื่อการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร” (The National Research University Project of CHE and Ratchadaphiseksomphot Endowment Fund (FW 005B))

กราบขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ผู้วิจัย ทั้งในด้านวิชาการและจริยธรรม ซึ่งเป็นรากฐานอย่างยิ่งในการศึกษาค้นคว้างานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำและการช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณรุ่นพี่นิสิตปริญญาเอก พี่ ๆ และเพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณรพีพร ประสาท คุณทิมมพร พิมพ์แก้ว และคุณปาริชาติ บำรุง ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจกันมาตลอดระยะเวลาการทำวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ญาติ พี่ น้อง ที่ได้ให้การสนับสนุนด้านการศึกษาและคอยให้ความช่วยเหลือในทุก ๆ ด้าน ตลอดจนให้กำลังใจอันมีค่ายิ่งเสมอมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยยินดีรับข้อเสนอแนะและขออภัยมา ณ ที่นี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 ถั่วมะแฮะ.....	3
2.2 แบ่งและสตาร์ช.....	4
2.3 สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ที่สำคัญของสตาร์ช.....	5
2.3.1 สมบัติทางเคมี.....	5
2.3.2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่.....	7
3. วิธีการทดลอง.....	22
3.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	22
3.2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	23
3.2.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชถั่วมะแฮะ.....	23
3.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ.....	23
3.2.3 การศึกษาผลของขนาดเม็ดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่.....	24
4. ผลการทดลองและวิจารณ์.....	27
4.1 สมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ.....	27
4.2 ผลของขนาดเม็ดสตาร์ชต่อสมบัติทางเคมีกายภาพและสมบัติเชิงหน้าที่.....	39
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	56
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	56
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	57
รายการอ้างอิง.....	58

	หน้า
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก.....	67
ภาคผนวก ข.....	85
ภาคผนวก ค.....	87
ภาคผนวก ง.....	93
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	98

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	องค์ประกอบทางเคมีของสตาร์ชถั่วมะแฮะ.....	28
4.2	อัตราการขยายขนาดของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่อุณหภูมิต่าง ๆ และค่า E_g	33
4.3	เปรียบเทียบค่า E_g ของสตาร์ชชนิดต่าง ๆ ในช่วงอุณหภูมิการเกิด เจลาติโนเซชัน.....	34
4.4	สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ.....	35
4.5	สมบัติด้านความร้อนของสารละลายสตาร์ชถั่วมะแฮะที่มีอัตราส่วนของสตาร์ช: น้ำ เท่ากับ 1:2.3 ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC.....	36
4.6	เปรียบเทียบสมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชถั่วมะแฮะ.....	37
4.7	ขนาดเฉลี่ยของเม็ดสตาร์ชและปริมาณแอมิโลสของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการ แยกขนาดแล้ว.....	40
4.8	ปริมาณของสตาร์ชที่แยกได้ในแต่ละช่วงเวลา.....	40
4.9	ค่าสี L, a, b และค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาด แล้ว.....	41
4.10	ค่าความสามารถในการจับน้ำของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว....	45
4.11	กำลังการพองตัวที่อุณหภูมิ 70 °C ถึง 95 °C ของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการ แยกขนาดแล้ว.....	47
4.12	การละลายที่อุณหภูมิ 70 °C ถึง 95 °C ของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยก ขนาดแล้ว.....	48
4.13	อัตราการขยายขนาดของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้วที่อุณหภูมิ ต่าง ๆ และค่า E_g	50
4.14	สมบัติด้านการเกิดเพสต์ของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้วที่ระดับ ความเข้มข้น 12% (w/w).....	52
4.15	สมบัติด้านความร้อนของสารละลายสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว ที่มีอัตราส่วนของสตาร์ช:น้ำ เท่ากับ 1:2.3 ที่วิเคราะห์ด้วยเครื่อง DSC.....	53
ก.1	ลักษณะโครงสร้างผลึกของเม็ดสตาร์ชที่เป็นแบบ A, B และ C.....	76
ก.2	Temperature profile STD 1.....	80
ก.3	ปริมาณตัวอย่างแนะนำในการวัดสมบัติด้านความหนืดด้วยเครื่อง RVA.....	81
ค.1	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ยังไม่ได้ผ่านการแยกขนาด	87

ตารางที่	หน้า	
ค.2	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ตกตะกอนที่เวลา 15 นาที	88
ค.3	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ตกตะกอนที่เวลา 30 นาที	89
ค.4	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ตกตะกอนที่เวลา 60 นาที	90
ค.5	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ตกตะกอนที่เวลามากกว่า 60 นาที.....	91
ค.6	อัตราการขยายขนาดของเม็ดสตาร์ชที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	92
ค.7	พลังงานก่อกัมมันต์ (E_a) ที่ใช้ในการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชถั่วมะแฮะ.....	92
ง.1	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปริมาณแอมิโลสในสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.7).....	93
ง.2	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของขนาดเม็ดสตาร์ชของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.7).....	93
ง.3	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าสีและค่าดัชนีความขาวของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.9).....	93
ง.4	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าความสามารถในการจับน้ำของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.10).....	94
ง.5	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของกำลังการพองตัวที่อุณหภูมิตั้งแต่ 70 °C ถึง 95 °C ของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.11).....	94
ง.6	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการละลายที่อุณหภูมิตั้งแต่ 70 °C ถึง 95 °C ของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.12).....	95
ง.7	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติด้านการเกิดเพสต์ของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.14).....	96
ง.8	การวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมบัติด้านความร้อนของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว (สำหรับตารางที่ 4.15).....	97

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ฝักถั่วมะแฮะ.....	3
2.2	ต้นถั่วมะแฮะ.....	4
2.3	โครงสร้างของแอมิโลส.....	5
2.4	โครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมัน.....	6
2.5	โครงสร้างของแอมิโลเพกติน.....	7
2.6	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A B C และ V	8
2.7	รูปแบบ unit cells ของสตาร์ชที่มีโครงสร้างผลึกแบบ A และ B.....	9
2.8	ค่าต่าง ๆ ที่วัดได้จากเครื่อง Rapid Visco Analyzer (RVA).....	13
2.9	กลไกการเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ช.....	15
2.10	โมดูลัสของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด.....	17
2.11	ช่วง Linear viscoelastic range.....	18
3.1	วิธีการจำแนกขนาดสตาร์ชถั่วมะแฮะออกเป็น 4 ขนาด.....	25
4.1	ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชถั่วมะแฮะ.....	29
4.2	รูปร่าง และลักษณะ birefringence ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ.....	30
4.3	X-ray diffraction pattern ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ.....	31
4.4	กำลังการพองตัวของสตาร์ชถั่วมะแฮะในช่วงอุณหภูมิ 70 ถึง 95 °C.....	32
4.5	การละลายของสตาร์ชถั่วมะแฮะในช่วงอุณหภูมิ 70 ถึง 95 °C.....	33
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า moduli กับอุณหภูมิของสตาร์ชถั่วมะแฮะความ เข้มข้น 12% (w/w) ทดสอบโดยกำหนด stress เท่ากับ 40 Pa, ความถี่ 1 Hz และใช้อุณหภูมิในการทดสอบตั้งแต่ 50 °C ถึง 90 °C.....	38
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า moduli กับความถี่ของสตาร์ชถั่วมะแฮะความเข้มข้น 12% (w/w) ทดสอบโดยกำหนด stress เท่ากับ 40 Pa, อุณหภูมิ 25 °C และใช้ ความถี่ในการทดสอบตั้งแต่ 0.1 Hz ถึง 100 Hz.....	39
4.8	ภาพถ่ายจาก SEM แสดงลักษณะพื้นผิวของเม็ดสตาร์ชถั่วมะแฮะที่แยกที่เวลา ต่าง ๆ.....	42
4.9	รูปร่าง และลักษณะ birefringence ของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาด แล้ว.....	43
4.10	X-ray diffraction pattern ของสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว.....	44

รูปที่		หน้า
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า moduli กับอุณหภูมิของสตาร์ชถั่วมะแฮะ 4 ขนาด ที่ความเข้มข้น 12% (w/w) ทดสอบโดยกำหนด stress เท่ากับ 40 Pa, ความถี่ 1 Hz และใช้อุณหภูมิในการทดสอบตั้งแต่ 50 °C ถึง 90 °C.....	54
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า moduli กับความถี่ของสตาร์ชถั่วมะแฮะ 4 ขนาด ที่ความเข้มข้น 12% (w/w) ทดสอบโดยกำหนด stress เท่ากับ 40 Pa, อุณหภูมิ 25 °C และใช้ความถี่ในการทดสอบตั้งแต่ 0.1 Hz ถึง 100 Hz.....	55
ก.1	กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส.....	73
ข.1	ขนาดและการกระจายขนาดของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชถั่วมะแฮะ.....	85
ข.2	ขนาดและการกระจายขนาดของเม็ดสตาร์ชในสตาร์ชถั่วมะแฮะที่ผ่านการแยกขนาดแล้ว.....	85
ข.3	กำลังการพองตัวของสตาร์ชถั่วมะแฮะในช่วงอุณหภูมิ 70 ถึง 95 °C.....	86
ข.4	การละลายของสตาร์ชถั่วมะแฮะในช่วงอุณหภูมิ 70 ถึง 95 °C.....	86