

ผลของโปรตีนและไขมันต่อการเกิดเจลาตีโนเซชันและการเกิดรีโทรเกรเดชันของเพสต์สตาร์ชข้าว



นางสาวประภัสสร เชิดชูธรรม

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร


คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-2303-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF PROTEIN AND LIPID ON GELATINIZATION AND RETROGRADATION
OF RICE STARCH PASTE



Miss Prapassorn Chirdchuthum

สถาบันวิทยบริการ

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

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2005

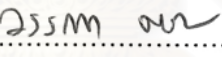
ISBN 974-14-2303-9

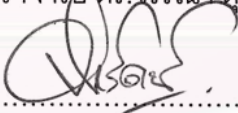
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของโปรตีนและไขมันต่อการเกิดเจลลาติโนเซชันและการเกิด
รีโทรเกรเดชันของเพสต์สตาร์ชข้าว
โดย นางสาวประภัสสร เชิดชูธรรม
สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.จิรวัฒน์ ทัดติยกุล

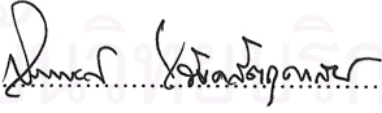
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต)

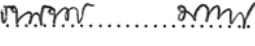
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วรรณวรา ตูลยธัญ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.จิรวัฒน์ ทัดติยกุล)


..... กรรมการ
(ผศ.ดร.สุรพงศ์ นวังคส์ตฤศาสน์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช)

ประภัสสร เชิดชูธรรม : ผลของโปรตีนและไขมันต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันและการเกิดรีโทรเกรเดชันของเพสต์สตาร์ชข้าว. EFFECTS OF PROTEIN AND LIPID ON GELATINIZATION AND RETROGRADATION OF RICE STARCH PASTE. อ.ที่ปรึกษา : อ.ดร.จิราวัฒน์ ทัดติยกุล. จำนวน 109 หน้า. ISBN 974-14-2303-9.

งานวิจัยนี้แบ่งเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกศึกษาองค์ประกอบทางเคมี ชนิดของโปรตีนและไขมันในฟลาร์วีข้าว ส่วนที่ 2 ศึกษาผลของโปรตีนและไขมันต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันและการเกิดรีโทรเกรเดชันของเพสต์สตาร์ชข้าว โดยวิธีการศึกษาสมบัติทางความร้อนและวิธีการศึกษาสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าว จากการศึกษาพบว่า ฟลาร์วีข้าวมีโปรตีน 8.06% ไขมัน 0.69% เถ้า 1.11% เส้นใย 0.35% และคาร์โบไฮเดรต 89.79% (โดยน้ำหนักแห้ง) ในส่วนของโปรตีนประกอบด้วยโปรตีนกลูเตลิน 88.73% แอลบูมิน 2.07% โกลบูลิน 7.58% และโปรลามิน 1.63% โปรตีนทั้ง 4 ชนิดมีกรดกลูตามิกเป็นองค์ประกอบหลัก ไขมันจากฟลาร์วีข้าวแบ่งเป็น non-starch lipid 55.45% และ starch lipid 44.55% ไขมันทั้งสองชนิดมีกรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิกเป็นองค์ประกอบหลัก โดยใน non-starch lipid และใน starch lipid มีปริมาณกรดปาล์มิติก : กรดโอเลอิก : กรดไลโนเลอิก เท่ากับ 30.6 : 28.2 : 33.9 และ 50.4 : 13.2 : 27.3 ตามลำดับ

ในการศึกษาสมบัติทางความร้อนพบว่า การเติมโปรตีนข้าวเจ้า Remypro N80+[®] เข้มข้น 6% ถึง 18% ลงในสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% 15% และ 20% มีผลเพิ่ม onset temperature (T_o) peak temperature (T_p) และ conclusion temperature (T_c) และลดเอนทัลปีของการเกิดเจลลิตีในเซชัน (ΔH_{gel}) และเอนทัลปีของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชัน (ΔH_{ret}) แสดงว่าโปรตีนมีผลทำให้สตาร์ชเกิดเจลลิตีในเซชันและรีโทรเกรเดชันลดลง ในการศึกษาผลของไขมันต่อสมบัติทางความร้อนนั้น เลือกศึกษาผลของกรดไขมันอิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ กรดปาล์มิติก และกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ กรดไลโนเลอิก พบว่า การเติมกรดไขมันทางการค้าทั้ง 2 ชนิดที่ 0.5% และ 1% ไม่มีผลต่อค่า T_o , T_p และ T_c ของการเกิดเจลลิตีในเซชัน แต่มีผลเพิ่ม T_o , T_p และ T_c ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชันและ ΔH_{gel} ของเพสต์สตาร์ชมีค่าต่ำสุดที่ปริมาณกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% และกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.5% ΔH_{ret} ที่เติมไขมันมีค่าลดลงเมื่อปริมาณกรดไลโนเลอิก $\geq 0.5\%$ และกรดปาล์มิติก $\leq 0.5\%$ แสดงว่าการเติมกรดไขมันที่ปริมาณดังกล่าวสามารถลดการเกิดรีโทรเกรเดชันของเพสต์สตาร์ชข้าวได้

ในการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่า ค่า peak complex viscosity (η^*_{peak}) ของเพสต์สตาร์ชระหว่างการเกิดเจลลิตีในเซชันมีค่าลดลง เมื่อเติมโปรตีนลงในสตาร์ช 10% แต่ค่า η^*_{peak} เพิ่มขึ้นที่ความเข้มข้นสตาร์ช 15% 20% เมื่อศึกษาผลของโปรตีนต่อเพสต์สตาร์ชข้าวที่ผ่านการเจลลิตีในซีที่อุณหภูมิ 90 °ซ พบว่า ค่า complex modulus (G^*) สูงขึ้นเมื่อปริมาณสตาร์ชเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณโปรตีนไม่มีผลต่อค่า G^* ส่วนการเติมกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกมีแนวโน้มเพิ่มค่า η^*_{peak} เมื่อความเข้มข้นของกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิก $\geq 0.5\%$ ซึ่งกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มในการลดค่า G^* ของเพสต์สตาร์ชที่ผ่านการเจลลิตีในซีที่ 90 °ซ

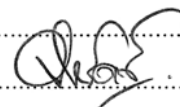
ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางอาหาร.....

ปีการศึกษา..... 2548.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....



4572363223 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEY WORDS : PROTEIN/LIPID/RICE STARCH/GELATINIZATION/RETROGRADATION

PRAPASSORN CHIRDCHUTHUM : EFFECTS OF PROTEIN AND LIPID ON
GELATINIZATION AND RETROGRADATION OF RICE STARCH PASTE : THESIS
ADVISOR : JIRARAT TATTIYAKUL, Ph.D., 109 pp. ISBN 974-14-2303-9.

The first part of this thesis aimed to study the chemical composition of rice flour and investigate the amount and type of amino acids and fatty acids that are the composition of rice protein and rice lipid, respectively. The second part aimed to study the effects of protein and lipid on gelatinization and retrogradation of rice starch paste using thermal property and mechanical property investigation. Rice flour composed of 8.06% protein, 0.69% fat, 1.11% ash, 0.35% fiber, and 89.79% carbohydrates (w/w dry basis). Rice protein consisted of 88.73% glutelin, 2.07% albumin, 7.58% globulin, and 1.63% prolamin. The major amino acid of all protein fractions was glutamic acid. Rice lipid comprised 55.45% non-starch lipid and 44.55% starch lipid. The main fatty acids in both non-starch lipid and starch lipid were palmitic acid, oleic acid, and linoleic acid. It was found that the ratio of palmitic acid : oleic acid : linoleic acid in non-starch lipid and starch lipid was 30.6 : 28.2 : 33.9 and 50.4 : 13.2 : 27.3, respectively.

An addition of commercial rice protein Remypro N80+[®] at 6% to 18% resulted in an increase in onset temperature (T_o), peak temperature (T_p), and conclusion temperature (T_c), a decrease in the enthalpy of gelatinization (ΔH_{gel}) and the enthalpy of melting of retrograded paste (ΔH_{ret}). Two fatty acids; palmitic acid (PA) that is the major saturated fatty acid in rice lipid, and linoleic acid (LIN) that is the major unsaturated fatty acid in rice lipid, were chosen for the investigation of their effect on starch gelatinization and retrogradation. An addition of PA and LIN at 0.5% and 1% (w/w) had no effect on T_o , T_p , and T_c of starch gelatinization, but increased T_o , T_p , and T_c of melting endotherm of retrograded starch paste. The lowest ΔH_{gel} was resulted when adding 0.5% LIN and 0.5% PA to 10-20% starch paste. An addition of LIN at $\geq 0.5\%$ and PA $\leq 0.5\%$ yielded a starch paste with reduced ΔH_{ret} .

The peak complex viscosity (η^*_{peak}) of starch paste during gelatinization was reduced when protein was added to 10% starch paste, but increased when protein was added to 15% and 20% starch pastes. The complex modulus (G^*) of gelatinized starch paste, which had been heated at 90°C, increased with increasing starch concentration but was not affected by protein addition. The η^*_{peak} of the starch pastes was found to increase with an addition of PA and LIN at $\geq 0.5\%$. The same level of addition of PA and LIN also resulted in a decrease in G^* of gelatinized starch pastes at all starch concentrations.

Department.....Food Technology..... Student's signature.....
Field of study.....Food Technology..... Advisor's signature.....
Academic year.....2005.....

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาระดับปริญญาโทและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ โดยความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร. จิรารัตน์ ทัตติยกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และกำลังใจตลอดการทำวิจัย และกรุณาช่วยตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.วรรณฯ ตูลย์ธัญ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ นวังคส์ตฤศานัน อาจารย์ ดร.เกียรติศักดิ์ ดวงมาลัย และอาจารย์ ดร.ธนจันทร์ มหาวนิช ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งชี้แนะแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บริษัท DPO (Thailand) จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์โปรตีน Remypro N80+[®] เพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ชุดโครงการวิจัยเพื่อการพัฒนาอุตสาหกรรมเกษตร-อุตสาหกรรมอาหาร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีงบประมาณ 2546-2547

ขอขอบคุณการสนับสนุนจากงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2546 บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบคุณพี่ น้อง และเพื่อน ๆ ปรียญาโททุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจตลอดการวิจัย

ขอบคุณพี่ น้อง และเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่านที่ให้ความร่วมมือและคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์

ขอบคุณพี่โลมาที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำและให้กำลังใจตลอดการวิจัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่สนับสนุนในด้านการเงิน คำแนะนำ และกำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 วารสารปริทัศน์.....	3
2.1 ข้าวเจ้า.....	3
2.2 ฟลาวรีข้าวเจ้า.....	3
2.3 สตาร์ชข้าวเจ้า.....	5
2.3.1 องค์ประกอบของสตาร์ช.....	5
2.3.1.1 อะมิโลส.....	5
2.3.1.2 อะมิโลเพกทิน.....	7
2.3.1.3 โปรตีน.....	11
2.3.1.4 ไขมัน.....	12
2.3.2 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลส.....	14
2.4 ผลของโปรตีนต่อการเกิดเจลลาติในเซชันของสตาร์ช.....	15
2.5 ผลของไขมันต่อการเกิดเจลลาติในเซชันของสตาร์ช.....	16
2.6 สมบัติทาง viscoelastic.....	19
3 การทดลอง.....	22
3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมีและอุปกรณ์.....	22
3.1.1 วัตถุประสงค์.....	22
3.1.2 สารเคมี.....	22
3.1.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน.....	22
3.1.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน.....	22

3.1.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ....	22
3.1.2.4 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดโปรตีนจากฟลาวัวร์ข้าว.....	22
3.1.2.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดอะมิโน.....	23
3.1.2.6 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดไขมันจากฟลาวัวร์ข้าว.....	23
3.1.2.7 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดไขมัน.....	23
3.1.2.8 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดสตาร์ชข้าว.....	24
3.1.2.9 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโลส.....	24
3.1.3 อุปกรณ์.....	24
3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย.....	25
3.2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าว.....	25
3.2.2 สมบัติของฟลาวัวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว.....	25
3.2.2.1 สกัดฟลาวัวร์ข้าวโดยวิธีการไม่เปียก.....	25
3.2.2.2 สกัดสตาร์ชจากฟลาวัวร์ข้าว.....	27
3.2.2.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ ฟลาวัวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว.....	27
3.2.2.4 วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชข้าว.....	27
3.2.2.5 วิเคราะห์กำลังการพองตัวและการละลาย ของสตาร์ชข้าว.....	27
3.2.2.6 ศึกษาลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชของฟลาวัวร์ ข้าวและสตาร์ชข้าว.....	27
3.2.3 สมบัติทางเคมีของโปรตีนจากฟลาวัวร์ข้าว.....	29
3.2.3.1 สกัดโปรตีนจากฟลาวัวร์ข้าว.....	29
3.2.3.2 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่เป็น องค์ประกอบหลักของโปรตีนแอลบูมิน โกลบูลิน กลูเตลินและโปรลามิน.....	29
3.2.4 สมบัติทางเคมีของไขมันจากฟลาวัวร์ข้าว.....	29
3.2.4.1 สกัดไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid.....	29

3.2.4.2 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid ที่สกัดได้จากฟลาวอร์ข้าว.....	29
3.2.5 ผลของโปรตีนและไขมันต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว.....	29
3.2.5.1 ผลของโปรตีนต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว.....	29
3.2.5.2 ผลของไขมันต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว.....	30
3.2.6 ผลของโปรตีนและไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวระหว่างการเกิดเจลลิตีในเซชันและหลังการเกิดเจลลิตีในเซชัน.....	30
3.2.6.1 ผลของโปรตีนต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวระหว่างการเกิดเจลลิตีในเซชัน.....	30
3.2.6.2 ผลของโปรตีนต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวหลังการเกิดเจลลิตีในเซชัน.....	30
3.2.6.3 ผลของไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวระหว่างการเกิดเจลลิตีในเซชัน.....	30
3.2.6.4 ผลของไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวหลังการเกิดเจลลิตีในเซชัน.....	31
4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	32
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว.....	32
4.2 สมบัติของฟลาวอร์ข้าวและสตาร์ชข้าว.....	32
4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวอร์ข้าวและสตาร์ชข้าว.....	32
4.2.2 ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชข้าว.....	33
4.2.3 กำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชข้าว.....	34
4.2.4 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชของฟลาวอร์ข้าวและสตาร์ชข้าว.....	35

4.3 สมบัติทางเคมีของโปรตีนจากฟลาวอร์ข้าว.....	37
4.3.1 ปริมาณโปรตีนแอลบูมิน โกลบูลิน กลูเตลินและโปรลามิน.....	37
4.3.2 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักของ โปรตีนแอลบูมิน โกลบูลิน กลูเตลินและโปรลามิน.....	37
4.4 สมบัติทางเคมีของไขมันจากฟลาวอร์ข้าว.....	40
4.4.1 ไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid.....	40
4.4.2 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของ ไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid	40
4.5 ผลของโปรตีนและไขมันต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว.....	41
4.5.1 ผลของโปรตีนต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว....	41
4.5.2 ผลของไขมันต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว.....	44
4.6 ผลของโปรตีนและไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวระหว่าง การเกิดเจลลิตีในเซชันและหลังการเกิดเจลลิตีในเซชัน.....	54
4.6.1 ผลของโปรตีนต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวระหว่าง การเกิดเจลลิตีในเซชัน.....	54
4.6.2 ผลของโปรตีนต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวหลัง การเกิดเจลลิตีในเซชัน.....	55
4.6.3 ผลของไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวระหว่าง การเกิดเจลลิตีในเซชัน.....	60
4.6.4 ผลของไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวหลัง การเกิดเจลลิตีในเซชัน.....	64
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	66
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	67
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	67
รายการอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก.....	75
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์.....	76
ภาคผนวก ข ข้อมูลเกี่ยวกับโปรตีนทางการค้า Remypro N80+ [®]	98
ภาคผนวก ค รายละเอียดการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken design	99

ภาคผนวก ง ตารางจากผลการทดลอง.....	100
ภาคผนวก จ รูปจากผลการทดลอง	102
ภาคผนวก ฉ ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยวิธี Differential Scanning Calorimetry (DSC).....	105
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	109



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบต่างๆ ของข้าว.....	3
2.2 สมบัติของฟลาวอร์ข้าวเจ้า.....	4
2.3 สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส.....	6
2.4 สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทิน.....	10
2.5 องค์ประกอบโปรตีนแต่ละชนิดในข้าว.....	12
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว.....	32
4.2 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวอร์ข้าวและสตาร์ชข้าว.....	33
4.3 ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชข้าว.....	33
4.4 ชนิดโปรตีนที่แยกได้จากฟลาวอร์ข้าว.....	37
4.5 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนแต่ละชนิด.....	38
4.6 ปริมาณเป็นร้อยละของกรดอะมิโน 18 ชนิดที่เป็นองค์ประกอบ ของโปรตีนแต่ละชนิด.....	39
4.7 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันส่วน non-starch lipid.....	40
4.8 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันส่วน starch lipid.....	41
4.9 ผลของโปรตีนต่อการเกิดเจลลาติโนเซชันของเพสต์สตาร์ชข้าวด้วยวิธี DSC.....	42
4.10 ผลของโปรตีนต่อการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดเซชันของเพสต์สตาร์ชข้าว ด้วยวิธี DSC.....	43
ข.1 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนทางการค้า (Remypro N80+ [®]).....	98
ข.2 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนทางการค้า (Remypro N80+ [®]).....	98
ค.1 รายละเอียดการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken design.....	99
ง.1 กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวทดลองในสารแขวนลอยสตาร์ชเข้มข้น 3.33% (w/v).....	100
ง.2 การละลายของสตาร์ชข้าวทดลองในสารแขวนลอยสตาร์ชเข้มข้น 3.33% (w/v).....	100
ง.3 ค่า onset gelatinization temperature, peak gelatinization temperature และ peak complex viscosity ของสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมโปรตีนเข้มข้น 0% 6% 12% และ 18%.....	101

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างอะมิโลส..... 5
2.2	ลักษณะเกลียวของอะมิโลส..... 7
2.3	โครงสร้างอะมิโลเพกทิน..... 8
2.4	ลักษณะการเชื่อมต่อของโครงสร้างอะมิโลเพกทิน..... 8
2.5	ลักษณะโครงสร้างอะมิโลเพกทินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน..... 9
2.6	ปฏิกิริยาการเกิดโปรตีน..... 11
2.7	ปฏิกิริยาการเกิดไขมัน..... 13
2.8	สูตรโครงสร้าง GMP..... 14
2.9	การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลส..... 15
2.10	ผลของกรดปาล์มิติกต่อปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้..... 18
2.11	ความสัมพันธ์ระหว่าง frequency (ω) และค่า G' หรือค่า G'' ของโดที่เติมซอร์บิทเทนนิ่ง เข้มข้น 0% 2.5% 5.0% และ 7.5% (a) ค่า G' และ (b) ค่า G'' 21
3.1	การสกัดฟลาวอรีนด้วยวิธีไม่เปียกตัดแปลงจากวิธีของ Rani and Bhattacharya (1995)..... 26
3.2	การสกัดสารด้วยสารละลายไซเดียมไฮดรอกไซด์ตัดแปลงจากวิธีของ Lumdubwong and Seib (2000)..... 28
4.1	กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวทดลองในสารแขวนลอยสตาร์ช เข้มข้น 3.33% (w/v)..... 34
4.2	การละลายของสตาร์ชข้าวทดลองในสารแขวนลอยสตาร์ชเข้มข้น 3.33% (w/v)..... 35
4.3	ลักษณะเม็ดสตาร์ช (a) ฟลาวอรีน (b) สตาร์ชข้าว..... 36
4.4	ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_0 ของการเกิดเจลลิตีในเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%..... 46
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_p ของการเกิดเจลลิตีในเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%..... 47

4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_c ของการเกิดเจลลาติโนเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%.....	48
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_o ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%.....	49
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_p ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%.....	50
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_c ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%.....	51
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อเอนทาลปีของการเกิดเจลลาติโนเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%.....	52
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อเอนทาลปีของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%.....	53
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่าง peak complex viscosity และอุณหภูมิของสตาร์ชเข้มข้น 3 ระดับที่เติมโปรตีนเข้มข้น 0% 6% 12% 18% (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%.....	56
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า G^* และ frequency (ω) ของสตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20%.....	57
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า G^* และ frequency (ω) ของสตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20%ที่เติมโปรตีน 0% 6% 12% 18%.....	58
4.15	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า G' (■, ◆, ▲, ●) และ G'' (□, ◇, △, ○) และ frequency (ω) ของสตาร์ชเข้มข้น 3 ระดับที่เติมโปรตีน 0% 6% 12% 18% (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%.....	59

รูปที่	หน้า
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดพาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_0 ระหว่างการเกิดเจลลาติโนเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%.....	61
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดพาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_p ระหว่างการเกิดเจลลาติโนเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%.....	62
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดพาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า η_{peak}^* ระหว่างการเกิดเจลลาติโนเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%.....	63
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง G^* และ frequency (ω) ของเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมกรดพาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% 1.0%.....	65
ก.1 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณอะมิโลส.....	81
ก.2 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนทริปโตเฟน.....	87
ก.3 วิธีการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนชนิดอื่น	89
ก.4 ลักษณะ thermogram ของสตาร์ชที่ได้จากการศึกษาด้วยเครื่อง DSC.....	94
จ.1 ชนิดและปริมาณของโปรตีนที่แยกได้จากฟลาวรีข้าว.....	102
จ.2 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่พบในโปรตีน 4 ชนิดที่แยกได้จากฟลาวรีข้าว.....	103
จ.3 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid.....	104
ฉ.1 Endotherm ของการเกิดเจลลาติโนเซชันของสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมโปรตีนทางการค้าเข้มข้น 6% 12% และ 18%.....	105
ฉ.2 Endotherm ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมโปรตีนทางการค้าเข้มข้น 6% 12% และ 18%.....	106
ฉ.3 Endotherm ของการเกิดเจลลาติโนเซชันของสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมกรดพาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% และ 1.0%.....	107
ฉ.4 Endotherm ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมกรดพาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% และ 1.0%.....	108

บทที่ 1

บทนำ

อาหารหลักของทุกชนชาติมักมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก เช่น ข้าว ขนมปัง ก๋วยเตี๋ยว และพาสต้า เป็นต้น แป้งเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในโภชนาการของมนุษย์ ซึ่งแป้งที่ใช้บริโภคส่วนใหญ่ได้จากการแปรรูปจากพืชรากพืช เช่น ข้าว ข้าวสาลี ข้าวโพด และพืชหัว เช่น มันฝรั่ง เป็นต้น มีการนำแป้งมาใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมอาหารมากมาย เพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสและทำให้เกิดความคงตัวของอาหารจำพวกซอส ซุปและน้ำปรุงรสอาหาร (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) เพิ่มการอุ้มน้ำในผลิตภัณฑ์ (ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545) เพิ่มความหนืด เพิ่มน้ำหนักผลิตภัณฑ์ (Regheb, El-Thalouth, and Tawfik, 1995; ปาริฉัตร หงสประภาส, 2545)

เมื่อเติมแป้งลงในน้ำ เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำได้อย่างจำกัดและเกิดการพองตัวแบบผันกลับได้ และเมื่อเริ่มให้ความร้อนแก่แป้ง เม็ดแป้งจะดูดซึมน้ำเข้ามาจนเกิดการพองตัวอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นการพองตัวแบบผันกลับไม่ได้ เรียกว่าเกิดเจลลิตีในเซชัน ทำให้ความหนืดของสารแขวนลอยแป้งเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และหากเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้นจนทำให้เม็ดแป้งแตกออก อะมิโลสจะหลุดออกไปจากเม็ดแป้ง ทำให้สารแขวนลอยแป้งที่ได้มีลักษณะข้นหนืด โดยสารแขวนลอยแป้งจะมีความหนืดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อปล่อยให้เย็นจะเกิดเป็นเจลในที่สุด (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) ปัจจัยที่ควบคุมการเกิดเจลลิตีในเซชันของแป้ง แบ่งเป็นปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก โดยปัจจัยภายใน ได้แก่ ชนิดของแป้ง ความเข้มข้นของสารแขวนลอยแป้ง (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) และปัจจัยภายนอก ได้แก่ ส่วนประกอบต่างๆ เช่น เกลือ (Chungcharoen and Lund, 1987; Nurul Islam and Mohd. Azemi, 1995) น้ำตาล (วรรณ ตังเจริญชัย, 2536; Chungcharoen and Lund, 1987) ไขมัน (Eliasson and Krog, 1985; Hibi, 1994; Hoover, 1998; Becker, Hill and Mitchell, 2001)

เมื่อเก็บอาหารที่มีแป้งเป็นองค์ประกอบไว้ระยะเวลาหนึ่ง หรือเก็บไว้ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมจะเกิดการเสื่อมคุณภาพ ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดลักษณะที่ไม่ต้องการขึ้น ผลิตภัณฑ์มีความแข็งขึ้น เจลข้นมากขึ้น เกิดการขับน้ำออกมา เรียกว่าเกิดรีโทรเกรดชัน การเกิดรีโทรเกรดชันเป็นลักษณะที่ไม่ต้องการในอาหาร เช่น ขนมปัง เมื่อเกิดรีโทรเกรดชันจะทำให้เปลือกขนมปังแข็งและเหนียวขึ้น เนื้อในขนมปังแน่นขึ้นและมีความชุ่มชื้นมากขึ้น ปริมาณสารที่ละลายได้ลดลง เรียกปรากฏการณ์นี้อีกอย่างหนึ่งว่าการเกิด staling ของขนมปัง (จิตธนา แจ่มเมฆ อรอนงค์ นัยวิกุล และปริศนา สุวรรณภรณ์, 2539; Liang, King and Shih, 2002) และอีกตัวอย่าง คือ การสูญเสีย

ความหนืดและเกิดการตกตะกอนในซูปและซอส (Liang et al., 2002) ดังนั้น การเกิดรีโทรเกรเดชันจึงเป็นสิ่งพึงระวังในการเก็บรักษาผลิตภัณฑ์จำพวกซาว เนื่องจากทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์สูญเสียไป (Yao and Ding, 2002) ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช แบ่งเป็นปัจจัยภายในและปัจจัยภายนอก ตัวอย่างปัจจัยภายใน ได้แก่ ชนิดของสตาร์ช ความเข้มข้นของสารแขวนลอยสตาร์ช (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) อุณหภูมิ (Chang and Lui, 1991) ตัวอย่างปัจจัยภายนอก ได้แก่ ส่วนประกอบต่างๆ เช่น น้ำตาล (Chang and Liu, 1991) ไขมัน (Deffenbaugh, 1997; Walter, 1998; Liang, et al., 2002) การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดเจลลิตไนเซชันและการเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชข้าวจะเป็นประโยชน์ในการสร้างความรู้พื้นฐานเพื่อนำความรู้มาประยุกต์ใช้ในการรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์จากสตาร์ชข้าว

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาผลของโปรตีนและไขมันซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มักปรากฏร่วมในอาหารที่มีสตาร์ชเป็นองค์ประกอบหลักต่อการเกิดเจลลิตไนเซชันและการเกิดรีโทรเกรเดชัน และศึกษาสมบัติของเพสต์ของสตาร์ชข้าวระหว่างการเกิดเจลลิตไนเซชันและหลังการเกิดเจลลิตไนเซชัน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

วารสารปริทัศน์

2.1 ข้าวเจ้า

ข้าวเจ้า *Oryza sativa* L. มีต้นกำเนิดในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ มีหลายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์อินดีคา (*O. sativa indica*) ปลูกมากในแถบมรสุม ซึ่งมีฝนตกชุกและแสงแดดเพียงพอ และพันธุ์จาปอนิกา (*O. sativa japonica*) ปลูกในพื้นที่เขตอบอุ่น (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุลปิยะจอมขวัญ, 2543) ข้าวเจ้าในประเทศไทยส่วนใหญ่เป็นพันธุ์ กข 7 กข 23 สุพรรณบุรี 60 สุพรรณบุรี 90 พิษณุโลก 60-2 ชัยนาท 1 สุพรรณบุรี 1 สุพรรณบุรี 2 คลองหลวง 1 หอมสุพรรณบุรี ปทุมธานี 1 พิษณุโลก 1 พิษณุโลก 2 สุรินทร์ 1 นาน้ำฝน 1 สามารถปลูกได้ทุกภาคของประเทศ พันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ปลูกในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ พันธุ์ กข15 ปลูกในภาคกลาง (Anonymous, 2006)

2.2 ฟลาวร์ข้าวเจ้า

แป้งข้าวเจ้า หมายถึง แป้งที่ได้จากข้าวขาว ซึ่งหมายถึง ข้าวทั้งที่เป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหักใหญ่ ข้าวหักหรือปลายข้าว ที่ได้จากการสีข้าวเปลือกเจ้า (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2529)

ข้าวที่ใช้ในกระบวนการผลิตแป้งหรือในที่นี้จะใช้คำว่าฟลาวร์ข้าวเจ้า เป็นข้าวหักหรือข้าวเกรดสองที่ไม่เหมาะต่อการบริโภคโดยตรง ซึ่งองค์ประกอบต่างๆ ของข้าว แสดงดังตารางที่ 2.1 และสมบัติของฟลาวร์ข้าวเจ้า แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบต่างๆ ของข้าว

องค์ประกอบ	ปริมาณ (g/ 100 g dry basis)
คาร์โบไฮเดรต	88.9
โปรตีน	9.80
ไขมัน	0.50
เถ้า	0.60
เส้นใย	0.30

ที่มา: Kent (1983)

ตารางที่ 2.2 สมบัติของฟลาวาร์ข้าวเจ้า

สมบัติ	
ขนาดเม็ดสตาร์ช (ไมครอน)	6.8
ปริมาณอะมิโลส (g/ 100 g starch)	18 – 27
degree of polymerization ของอะมิโลส	900 – 1,100
onset gelatinization temperature (T_o , °ซ)	60
peak gelatinization temperature (T_p , °ซ)	77

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

ฟลาวาร์เป็นคาร์โบไฮเดรตที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน มีโปรตีนไขมัน เกือบแรม เจือปนอยู่มาก และฟลาวาร์ที่มีความบริสุทธิ์สูง เรียกว่าสตาร์ช (starch) (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

ในการผลิตฟลาวาร์ข้าวเจ้าในประเทศไทยนั้น ส่วนใหญ่เป็นการไม่เปียก แต่โปรตีนและสิ่งแปลกปลอมก็ยังติดอยู่กับสตาร์ช ส่วนสตาร์ชข้าวได้จากการสกัดเอาโปรตีนและสิ่งแปลกปลอมในฟลาวาร์ออกจนเกือบหมด (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) โดยสตาร์ชข้าวที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1%-0.2% จะมีปริมาณโปรตีนที่เหลืออยู่ในสตาร์ชข้าวอยู่ในช่วง 0.07% - 0.81% (Winton, 1906; Yang, Lai and Lii, 1984; Lumdubwong and Seib, 2000) เม็ดสตาร์ชข้าวเจ้ามีรูปร่างเป็นเม็ดห้าเหลี่ยม และมีขนาดเล็กที่สุดในบรรดาเม็ดสตาร์ชต่างๆ คือ มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 – 8 ไมครอน มีลักษณะกลมหรือรี รวมอยู่เป็นกลุ่มภายใน amyloplast (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538)

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมอาหารนิยมใช้สตาร์ชข้าวเจ้าในการผลิตอาหารต่างๆ มากมาย เช่น คัสตาร์ด เนื่องจากสตาร์ชข้าวเจ้าที่ผ่านการเกิดเจลลาติไนเซชัน ไม่มีรส มีลักษณะเป็นครีม (creamy) เนื้อสัมผัสที่ละเอียด (smooth) สามารถทาได้ (spreadable) ซึ่งเป็นลักษณะที่ดีสำหรับ custard starch และจากการที่สตาร์ชข้าวเจ้ามีขนาดเล็ก ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับเม็ดไขมัน (fat globules) ที่ผ่านการโฮโมจีไนส์ ทำให้มีความรู้สึกคล้ายกับรับประทานไขมัน จึงใช้เป็นสารทดแทนไขมัน นอกจากนี้ สตาร์ชข้าวเจ้าไม่ก่อให้เกิดอาการแพ้ เนื่องจากสมบัติที่เป็น hypoallergenic ของโปรตีนที่มาเกาะอยู่กับเม็ดสตาร์ช จึงเหมาะสำหรับผลิตอาหารสำหรับทารก (Sodhi and Singh, 2003)

2.3 สตาร์ชข้าวเจ้า

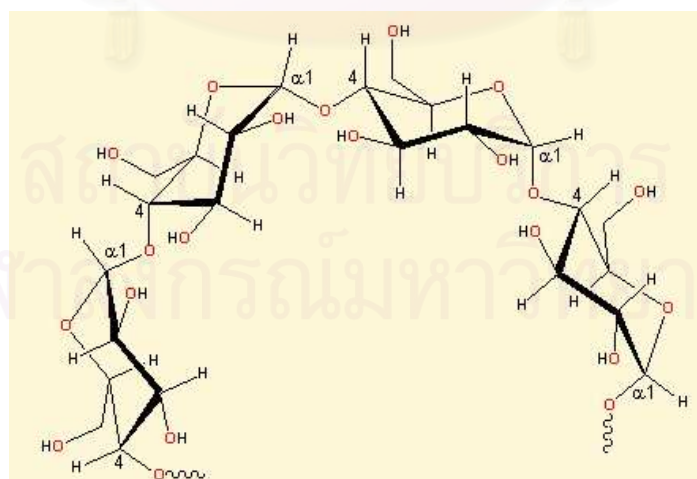
สตาร์ชเป็นคาร์โบไฮเดรตที่ประกอบด้วยคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจน สูตรเคมีโดยทั่วไป คือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ สตาร์ชเป็นพอลิเมอร์ 2 ชนิดของกลูโคส คือ อะมิโลส (amylose) และอะมิโลเพกทิน (amylopectin) ซึ่งประกอบด้วย anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ glucosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 กับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยย่อยกลูโคสถัดไป ทางด้านปลายของสายพอลิเมอร์มีหน่วยกลูโคสที่มีหมู่แอลดีไฮด์ (aldehyde group) เรียกว่า reducing end group (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) มีโครงสร้างเป็น semi-crystalline โดยโมเลกุลของอะมิโลสและโมเลกุลของอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในเม็ด สตาร์ชเป็นโครงสร้างทั้งส่วนที่เป็นผลึก (crystallite) และส่วนอสัณฐาน (amorphous) หรือ gel phase ส่วนสายโซ่สั้นของอะมิโลเพกทินจะจัดเรียงตัวในลักษณะเกลียวคู่ ซึ่งบางส่วนจะเกิดเป็นโครงสร้างที่เป็นผลึก ส่วนอสัณฐานของเม็ดสตาร์ชจะประกอบด้วยโมเลกุลของอะมิโลสและสายโซ่ยาวของอะมิโลเพกทิน (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

สตาร์ชสามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีกับสารต่างๆ ได้ เนื่องจากสตาร์ชเป็นสารประกอบที่มี hydroxyl group มากมาย จึงสามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นได้หลายชนิด โดยเฉพาะ hydroxyl group ที่อยู่ที่ตำแหน่ง C₂, C₃, C₆ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538)

2.3.1 องค์ประกอบของสตาร์ช

2.3.1.1 อะมิโลส

อะมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 2,000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างอะมิโลส

ที่มา: Chaplin (2006)

น้ำหนักโมเลกุลของอะมิโลสอยู่ในช่วง 10^5 ถึง 10^6 ดาลตัน สตาร์ชแต่ละชนิดมี degree of polymerization (DP) ของอะมิโลสแตกต่างกัน สตาร์ชที่มีโมเลกุลของอะมิโลสยาวขึ้น จะมีแนวโน้มในการเกิดรีโทรเกรเดชันลดลง ในธรรมชาติอะมิโลสมีกิ่งก้านอยู่บ้างแต่ไม่มาก สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลสของสตาร์ชหลายๆ ชนิด แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลส

แหล่งสตาร์ช	ปริมาณอะมิโลส (%)	DP เฉลี่ย	จำนวนสายเฉลี่ย	ความยาวสายเฉลี่ย	โมเลกุลกิ่ง (%)
สตาร์ชข้าวสาลี	28	1,300	4.8	270	27
สตาร์ชข้าวโพด	28	930	2.7	340	44
สตาร์ชข้าวเจ้า	17				
indica		1,000	4.0	250	49
japonica		1,100	3.4	320	31
สตาร์ชมันสำปะหลัง	17	2,600	7.6	340	42
สตาร์ชมันฝรั่ง	21	4,900	9.5	240	

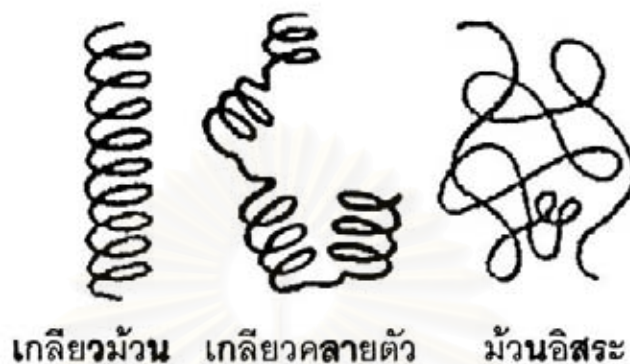
หมายเหตุ: DP = degree of polymerization

ที่มา : ก้านณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

ตำแหน่งของอะมิโลสภายในเม็ดสตาร์ชขึ้นกับสายพันธุ์ของพืช โดยอะมิโลสบางส่วนอยู่ในกลุ่มอะมิโลเพกทิน บางส่วนกระจายอยู่ทั้งในส่วนออสซิลลูแลนและส่วนผลึก (ก้านณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) Jane และคณะ (1992) และ Kasemsuan และ Jane (1994) พบอะมิโลสกระจายอยู่ทั่วไปในส่วนของอะมิโลเพกทินมากกว่าที่จะรวมกันเป็นกลุ่ม Jane และ Shen (1993) พบอะมิโลสในส่วนรอบนอกของเม็ดสตาร์ชมากกว่าที่จะอยู่ในส่วนใจกลางของเม็ดสตาร์ช และ Oates (1997) รายงานว่าอะมิโลสที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะเป็นเกลียวคู่กับอะมิโลเพกทินอยู่ในใจกลางเม็ดสตาร์ช สำหรับอะมิโลสขนาดโมเลกุลเล็กจะพบอยู่ตามขอบเม็ดสตาร์ช

โครงสร้างของอะมิโลสเมื่ออยู่ในน้ำจะมีหลายรูปแบบ คือ ลักษณะเป็นเกลียวม้วน (helix) เกลียวที่คลายตัว (interrupted helix) หรือม้วนอิสระ (random coil) ที่อุณหภูมิห้อง อะมิโลสอยู่ในลักษณะเป็นเกลียวม้วนหรือเกลียวที่คลายตัว อะมิโลสที่มีจำนวน

glucose units ตั้งแต่ 6,500 ถึง 160,000 หน่วย มีโมเลกุลเป็นม้วนอิสระและจะไม่ละลายในน้ำ แสดงดังรูปที่ 2.2 สำหรับอะมิโลสที่มีจำนวน glucose units น้อยกว่า 6,500 อาจมีบางส่วนที่ละลายน้ำได้และโมเลกุลจะอยู่ในลักษณะเกลียวคู่



รูปที่ 2.2 ลักษณะเกลียวของอะมิโลส
ที่มา: Whistler และ Daniel (1984)

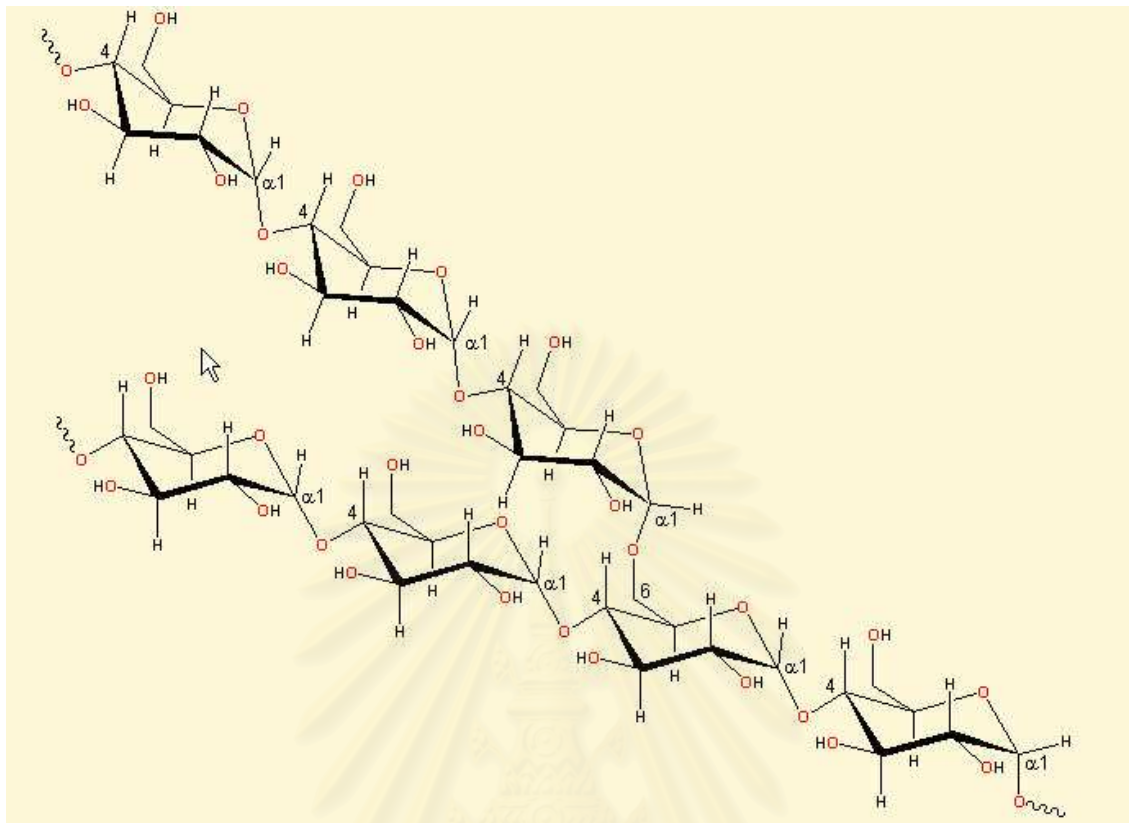
2.3.1.2 อะมิโลเพกทิน

อะมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส ส่วนที่เป็นเส้นตรงของกลูโคสเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,4-glucosidic linkage และส่วนที่เป็นกิ่งสาขาที่เป็นพอลิเมอร์กลูโคสสายสั้น มี DP อยู่ในช่วง 10 ถึง 60 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α -1,6-glucosidic linkage ดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4

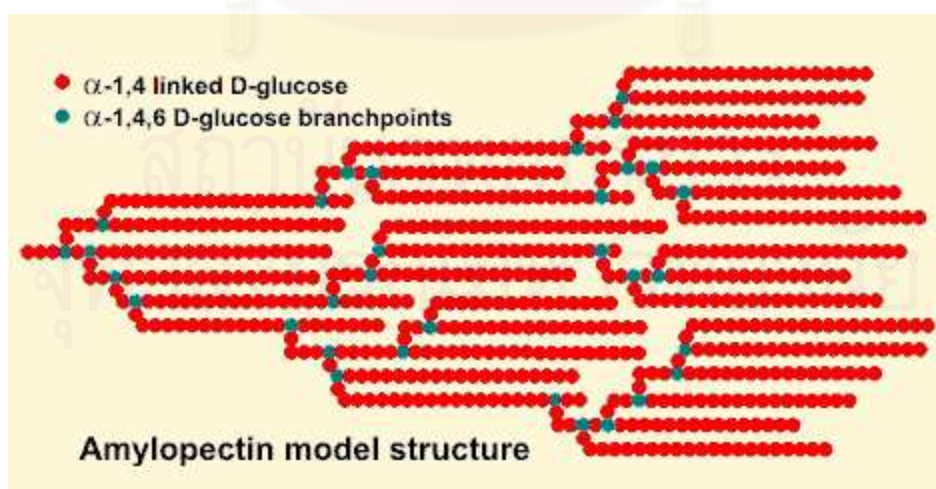
หน่วยกลูโคสที่มีพันธะ α -1,6-glucosidic linkage มีอยู่ประมาณ 5% ของปริมาณกลูโคสในอะมิโลเพกทินทั้งหมด มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^7 ถึง 10^9 ดาลตัน และมีอัตราการคืนตัวต่ำ เนื่องจากอะมิโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างเป็นกิ่งสาขา

ลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งของอะมิโลเพกทินประกอบด้วยสาย (chain) 3 ชนิด คือ

1. สาย A (A-chain) เชื่อมต่อกับสายอื่นที่ตำแหน่งเดียว ไม่มีกิ่งเชื่อมต่อออกจากสายชนิดนี้ (unbranched structure)
2. สาย B (B-chain) มีโครงสร้างแบบกิ่งเชื่อมต่อกับสายอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่าโครงสร้างอะมิโลเพกทินประกอบด้วยสาย A และสาย B ในอัตราส่วน 0.8-0.9 : 1
3. สาย C (C-chain) แบบสายแกนซึ่งประกอบด้วยหมู่รีดิวซิง (reducing) 1 หมู่ในอะมิโลเพกทิน โดยแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น

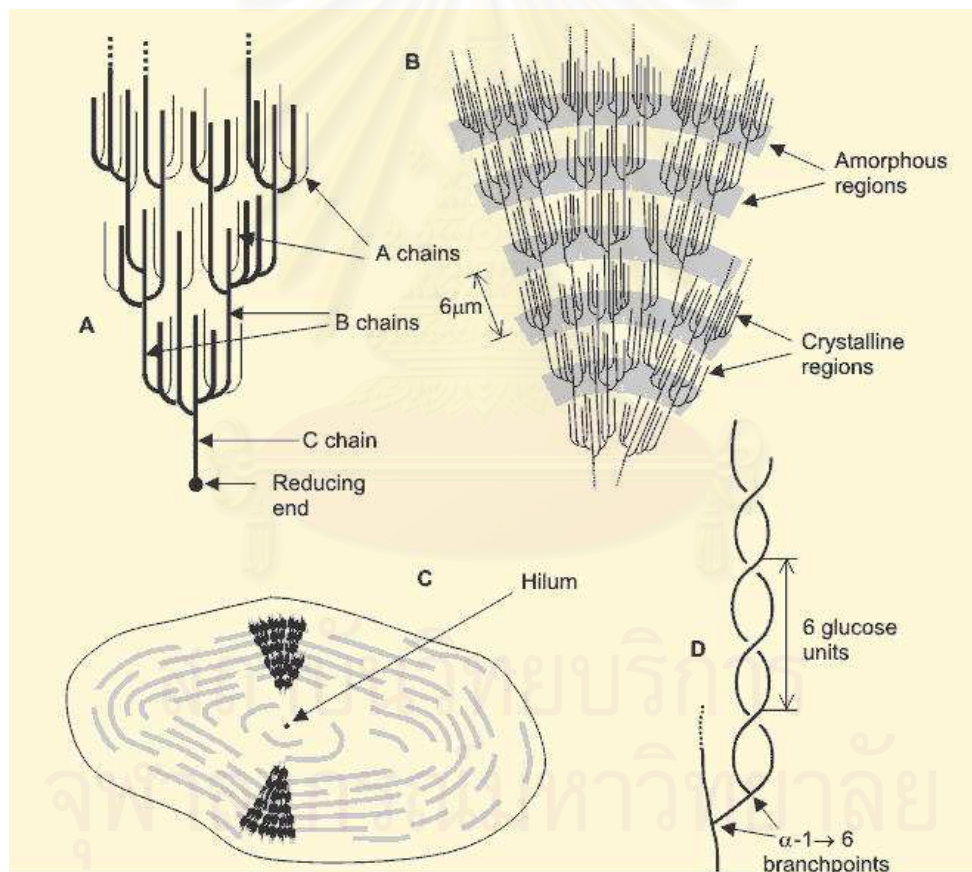


รูปที่ 2.3 โครงสร้างอะมิโลเพกทิน
ที่มา: Chaplin (2006)



รูปที่ 2.4 ลักษณะการเชื่อมต่อของโครงสร้างอะมิโลเพกทิน
ที่มา: Chaplin (2006)

ขนาดโมเลกุลของอะมิโลเพกทินมีตั้งแต่ขนาดเล็ก ซึ่งมี DP ประมาณ 15 หน่วย ประกอบด้วยสาย A และสาย B ขนาดเล็ก จนถึงโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งมี DP ประมาณ 45 หน่วย ประกอบด้วยสาย B สายยาว สายเหล่านี้อยู่รวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อน (cluster) ซึ่งในการจับกันเป็นกลุ่มของอะมิโลเพกทินทำให้เกิดเป็นเกลียวคู่ (double helix) โดยการเกิดเกลียวคู่ของอะมิโลเพกทินต้องใช้พันธะไฮโดรเจนและแรง Van der Waals ในการเชื่อมต่อกัน กิ่งสาขาอะมิโลเพกทินภายในเม็ดสตาร์ชสามารถเกิดเป็นผลึกได้ โดยเกิดได้ทั้งกิ่งสาขาที่อยู่ใกล้กันภายใน cluster เดียวกันหรือเกิดขึ้นระหว่างกลุ่มที่อยู่ใกล้เคียงกัน ลักษณะโครงสร้างอะมิโลเพกทินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน แสดงดังรูปที่ 2.5 และสมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทิน แสดงดังตารางที่ 2.4 (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างอะมิโลเพกทินที่ประกอบด้วยส่วนผลึกและส่วนอสัณฐาน
ที่มา: Chaplin (2006)

ตารางที่ 2.4 สมบัติทางโครงสร้างของอะมิโลเพกทิน

แหล่งสตาร์ช	ปริมาณ อะมิโลเพกทิน (%)	DP เฉลี่ย	จำนวน สาย เฉลี่ย	ความ ยาว สาย เฉลี่ย	ความยาว สาย ภายนอก เฉลี่ย	ความยาว สายภายใน เฉลี่ย
สตาร์ชข้าวสาลี	72	4,800	250	19	13	5
สตาร์ชข้าวโพด	72	8,200	370	22	15	6
สตาร์ชข้าวเจ้า	83					
Indica		4,700	220	21	14	6
Japonica		12,800	670	19	13	5
waxy rice		18,500	1,000	18	12	5
สตาร์ชมันฝรั่ง	79	9,800	410	24	15	8
สตาร์ช มันสำปะหลัง	83					

ที่มา: กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

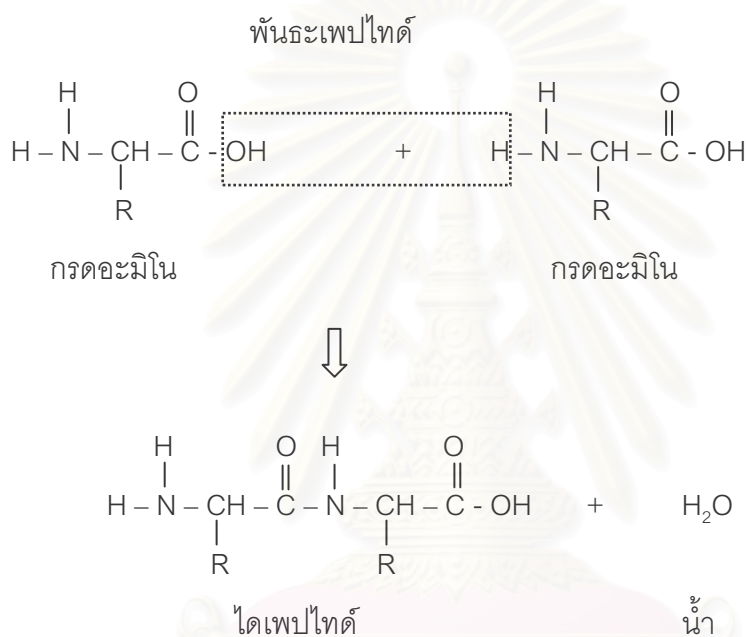
อะมิโลเพกทินถือว่ามีค่าสำคัญมากกว่าอะมิโลส ทั้งด้านโครงสร้างหน้าที่ และการนำไปใช้ประโยชน์ ดังนั้น เมื่อมีอะมิโลเพกทินเพียงอย่างเดียวสามารถรวมตัวเพื่อสร้างเม็ดสตาร์ชได้ (กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543)

ปริมาณของอะมิโลเพกทินมีผลต่อการพองตัวของสตาร์ชจากธัญพืช และการรวมตัวกันของโมเลกุลสตาร์ชที่พองตัวนั้น สามารถบ่งบอกถึงสมบัติการไหลของสารแขวนลอยสตาร์ชหรือเจลได้ (Wang and Wang, 2002) กิ่งสาขาของอะมิโลเพกทินมีผลต่อการเกิดเจลลาตินในเซชันและการเกิดรีโทรเกรเดชัน (Jane et al., 1999) สตาร์ชที่ประกอบด้วยอะมิโลเพกทินที่มีความยาวสายสั้นกว่า จะมีอุณหภูมิการเกิดเจลลาตินในเซชัน (gelatinization temperature) ต่ำกว่า (Shi and Seib, 1992; Yuan, Thompson and Boyer, 1993) และเมื่อความยาวสายของ อะมิโลเพกทินเท่ากัน อะมิโลเพกทินสาย B มีอุณหภูมิการเกิดเจลลาตินในเซชันต่ำกว่าอะมิโลเพกทินสาย A เนื่องจากอะมิโลเพกทินสาย A มีโมเลกุลน้ำ 8 โมเลกุลใน 1 unit cell (Whittam, Noel, and Ring, 1990) จึงมีความหนาแน่นมากกว่าอะมิโลเพกทินสาย B ที่มีโมเลกุลน้ำ 36 โมเลกุลใน 1 unit cell (Sarko and Wu, 1978 and Inberty et al., 1991) นอกจากนี้

อะมิโนเลวเกินที่มีความยาวสายมากกว่า จะมีอัตราการเกิดรีโทรเกรดชันสูงกว่าอะมิโนเลวเกินที่มีความยาวสายสั้นกว่า (Jane et al., 1999)

2.3.1.3 โปรตีน

โปรตีนประกอบด้วยกรดอะมิโนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ กรดอะมิโน 2 โมเลกุลต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ 1 พันธะ เรียกว่า ไดเพปไทด์ (dipeptide) กรดอะมิโน 3 โมเลกุลต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ 2 พันธะ เรียกว่า ไตรเพปไทด์ (tripeptide) หากมีพันธะเพปไทด์อยู่ในโมเลกุลจำนวนมาก เรียกว่า พอลิเพปไทด์ (polypeptide) (นิธิยา รัตนาปนนท์, 2545) แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาการเกิดโปรตีน

ที่มา: นิธิยา รัตนาปนนท์ (2545)

โปรตีนเป็นสารอาหารที่มีในข้าวมากเป็นที่สองรองจากคาร์โบไฮเดรต โปรตีนสำคัญที่สะสมอยู่ในข้าว ได้แก่ oryzenin หรือกลูเตลิน (glutelin) นอกจากนี้ยังมีโปรตีนอื่นอีก คือ โปรลามิน (prolamin) โกลบูลิน (globulin) และแอลบูมิน (albumin) เช่นเดียวกับธัญพืชอื่นๆ โดย oryzenin ประกอบด้วยโมเลกุลเล็กๆ ที่เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ ทั้งภายในและภายนอกโมเลกุล น้ำหนักโมเลกุลของ oryzenin มีความสัมพันธ์โดยตรงกับจำนวนของพันธะไดซัลไฟด์ (Martin and Fitzgerald, 2002)

โปรตีนจากธัญชาติประมาณ 80% อยู่ในส่วนเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ส่วนที่เหลืออยู่ในจมูกข้าว (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) โดยในขณะที่เมล็ดเริ่มเจริญ มี

โปรตีนแอลบูมินมาก แต่ปริมาณโปรตีนแอลบูมินมีปริมาณลดลงเมื่อเมล็ดแก่เต็มที่ ส่วนโปรตีนอีก 3 ชนิด ได้แก่ โปรตีนโกลบูลิน โปรตีนโพรลามินและโปรตีนกลูเตลิน มีปริมาณมากขึ้นตามการเจริญเติบโตของเมล็ด แต่มีอัตราการเพิ่มแตกต่างกันตามชนิดของโปรตีนและชนิดของเมล็ดธัญพืช (Osborne, 1924)

โปรตีนสามารถแบ่งตามลักษณะการละลายได้ในสารละลายต่างๆ ของโปรตีนตามวิธีของ Osborne (1907) ได้เป็น 4 ชนิด ได้แก่ โปรตีนที่ละลายได้ในน้ำ คือ แอลบูมิน โปรตีนที่ละลายได้ในน้ำเกลือ คือ โกลบูลิน โปรตีนที่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ คือ โพรลามินและโปรตีนที่ละลายในกรดหรือด่างเจือจาง คือ กลูเตลิน หรือแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ละลายได้ คือ แอลบูมินและโกลบูลิน และกลุ่มที่ละลายไม่ได้ คือ โพรลามินและกลูเตลิน ซึ่งพบในเมล็ดธัญชาติแต่ละชนิดแตกต่างกัน โดยในข้าวมีกลูเตลินมากที่สุด ประมาณ 85-90% ของโปรตีนทั้งหมด (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538) องค์ประกอบของโปรตีนแต่ละชนิดในข้าว แสดงดังตารางที่ 2.5

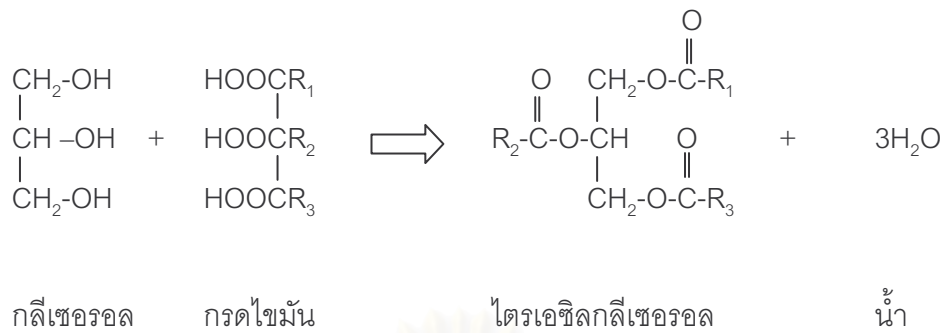
ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบโปรตีนแต่ละชนิดในข้าว

โปรตีน	ปริมาณ (%)		
	Cacampang และคณะ (1966)	Kent (1983)	Basak, Tyagi and Srivastava (2002)
แอลบูมิน	5	2-5	9.7-14.2
โกลบูลิน	9	2-8	13.5-18.9
โพรลามิน	3	1-5	3.0-5.4
กลูเตลิน	83	85-90	63.8-73.4

โครงสร้างโปรตีนปฐมภูมิ (primary structure) ประกอบด้วยกรดอะมิโนต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ระหว่างกลุ่มคาร์บอกซิล ($-\text{COOH}$) ของกรดอะมิโนตัวหนึ่งกับกลุ่มแอลฟา-อะมิโน (NH_2) ของกรดอะมิโนตัวต่อไป ซึ่งชนิดของกรดอะมิโนนี้มีประมาณ 18 ชนิดที่พบในเมล็ดธัญชาติ สัดส่วนและลำดับการต่อกันของโปรตีนแตกต่างกัน ทำให้โปรตีนมีสมบัติแตกต่างกันไป (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538)

2.3.1.4 ไชมัน

ไชมันเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุลกับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล เรียกว่า ไตรกลีเซอไรด์ หรือ ไตรเอซิลกลีเซอรอล ไชมันมีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง หากมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง เรียกว่า น้ำมัน (นิธิยา รัตนานนท์, 2545) แสดงดังรูปที่ 2.7



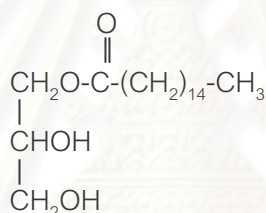
รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาการเกิดไขมัน
ที่มา: นิธิยา รัตนานนท์ (2545)

ไขมันที่เป็นองค์ประกอบของเม็ดสตาร์ชส่วนใหญ่อยู่ในส่วน matrix (Becker, Hill and Mitchell, 2001) ไขมันในข้าวมีประมาณ 1-3% ในแต่ละส่วนของเมล็ดธัญชาติ มีไขมันไม่เท่ากัน ซึ่งไขมันเหล่านี้อยู่ในรูปกลีเซอไรด์ของกรดไขมันเป็นส่วนใหญ่ โดยมีปริมาณกรดไขมันอิ่มตัว 11-26% และกรดไขมันไม่อิ่มตัว 72-85% ของกรดไขมันทั้งหมด นอกจากนั้น ไขมันอาจอยู่ในรูปของฟอสโฟลิปิด เช่น เลซิทีน ประกอบด้วยกลีเซอรอล 1 โมเลกุลเชื่อมต่อกับกรดไขมัน 2 โมเลกุลและกรดฟอสฟอริกอีก 1 โมเลกุล ซึ่งเชื่อมต่อกับสารโคลีน (choline) ปริมาณของฟอสโฟลิปิดที่พบในไขมันทั้งหมดมีอยู่ประมาณ 4% ส่วนไขมันอื่นที่พบจะเป็นไขมันที่เกาะเกี่ยวกับสารอื่น เช่น ไขมันที่เกาะเกี่ยวกับน้ำตาลซึ่งพบในเนื้อเมล็ดของข้าวสาลี เป็นต้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2538)

สตาร์ชข้าวส่วนใหญ่มีไขมันเป็นองค์ประกอบประมาณ 0.5 – 1.3% (Liang et al., 2002) สามารถแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ ไขมันที่อยู่บริเวณพื้นผิวของเม็ดสตาร์ช เรียกว่า surface lipid หรือ non-starch lipid และไขมันที่กระจายอยู่ทั่วไปภายในเม็ดสตาร์ช หรือ starch lipid ซึ่งสตาร์ชจากพืชหัวและถั่วไม่มี starch lipid โดย surface lipid ส่วนใหญ่ประกอบด้วย triglycerides (TG) free fatty acid (FFA) glycolipids (GL) และ phospholipids (PL) ส่วน starch lipid ส่วนมากเป็น monoacyl lipids ประกอบด้วย lysophospholipids (LPL) และ FFA เป็นหลัก ซึ่งทั้ง non-starch lipid และ starch lipid อาจอยู่ในรูปอิสระ (free) หรือเกาะติด (bound) อยู่กับองค์ประกอบของสตาร์ชก็ได้ เกิดเป็น amylose inclusion complexes หรืออยู่ในรูปที่เชื่อมต่อกับหมู่ -OH ขององค์ประกอบสตาร์ชด้วยพันธะไอออนิก (ionic bond) หรือพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) (Hoover, 1998)

2.3.2 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลส

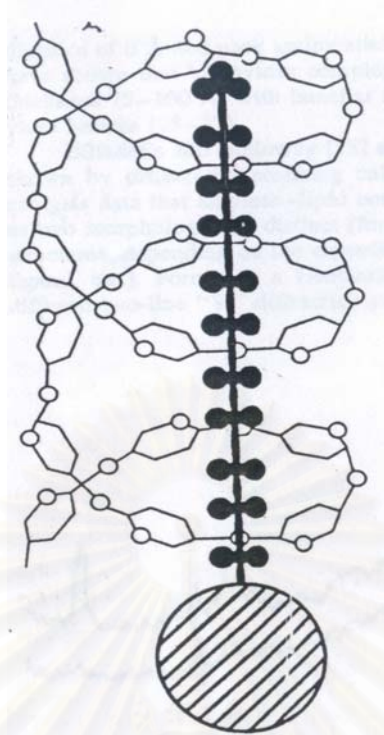
โครงสร้างของอะมิโลสประกอบด้วยอะมิโลส 1 สายที่มี helix ประมาณ 10-12 helix และแต่ละ helix จะมี 12 windings ในทุกๆ glucose units 6 ตัว (ความยาว windings เท่ากับ 8 Å) และแต่ละ windings จะเชื่อมต่อกับ glycerol monopalmitate (GMP; โครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.8) อย่างน้อย 1 โมเลกุล แต่โดยส่วนมากจะเชื่อมต่อกับ GMP 2 โมเลกุลในระหว่างการเกิดสารประกอบเชิงซ้อน ซึ่งความยาวของโมเลกุล GMP ประมาณ 22 Å ถ้า helix ที่อยู่ในรูป 12 windings เกิดเป็น inclusion compound กับ GMP 2 โมเลกุล จะเกิด free space 50 Å และจะมีทั้งหมด 6 windings หรือประมาณ 35 glucose units (Lagendijk and Pennings, 1970) นอกจากนี้ Jane และ Robyt (1984) และ Biliaderis และ Galloway (1989) กล่าวว่าอะมิโลสที่อยู่ในรูป single-chain V₆ helix จะล้อมรอบ single acyl chain ของไขมัน และมี short lipid-free regions ที่อยู่ในรูป random กระจายอยู่ทั่วไป โดยมีอยู่ประมาณ 1 ใน 7 ของอะมิโลสทั้งหมด (Hoover, 1998)



รูปที่ 2.8 สูตรโครงสร้าง GMP

ที่มา: Hoover (1998)

ผิวหนังในของอะมิโลสในรูปแบบ helical ประกอบด้วยหมู่ C-H และ glycosidic oxygen atoms เกิดเป็น lipophilic core โดยหมู่ hydroxyl ที่มีขั้วจะอยู่ผิวหนังนอกของ helix และกลุ่มที่มีขั้วของไขมันจะอยู่ใกล้กับทางเข้าของ helix cavity โดย Godet และคณะ (1993) พบว่าการเกิด inclusion ของกรดไขมันที่มีสายตรง (aliphatic chain) ที่อยู่ภายใน helix ของอะมิโลสจะเกิดเมื่อ aliphatic chain ของกรดไขมันทับอยู่ในแนวแกนของ helix และ aliphatic chain อยู่ในรูป trans conformation เท่านั้น Carlson และคณะ (1979) พบว่า สายของไฮโดรคาร์บอนภายใน helix จะเรียงตัวเป็นระเบียบเมื่ออยู่ในส่วนผลึก (Hoover, 1998)



รูปที่ 2.9 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของอะมิโลส

ที่มา: Godet และคณะ (1993)

เมื่อมีการเติม complexing agent เช่น สารลดแรงตึงผิว (surfactants) อิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ลงในสารละลายของอะมิโลส พบว่าอะมิโลสจะเปลี่ยนโครงสร้างจาก coil เป็น helix โดย complexing agent จะเกาะอยู่ภายในเกลียวของ helix สายโมเลกุลของ อะมิโลสที่เป็นแบบเกลียวม้วน แต่ละเกลียวมีอะมิโลส 6 หน่วย โดยจะมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) อยู่ภายใน และเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโมเลกุลที่มีรูปร่างเป็น linear hydrophobic ที่มีลักษณะเข้ากันได้พอดีกับ hydrophobic tube (Hoover, 1998)

2.4 ผลของโปรตีนต่อการเกิดเจลลิตในเซชันของสตาร์ช

โปรตีนในฟลาวร์ข้าวและสตาร์ชข้าวมีผลยับยั้งการพองตัวของเม็ดสตาร์ช และลดความหนืดของสตาร์ช (Hamaker and Griffin, 1993) Chandrashekar และ Kirleis (1988) พบว่า ปริมาณโปรตีนที่มากขึ้นมีผลยับยั้งการเกิดเจลลิตในเซชันมากขึ้นตามลำดับ Hamaker และ Griffin (1993) พบว่า โปรตีนที่มีพันธะไดซัลไฟด์มีผลลดการพองตัวของเม็ดสตาร์ชในระหว่างการเกิดเจลลิตในเซชัน โดยการเพิ่มขึ้นของพันธะไดซัลไฟด์ที่เกิดจากการ crosslink ของพันธะ sulfhydryl ทำให้การพองตัวของสตาร์ชลดลง

Marshall, Normand และ Goynes (1990) และ Yang และ Chang (1999) พบว่า การกำจัดโปรตีนออกจากสตาร์ช มีผลทำให้ค่า onset gelatinization temperature (T_o) และค่า peak gelatinization temperature (T_p) ลดลง แต่ทำให้ peak viscosity เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Yang และ Chang (1999) ที่พบว่า การกำจัดโปรตีนออกจากสตาร์ชมีผลเพิ่มความหนืดของเพสต์ แต่ Liang และ King (2003) พบผลที่ตรงข้ามกัน คือ การกำจัดโปรตีนออกจากสตาร์ชมีผลลดความหนืดของเพสต์ ซึ่งงานวิจัยของ Liang และ King (2003) นี้สอดคล้องกับผลการทดลองของ Hamaker และ Griffin (1993) ที่พบว่า การกำจัดโปรตีนออกจากสตาร์ชข้าวเจ้าส่งผลลดค่า peak viscosity ค่า minimum viscosity และค่า final viscosity ซึ่งผลการกำจัดโปรตีนต่อการเกิดเจลลิตินในเซชันของสตาร์ชที่แตกต่างกันนี้ อาจมีสาเหตุจากกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่เหลืออยู่ในสตาร์ชที่ต่างกันตามวิธีการกำจัดโปรตีนในขั้นตอนการสกัดสตาร์ช (Liang and King, 2003)

Chedid และ Kokini (1992) พบว่า ในระบบที่มีความชื้น 64% สตาร์ช Hylon V (amylose 50% + amylopectin 50%) ที่เติมโปรตีนกลูเตลินและกลูเตนิน มี peak viscosity เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อโปรตีนถูกความร้อน โปรตีนเปลี่ยนรูปร่างจาก α -helix เป็น β -pleated sheet หมู่อะมิโนหันออกด้านนอก ทำให้โปรตีนเกิดปฏิกริยากับสตาร์ชได้มากขึ้น ส่งผลให้ค่า peak viscosity ของสตาร์ชสูงขึ้น แต่ในระบบที่มีความชื้นสูงขึ้นเป็น 82% การเติมโปรตีนมีผลลด peak viscosity เนื่องจากระบบนี้มีน้ำมากเกินไป ทำให้เกิดโครงสร้างตาข่ายระหว่างสตาร์ชและโปรตีนที่ขอบน้ำลดลง

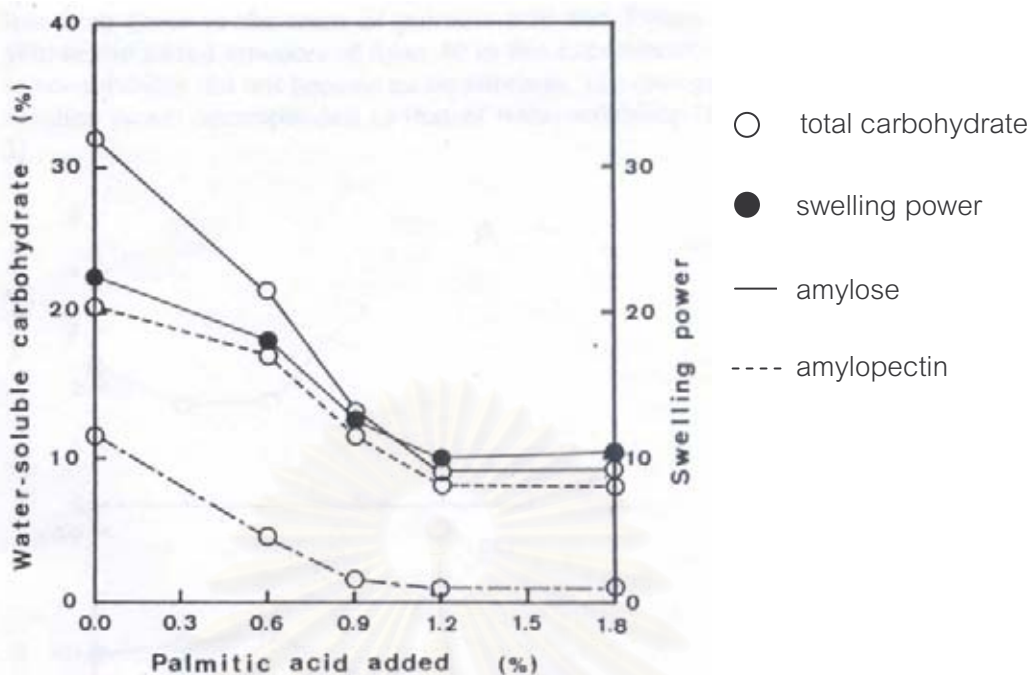
2.5 ผลของไขมันต่อการเกิดเจลลิตินในเซชันของสตาร์ช

การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมันมีผลต่อการพองตัว ความสามารถในการละลาย การเกิดเจลลิตินในเซชัน และการเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ช (Eliasson and Krog, 1985; Hibi, 1994; Liang et al., 2002) โดยทั่วไป สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลส-ไขมัน มีผลทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวลดลง ปริมาณอะมิโลสที่ละลายได้ลดลง ความหนืดของเพสต์สตาร์ชลดลง ค่าการพองตัวที่ต่ำของสตาร์ชนั้น มีผลเนื่องมาจากการเกิดฟิล์มที่ไม่ละลายน้ำของสารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมันบนผิวของเม็ดสตาร์ช ซึ่งขัดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำเข้าสู่เม็ดสตาร์ช จึงลดค่า water uptake และลดการพองตัวได้ (Hoover, 1998) โดยที่อุณหภูมิการเกิดเจลลิตินในเซชันของสตาร์ชอาจจะเปลี่ยนแปลงหรือไม่เปลี่ยนแปลงก็ได้ (Conde-Petit and Escher, 1994) แต่ Jane และคณะ (1999) พบว่า สารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมัน ทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลลิตินในเซชันของสตาร์ชเพิ่มสูงขึ้น peak viscosity ลดลง และเม็ดสตาร์ชมีความคงทนต่อแรง shear มากขึ้น (Jane et al., 1999)

ฟิล์มของไขมันและอะมิโลส ทำให้เพสต์สตาร์ชมีลักษณะที่บวมหรือฟู (กล่าวถึงใน ศรียอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) นอกจากนี้ สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสกับ ไขมัน ยังลดเอนทาลปีของการเกิดเจลลาติไนเซชัน ซึ่งเกิดจากการคายความร้อนในการเกิดเป็น สารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมันในระหว่างการเกิดเจลลาติไนเซชัน เมื่อเกิดเจลลาติไนเซชัน สารประกอบเชิงซ้อนระหว่างอะมิโลสกับไขมันยังสามารถเกิดได้ เนื่องจากโมเลกุลอะมิโลสจะมีความสามารถในการเข้าจับกับไขมันได้ โดยโมเลกุลอะมิโลสจะเกิดเป็น helix ที่มีโมเลกุลไขมัน แทรกภายในสายอะมิโลส ทำให้เกิดผลึกขึ้น การหลอมเหลว (melting transition, T_{cx}) ของ สารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมัน เกิดในช่วง 85-130 °C ซึ่งการเปลี่ยนแปลงสถานะนี้สามารถ ผันกลับได้ ปัจจัยที่มีผลต่อ T_{cx} เช่น ปริมาณความชื้น ความยาวสายของไขมัน ความเข้มข้นของ สารประกอบเชิงซ้อน (Eliasson and Krog, 1985)

Hibi (1994) ศึกษาผลของไขมันต่อกำล้างการพองตัวของสตาร์ชข้าว สตาร์ชข้าวที่สกัดไขมัน ออก และสตาร์ชข้าวที่เติมกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0% 0.6% 1.2% และ 1.8% พบว่า เมื่อสกัดไขมัน ออกจากสตาร์ชข้าว ร้อยละของอะมิโลสที่ละลายได้ในน้ำและอะมิโลเพกทินในเพสต์สตาร์ชเพิ่ม สูงขึ้น และเมื่อเติมกรดปาล์มิติกลงในเพสต์สตาร์ชในปริมาณ 1.8% พบว่า ร้อยละของอะมิโลสที่ ละลายได้ในน้ำและอะมิโลเพกทินในเพสต์สตาร์ชมีค่าใกล้เคียงกับสตาร์ชที่ไม่ได้มีการสกัดไขมัน ออก แต่เมื่อพิจารณาปริมาณของกรดปาล์มิติก พบว่า เมื่อปริมาณของกรดปาล์มิติกเพิ่มขึ้น ร้อยละของอะมิโลสที่ละลายได้ในน้ำลดลง จนกระทั่งปริมาณกรดปาล์มิติกเข้มข้น 1.2% ร้อยละของอะมิโลสที่ละลายน้ำได้และอะมิโลเพกทินก็จะไม่ลดลงอีกแม้จะเพิ่มปริมาณกรดปาล์มิติก เป็น 1.8% แสดงดังรูปที่ 2.10 ส่วนการเปลี่ยนแปลงกำล้างการพองตัวของสตาร์ชที่สกัดไขมันออก เมื่อเติมกรดปาล์มิติกลงไป มีผลเช่นเดียวกับความสามารถในการละลายน้ำ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การเติมกรดปาล์มิติกทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนสตาร์ช-ไขมัน ส่งผลให้ปริมาณคาร์โบไฮเดรต ที่ละลายน้ำได้ลดลง ซึ่งทำให้การพองตัวของสตาร์ชในกระบวนการเกิดเจลลาติไนเซชันลดลงและมี ผลต่อลักษณะเจลที่ได้ โดยเจลที่เติมกรดปาล์มิติกมีความยืดหยุ่นน้อย มีความหนืดมาก เป็น เพราะโครงสร้างเจลที่ได้นี้อ่อนแอเนื่องจากโมเลกุลของสตาร์ชที่สามารถละลายน้ำได้แล้วเกิดเป็น โครงสร้างของเจลมีอยู่น้อย

ณรงค์ นิยมวิทย์ (2538) กล่าวว่า เมื่อใส่น้ำมันลงในสตาร์ช มีผลทำให้เม็ดสตาร์ชดูดซึมน้ำ ช้าลง เนื่องจากน้ำมันไปห่อหุ้มเม็ดสตาร์ชไว้ ทำให้น้ำซึมผ่านเข้าไปภายในไม่สะดวก แต่ถ้าหาก มีการกวนขณะให้ความร้อนด้วย ทำให้การพองตัวของเม็ดสตาร์ชมีมากขึ้น เพราะการกวนทำให้น้ำมันหรือไขมันที่เคลือบผิวหลุดออกไปได้บ้าง น้ำจึงผ่านเข้าไปในเม็ดสตาร์ชได้สะดวกขึ้น แต่ ความหนืดของเพสต์สตาร์ชและเจลด้อยกว่าปกติ



รูปที่ 2.10 ผลของกรดปาล์มิติกต่อปริมาณของคาร์โบไฮเดรตที่ละลายน้ำได้
ที่มา: Hibi (1994)

ผลการทดลองของ Hibi (1994) นี้ได้รับการยืนยันโดย Becker, Hill และ Mitchell (2001) ที่กล่าวว่า สารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมันที่อยู่ภายในโมเลกุลเม็ดสตาร์ชจะป้องกันการละลายของอะมิโลสออกจากเม็ดสตาร์ชและเกิดเป็นโครงสร้างที่แข็ง (rigid) ได้ จึงป้องกันการพองตัวของเม็ดสตาร์ชได้ การเกิดฟิล์มของสารประกอบอะมิโลส-ไขมันบนผิวของเม็ดสตาร์ช ทำให้น้ำแพร่เข้าสู่ภายในเม็ดสตาร์ชช้าลง ส่งผลให้การดูดซึมน้ำ (water uptake) ของเม็ดสตาร์ชลดลง เม็ดสตาร์ชจึงพองตัวได้น้อยลง สารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมันสามารถเกิดที่ผิวของเม็ดสตาร์ชได้ ซึ่งเกิดจากไขมันที่ผิวเม็ดสตาร์ชทำปฏิกิริยากับอะมิโลสที่ละลายออกมาจากเม็ดสตาร์ช หรืออาจทำปฏิกิริยากับสาย A ของอะมิโลเพกทิน

Hoover และ Hadziyav (1981) พบว่า การเติมโมโนกลีเซอไรด์ลงในสตาร์ชมันฝรั่ง มีผลทำให้กำลังการพองตัวของสตาร์ชมันฝรั่งลดลง และ Roach และ Hosney (1995) พบว่า เมื่อเติมโมโนกลีเซอไรด์ที่มีความยาวสายคาร์บอน 10 อะตอม ลงในสตาร์ชข้าวสาลี ทำให้กำลังการพองตัวเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเติมโมโนกลีเซอไรด์ความยาวสายคาร์บอน 18 อะตอม กำลังการพองตัวของสตาร์ชลดลง

Liang และคณะ (2002) ศึกษาการเติมกรดปาล์มิติก ($C_{16:0}$) กรดสเตียริก ($C_{18:0}$) กรดโอเลอิก ($C_{18:1}$) กรดไลโนเลอิก ($C_{18:2}$) และกรดไลโนเลนิก ($C_{18:3}$) ลงในสตาร์ชข้าวเจ้า พบว่า กรดไขมันที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัว ไม่มีผลต่ออุณหภูมิการเกิดเจลลิตีในเซชันและ peak viscosity

2.6 สมบัติทาง viscoelastic

วัตถุที่มีสมบัติทาง viscoelastic หมายถึง วัตถุนั้นมีสมบัติเป็นของของแข็ง (elastic materials) คือวัตถุเปลี่ยนรูปร่างไปเมื่อได้รับแรงกระทำ (stress) และสามารถเปลี่ยนรูปร่างกลับคืนรูปร่างเดิมได้เมื่อหยุดให้แรงกระทำ รวมกับวัตถุที่มีสมบัติเป็นของของเหลว (viscous materials) คือ วัตถุเริ่มไหลด้วยอัตราคงที่เมื่อวัตถุได้รับแรงกระทำ และสามารถคงรูปร่างสุดท้ายได้เมื่อหยุดให้แรงกระทำ ซึ่งอาหารส่วนใหญ่มีสมบัติเป็น viscoelastic อธิบายสมบัตินี้ได้ดังสมการ

$$G^* = \sqrt{G'^2 + G''^2}$$

โดย G^* = complex modulus

G' = elastic modulus (พารามิเตอร์แสดงสมบัติที่เป็นของของแข็ง)

G'' = viscous modulus (พารามิเตอร์แสดงสมบัติที่เป็นของของเหลว)

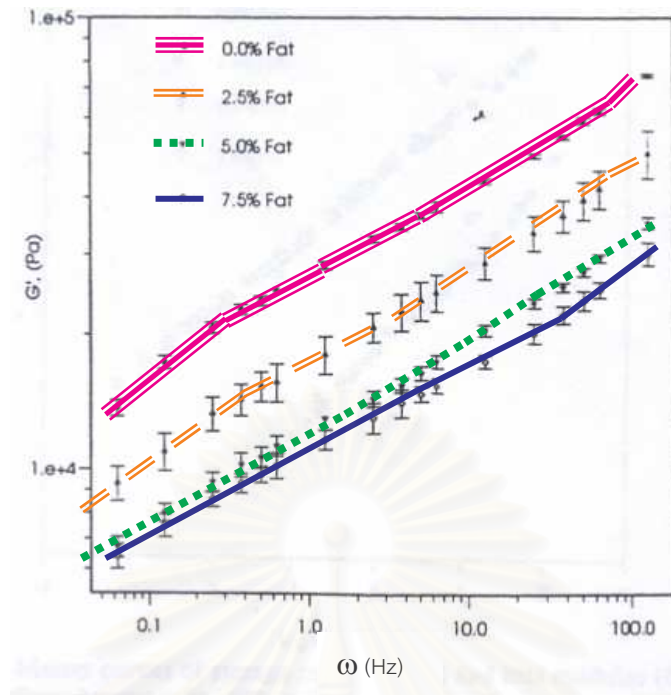
Vasanthan และ Bhatti (1996) และ Hsu, Lu และ Huang (2000) ศึกษาสมบัติทางการไหลของสตาร์ชข้าว พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น ค่า G' และค่า G'' เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนจากสารแขวนลอยสตาร์ชเป็น sol โดยค่า G' และค่า G'' เพิ่มขึ้นสูงสุดระหว่างอุณหภูมิ 71.8 – 73.0 °C ซึ่งให้เห็นถึงการเปลี่ยนจาก sol เป็น gel เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติของอะมิโลสที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างเม็ดสตาร์ชของตัว สัมพันธ์กับ Lii, Tsai และ Tseng (1996) ที่พบว่า สตาร์ช KSS7 (nonwaxy starch) เข้มข้น 10-30% มีความเข้มข้นมากพอที่จะมีผลทำให้ค่า G' เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ T_G (อุณหภูมิที่ค่า G' เริ่มเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว) ในระหว่างการให้ความร้อนและเมื่อให้ความร้อนต่อไป ค่า G' จะเพิ่มขึ้นจนถึงค่าสูงสุด แล้วค่า G' จึงลดลง และ Keetels และ van Vliet (1994) พบว่า เมื่อให้ความร้อนที่สูงกว่า T_{Gmax} (อุณหภูมิที่ค่า G' มีค่าสูงสุด ก่อนที่ค่า G' จะลดลง) ทำให้ค่า G' และค่า G'' ลดลง ซึ่งให้เห็นถึงโครงสร้างเจลถูกทำลาย และอาจชี้ให้เห็นถึงการเกิด crosslink ของโมเลกุลอะมิโลเพกทินในเม็ดสตาร์ชที่ของตัว ทำให้เจลอ่อนตัวมากขึ้น (softening)

นอกจากนี้ Lii และคณะ (1996) ยังพบว่า สตาร์ชข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูงกว่า จะมีค่า G' สูงกว่า โดยข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสสูง จะมีโครงสร้างที่แข็งแรง แต่มีกำลังการพองตัวต่ำสุด ในขณะที่ข้าวที่มีปริมาณอะมิโลสต่ำจะพองตัวได้มากกว่าเมื่อได้รับความร้อน ทำให้เพสต์สตาร์ชมีความแข็งแรงน้อยกว่า นอกจากนี้ยังพบว่าความแข็งแรงเป็นสัดส่วนผกผันกับอัตราการพองตัว แสดงว่าปริมาณอะมิโลสที่ละลายออกจากเม็ดสตาร์ช มีผลทำให้เกิดโครงสร้างของเจลที่แข็งแรง ส่วนอะมิโลสที่ยังคงเหลืออยู่ในเม็ดสตาร์ชแสดงถึงค่า *breakdown* ของส่วนผลึก และการเกิด *crosslink* ของกิ่งสาขาอะมิโลเพกทินที่ลดลงก็เนื่องมาจากส่วนของอะมิโลสที่คงเหลืออยู่ในเม็ดสตาร์ช

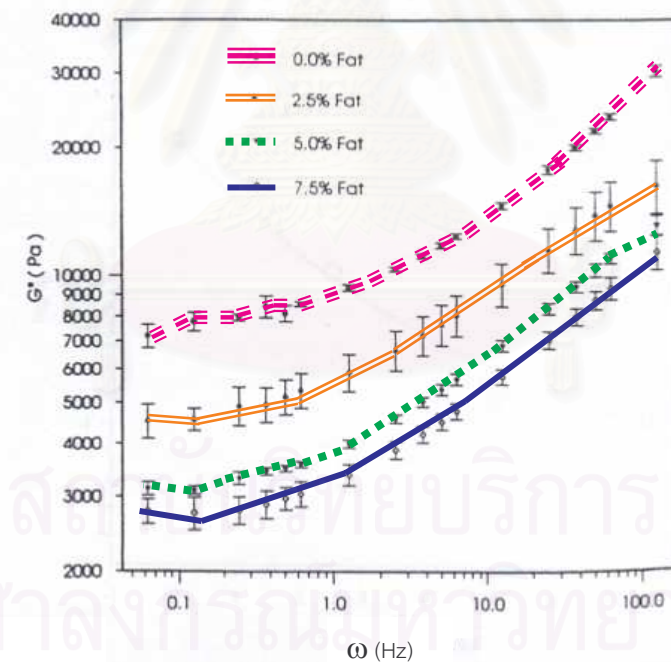
Fu, Mulvaney และ Cohen (1997) จากการศึกษา *frequency sweep* ในตัวอย่างโดความชื้น 40% ที่เติมซอร์บิทเทนนิ่ง (*shortening*) เข้มข้น 0% 2.5% 5.0% และ 7.5% พบว่า เมื่อปริมาณซอร์บิทเทนนิ่งเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ค่า G' และค่า G'' ลดลง โดยค่า G' และค่า G'' ลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเพิ่มปริมาณซอร์บิทเทนนิ่งจาก 0% เป็น 2.5% และจาก 2.5% เป็น 5.0% ส่วนค่า G' และค่า G'' ลดลงน้อยกว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซอร์บิทเทนนิ่งจาก 5.0% เป็น 7.5% ดังรูปที่ 2.11(a) และ 2.11(b) ทั้งนี้เนื่องจากการเติมไขมันลงในโดจะไปลด *crosslink* การเติมไขมันมีสมบัติในการเป็น *plasticizer* เช่นเดียวกับการเติมน้ำหรือการเพิ่มอุณหภูมิ Kalichevsky, Jaroszkiwicz และ Blanshard (1992) พบว่าไขมันและอิมัลซิไฟเออร์มีสมบัติเป็น *plasticizer* ของกลูเตนมีผลลดค่า *modulus* ในส่วน *glass transition* โดย Matz (1992) พบว่า เมื่อเติมซอร์บิทเทนนิ่งลงในโดจะมีซอร์บิทเทนนิ่งบางส่วนเท่านั้นที่เข้าไปในโดก่อนที่ขนมปังจะเกิดลักษณะเป็นมันวาว ซึ่งซอร์บิทเทนนิ่งที่เข้าไปอยู่ในส่วน *matrix* ของโด มีสมบัติเป็น *plasticizer*

จากผลการศึกษาดังกล่าวข้างต้น จึงมีความสำคัญที่จะศึกษาผลของโปรตีนและไขมันต่อการเกิดเจลาตินในเซชันและการเกิดรีโทรเกรเดชันของเพสต์สตาร์ชข้าว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(a)



(b)

รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง frequency (ω) และค่า G' หรือค่า G'' ของโคที่เติมซอร์บิทแทนนิ่งเข้มข้น 0% 2.5% 5.0% และ 7.5% (a) ค่า G' และ (b) ค่า G''

ที่มา: Fu, Mulvaney และ Cohen (1997)

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัตถุประสงค์ สารเคมีและอุปกรณ์

3.1.1 วัตถุประสงค์

ข้าวเจ้าพันธุ์ชัยนาท 1 จากสถานีทดลองข้าว จังหวัดปราจีนบุรี

3.1.2 สารเคมี

3.1.2.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน

กรดซัลฟูริก (sulfuric acid)	A.R.grade
กรดบอริก (boric acid)	A.R.grade
กรดไฮโดรคลอริก (hydrochloric acid)	A.R.grade
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)	A.R.grade
โพแทสเซียมฟทาเลท (potassium phthalate)	A.R.grade
เมธิลเรด (methyl red)	A.R.grade
เมทิลีนบลู (methylene blue)	A.R.grade
สารเร่งปฏิกิริยา (selenium reagent mixture)	A.R.grade
เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)	A.R.grade

3.1.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน

ปิโตรเลียมอีเธอร์ (petroleum ether)	A.R.grade
-------------------------------------	-----------

3.1.2.3 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยหยาบ

กรดซัลฟูริก (sulfuric acid)	A.R.grade
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)	A.R.grade
เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)	A.R.grade

3.1.2.4 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดโปรตีนจากฟลาวอร์ข้าว

โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride)	A.R.grade
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)	A.R.grade
อะซีโตน (acetone)	A.R.grade

เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)	A.R.grade
แอมโมเนียมซัลเฟต (ammonium sulphate)	A.R.grade
เฮกเซน (hexane)	A.R.grade
3.1.2.5 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดอะมิโน	
กรดบอริก (boric acid)	A.R.grade
กรดเปอร์คลอริก (perchloric acid)	A.R.grade
โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate)	A.R.grade
โซเดียมซิเตรต (sodium citrate)	A.R.grade
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)	A.R.grade
โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite)	HPLC grade
โพแทสเซียมซัลเฟต (potassium sulphate)	A.R.grade
เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)	A.R.grade
L-tryptophan	A.R.grade
n-acetyl-L-cysteine	A.R.grade
n-caprylic acid	A.R.grade
o-phthal aldehyde	A.R. grade
polyoxyethylene lauryl ether	A.R. grade
3.1.2.6 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดไขมันจากปลาวัว	
1-บิวทานอล (1-butanol)	A.R.grade
คลอโรฟอร์ม (chloroform)	A.R.grade
เมทานอล (methanol)	A.R.grade
3.1.2.7 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดไขมัน	
โบรอนไตรฟลูออไรด์ (borontrifluoride)	A.R.grade
โซเดียมคลอไรด์ (sodium chloride)	A.R.grade
โซเดียมซัลเฟต (anhydrous sodium sulphate)	A.R. grade
โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)	A.R.grade
เมทานอล (methanol)	HPLC grade
เฮปเทน (heptane)	HPLC grade

3.1.2.8 สารเคมีที่ใช้ในการสกัดสารชีวภาพ

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)	A.R.grade
--------------------------------------	-----------

3.1.2.9 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะมิโน

กรดอะซิติก (acetic acid)	A.R.grade
--------------------------	-----------

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide)	A.R.grade
--------------------------------------	-----------

โพแทสเซียมไอโอไดด์ (potassium iodide)	A.R.grade
---------------------------------------	-----------

เมทานอล (methanol)	A.R.grade
--------------------	-----------

อะไมโนโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (บริษัท Sigma)	A.R.grade
----------------------------------------------	-----------

เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol)	A.R.grade
--------------------------------	-----------

ไอโอดีน (iodine)	A.R.grade
------------------	-----------

3.1.3 อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น 600, Germany)
2. Buchi digestion unit (รุ่น K-424, Switzerland)
3. Buchi distillation unit (รุ่น B-324, Switzerland)
4. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
5. Soxhlet (Gerhardt รุ่น HC61, Germany)
6. เครื่อง evaporator (Eyela รุ่น SB-651, Japan)
7. กล้องจุลทรรศน์ (Olympus รุ่น CHK2-F-GS, Japan)
8. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Perkin-Elmer รุ่น Diamond

DSC, USA)

9. เครื่อง Bohlin Rheometer (Bohlin Instrument รุ่น C-VOR, UK)

10. เครื่อง High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) amino acid analyzer (Shimadzu รุ่น LC-6A, Japan)

11. เครื่อง Gas Chromatography (Shimadzu รุ่น Gc-4A, Japan)

12. เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifugal Thermo IEC รุ่น IEC MultiRF, USA)

13. เครื่องเหวี่ยงแยก (Hettich zentrifugen รุ่น Rotanta 460F, USA)

14. เครื่องเหวี่ยงแยก (Kubota รุ่น 5200, Japan)

15. เครื่อง pH meter (Eutech instrument รุ่น Cyberscan 1000, Singapore)

16. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer; Milton Roy รุ่น Spectronic 601, USA)

17. เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง (Sartorius, Germany)
18. เครื่องชั่งละเอียด 3 ตำแหน่ง (Precisa รุ่น XT 920M, Switzerland)
19. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)
20. เครื่อง magnetic stirrer (Framo-Geratetechnik รุ่น M21/1, Thailand)
21. เครื่อง blender (Sharp รุ่น EM-11, Japan)
22. เครื่องโม่แบบ vertical stone mill เส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 นิ้ว (Lita Hathuyuki รุ่น NSD-6, Thailand) motor ขนาด 1.2 แรงม้า (Mitsubishi รุ่น SCL-KR, Japan)

3.2 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

ส่วนที่ 1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าว ฟลาวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว

3.2.1 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

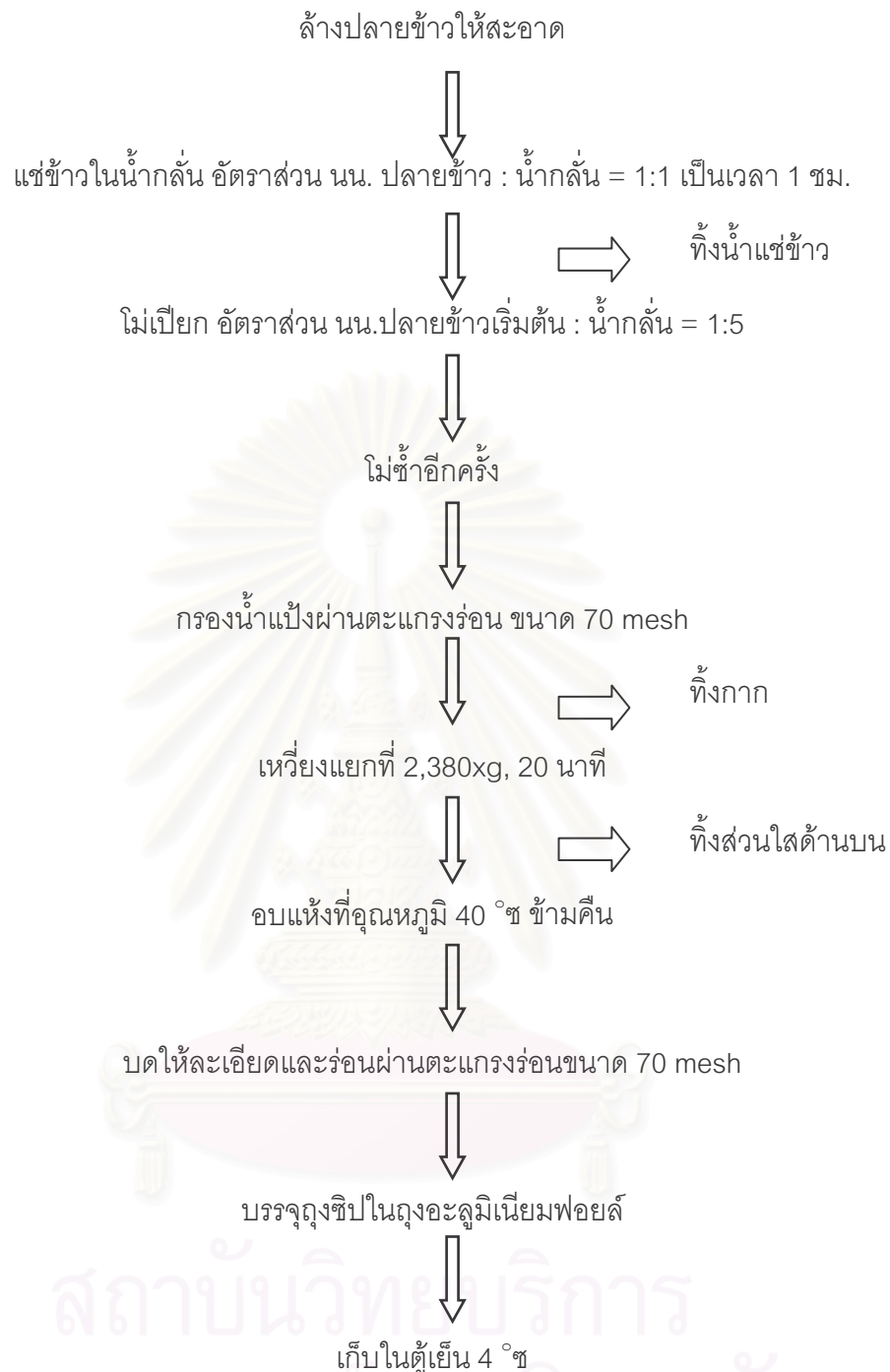
วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ (crude fiber) ตามวิธีของ AOAC (1995) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.1 – ก.6 และคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตในข้าวโดย

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

3.2.2 สมบัติของฟลาวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว

3.2.2.1 สกัดฟลาวร์ข้าวโดยวิธีการโม่เปียก

สกัดฟลาวร์ข้าวเจ้า ดัดแปลงจากวิธีของ Sandhya Rani และ Bhattacharya (1995) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยล้างปลายข้าวให้สะอาด แช่ในน้ำเป็นเวลา 1 ชั่วโมง อัตราส่วนน้ำหนักปลายข้าว : น้ำกลั่น เท่ากับ 1:1 ที่น้ำที่แช่ปลายข้าว นำปลายข้าวมาโม่เปียกด้วยเครื่องโม่แบบ vertical stone mill อัตราส่วนน้ำหนักปลายข้าวเริ่มต้น : น้ำกลั่น เท่ากับ 1:5 นำน้ำแป้งที่ได้ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 mesh เหยียงแยก (centrifuge) ที่ 2,380xg เวลา 20 นาที ที่ส่วนใสด้านบน นำฟลาวร์ไปอบแห้งในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 40 °C ช้ามคืน ทำให้เย็น ชั่งน้ำหนัก บดฟลาวร์ที่ได้โดยใช้เครื่อง blender ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 mesh บรรจุใส่ถุงซีปแล้วบรรจุอีกชั้นด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 °C



รูปที่ 3.1 การสกัดฟลาวร์ข้าวโดยวิธีไม่เปียกดัดแปลงจากวิธีของ Sandhya Rani และ Bhattacharya (1995)

3.2.2.2 สกัดสตาร์ชจากฟลาวร์ข้าว

สกัดสตาร์ชจากฟลาวร์ข้าว ดัดแปลงจากวิธีของ Lumdubwong และ Seib (2000) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยกวนฟลาวร์ข้าวในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.2% (w/v) อัตราส่วนฟลาวร์ข้าว : NaOH เท่ากับ 1: 2.5 เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เหยียงแยกที่ 2,380xg เวลา 20 นาที ทิ้งสารละลายส่วนใสด้านบน ปิดชั้นสีเหลืองด้านบนบนออก ล้างฟลาวร์ส่วนที่เหลือด้วยน้ำกลั่น เหยียงแยกที่ 2,380xg เวลา 20 นาที ปิดชั้นสีเหลืองด้านบนบนออก ทำซ้ำ 2 ครั้ง ปรับ pH น้ำแป้งให้เป็นกลาง ด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 โมลาร์ เหยียงแยกที่ 2,380xg เวลา 20 นาที ทิ้งสารละลายส่วนใสด้านบน ปิดชั้นสีเหลืองด้านบนบนออก ล้างฟลาวร์ส่วนที่เหลือด้วยน้ำกลั่น เหยียงแยกที่ 2,380xg เวลา 20 นาที ทิ้งสารละลายส่วนใสด้านบน ปิดชั้นสีเหลืองด้านบนบนออกให้หมด ทำซ้ำ 3 ครั้ง อบสตาร์ชให้แห้งที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลาข้ามคืน ทำให้เย็น ชั่งน้ำหนัก บดสตาร์ชที่ได้โดยใช้เครื่อง blender ร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh บรรจุใส่ถุงซิปล้างบรรจุอีกชั้นด้วยถุงอะลูมิเนียมฟอยล์ เก็บไว้ใน desiccator ที่อุณหภูมิห้อง

3.2.2.3 วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว

วิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใยหยาบ (crude fiber) ตามวิธีของ AOAC (1995) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.1 – ก.6 และคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตในฟลาวร์ข้าวและสตาร์ชข้าวโดย

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

3.2.2.4 วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชข้าว

วิเคราะห์ปริมาณอะมิโลสตามวิธีที่ดัดแปลงจาก Juliano (1971) และ Chrastil (1986) และ Gunaratne และ Hoover (2002) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.7

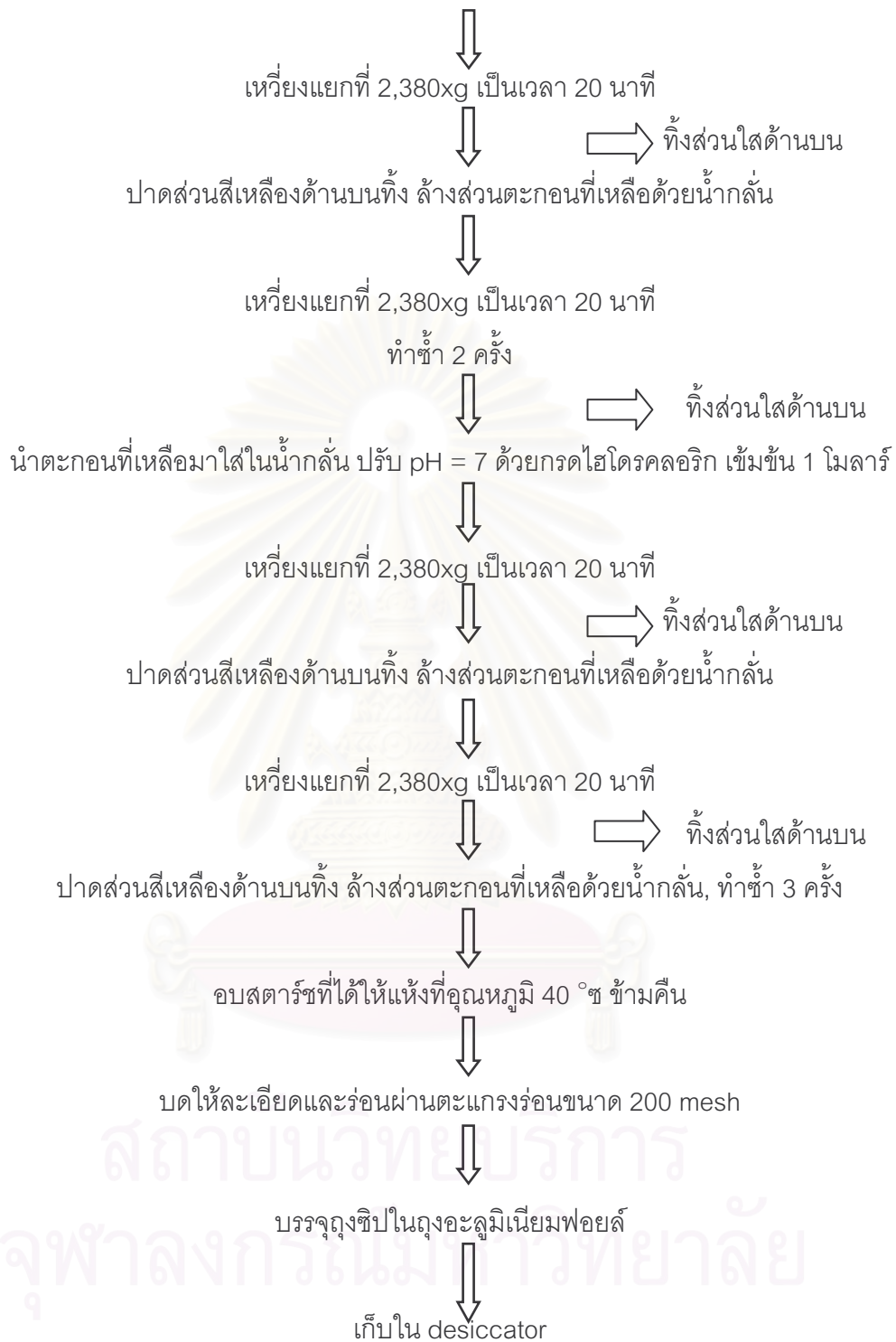
3.2.2.5 วิเคราะห์กำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชข้าว

วิเคราะห์กำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ช ตามวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Schoch (1964) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.8

3.2.2.6 ศึกษาลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชของฟลาวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว

นำฟลาวร์ข้าวและสตาร์ชข้าวที่สกัดได้มาส่องดูลักษณะและรูปร่างของเม็ดสตาร์ชโดยใช้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า ตามวิธีของกล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุลปิยะจอมขวัญ (2543) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.9

ฟลาวัวร์ 1 ส่วน + NaOH เข้มข้น 0.2% (w/v) 2.5 ส่วน กวนเป็นเวลา 3 ชม. ที่อุณหภูมิ 25 °ซ



รูปที่ 3.2 การสกัดสตาร์ชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ดัดแปลงจากวิธีของ Lumdubwong และ Seib (2000)

3.2.3 สมบัติทางเคมีของโปรตีนจากฟลาวัวร์ข้าว

3.2.3.1 สกัดโปรตีนจากฟลาวัวร์ข้าวด้วยตัวทำละลาย 4 ชนิด ได้แก่ น้ำกลั่น สารละลายโซเดียมคลอไรด์ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และเอธิลแอลกอฮอล์ ซึ่งได้โปรตีน แอลบูมิน โกลบูลิน กลูเตลินและโปรลามิน ตามลำดับ ดัดแปลงจากวิธีของ Sugimoto, Tanaka และ Kasai (1986) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.10 และคำนวณปริมาณของโปรตีนแอลบูมิน โกลบูลิน กลูเตลิน และโปรลามิน

3.2.3.2 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักของ โปรตีนแอลบูมิน โกลบูลิน กลูเตลินและโปรลามินด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ตามวิธีของ AOAC (2000) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.11

3.2.4 สมบัติทางเคมีของไขมันจากฟลาวัวร์ข้าว

3.2.4.1 สกัดไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid ดัดแปลง จากวิธีของ Choudhury และ Juliano (1980) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.12

3.2.4.2 วิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของ ไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid ที่สกัดได้จากฟลาวัวร์ข้าวด้วยวิธี Gas Chromatography (GC) ตามวิธีของ AOAC (2000) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.13

ส่วนที่ 2 ศึกษาผลของโปรตีนและไขมันต่อสมบัติทางความร้อนและสมบัติเชิงกลของ เพสต์สตาร์ชข้าว

3.2.5 ผลของโปรตีนและไขมันต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว

3.2.5.1 ผลของโปรตีนต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว

เตรียมตัวอย่างสตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20% (w/w) ที่เติมโปรตีน จากข้าวทางการค้า (Remypro N80+[®]) ที่มีองค์ประกอบและสมบัติดังแสดงในภาคผนวก ข. ใน ปริมาณ 0% 6% 12% และ 18% (w/w) ของสตาร์ชแห้ง ติดตามสมบัติทางความร้อนของเพสต์ สตาร์ชด้วยวิธี Differential Scanning Calorimetry (DSC) ดัดแปลงจากวิธีของ Kim และ Walker (1992) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.14 วางแผนการทดลองแบบ asymmetric factorial design ขนาด 4x3 ทดลอง 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย ANOVA และเปรียบเทียบหาความแตกต่าง ทางสถิติด้วย Duncan Multiple Range Test โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS Version 10.0.5

3.2.5.2 ผลของไขมันต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว

เตรียมตัวอย่างสตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20% (w/w) ที่เติมกรดปาล์มิติกทางการค้า (Merck[®] กรดปาล์มิติก $\geq 98\%$) และกรดไลโนเลอิกทางการค้า (Fluka[®] ประกอบด้วยกรดไลโนเลอิก 60-74% และกรดโอเลอิก 18-32%) ในปริมาณ 0% 0.5% และ 1.0% (w/w) ของสตาร์ชแห้ง ติดตามสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชด้วยวิธี Differential Scanning Calorimetry (DSC) ดัดแปลงจากวิธีของ Kim และ Walker (1992) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.14 วางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken Design มีจำนวน treatment 15 ชนิด ดังมีรายละเอียดของ treatment ในภาคผนวก ค. ทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Design Expert Series V.6.0

3.2.6 ผลของโปรตีนและไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวระหว่างการเกิดเจลลิตินเซชันและหลังการเกิดเจลลิตินเซชัน

3.2.6.1 ผลของโปรตีนต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวระหว่างการเกิดเจลลิตินเซชัน

เตรียมสารแขวนลอยสตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20% (w/w) ในแต่ละความเข้มข้นเติมโปรตีนจากข้าวทางการค้า (Remypro N80+[®]) ที่มีองค์ประกอบและสมบัติดังแสดงในภาคผนวก ข. ในปริมาณ 0% 6% 12% และ 18% (w/w) ของสตาร์ชแห้ง ติดตามสมบัติเชิงกลระหว่างการเกิดเจลลิตินเซชันของเพสต์สตาร์ชข้าวด้วยวิธี Rheometry ดัดแปลงจากวิธีของ Lai และคณะ (2001) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.15

3.2.6.2 ผลของโปรตีนต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวหลังการเกิดเจลลิตินเซชัน

ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการเจลลิตินเซชันจากข้อ 3.2.6.1 ติดตามสมบัติเชิงกลหลังการเกิดเจลลิตินเซชันของเพสต์สตาร์ชข้าวด้วยวิธี Rheometry ดัดแปลงจากวิธีของ Lai และคณะ (2001) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.15

3.2.6.3 ผลของไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวระหว่างการเกิดเจลลิตินเซชัน

เตรียมสารแขวนลอยสตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20% (w/w) ในแต่ละความเข้มข้นเติมกรดปาล์มิติกทางการค้า (Merck[®] กรดปาล์มิติก $\geq 98\%$) และกรดไลโนเลอิกทางการค้า (Fluka[®] ประกอบด้วยกรดไลโนเลอิก 60-74% และกรดโอเลอิก 18-32%) เข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% (w/w) ของสตาร์ชแห้ง ติดตามสมบัติเชิงกลระหว่างการเกิดเจลลิตินเซชันของเพสต์สตาร์ชข้าวด้วยวิธี Rheometry ดัดแปลงจากวิธีของ Lai และคณะ (2001) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.15

3.2.6.4 ผลของไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวหลังการเกิด เจลลิต์ไนเซชัน

ใช้ตัวอย่างที่ผ่านการเจลลิต์ไนเซชันจากข้อ 3.2.6.1 ติดตามสมบัติเชิงกล
หลังการเกิดเจลลิต์ไนเซชันของเพสต์สตาร์ชข้าวด้วยวิธี Rheometry ดัดแปลงจากวิธีของ Lai และ
คณะ (2001) ดังรายละเอียดในภาคผนวก ก.15



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของข้าว ได้แก่ ปริมาณความชื้น ปริมาณโปรตีน ปริมาณไขมัน ปริมาณเส้นใยหยาบ (crude fiber) ปริมาณเถ้า และคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรต ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบ	ปริมาณ (g/ 100 g dry basis)
ความชื้น*	10.32 ± 0.96
คาร์โบไฮเดรต	89.79 ± 0.09
โปรตีน	8.06 ± 0.14
ไขมัน	0.69 ± 0.01
เส้นใยหยาบ	0.35 ± 0.08
เถ้า	1.11 ± 0.11

* ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

4.2 สมบัติของฟลาวัวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวัวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว

ฟลาวัวร์ข้าวจากการไม่เปียก ดัดแปลงจากวิธีของ Sandhya Rani และ Bhattacharya (1995) และสตาร์ชข้าวที่สกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.2% (w/v) โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Lumdubwong และ Seib (2000) มีองค์ประกอบทางเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.2 จากผลการทดลองพบว่า วิธีการไม่เปียกสามารถลดปริมาณโปรตีนในฟลาวัวร์ข้าวได้เพียงเล็กน้อย แต่เมื่อสกัดโปรตีนออกจากฟลาวัวร์ข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.2% (w/v) โดยวิธีที่ดัดแปลงจากวิธีของ Lumdubwong และ Seib (2000) พบว่าสตาร์ชข้าวที่ได้มีปริมาณโปรตีนเหลือเพียง 0.70%

ตารางที่ 4.2 องค์ประกอบทางเคมีของฟลาวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว

องค์ประกอบ	ปริมาณ (g/ 100 g dry basis)	
	ฟลาวร์ข้าว	สตาร์ชข้าว
ความชื้น*	10.88 ± 0.05	10.97 ± 0.15
คาร์โบไฮเดรต	92.14 ± 0.07	98.61 ± 0.18
โปรตีน	6.91 ± 0.01	0.70 ± 0.02
ไขมัน	0.53 ± 0.03	0.46 ± 0.03
เส้นใยหยาบ	0.15 ± 0.03	0.02 ± 0.00
เถ้า	0.27 ± 0.01	0.21 ± 0.02

* ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

4.2.2 ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชข้าว

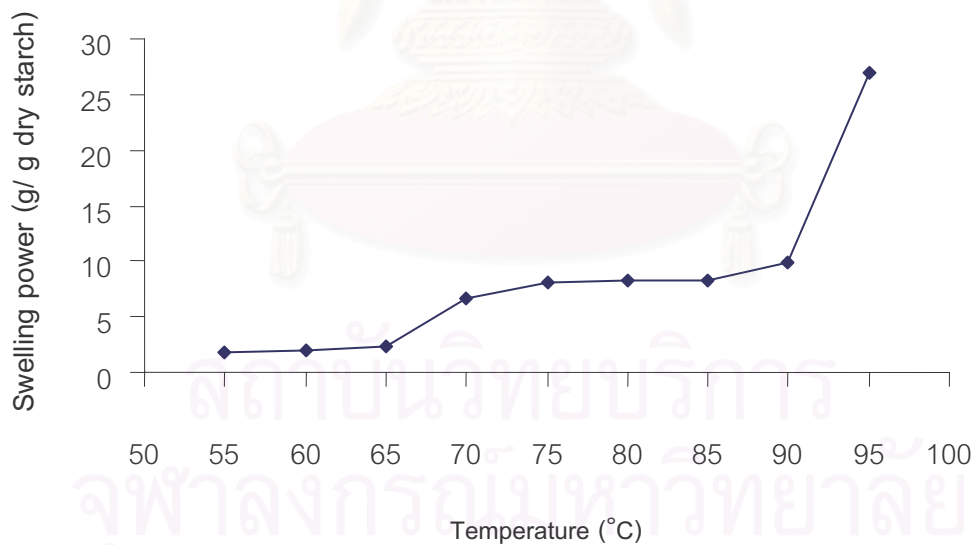
สตาร์ชข้าวชัณษาท 1 มีปริมาณ total amylose และ apparent amylose เท่ากับ 24.91 g/ 100 g dry starch และ 24.71 g/ 100 g dry starch ตามลำดับ แสดงผลดังตารางที่ 4.3 จากปริมาณอะมิโลสที่วิเคราะห์ได้ แสดงว่าข้าวพันธุ์ชัณษาท 1 มีปริมาณอะมิโลสปานกลาง (Juliano, 1992) นอกจากนี้สตาร์ชข้าวยังมีอะมิโลส ส่วนที่เชื่อมพันธะกับไขมันคือ amylose-lipid complex ในปริมาณน้อย คือ 0.20 g/ 100 g dry starch ซึ่งเป็นไขมันที่เป็นลักษณะเฉพาะของสตาร์ชจากธัญพืช โดยสตาร์ชจากพืชหัวและถั่วไม่มีไขมันส่วนนี้เนื่องจากไม่มีไขมันภายในเม็ดสตาร์ช

ตารางที่ 4.3 ปริมาณอะมิโลสของสตาร์ชข้าว

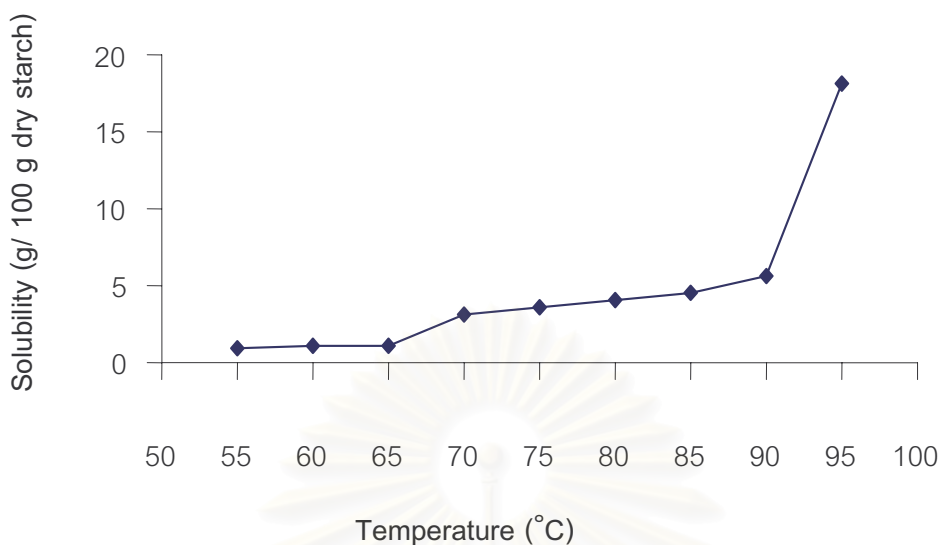
อะมิโลส	ปริมาณ (g/ 100 g dry starch)
total amylose	24.91 ± 0.59
apparent amylose	24.71 ± 0.15
amylose-lipid complex	0.20

4.2.3 กำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชข้าว

เมื่อศึกษา กำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ชข้าว โดยเริ่มสังเกตการพองตัวและการละลายที่อุณหภูมิ 55 °ซ และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น กำลังการพองตัวและการละลายของเม็ดสตาร์ชข้าวเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลของกำลังการพองตัว แสดงดังรูปที่ 4.1 และผลของการละลาย แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งรูปแบบการพองตัวและการละลายของสตาร์ชข้าวมีรูปแบบการพองตัวเป็น 2 ชั้น ซึ่งเป็นรูปแบบการพองตัวของสตาร์ชธัญพืช เนื่องจากภายในของเม็ดสตาร์ชมีแรงของพันธะภายในที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ บริเวณผลึกและบริเวณอสัณฐานของเม็ดสตาร์ช สอดคล้องกับ อรรถวรรณ เคนสุขเจริญ (2529) ที่พบว่า การพองตัวของสตาร์ชข้าวเจ้าในช่วงแรกระหว่างอุณหภูมิ 50 - 70 °ซ มีการพองตัวน้อยเนื่องจากส่วนอสัณฐานเดิมพองตัวไม่อิสระ และการพองตัวช่วงที่ 2 ระหว่างอุณหภูมิ 70-90 °ซ การพองตัวสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เนื่องจากการพองตัวของส่วนอสัณฐานยังถูกจำกัดและขณะเดียวกันมีการคลายตัวของส่วนผลึก และยังสอดคล้องกับ กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543) ที่พบว่าเม็ดสตาร์ชข้าวมีกำลังการพองตัวและการละลายเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิ 65 °ซ และมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งที่อุณหภูมิ 85 °ซ



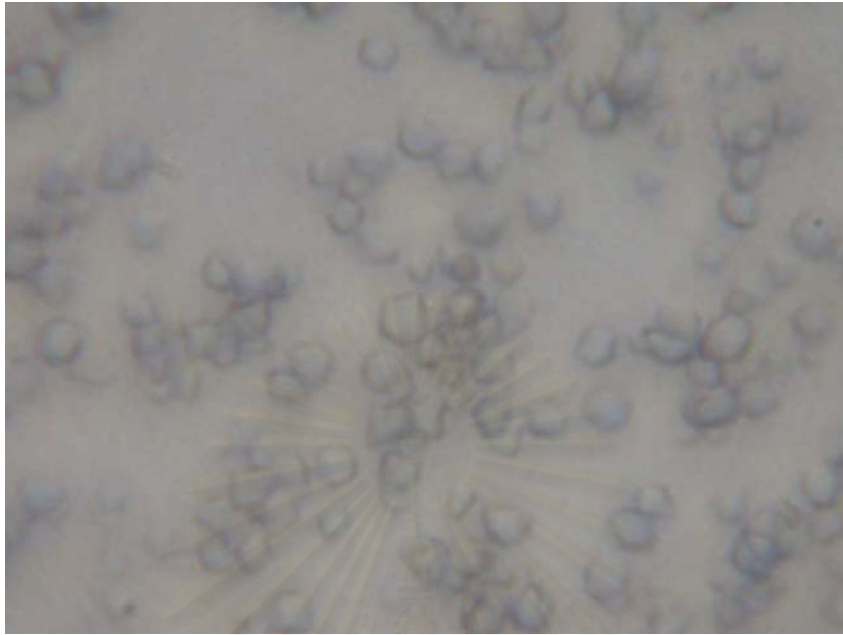
รูปที่ 4.1 กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวทดลองในสารแขวนลอยสตาร์ชเข้มข้น 3.33% (w/v)



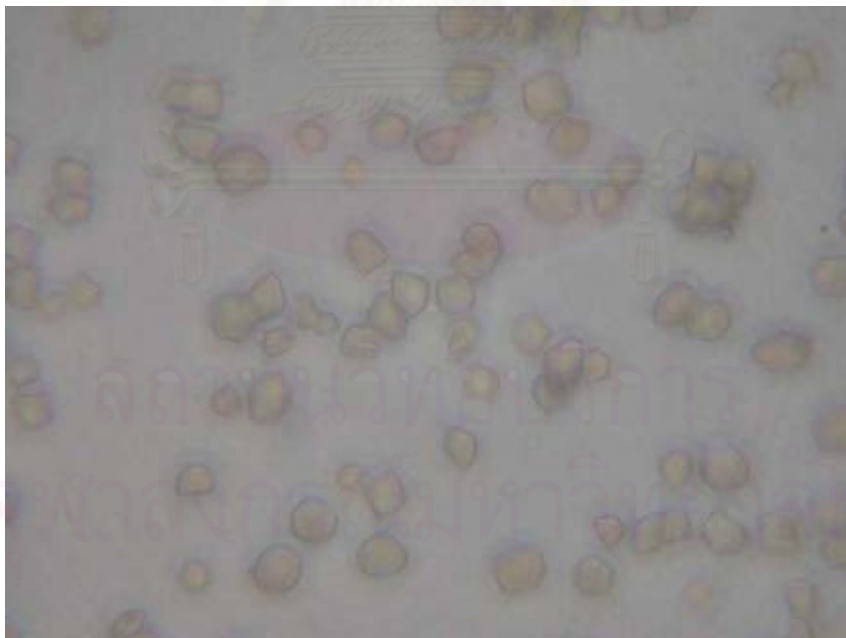
รูปที่ 4.2 การละลายของสตาร์ชข้าวทดลองในสารแขวนลอยสตาร์ชเข้มข้น 3.33% (w/v)

4.2.4 ลักษณะรูปร่างของเม็ดสตาร์ชของฟลาวร์ข้าวและสตาร์ชข้าว

เมื่อศึกษาลักษณะเม็ดสตาร์ชของฟลาวร์ข้าวและสตาร์ชข้าวด้วยกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า พบว่า เส้นขอบของเม็ดสตาร์ชของฟลาวร์ข้าวมีความหนาแน่นกว่าเส้นขอบของเม็ดสตาร์ชของสตาร์ชข้าว ทั้งนี้เนื่องจากบริเวณผิวเม็ดสตาร์ชของฟลาวร์ข้าวมีโปรตีนและไขมันเกาะอยู่ในปริมาณที่มากกว่าบริเวณผิวเม็ดสตาร์ชของสตาร์ชข้าว แต่เมื่อสกัดสตาร์ชข้าวด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความสามารถในการกำจัดโปรตีนในฟลาวร์ข้าวได้ในปริมาณมาก ทำให้ปริมาณโปรตีนที่เกาะอยู่บริเวณผิวเม็ดสตาร์ชของฟลาวร์ข้าวลดลงมาก บริเวณผิวเม็ดสตาร์ชของสตาร์ชข้าวจึงมีปริมาณโปรตีนที่เหลือเกาะที่บริเวณผิวเม็ดสตาร์ชของสตาร์ชข้าวลดน้อยลง จึงเห็นเส้นขอบของเม็ดสตาร์ชของสตาร์ชข้าวมีเส้นบางลง โดยเม็ดสตาร์ชของฟลาวร์ข้าวและสตาร์ชข้าวมีรูปร่างแบน มีหลายเหลี่ยม (ก้านรวงศ์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2543) ขนาดโดยเฉลี่ย 3-10 ไมครอน (Juliano, 1984) แสดงผลดังรูปที่ 4.3 (a) และ 4.3 (b)



(a)



(b)

รูปที่ 4.3 ลักษณะเมื่อดูดสาร (a) ฟลาวรริน (b) สูดสาร

4.3 สมบัติทางเคมีของโปรตีนจากฟลาวัวร์ข้าว

4.3.1 ปริมาณโปรตีนแอลบูมิน โกลบูลิน กลูเตลินและโปรลามิน

เมื่อนำฟลาวัวร์ข้าวมาสกัดโปรตีนด้วยตัวทำละลายชนิด 4 ชนิดตามการละลายได้ในตัวทำละลายต่างๆ ของโปรตีน ดัดแปลงจากวิธีของ Sugimoto และคณะ (1986) ได้แก่ โปรตีนแอลบูมินละลายได้ในน้ำ โปรตีนโกลบูลินละลายได้ในสารละลายน้ำเกลือ โปรตีนกลูเตลินละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโปรตีนโปรลามินละลายได้ในแอลกอฮอล์ พบว่า ฟลาวัวร์ข้าวมีปริมาณโปรตีนกลูเตลินมากที่สุด (88.73%) รองลงมา ได้แก่ โปรตีนโกลบูลิน (7.58%) โปรตีนแอลบูมิน (2.07%) และโปรตีนโปรลามิน (1.63%) ตามลำดับ โดยปริมาณโปรตีนทั้ง 4 ชนิดที่แยกได้จากฟลาวัวร์ข้าว แสดงผลดังตารางที่ 4.4 สอดคล้องกับ Cacampang และคณะ (1966) Sugimoto และคณะ (1986) และ Chrastil และ Zarins (1992) ที่พบว่า โปรตีนที่มีปริมาณมากในข้าว ได้แก่ โปรตีนกลูเตลิน

ตารางที่ 4.4 ชนิดโปรตีนที่แยกได้จากฟลาวัวร์ข้าว

ชนิดโปรตีน	ปริมาณ (g/ 100 g dry protein)
แอลบูมิน	2.07
โกลบูลิน	7.58
กลูเตลิน	88.73
โปรลามิน	1.63

4.3.2 ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีนแอลบูมิน โกลบูลิน กลูเตลินและโปรลามิน

จากการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนจากฟลาวัวร์ข้าว 4 ชนิดด้วยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ตามวิธีของ AOAC (2000) ได้แสดงผลดังตารางที่ 4.5 โดยพบว่า โปรตีนทั้ง 4 ชนิดมีกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบทั้งหมด 18 ชนิด โดยกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีนทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดกลูตามิก สอดคล้องกับ Lasztity (1996) ที่พบว่า กรดกลูตามิกเป็นกรดอะมิโนที่มีปริมาณมากที่สุด ในข้าว โดยมีปริมาณคิดเป็น 14.3% ของกรดอะมิโน 18 ชนิดที่พบในโปรตีนแอลบูมิน 18.5% ของโปรตีนโกลบูลิน 20.6% ของโปรตีนกลูเตลิน และ 21.9% ของโปรตีนโปรลามิน ซึ่งปริมาณเป็นร้อยละของกรดอะมิโน 18 ชนิดที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน 4 ชนิด แสดงผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.5 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนแต่ละชนิด

กรดอะมิโน	ปริมาณ (mg/ 100 g dry protein)			
	แอลบูมิน	โกลบูลิน	กลูเตลิน	โปรลามิน
Aspartic acid	439.52	714.27	1996.18	30.12
Threonine	168.65	257.42	634.65	13.17
Serine	210.99	422.51	1092.56	26.33
Glutamic acid	671.45	1346.09	3734.82	82.23
Proline	292.54	329.66	845.43	19.69
Glycine	329.89	372.71	885.72	22.34
Alanine	347.80	392.33	1051.06	23.16
Cystine	202.97	117.67	206.45	13.36
Valine	251.16	301.68	685.43	15.08
Methionine	169.80	177.88	237.23	6.70
Isoleucine	105.22	195.96	455.55	10.80
Leucine	345.83	525.95	1357.85	33.38
Tyrosine	156.03	281.85	825.73	12.62
Phenylalanine	148.72	455.86	898.92	18.28
Histidine	171.18	250.00	516.72	9.87
Lysine	130.68	248.30	581.40	11.40
Arginine	436.72	731.88	1718.15	20.68
Tryptophan	102.95	154.09	447.11	5.88

ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ผลการวิเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณเป็นร้อยละของกรดอะมิโน 18 ชนิดที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนแต่ละชนิด

กรดอะมิโน	ปริมาณ (g/ 100 g of each dry protein)			
	แอลบูมิน	โกลบูลิน	กลูเตลิน	โปรลามิน
Aspartic acid	9.4	9.8	11.0	8.0
Threonine	3.6	3.5	3.5	3.5
Serine	4.5	5.8	6.0	7.0
Glutamic acid	14.3	18.5	20.6	21.9
Proline	6.3	4.5	4.7	5.3
Glycine	7.1	5.1	4.9	6.0
Alanine	7.4	5.4	5.8	6.2
Cystine	4.3	1.6	1.1	3.6
Valine	5.4	4.2	3.8	4.0
Methionine	3.6	2.4	1.3	1.8
Isoleucine	2.3	2.7	2.5	2.9
Leucine	7.4	7.2	7.5	8.9
Tyrosine	3.3	3.9	4.5	3.4
Phenylalanine	3.2	6.3	5.0	4.9
Histidine	3.7	3.4	2.8	2.6
Lysine	2.8	3.4	3.2	3.0
Arginine	9.3	10.1	9.5	5.5
Tryptophan	2.2	2.1	2.5	1.6
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

4.4 สมบัติทางเคมีของไขมันจากฟลาวัวร์ข้าว

4.4.1 ไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid

ฟลาวัวร์ข้าวมีไขมัน 2 ส่วน คือ ไขมันส่วน non-starch lipid และ starch lipid ในปริมาณ 55.45 g/ 100 g lipid และ 44.55 g/ 100 g lipid ตามลำดับ

4.4.2 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักของไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid

เมื่อนำไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid มาวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบด้วยวิธี Gas Chromatography (GC) ตามวิธีของ AOAC (2000) ได้ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ non-starch lipid แสดงผลดังตารางที่ 4.7 ส่วนชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของ starch lipid แสดงผลดังตารางที่ 4.8 ซึ่งไขมันส่วน non-starch lipid มีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบทั้งหมด 12 ตารางที่ 4.7 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันส่วน non-starch lipid

กรดไขมัน	จำนวนคาร์บอนอะตอม	ปริมาณ (g/ 100 g lipid)
Lauric acid	C12:0	0.18
Myristic acid	C14:0	2.19
Palmitic acid	C16:0	30.56
Palmitoleic acid	C16:1	0.18
Stearic acid	C18:0	1.83
Oleic acid	C18:1	28.15
Linoleic acid	C18:2	33.86
α -Linolenic acid	C18:3	1.25
Arachidic acid	C20:0	0.48
Cis-11-Eicosenoic acid	C20:1	0.30
Behenic acid	C22:0	0.23
Lignoceric acid	C24:0	0.43
Unidentified peak		0.36

ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ผลการวิเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

ตารางที่ 4.8 ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันส่วน starch lipid

กรดไขมัน	จำนวนคาร์บอนอะตอม	ปริมาณ (g/ 100 g lipid)
Caprylic acid	C8:0	0.49
Lauric acid	C12:0	0.48
Myristic acid	C14:0	5.17
Palmitic acid	C16:0	50.35
Stearic acid	C18:0	1.86
Oleic acid	C18:1	13.21
Cis-Vaccenic acid	C18:1	0.47
Linoleic acid	C18:2	27.30
α -Linolenic acid	C18:3	0.67

ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ

ผลการวิเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.)

ชนิด โดยพบกรดไขมันตั้งแต่ C_{12} - C_{24} ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวทั้งหมด 7 ชนิด และกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด 5 ชนิด และไขมันส่วน starch lipid มีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบทั้งหมด 9 ชนิด โดยพบกรดไขมันตั้งแต่ C_8 - C_{18} ประกอบด้วยกรดไขมันชนิดอิ่มตัวทั้งหมด 5 ชนิด และกรดไขมันไม่อิ่มตัวทั้งหมด 4 ชนิด โดยไขมันทั้ง 2 ส่วนมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลักคือ กรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิก ซึ่งอัตราส่วนของกรดปาล์มิติก กรดโอเลอิก และกรดไลโนเลอิกในส่วน non-starch lipid เท่ากับ 30.6 : 28.2 : 33.9 และอัตราส่วนในส่วน starch lipid เท่ากับ 50.4 : 13.2 : 27.3

4.5 ผลของโปรตีนและไขมันต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว

4.5.1 ผลของโปรตีนต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว

จากตารางที่ 4.9 พบว่า onset gelatinization temperature (T_o) peak gelatinization temperature (T_p) conclusion gelatinization temperature (T_c) ของสตาร์ชเข้มข้น 10% ที่เติมโปรตีนเข้มข้น 6% 12% และ 18% เพิ่มขึ้นตามลำดับ สอดคล้องกับ Yang และ Chang (1999) ที่พบว่าเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ T_o T_p ของสตาร์ชเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับที่สตาร์ชเข้มข้น 15% และสตาร์ชเข้มข้น 20% โดย T_o T_p และ T_c ของสตาร์ชเข้มข้น 10% ต่ำกว่าสตาร์ชเข้มข้น 15% และสตาร์ชเข้มข้น 20% ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากโปรตีนทำ

หน้าที่เป็น barrier ทำให้น้ำเข้าสู่เม็ดสตาร์ชลดลง เม็ดสตาร์ชพองตัวลดลง ส่งผลให้ T_0 เพิ่มขึ้น (Marshall, Normand and Goynes, 1990) สอดคล้องกับ Saif, Lan และ Sweat (2003) ที่พบว่า กลูเตนมีผลทำให้น้ำในโดมีการเคลื่อนที่ลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิการเกิดเจลลาติโนเซชันของสตาร์ช (pasting temperature) สูงขึ้น เนื่องจากโปรตีนเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสตาร์ชในระหว่างการเกิดเจลลาติโนเซชัน

ตารางที่ 4.9 ผลของโปรตีนต่อการเกิดเจลลาติโนเซชันของเพสต์สตาร์ชข้าวด้วยวิธี DSC

ตัวอย่าง	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)			ΔH_{gel}^* (J/g)
	T_0	T_p	T_c	
starch 10% + protein 0%	73.9 ^a ±0.05	78.3 ^a ±0.01	82.5 ^a ±0.06	13.4 ^h ±0.91
starch 10% + protein 6%	74.6 ^{bc} ±0.29	78.8 ^{bc} ±0.11	82.7 ^{ab} ±0.31	11.6 ^e ±1.02
starch 10% + protein 12%	74.7 ^c ±0.39	78.7 ^b ±0.10	82.8 ^{abc} ±0.47	11.3 ^d ±0.94
starch 10% + protein 18%	75.1 ^d ±0.09	79.0 ^{cd} ±0.01	82.9 ^{bc} ±0.14	11.3 ^d ±0.64
starch 15% + protein 0%	74.4 ^b ±0.09	79.1 ^{cde} ±0.13	83.7 ^d ±0.14	13.5 ^h ±1.12
starch 15% + protein 6%	75.2 ^d ±0.22	79.5 ^f ±0.22	83.7 ^d ±0.22	12.6 ^f ±0.85
starch 15% + protein 12%	75.1 ^d ±0.19	79.1 ^{cde} ±0.01	84.7 ^e ±0.18	9.7 ^c ±0.77
starch 15% + protein 18%	75.5 ^e ±0.11	79.4 ^{ef} ±0.14	83.1 ^c ±0.23	9.1 ^b ±0.45
starch 20% + protein 0%	74.8 ^c ±0.13	79.2 ^{def} ±0.05	84.0 ^d ±1.12	13.2 ^g ±0.02
starch 20% + protein 6%	76.0 ^f ±0.06	80.6 ^g ±0.11	86.0 ^f ±0.21	12.7 ^f ±0.28
starch 20% + protein 12%	77.9 ^g ±0.29	82.4 ^h ±0.18	86.9 ^g ±0.36	9.6 ^c ±0.43
starch 20% + protein 18%	78.3 ^h ±0.17	82.4 ^h ±0.40	86.9 ^g ±0.39	7.8 ^a ±0.85

ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

a, b, c..... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ΔH_{gel} คือ เอนทัลปีของการเกิดเจลลาติโนเซชัน

* dry basis

เมื่อเก็บตัวอย่างที่ผ่านการเจลลาติโนเซชันแล้วที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 14 วัน พบว่า ที่สตาร์ชเข้มข้น 10% ที่เติมโปรตีนเข้มข้น 6% 12% และ 18% มี T_0 , T_p และ T_c ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโพรเกรเดชันสูงกว่าสตาร์ชเข้มข้น 10% ที่ไม่เติมโปรตีน โดยที่สตาร์ชเข้มข้น 15% และสตาร์ชเข้มข้น 20% มีแนวโน้มเช่นเดียวกับสตาร์ช 10% โดย T_0 , T_p และ T_c ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโพรเกรเดชันดังแสดงผลในตารางที่ 4.10 มีค่าในช่วง $46.5\text{-}53.2^{\circ}\text{C}$

58.2-61.4 °ซ และ 63.2-68.3 °ซ ตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่า T_o , T_p และ T_c ของการเกิดเจลลาตีโนเซชันที่มีค่าในช่วง 73.9-78.3 °ซ 78.3-82.4 °ซ และ 82.5-86.9 °ซ ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ผลของโปรตีนต่อการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชันของเพสต์สตาร์ชข้าวด้วยวิธี DSC

ตัวอย่าง	Temperature (°C)			ΔH_{ret}^* (J/g)
	T_o	T_p	T_c	
starch 10% + protein 0%	46.5 ^a ±0.11	58.5 ^{abc} ±0.06	63.2 ^a ±0.22	6.4 ^h ±0.07
starch 10% + protein 6%	47.0 ^b ±0.02	59.1 ^{de} ±0.07	66.4 ^c ±0.13	5.9 ^g ±0.21
starch 10% + protein 12%	47.7 ^c ±0.21	59.0 ^{cde} ±0.10	66.8 ^{cd} ±0.08	5.6 ^{ef} ±0.18
starch 10% + protein 18%	50.8 ^g ±0.14	59.7 ^f ±0.17	67.3 ^d ±0.10	4.6 ^d ±0.21
starch 15% + protein 0%	48.2 ^d ±0.23	58.9 ^{bcd} ±0.01	66.4 ^c ±0.11	6.3 ^h ±0.37
starch 15% + protein 6%	48.8 ^e ±0.14	58.4 ^{ab} ±0.21	65.4 ^b ±0.16	5.8 ^{fg} ±0.09
starch 15% + protein 12%	48.5 ^{de} ±0.07	58.7 ^{bcd} ±0.30	66.5 ^c ±0.25	5.6 ^{ef} ±0.18
starch 15% + protein 18%	49.6 ^f ±0.11	59.4 ^{ef} ±0.27	65.6 ^b ±0.22	5.4 ^e ±0.07
starch 20% + protein 0%	48.2 ^d ±0.16	58.7 ^{abcd} ±0.01	68.3 ^e ±0.26	6.9 ⁱ ±0.27
starch 20% + protein 6%	49.7 ^f ±0.19	58.2 ^a ±0.36	65.5 ^b ±0.19	4.3 ^c ±0.14
starch 20% + protein 12%	51.2 ^h ±0.17	58.8 ^{bcd} ±0.27	65.5 ^b ±0.14	4.0 ^b ±0.17
starch 20% + protein 18%	53.2 ⁱ ±0.24	61.4 ^g ±0.09	68.1 ^e ±0.22	3.6 ^a ±0.21

ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

a, b, c..... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ΔH_{ret} คือเอนทาลปีของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชัน

* dry basis

ส่วนเอนทาลปีของการเกิดเจลลาตีโนเซชันสตาร์ชเข้มข้น 10% ที่เติมโปรตีนเข้มข้น 6% 12% และ 18% มีเอนทาลปีต่ำกว่าสตาร์ชเข้มข้น 10% โดยเอนทาลปีของสตาร์ชเข้มข้น 10% ที่เติมโปรตีนมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของโปรตีนเพิ่มขึ้น ซึ่งที่สตาร์ชเข้มข้น 15% และ 20% ก็ให้ผลเช่นเดียวกัน แสดงผลดังตารางที่ 4.9 และเอนทาลปีของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชเข้มข้น 10% ที่เติมโปรตีนเข้มข้น 6% 12% และ 18% ต่ำกว่าสตาร์ชเข้มข้น 10% และที่สตาร์ชเข้มข้น 15% และ 20% ก็มีผลเช่นเดียวกับที่สตาร์ชเข้มข้น 10% แสดงผลดังตารางที่ 4.10 โดย Karim, Norziah และ Seow (2000) รายงานว่า เอนทาลปีของการ

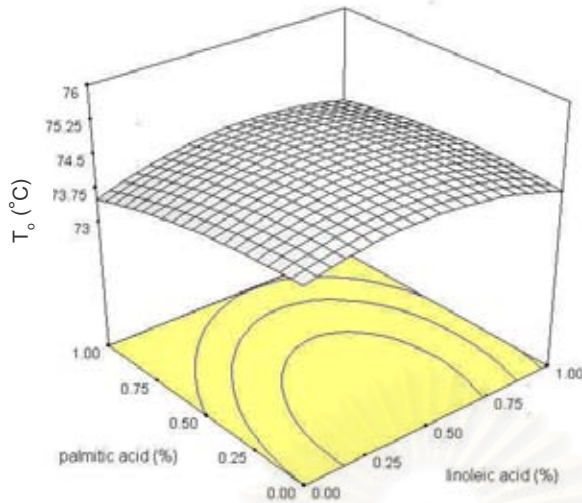
เกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชอยู่ในช่วง 9-15 J/g และเอนทาลปีของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชันของสตาร์ชมีค่าน้อยกว่า 8 J/g หนึ่ง การที่เอนทาลปีของการเกิดเจลาตินในเซชันมีค่าลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีน แสดงให้เห็นว่าการเติมโปรตีนทำให้การเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชมีค่าลดลง

4.5.2 ผลของไขมันต่อสมบัติทางความร้อนของเพสต์สตาร์ชข้าว

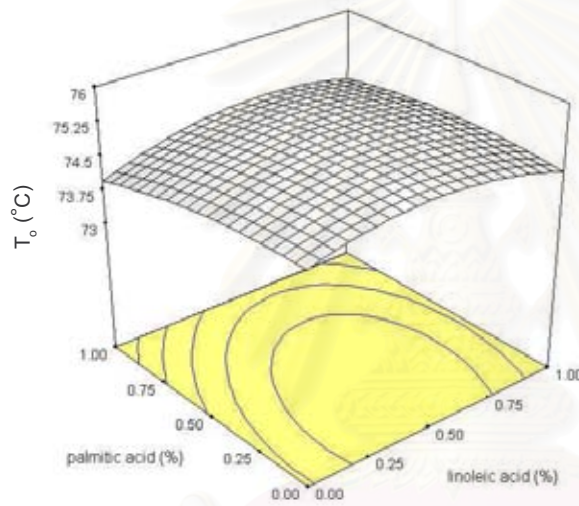
เมื่อเติมกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% และ 1.0% ลงในสตาร์ชเข้มข้น 10% พบว่ากรดไขมันทั้งสองชนิดไม่มีผลทำให้ T_0 และ T_p เปลี่ยนแปลง แต่มีผลทำให้ T_c เพิ่มขึ้น แสดงผลดังรูปที่ 4.4(a) รูปที่ 4.5(a) และรูปที่ 4.6(a) ที่สตาร์ชเข้มข้น 15% กรดไขมันทั้งสองชนิดไม่มีผลทำให้ T_0 เปลี่ยนแปลง แต่การเติมกรดไลโนเลอิกมีผลทำให้ T_p เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และการเติมกรดปาล์มิติกเข้มข้น 1.0% มีผลทำให้ T_c เพิ่มขึ้น แสดงผลดังรูปที่ 4.4(b) รูปที่ 4.5(b) และรูปที่ 4.6(b) และที่สตาร์ชเข้มข้น 20% มีผลเช่นเดียวกับสตาร์ชเข้มข้น 15% แสดงผลดังรูปที่ 4.4(c) รูปที่ 4.5(c) และรูปที่ 4.6(c) ทั้งนี้เนื่องจากไขมันที่เติมลงในสตาร์ชสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับอะมิโลส ซึ่งมีผลทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันสูงขึ้น นอกจากนี้ไขมันยังเป็น barrier ทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำเข้า-ออกเม็ดสตาร์ชลดลง การพองตัวและการละลายของสตาร์ชลดลง ทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันสูงขึ้น โดย Liang และคณะ (2002) พบว่าการเติมกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.2% และ 0.6% ลงในสตาร์ชข้าวเข้มข้น 9.5% ไม่มีผลทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชแตกต่างจากการเติมกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.2% และ 0.6%

เมื่อเก็บตัวอย่างที่ผ่านการเจลาตินในเซชันแล้วที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 14 วัน พบว่าเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 10% ที่เติมกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.5% และ 1.0% และกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% และ 1.0% มีค่า T_0 ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 4.7(a) และการเติมกรดไลโนเลอิกทำให้ค่า T_p ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังรูปที่ 4.8(a) แต่ลดค่า T_c เล็กน้อยดังรูปที่ 4.9(a) และเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 15% เมื่อเติมกรดไลโนเลอิกและกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.5% และ 1.0% ทำให้ค่า T_0 และ T_p เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 10% ดังรูปที่ 4.7(b) และรูปที่ 4.8(b) แต่การเติมกรดไลโนเลอิกไม่มีผลทำให้ T_c ของเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 15% เปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 4.9(b) และเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 20% การเติมกรดไขมันทั้งสองชนิดมีผลต่อค่า T_0 และ T_p เช่นเดียวกับเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 15% ดังรูปที่ 4.7(c) และรูปที่ 4.8(c) ส่วนกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% และ 1.0% ทำให้ค่า T_c ของเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 20% เพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 4.9(c)

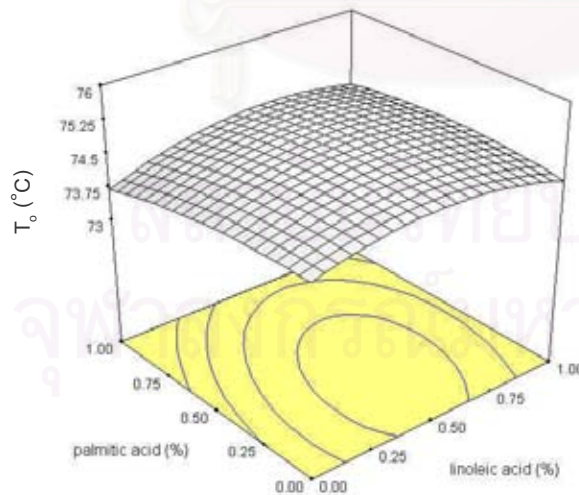
ส่วนเอนทาลปีของการเกิดเจลาตินในเซชันของเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 10% มีค่าต่ำสุดที่ปริมาณกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% และกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.5% เช่นเดียวกับเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 15% และ 20% แสดงดังรูปที่ 4.10(a) ถึงรูปที่ 4.10(c) โดย Ozcan และ Jackson (2002) พบว่า เอนทาลปีของการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชที่เติมกรดไขมันเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังนี้ กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิก กรดไมริสติก กรดปาล์มิติก และกรดสเตียริก แสดงว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัวมีผลทำให้เอนทาลปีของการเกิดเจลาตินในเซชันสูงกว่ากรดไขมันชนิดไม่อิ่มตัว และเอนทาลปีของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 10% มีค่าลดลงเมื่อปริมาณกรดไลโนเลอิกเข้าใกล้ 1.0% และกรดปาล์มิติกเข้มข้น $\leq 0.5\%$ และเอนทาลปีของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 15% มีค่าต่ำสุดเมื่อกรดไลโนเลอิก $> 0.5\%$ และกรดปาล์มิติก $\leq 0.5\%$ นอกจากนี้เอนทาลปีของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 20% ต่ำสุดที่กรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% และกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.5% แสดงว่าที่ความเข้มข้นของกรดไขมันดังกล่าวทำให้เกิดรีโทรเกรดชันน้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.11(a) ถึงรูปที่ 4.11(c) สอดคล้องกับ Becker และคณะ (2001) ที่พบว่า ไขมันตามธรรมชาติที่อยู่ภายในเม็ดสตาร์ชและการเติม glycerol monostearate มีผลทำให้สตาร์ชเกิดรีโทรเกรดชันลดลง เนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมันทำให้อะมิโลสมีความคงตัวมากขึ้น ส่งผลในการป้องกันการละลายของอะมิโลสออกจากเม็ดสตาร์ช ทำให้มีปริมาณอะมิโลสในการที่จะเกิดรีโทรเกรดชันลดลง แต่ Liang และคณะ (2002) พบผลตรงกันข้าม โดยพบว่าการเติมกรดปาล์มิติก กรดสเตียริก กรดโอเลอิก กรดไลโนเลอิกและกรดไลโนเลนิกเข้มข้น 0.6% ลงในสตาร์ชข้าวเข้มข้น 9.5% กรดไขมันทุกชนิดยกเว้นกรดสเตียริก มีผลทำให้ค่า total setback เพิ่มขึ้น ซึ่งค่า total setback นี้แสดงถึงแนวโน้มการเกิดรีโทรเกรดชัน ฉะนั้น การเติมกรดไขมันมีแนวโน้มทำให้สตาร์ชเกิดรีโทรเกรดชันเพิ่มขึ้น แต่การเติมกรดไขมันดังกล่าวที่ความเข้มข้น 0.2% ไม่มีผลต่อค่า total setback แสดงว่ากรดไขมันมีผลทั้งในการเพิ่มและลดการเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ช ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของไขมัน



(a) starch 10%

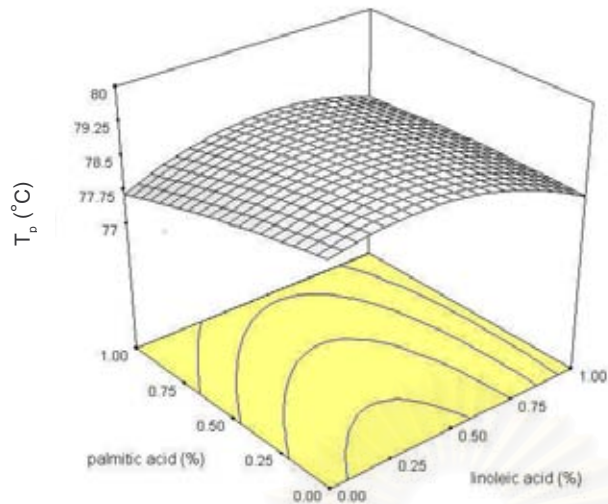


(b) starch 15%

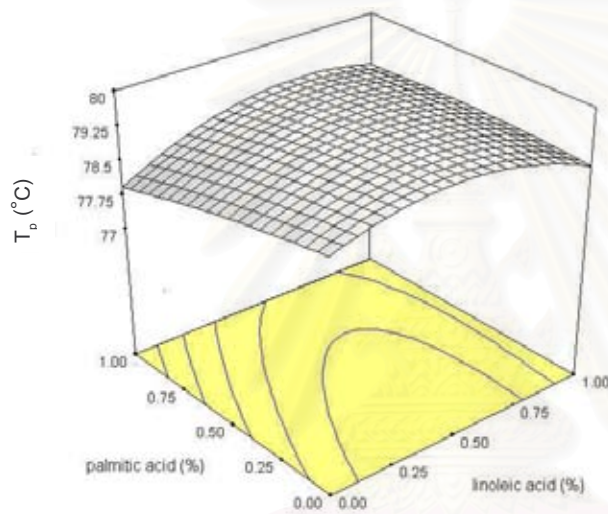


(c) starch 20%

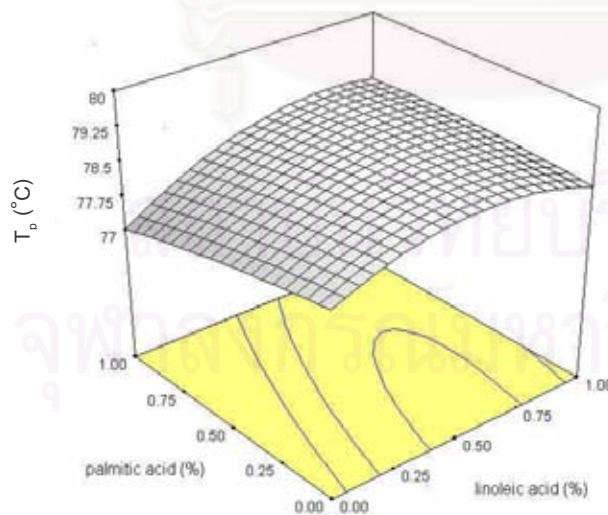
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_m ของการเกิดเจลลาติโนเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%



(a) starch 10%

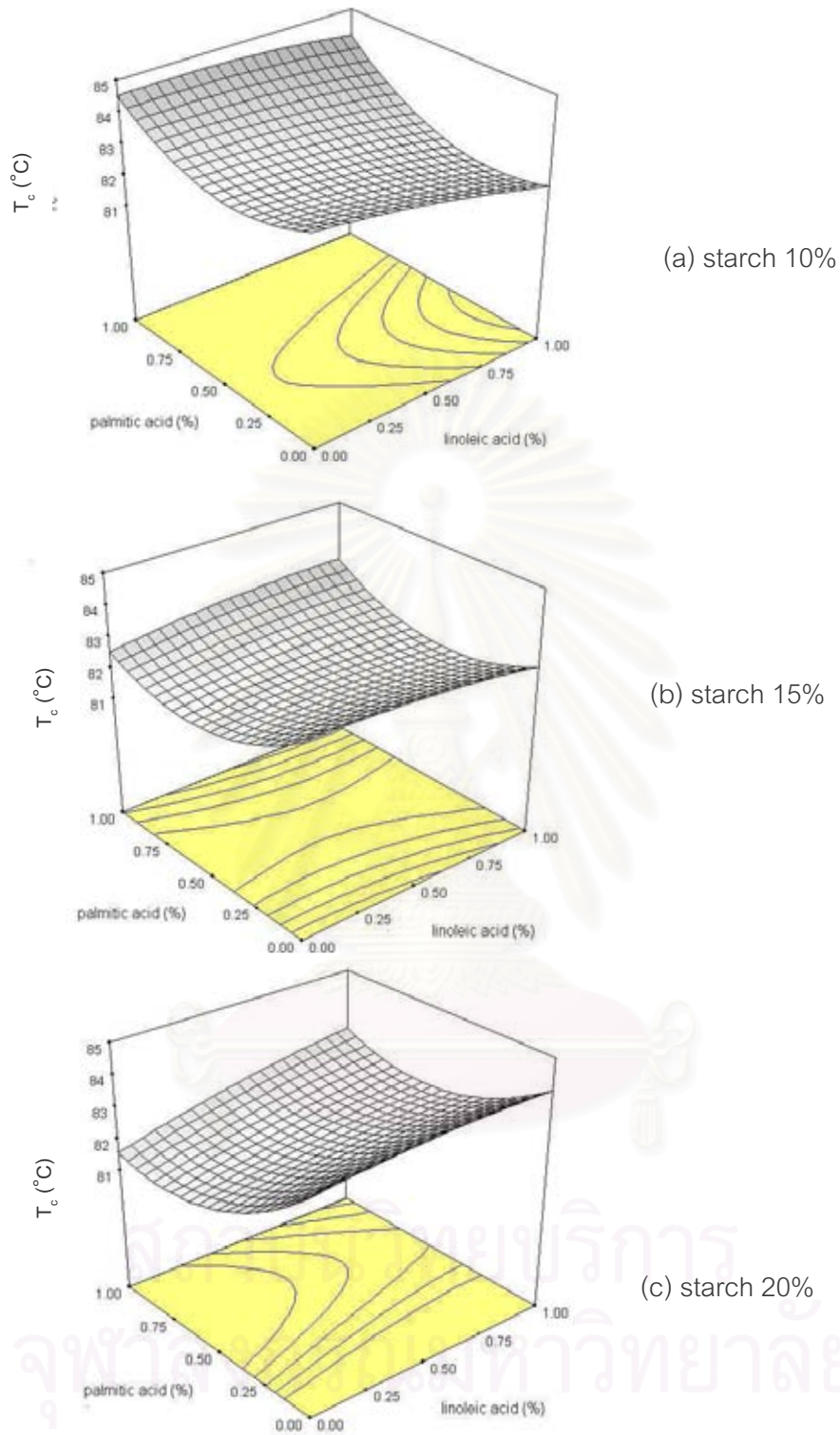


(b) starch 15%

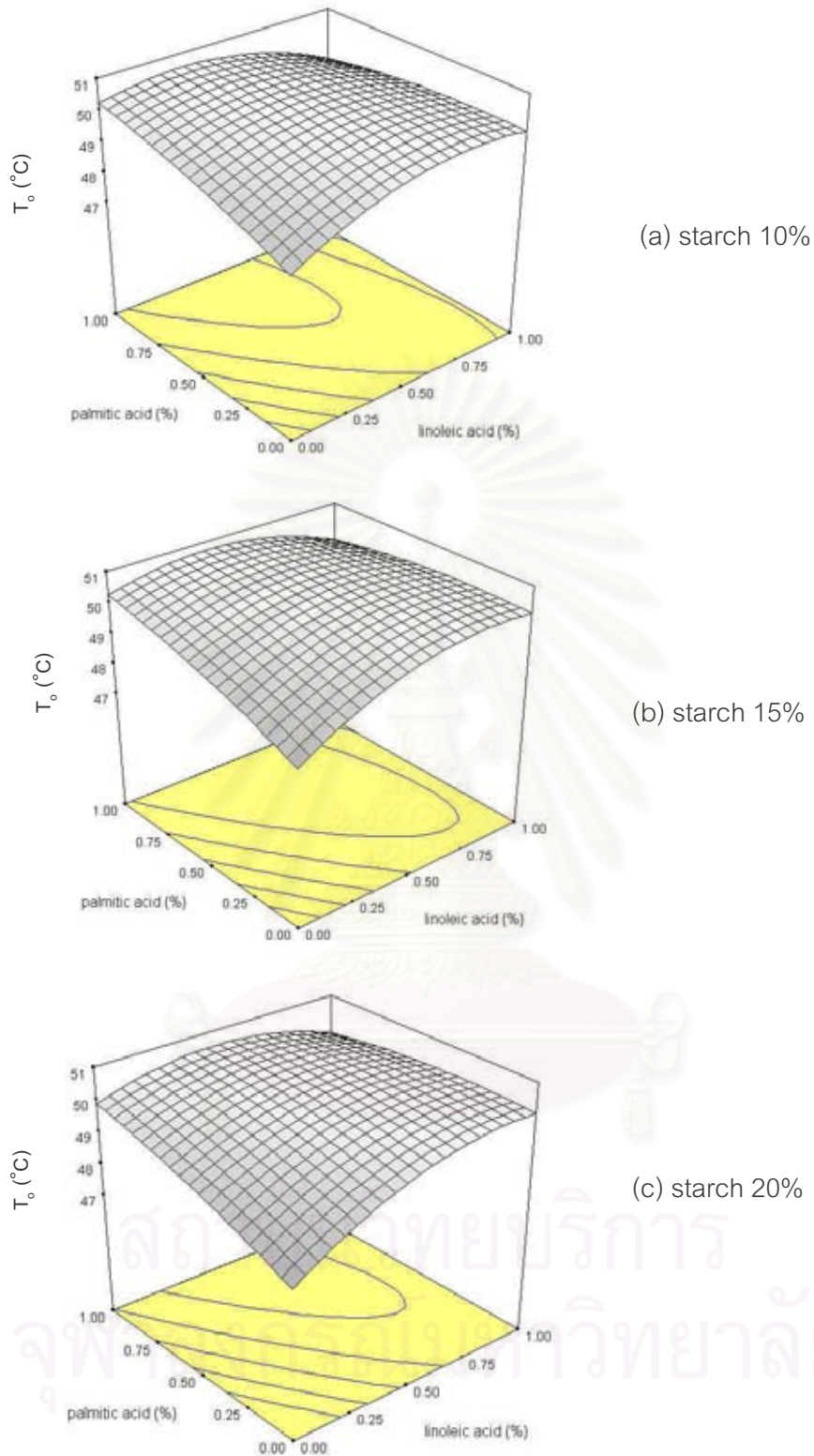


(c) starch 20%

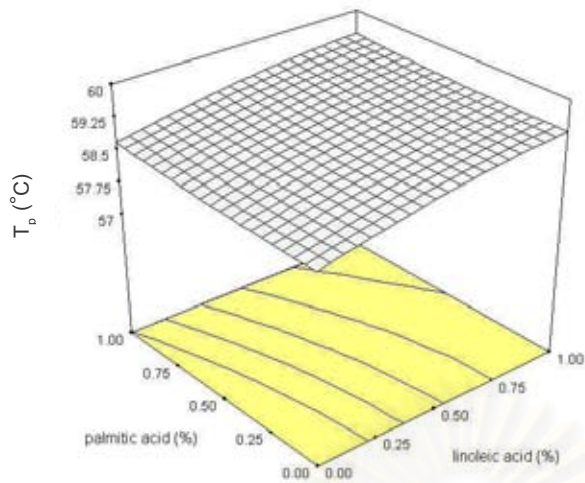
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_p ของการเกิดเจลลาตีโนเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%



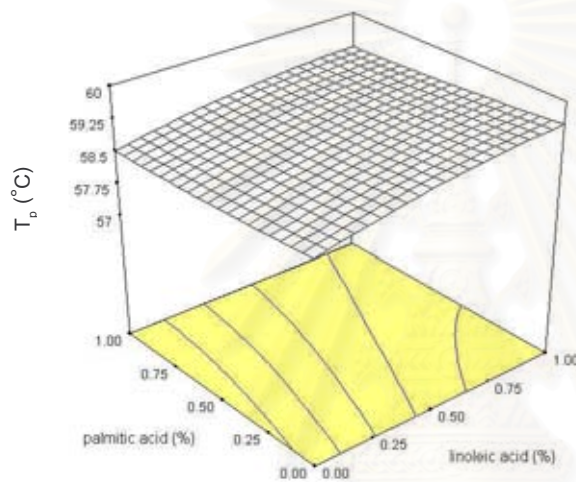
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_c ของการเกิดเจลาตินในเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%



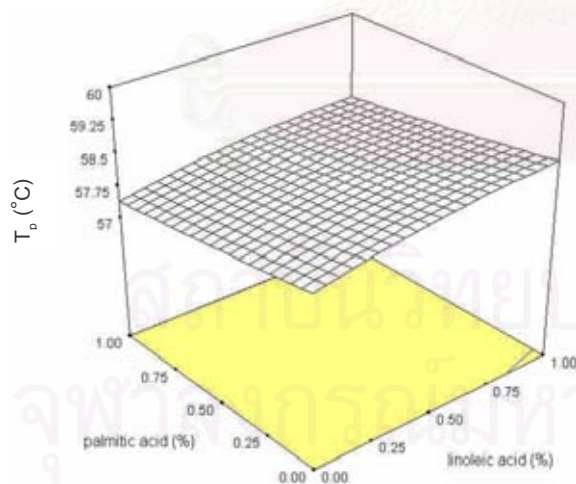
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_m ของการหลอมสารที่เกิดจากกรีไทรเกอร์เดชั่นที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%



(a) starch 10%

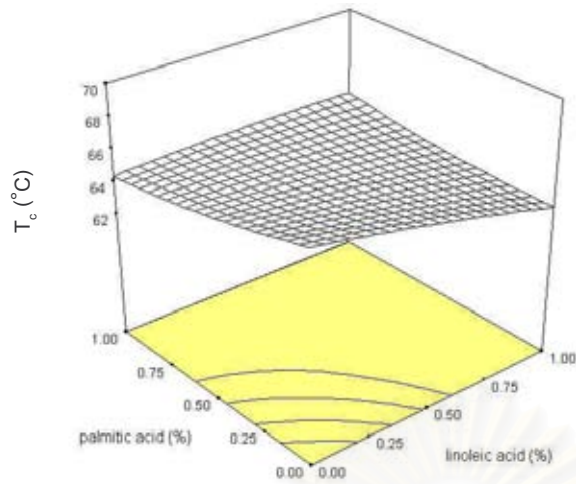


(b) starch 15%

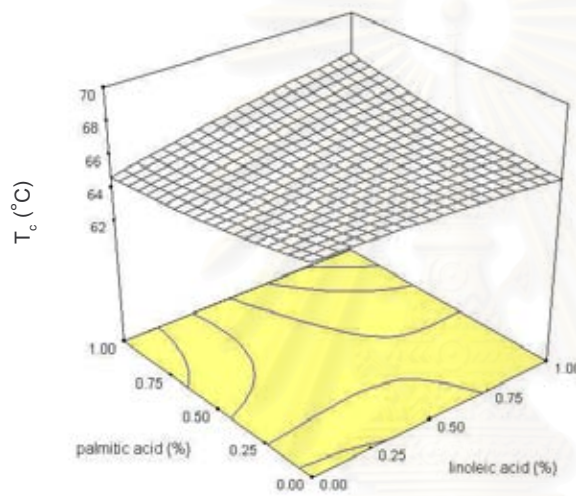


(c) starch 20%

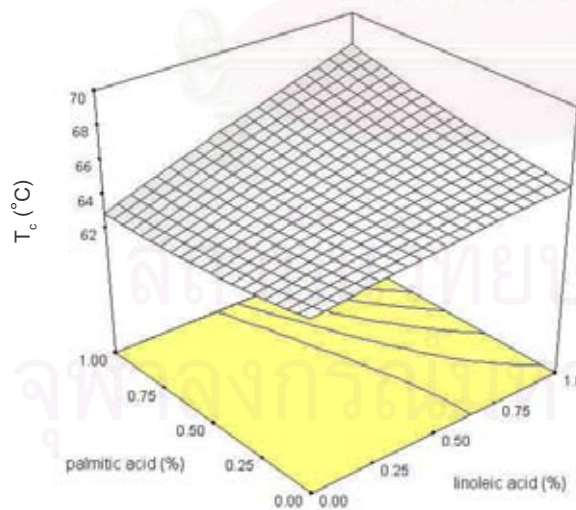
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_p ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%



(a) starch 10%

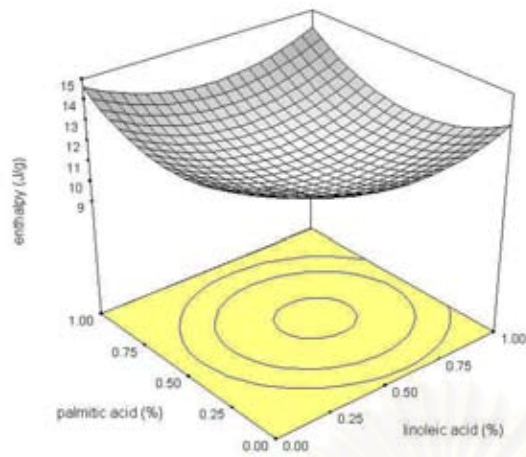


(b) starch 15%

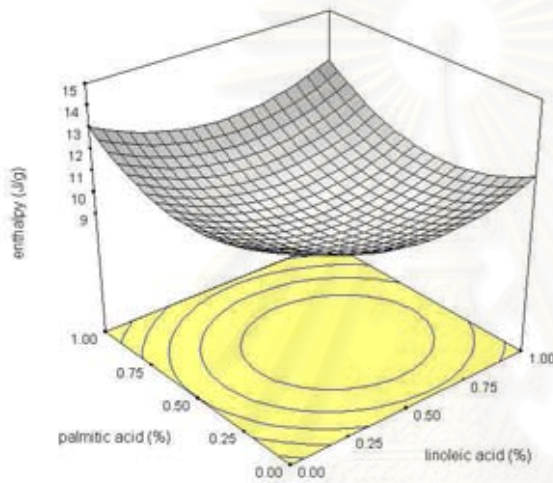


(c) starch 20%

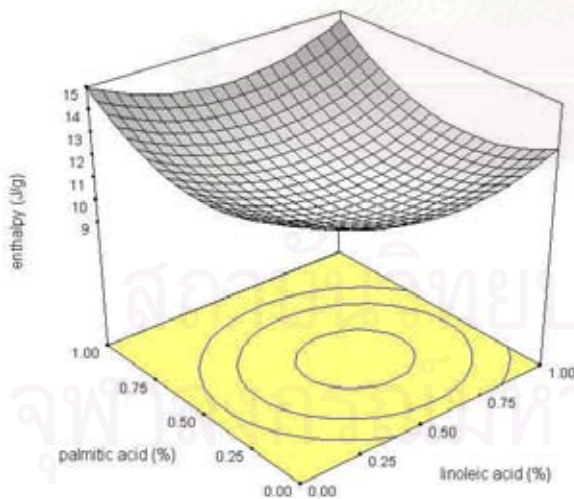
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_c ของการหลอมสารที่เกิดจากกรีโทรเกอร์เดชั่นที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%



(a) starch 10%

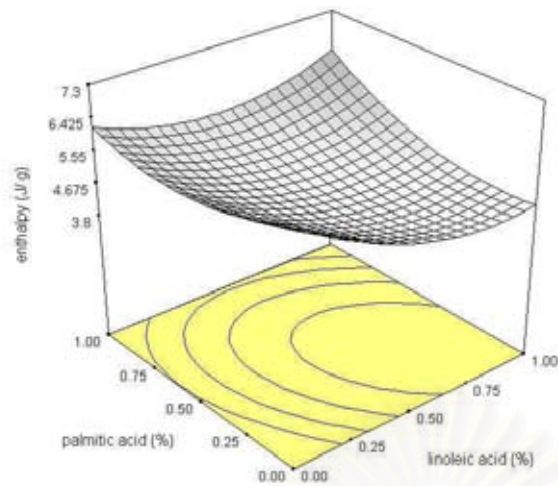


(b) starch 15%

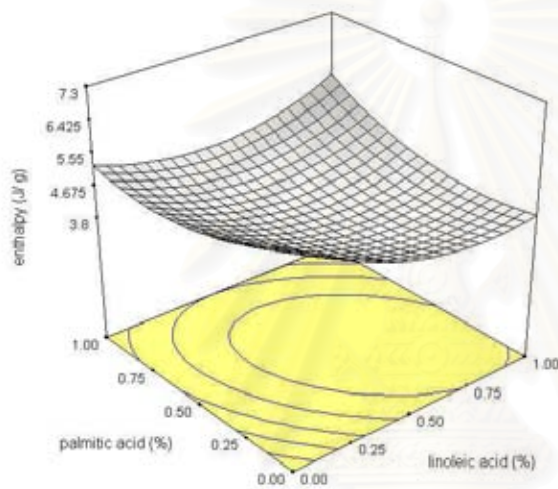


(c) starch 20%

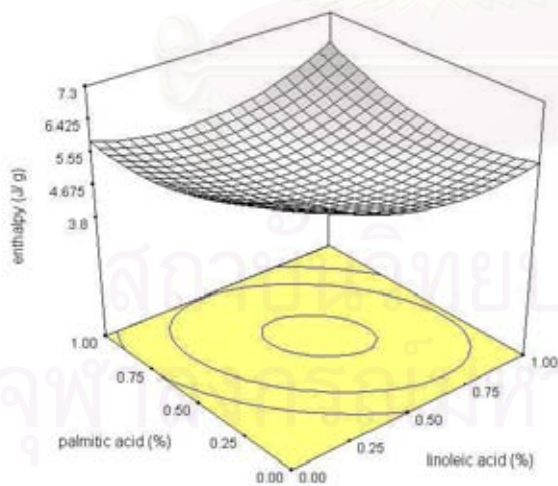
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อเอนทาลปีของการเกิดเจลลาติโนเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%



(a) starch 10%



(b) starch 15%



(c) starch 20%

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อเอนทาลปีของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%

4.6 ผลของโปรตีนและไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวระหว่างการเกิดเจลลิตในเซชันและหลังการเกิดเจลลิตในเซชัน

4.6.1 ผลของโปรตีนต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวระหว่างการเกิดเจลลิตในเซชัน

เมื่อเติมโปรตีนข้าวทางการค้าเข้มข้น 0% 6% 12% และ 18% ลงในสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% พบว่า โปรตีนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า T_0 แต่มีผลในการเพิ่มค่า T_p และลดค่า peak complex viscosity (η^*_{peak}) ของเพสต์สตาร์ช โดยเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น ค่า η^*_{peak} ของสตาร์ชลดลงตามลำดับ เนื่องจากโปรตีนมีผลลดการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้ปริมาณเม็ดสตาร์ชที่พองตัวลดลง ส่งผลให้ความหนืดของสตาร์ชเข้มข้น 10% ที่เติมโปรตีนเข้มข้น 6% 12% และ 18% ลดลงตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12(a) สอดคล้องกับ Chedid และ Kokini (1992) ที่พบว่า การเติมโปรตีน กลูเตลินลงในสตาร์ช Hylon-V ส่งผลให้ peak viscosity ของสตาร์ชลดลง เนื่องจากโปรตีนลดการพองตัวของเม็ดสตาร์ช ทำให้มีปริมาณเม็ดสตาร์ชที่พองตัวลดลง จึงเกิดโครงสร้างตาข่ายระหว่างสตาร์ชและโปรตีนที่ขอบน้ำลดลง

เมื่อเติมโปรตีนข้าวทางการค้าเข้มข้น 0% 6% 12% และ 18% ลงในสตาร์ชข้าวเข้มข้น 15% พบว่า การเพิ่มปริมาณโปรตีนไม่มีผลทำให้ค่า T_0 เปลี่ยนแปลง แต่มีผลในการเพิ่มค่า T_p เช่นเดียวกับการเติมโปรตีนลงในสตาร์ชเข้มข้น 10% แต่การเติมโปรตีนลงในสตาร์ชเข้มข้น 15% นี้มีผลทำให้ค่า η^*_{peak} ของสตาร์ชเพิ่มขึ้น โดยเมื่อปริมาณโปรตีนเพิ่มสูงขึ้น ค่า η^*_{peak} ของสตาร์ชเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12(b)

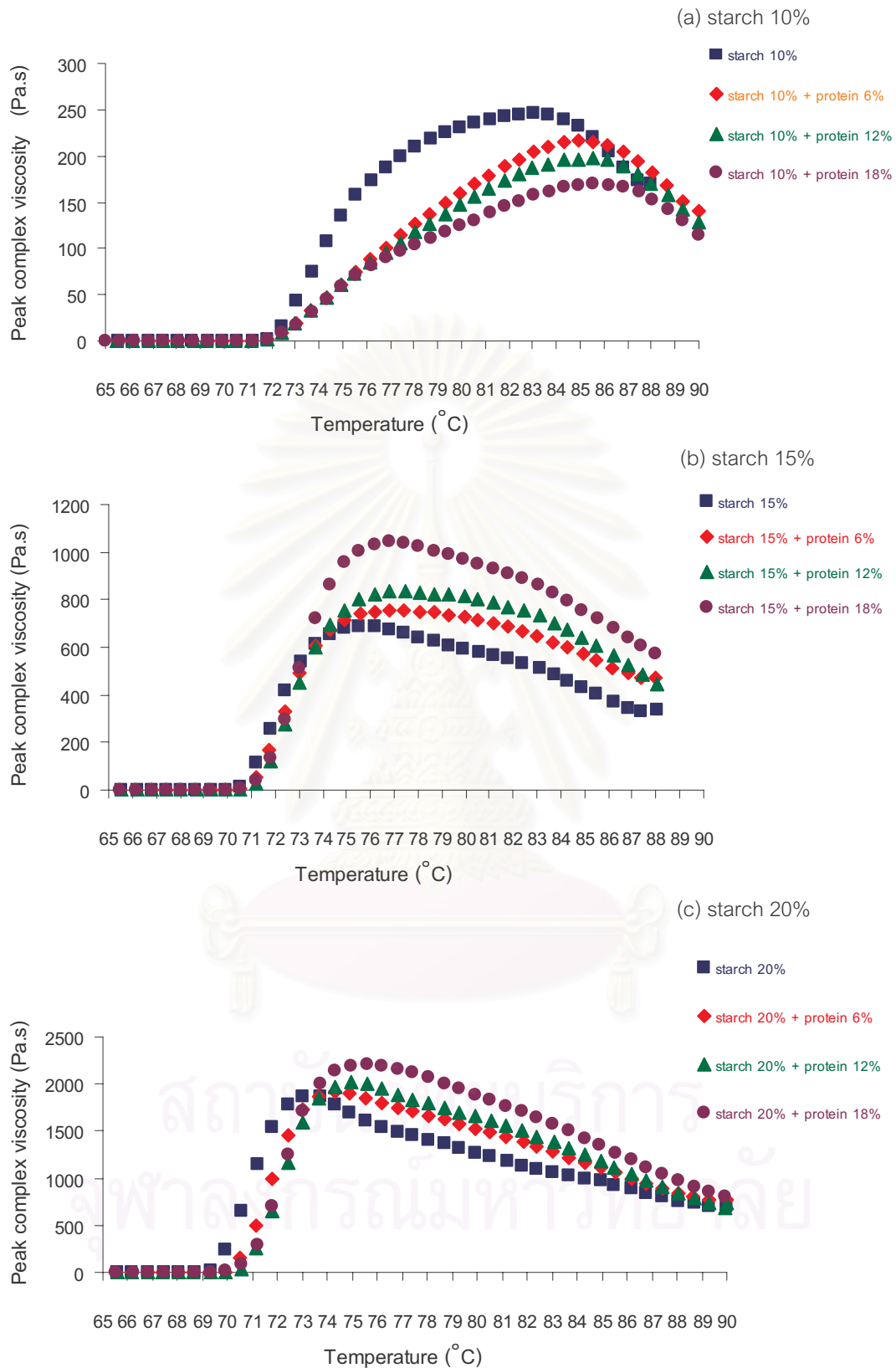
เมื่อเติมโปรตีนข้าวทางการค้าเข้มข้น 0% 6% 12% และ 18% ลงในสตาร์ชข้าวเข้มข้น 20% พบว่า โปรตีนมีผลเพิ่มค่า T_0 และค่า T_p และมีผลเพิ่มค่า η^*_{peak} ของสตาร์ช เช่นเดียวกับการเติมโปรตีนลงในสตาร์ชเข้มข้น 15% โดยค่า η^*_{peak} ของสตาร์ชที่เติมโปรตีนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12(c) ซึ่งสามารถอธิบายผลของโปรตีนต่อการเกิดเจลลิตในเซชันของสตาร์ชเข้มข้น 15% และ 20% ที่เติมโปรตีนเข้มข้น 6% 12% และ 18% ได้ดังนี้คือ ในระบบที่มีความเข้มข้นของสตาร์ชเพิ่มขึ้น การเติมโปรตีนจะมีผลทำให้โปรตีนเปลี่ยนรูปร่างจาก α -helix เป็น β -pleated sheet ทำให้หมู่อะมิโนหันออกด้านนอก โปรตีนเกิดปฏิกริยากับสตาร์ชได้มากขึ้น ส่งผลให้ η^*_{peak} มีค่าสูงขึ้น (Chedid and Kokini, 1992) สอดคล้องกับผลของโปรตีนต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชที่พบว่า เมื่อเติมโปรตีนลงในสตาร์ชโปรตีนมีแนวโน้มทำให้ค่า T_0 และค่า T_p ของสตาร์ชเพิ่มขึ้น ΔH_{gel} ลดลง แสดงว่าโปรตีนมีผลทำให้สตาร์ชเกิดเจลลิตในเซชันลดลง นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อความเข้มข้นของสารแขวนลอยสตาร์ชสูงขึ้น T_0 และ T_p มีค่าลดลง ในขณะที่ η^*_{peak} สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสตาร์ชเป็นการ

เพิ่มเม็ดสตาร์ชที่พองตัวรวมทั้งอะมิโลสและอะมิโลเพกทินซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในทำให้เกิดความเหนียวของสตาร์ช

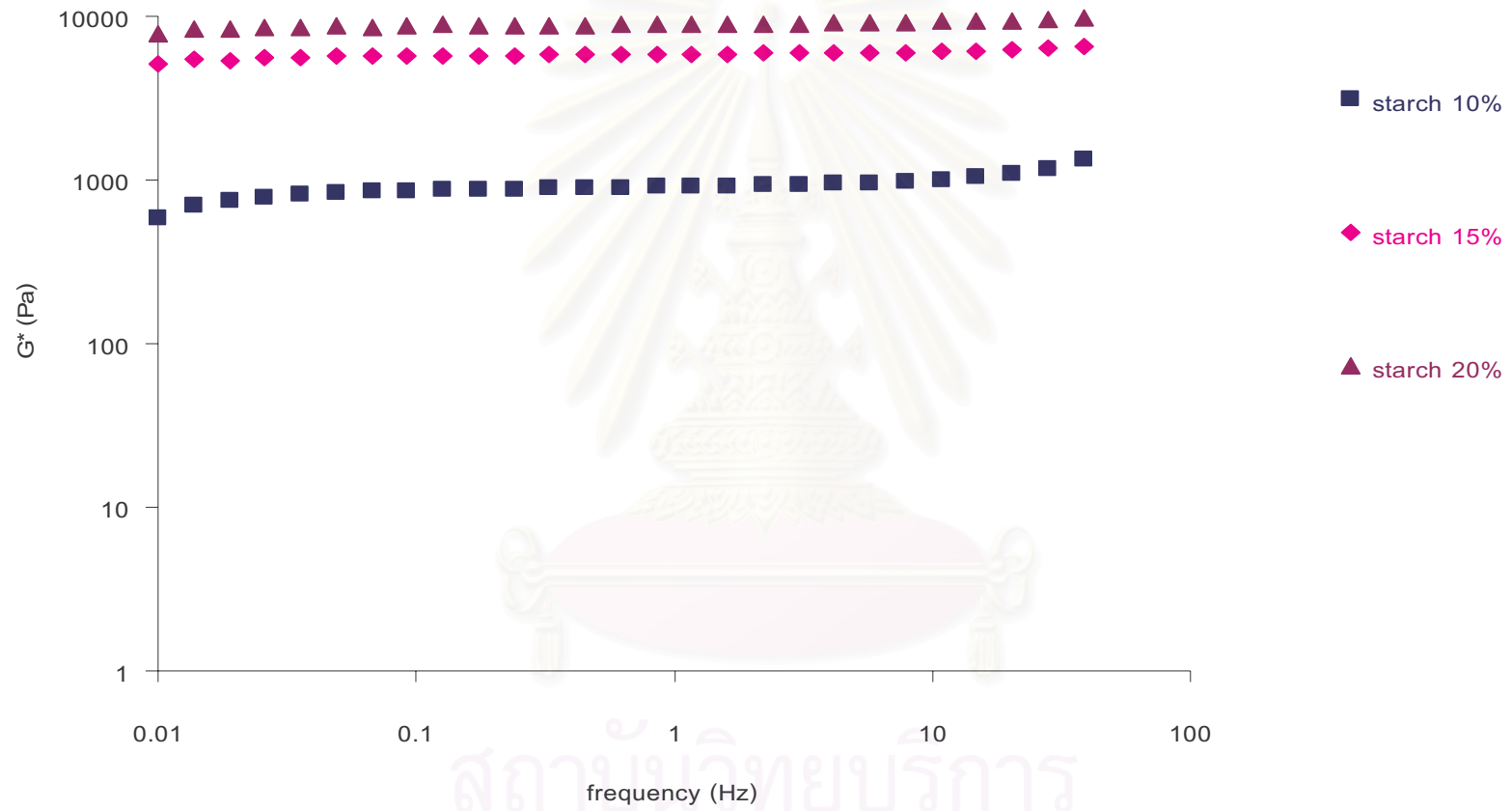
4.6.2 ผลของโปรตีนต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวหลังการเกิดเจลลิตีในเซชัน

ในการศึกษาผลของโปรตีนต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าว เริ่มจากการเจลลิตีในเซชันสตาร์ชข้าวที่เติมโปรตีนทางการค้าตามภาวะเช่นเดียวกับการศึกษาผลของโปรตีนต่อการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชข้าว ดังแสดงในภาคผนวก ก.15 โดยค่า complex modulus (G^*) เพสต์ของสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% 15% และ 20% แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่า เมื่อความเข้มข้นของสตาร์ชเพิ่มขึ้น ค่า G^* ของสตาร์ชที่เติมโปรตีนข้าวทางการค้าเพิ่มขึ้นตามลำดับ และ slope ของกราฟ G^* กับความถี่ (ω) มีลักษณะเป็นเส้นตรง แสดงถึงเพสต์สตาร์ชข้าวมีแนวโน้มในการเป็นของแข็งมากกว่าที่จะเป็นของเหลวที่ไหลได้ ทั้งนี้เนื่องจากการเพิ่มปริมาณสตาร์ชเป็นการเพิ่มเม็ดสตาร์ชที่พองตัวและอะมิโลส อะมิโลเพกทินซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญในการเกิดโครงร่างตาข่าย ทำให้โครงร่างตาข่ายแข็งแรงขึ้น ส่งผลให้ค่า G^* เพิ่มสูงขึ้น (Reddy et al., 1994) ดังรูปที่ 4.14 และเมื่อเปรียบเทียบค่า elastic modulus (G') และ viscous modulus (G'') ของเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมโปรตีนข้าวทางการค้าเข้มข้น 0% 6% 12% และ 18% พบว่า เมื่อปริมาณสตาร์ชเพิ่มขึ้น ค่า G' และ G'' เพิ่มสูงขึ้นตามลำดับเช่นเดียวกับค่า G^* โดยที่ค่า G' สูงกว่าค่า G'' แสดงผลดังรูปที่ 4.15(a) ถึงรูปที่ 4.15(c)

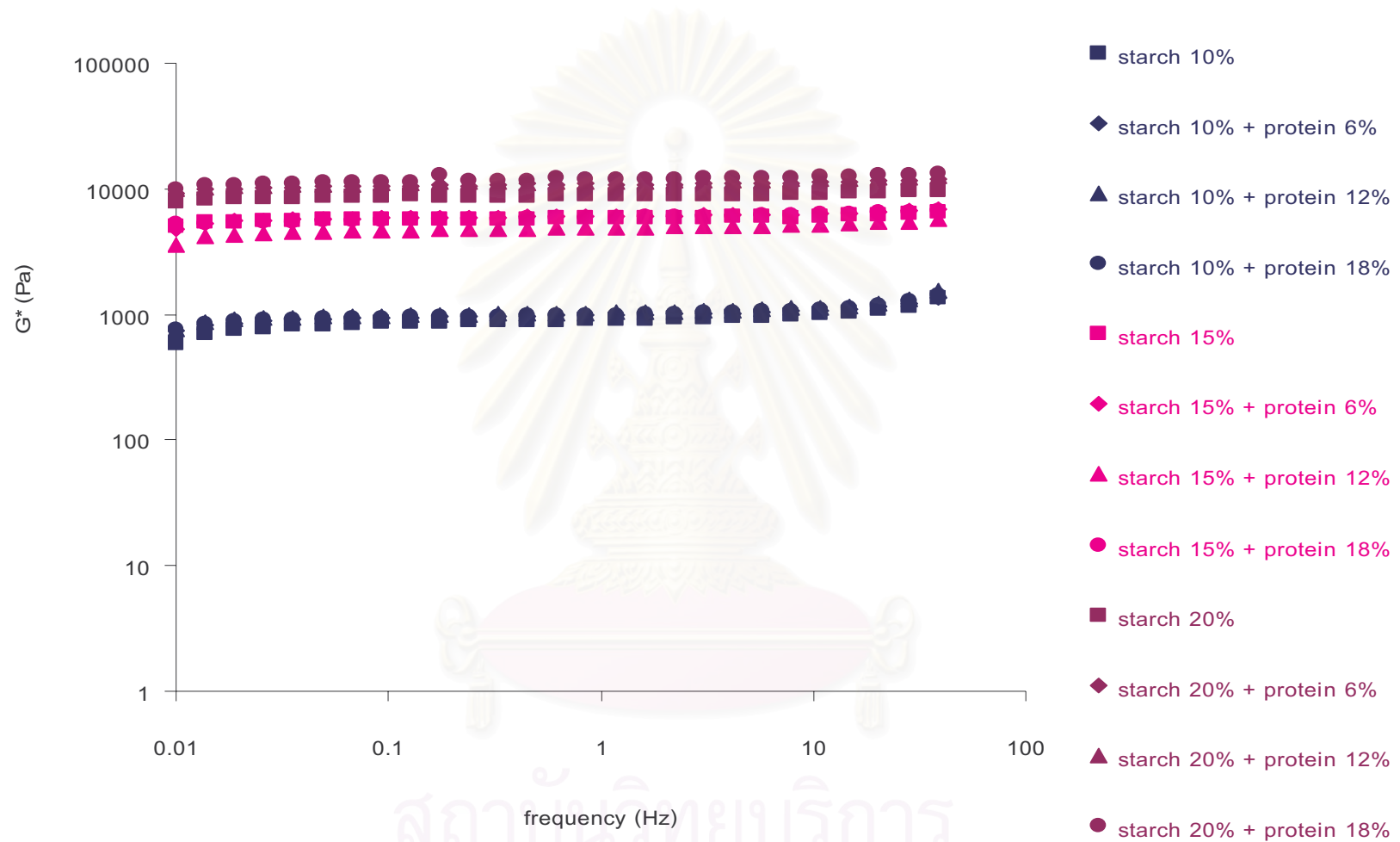
เมื่อพิจารณาการเติมโปรตีนลงในเพสต์สตาร์ชข้าว พบว่า ปริมาณโปรตีนไม่มีผลต่อค่า G' แต่มีผลต่อค่า G'' ดังรูปที่ 4.15(a) ถึงรูปที่ 4.15(c) การเติมโปรตีนเข้มข้น 18% มีผลต่อการเพิ่มค่า G'' ในสตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20% โดยที่ไม่ทำให้ค่า G' เปลี่ยนแปลงมากนัก แสดงว่าปริมาณโปรตีนเข้มข้น 18% ที่เติมลงในสตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20% ทำให้ความเหนียวในส่วนที่เป็นของเหลวของเพสต์มีค่าเพิ่มขึ้น โดยที่ไม่มีส่วนเสริมโครงสร้างที่เป็นส่วนของแข็งของเพสต์ อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเหนียวในส่วนของเหลวนี้ส่งผลให้เกิดความแข็งแรงของเพสต์เพิ่มมากขึ้นในเพสต์สตาร์ชข้าวเข้มข้น 20%



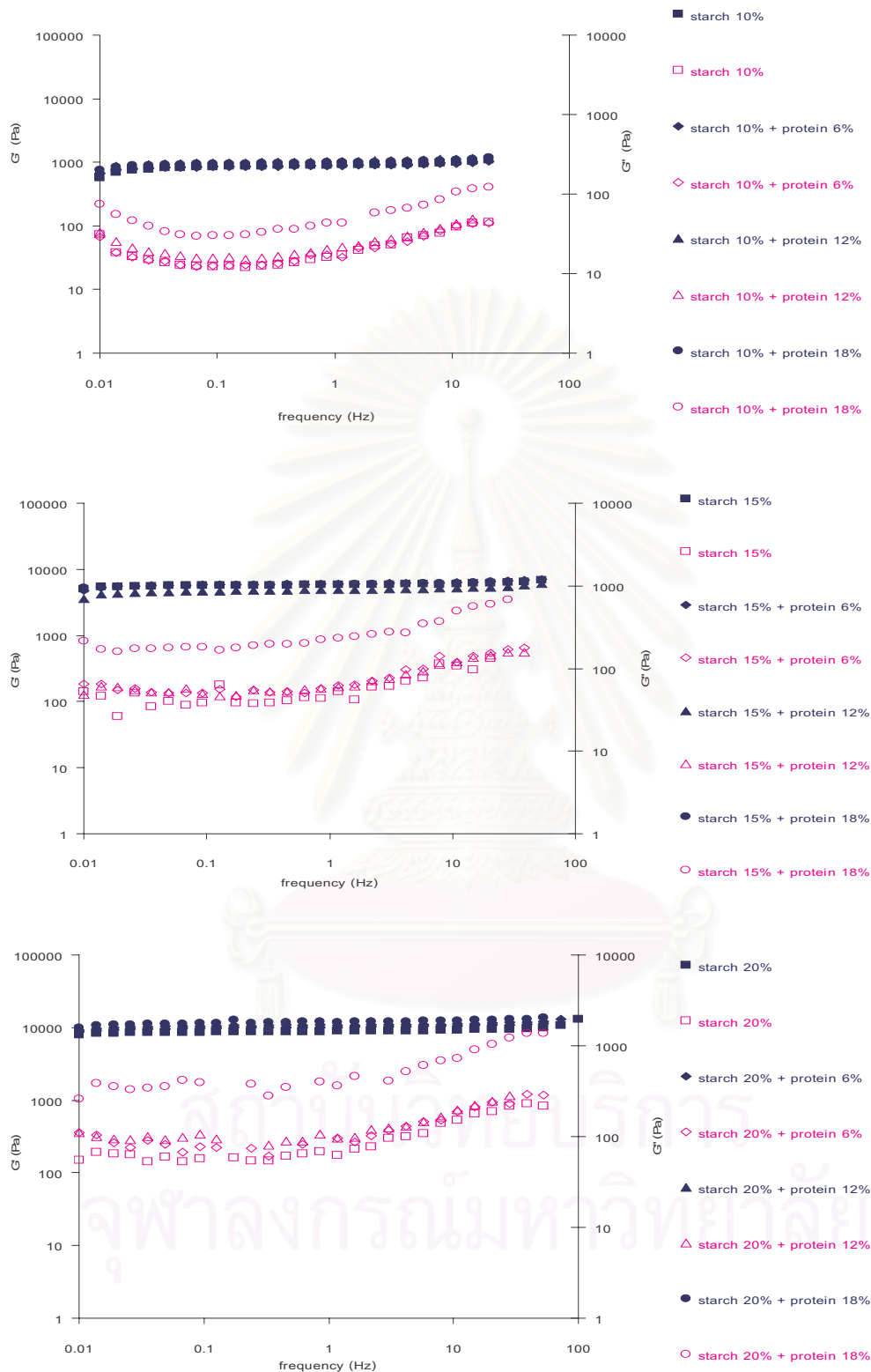
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง peak complex viscosity และอุณหภูมิของสตาร์ชเข้มข้น 3 ระดับที่เติมโปรตีนเข้มข้น 0% 6% 12% 18% (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า G^* และ frequency (ω) ของสตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20%



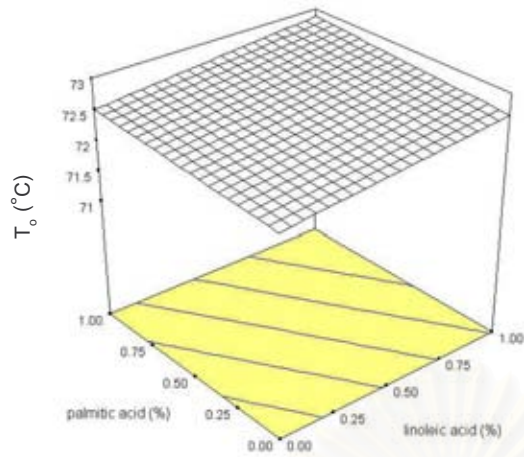
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า G^* และ frequency (ω) ของสตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมโปรตีน 0% 6% 12% 18%



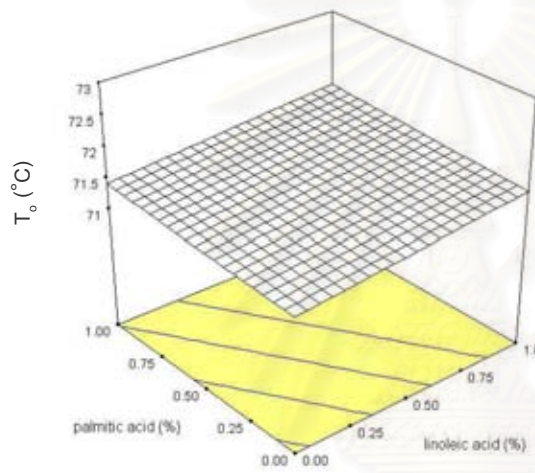
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า G' (■, ◆, ▲, ●) และ G'' (□, ◇, △, ○) และ frequency (ω) ของสตาร์ชเข้มข้น 3 ระดับที่เติมโปรตีน 0% 6% 12% 18% (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%

4.6.3 ผลของไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวในระหว่างการเกิด เจลลิตไนเซชัน

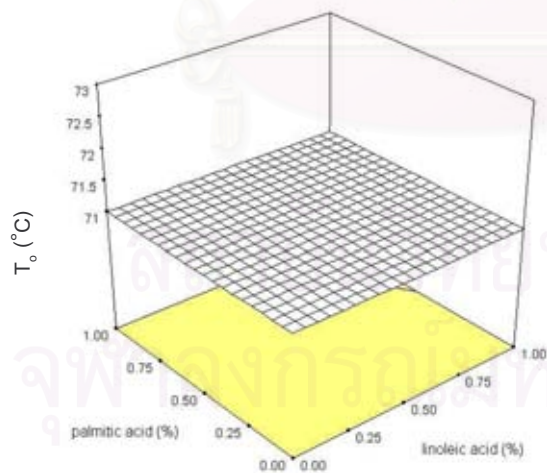
เมื่อเติมกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ลงในสตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20% พบว่า กรดไขมันทั้ง 2 ชนิดไม่มีผลทำให้ค่า T_0 เปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 4.16(a) ถึงรูปที่ 4.16(c) แต่ส่งผลให้ T_p มีค่าเพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.17(a) ถึงรูปที่ 4.17(c) โดยไขมันที่เติมลงในสตาร์ชเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมัน ทำให้คุณสมบัติการเกิดเจลลิตไนเซชันเพิ่มขึ้น หรือไขมันอาจเคลือบเป็นฟิล์มบางๆ รอบเม็ดสตาร์ช ทำให้การแพร่ผ่านของน้ำเข้าสู่ภายในเม็ดสตาร์ชลดลง ลดความสามารถในการละลายน้ำ ทำให้การเจลลิตไนเซชันเกิดได้ช้าลง ส่งผลทำให้ค่า T_p สูงขึ้น สอดคล้องกับผลของไขมันต่อสมบัติทางความร้อนที่พบว่า เมื่อเติมกรดไขมันลงในสตาร์ชมีแนวโน้มในการทำให้ค่า T_p ของสตาร์ชเพิ่มขึ้น และเอนทาลปีของการเกิดเจลลิตไนเซชันมีค่าลดลงเมื่อเติมกรดไลโนเลอิกและกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.5% ซึ่งแสดงว่าการเติมกรดไขมันมีแนวโน้มทำให้สตาร์ชเกิดเจลลิตไนเซชันลดลง สอดคล้องกับ Hibi (1994) ที่พบว่า การเติมกรดปาล์มิติกเข้มข้น 1.8% ลงในสตาร์ชข้าวมีผลทำให้เม็ดสตาร์ชพองตัวลดลง เนื่องจากมีการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมัน ส่งผลให้สตาร์ชเกิดเจลลิตไนเซชันลดลง เช่นเดียวกับ Kaur และ Singh (2000) ที่พบว่ากรดไขมันมีผลทำให้สตาร์ชข้าวมีความสามารถในการละลายน้ำลดลง และที่สตาร์ชเข้มข้น 10% เมื่อเติมกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% มีผลทำให้ η^*_{peak} ของสตาร์ชเพิ่มขึ้น แต่กรดปาล์มิติกไม่มีผลต่อ η^*_{peak} ดังรูปที่ 4.18(a) และที่สตาร์ชเข้มข้น 15% เมื่อเติมกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% มีผลทำให้ η^*_{peak} เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับการเติมกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.5% และ 1.0% ที่มีผลทำให้ η^*_{peak} เพิ่มขึ้นตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.18(b) ส่วนที่สตาร์ชเข้มข้น 20% เมื่อเติมกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% ก็มีผลทำให้ η^*_{peak} เพิ่มขึ้น และการเติมกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.5% และ 1.0% ลงในสตาร์ชเข้มข้น 20% มีผลทำให้ η^*_{peak} เพิ่มขึ้นตามลำดับ เช่นเดียวกับที่สตาร์ชเข้มข้น 15% ดังรูปที่ 4.18(c) สอดคล้องกับ Liang และคณะ (2002) ที่พบว่า การเติมกรดไลโนเลอิกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.6% ลงในสตาร์ชข้าวเข้มข้น 9.5% มีผลทำให้ค่า peak viscosity (η_{peak}) ของสตาร์ชเพิ่มขึ้น แสดงว่ากรดไขมันอิ่มตัวไม่มีผลต่อค่า η_{peak} แต่การเติมกรดไขมันดังกล่าวที่ความเข้มข้น 0.2% ไม่มีผลต่อค่า η_{peak} แสดงว่าปริมาณของกรดไขมันมีผลต่อค่า η_{peak} ของสตาร์ช แต่การเติมกรด ปาล์มิติกและกรดสเตียริกเข้มข้น 0.2% และ 0.6% ไม่มีผลต่อค่า η_{peak} นอกจากนี้ Yasumatsu, Moritaka และ Kakinuma (1964) พบว่าการเติมกรดปาล์มิติก กรดโอเลอิกและกรดไลโนเลอิกในอัตราส่วน 1:1:1 ที่ความเข้มข้น 0.7% ถึง 6% ลงในสตาร์ชข้าว มีผลทำให้ความหนืดสูงสุดของสตาร์ชเพิ่มขึ้น ฉะนั้นค่า η_{peak} ของสตาร์ชขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณกรดไขมัน



(a) starch 10%

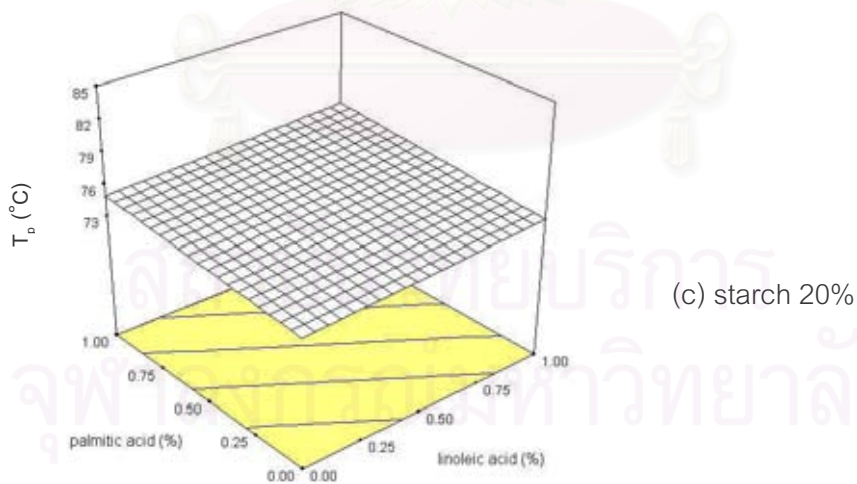
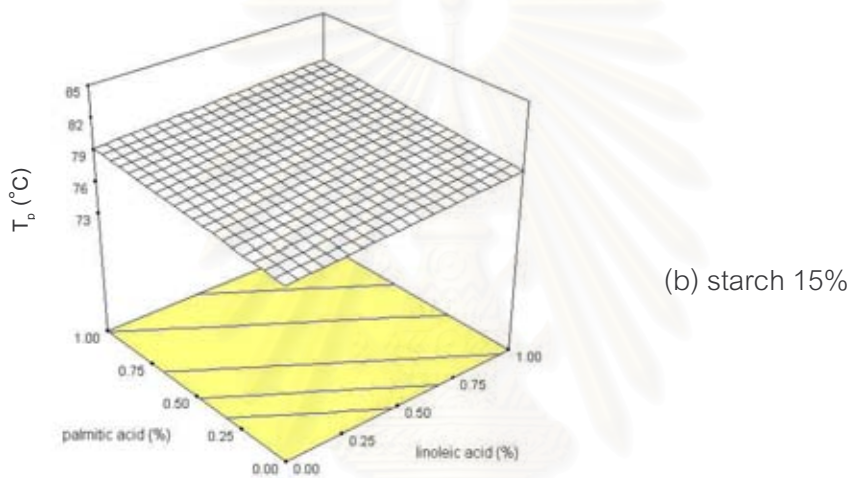
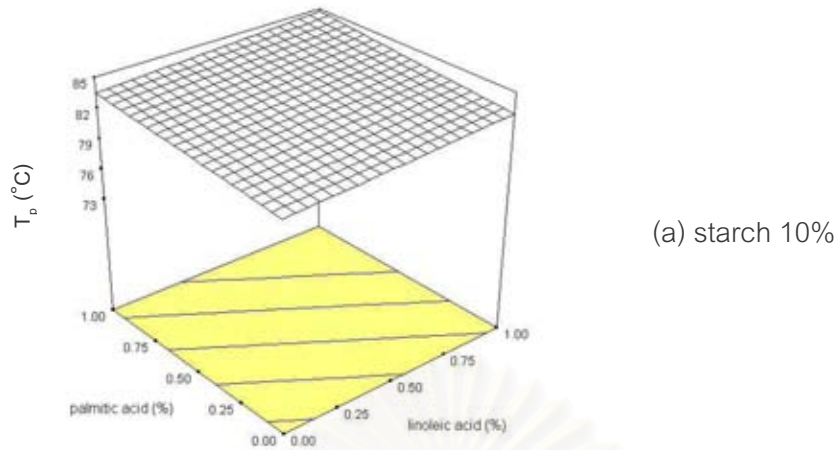


(b) starch 15%

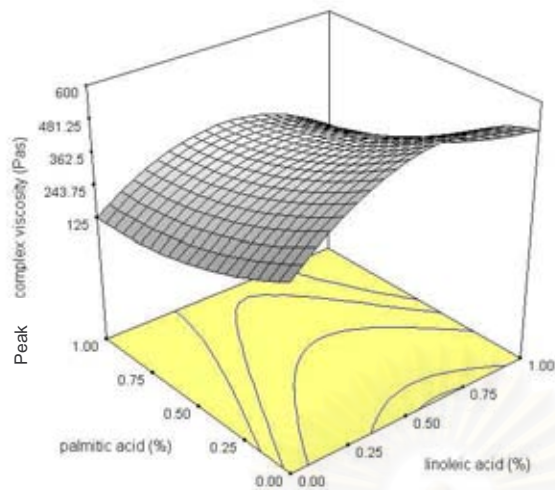


(c) starch 20%

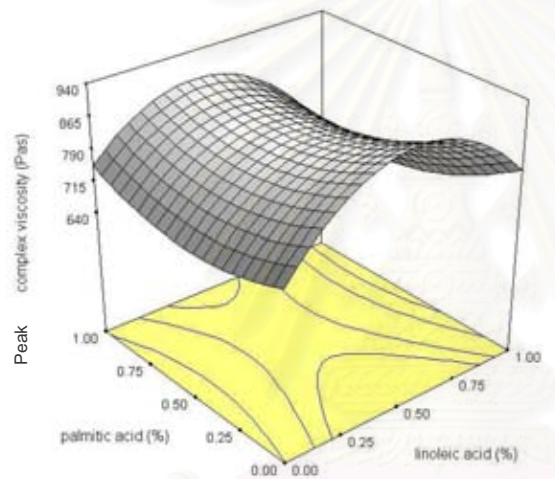
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_m ระหว่างการเกิดเจลลาติไนเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%



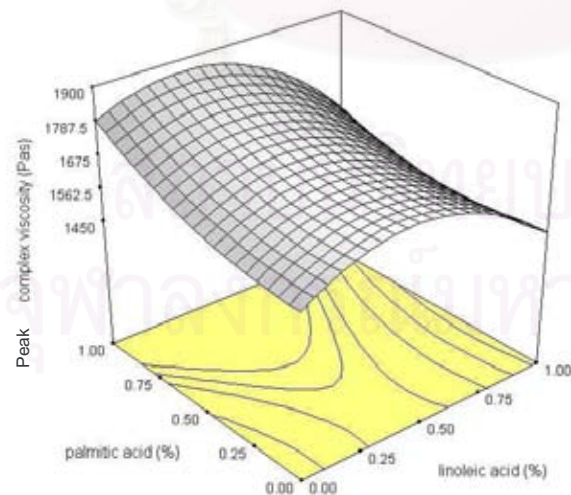
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า T_p ระหว่างการเกิดเจลลาตินในเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%



(a) starch 10%



(b) starch 15%



(c) starch 20%

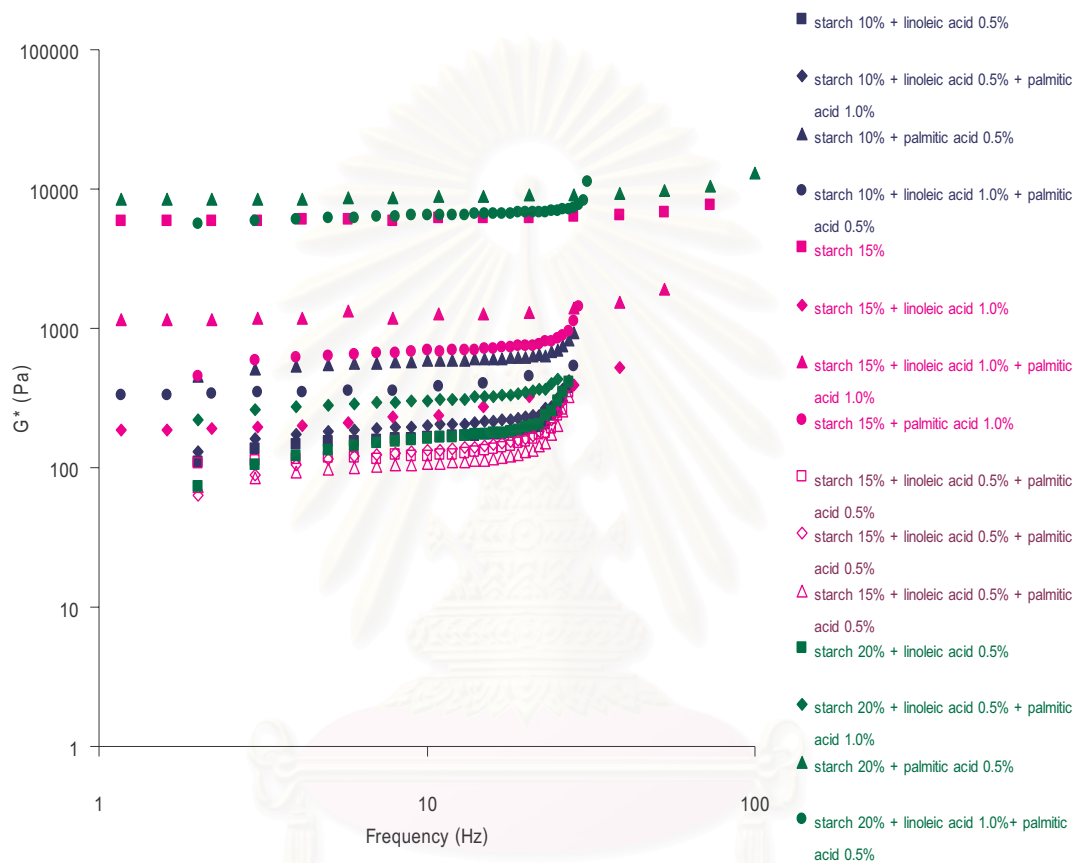
รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0% ต่อค่า η^*_{peak} ระหว่างการเกิดเจลลาติไนเซชันที่ความเข้มข้นของสตาร์ช 3 ระดับ (a) สตาร์ช 10% (b) สตาร์ช 15% และ (c) สตาร์ช 20%

4.6.4 ผลของไขมันต่อสมบัติเชิงกลของเพสต์สตาร์ชข้าวหลังจากการเกิด เจลลิตินเซชัน

เมื่อทดสอบเพสต์ของสตาร์ชเข้มข้น 10% ที่เติมกรดไลโนเลอิกและกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.5% และ 1.0% ที่ผ่านการเจลลิตินเซชัน พบว่าค่า G^* เรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ คือสตาร์ช 10% เติมกรดไลโนเลอิก 0.5% สตาร์ช 10% เติมกรดไลโนเลอิก 0.5% ร่วมกับกรดปาล์มิติก 1.0% สตาร์ช 10% เติมกรดไลโนเลอิก 1.0% ร่วมกับกรดปาล์มิติก 0.5% และสตาร์ช 10% เติมกรดปาล์มิติก 0.5% ซึ่งค่า G^* ของสตาร์ชเข้มข้น 20% มีลำดับเช่นเดียวกับที่สตาร์ชเข้มข้น 10% คือสตาร์ช 20% เติมกรดไลโนเลอิก 0.5% สตาร์ช 20% เติมกรดไลโนเลอิก 0.5% ร่วมกับกรดปาล์มิติก 1.0% สตาร์ช 20% เติมกรดไลโนเลอิก 1.0% ร่วมกับกรดปาล์มิติก 0.5% และสตาร์ช 20% เติมกรดปาล์มิติก 0.5%

เมื่อทดสอบเพสต์ของสตาร์ชข้าวเข้มข้น 15% ที่เติมกรดไลโนเลอิกและกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.5% และ 1.0% ที่ผ่านการเจลลิตินเซชันพบว่าค่า G^* เรียงลำดับจากน้อยไปมากได้ดังนี้ คือสตาร์ช 15% เติมกรดไลโนเลอิก 0.5% ร่วมกับกรดปาล์มิติก 0.5% สตาร์ช 15% เติมกรดไลโนเลอิก 1.0% สตาร์ช 15% เติมกรดปาล์มิติก 1.0% สตาร์ช 15% เติมกรดไลโนเลอิก 1.0% ร่วมกับกรดปาล์มิติก 1.0% และสตาร์ช 15% ที่ไม่เติมไขมัน โดยกรดไขมันทั้งสองชนิดมีผลทำให้ค่า G^* ของเพสต์สตาร์ชข้าวมีค่าน้อยกว่าสตาร์ช 15% ที่ไม่เติมไขมัน ยกเว้นที่สตาร์ช 20% เติมกรดปาล์มิติก 0.5% และสตาร์ช 20% เติมกรดไลโนเลอิก 1.0% ร่วมกับกรดปาล์มิติก 0.5% ที่มีค่า G^* ใกล้เคียงกับสตาร์ช 15% กล่าวโดยรวมได้ว่า การเติมกรดไลโนเลอิกและกรดปาล์มิติกลงในสตาร์ชเข้มข้น 10-20% มีผลให้ค่า G^* ลดลง โดยในเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 10% และ 20% การเติมกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% มีผลทำให้ค่า G^* ลดลงมากกว่าการเติมกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 1.0% และในสตาร์ชที่มีกรดไลโนเลอิกอยู่แล้ว การเติมกรดปาล์มิติกเพิ่มขึ้น มีผลทำให้ค่า G^* ลดลงไปอีกเพียงเล็กน้อย แสดงผลดังรูปที่ 4.19 ทั้งนี้เนื่องจากมีสารประกอบเชิงซ้อนอะมิโลส-ไขมันเกิดขึ้น กรดไขมันที่เติมลงไปกระจายตัวอยู่ระหว่างเม็ดสตาร์ช กรดไขมันจึงเสมือนเป็นสารหล่อลื่น (lubricant) ที่ไปลดแรงเสียดทานระหว่างเม็ดสตาร์ช ทำให้เพสต์ของสตาร์ชข้าวแนวโน้มการเป็นของแข็งลดลง ส่งผลให้ค่า G^* ลดลง แสดงว่ากรดไขมันมีแนวโน้มในการทำให้เพสต์สตาร์ชมีความอ่อนตัวมากขึ้น สอดคล้องกับ Watanabe, Yokomizo และ Eliasson (2003) ที่พบว่าการเติมไขมันลงในฟลาวาร์ข้าวสาลี ไขมันจะมีผลในการลดแรงเสียดทานระหว่างเม็ดสตาร์ช ทำให้ค่า G^* ลดลง ซึ่งค่า G' มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับค่า G^* นอกจากนี้ Hibi (1994) พบว่าการเติมกรดปาล์มิติกลงในสตาร์ชข้าว มีผลทำให้อะมิโลสเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไขมัน เม็ดสตาร์ชพองตัวลดลง ปริมาณอะมิโลสที่ละลายได้ลดลง จึงทำให้มีปริมาณอะมิโลสที่จะ

เกิดเป็นโครงร่างตาข่ายหลังจากการเกิดเจลลาติไนเซชันลดลง ส่งผลให้เพสต์สตาร์ชมีความอ่อนตัวมากขึ้น



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่าง G^* และ frequency (ω) ของเพสต์สตาร์ชเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0% 0.5% และ 1.0%

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า สตาร์ชข้าวมีปริมาณอะมิโลสปานกลางอยู่ในช่วงร้อยละ 24-25 โดยอยู่ในรูปของ amylose-lipid complex ร้อยละ 0.2 มีรูปแบบการพองตัวเป็น 2 ชั้น โดยสตาร์ชข้าวเริ่มพองตัวชั้นแรกที่ช่วงอุณหภูมิ 65 °ซ และพองตัวชั้นที่สองที่ช่วงอุณหภูมิ 90 °ซ ซึ่งการละลายของสตาร์ชข้าวก็มีรูปแบบเช่นเดียวกับการพองตัว เม็ดสตาร์ชของฟลาวร์ข้าวมีโปรตีนเกาะอยู่บริเวณผิวมากกว่าเม็ดสตาร์ชของสตาร์ชข้าว โดยชนิดโปรตีนที่พบในฟลาวร์ข้าว ได้แก่ โปรตีนแอลบูมิน โกลบูลิน กลูเตลินและโปรลามิน ซึ่งโปรตีนกลูเตลินมีปริมาณมากกว่าร้อยละ 80 และกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักของโปรตีนทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ กรดกลูตามิก ส่วนไขมันที่พบในฟลาวร์ข้าวแยกได้เป็นไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid ซึ่งไขมันทั้งสองส่วนมีกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ กรดปาล์มิติก กรดโอเลอิกและกรดไลโนเลอิก ซึ่งมีอัตราส่วนของกรดไขมันในส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid เท่ากับ 30.6 : 28.2 : 33.9 และ 50.4 : 13.2 : 27.3 ตามลำดับ

ผลของโปรตีนต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชสรุปได้ว่า โปรตีนมีผลทำให้ค่า T_0 , T_p และ T_c ของการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ชและค่า T_0 , T_p และ T_c ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของเพสต์สตาร์ชเพิ่มขึ้น โดยค่า T_0 , T_p และ T_c ของการเกิดเจลลิตีในเซชันมีค่าในช่วง 73.9-78.3 °ซ 78.3-82.4 °ซ และ 82.5-86.9 °ซ ตามลำดับ และค่า T_0 , T_p และ T_c ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันมีค่าในช่วง 46.5-53.2 °ซ 58.2-61.4 °ซ และ 63.2-68.3 °ซ ตามลำดับ ส่วนเอนทาลปีของการเกิดเจลลิตีในเซชันและการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของสตาร์ชที่เติมโปรตีนต่ำกว่าเอนทาลปีของสตาร์ชที่ไม่เติมโปรตีน แสดงว่าโปรตีนมีผลทำให้สตาร์ชเกิดเจลลิตีในเซชันลดลง

ผลของไขมันต่อสมบัติทางความร้อนของสตาร์ชสรุปได้ว่า ไขมันไม่มีผลต่อค่า T_0 , T_p และ T_c ของการเกิดเจลลิตีในเซชันของสตาร์ช แต่มีผลทำให้ค่า T_0 , T_p ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของเพสต์สตาร์ชเพิ่มขึ้น ส่วนเอนทาลปีของการเกิดเจลลิตีในเซชันของเพสต์สตาร์ชมีค่าต่ำสุดที่ปริมาณกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% และกรดปาล์มิติกเข้มข้น 0.5% และเอนทาลปีของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของสตาร์ชที่เติมไขมันมีค่าลดลงเมื่อปริมาณกรดไลโนเลอิก $\geq 0.5\%$ และกรดปาล์มิติก $\leq 0.5\%$

ผลของโปรตีนต่อสมบัติเชิงกลของสตาร์ชสรุปได้ว่า โปรตีนไม่มีผลต่อ T_0 ที่ความเข้มข้นสตาร์ช 10% และ 15% แต่มีผลเพิ่ม T_0 ที่ความเข้มข้นสตาร์ช 20% และเพิ่ม T_p ในสตาร์ชทุกความเข้มข้น ส่วนค่า peak complex viscosity (η^*_{peak}) ลดลง เมื่อเติมโปรตีนลงในสตาร์ชเข้มข้น 10% แต่ค่า η^*_{peak} เพิ่มขึ้นที่สตาร์ชเข้มข้น 15% และ 20% เมื่อศึกษาผลของโปรตีนต่อเพสต์สตาร์ชข้าวที่เจลาติไนซ์ที่อุณหภูมิ 25 – 90 °C พบว่า ค่า complex modulus (G^*) สูงขึ้นเมื่อปริมาณสตาร์ชเพิ่มขึ้น แต่ปริมาณโปรตีนไม่มีผลต่อค่า G^*

ผลของไขมันต่อสมบัติเชิงกลของสตาร์ชสรุปได้ว่า กรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกไม่มีผลทำให้ค่า T_0 เปลี่ยนแปลง แต่มีผลทำให้ค่า T_p เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มในการเพิ่มค่า η^*_{peak} เมื่อความเข้มข้นของกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิก $\geq 0.5\%$ และกรดไขมันทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มในการลดค่า G^* นั่นคือ การเติมกรดไขมันทั้งสองในปริมาณดังกล่าวทำให้เพสต์สตาร์ชมีความอ่อนตัวมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาผลของวิธีการเตรียมตัวอย่างต่อการเกิดเจลาติไนเซชันและการเกิดรีโทรเกรเดชันของเพสต์สตาร์ชข้าว
2. ศึกษาผลของชนิดของโปรตีนแต่ละชนิดที่แยกได้จากฟลาวร์ข้าว และแปรปริมาณของโปรตีนที่เติมลงในสตาร์ช
3. ศึกษาผลของโปรตีนและไขมันที่มีต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากสตาร์ชข้าว

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ. 2543. เทคโนโลยีของแป้ง. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิตธนา แจ่มเมฆ, อรอนงค์ นัยวิกุลและปรีศนา สุวรรณภรณ์. 2539. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ณรงค์ นิยมวิทย์. 2538. วิทยาศาสตร์การประกอบอาหาร. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นิตยา รัตนাপนนท์. 2545. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.
- ปาริฉัตร หงสประภาส. 2545. เคมีกายภาพของอาหาร คอลลอยด์ อิมัลชัน และเจล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วรรณมา ตั้งเจริญชัย. 2536. เคมีอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2529. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมแป้งข้าวเจ้า. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- อรรวรรณ เคหสุขเจริญ. 2529. คุณสมบัติบางประการในการนำไปใช้ประโยชน์ของแป้งต่างๆ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์การอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรอนงค์ นัยวิกุล. 2538. เคมีทางธัญญาหาร. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะอุตสาหกรรมเกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

- Anonymous. 2006. ข้าวพันธุ์ต่าง ๆ ที่ปลูกในประเทศไทย[Online]. Available from: <http://www.dgr.go.th/News/Generalnews21.htm> 060349[2006, March 6]
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1995. Official methods of analysis. 16th ed. Washington D. C.:The Association of Official Analytical Chemists.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 2000. Official methods of analysis 17th ed. Maryland: AOAC. International.

- Basak, S., Tyagi, R. S., and Srivastava K. N. 2002. Biochemical characterization of aromatic and non-aromatic rice cultivars. J. Food Sci. Technol. Mysore. 39: 55-58.
- Becker, A., Hill, S. E., and Mitchell, J. R. 2001. Relevance of amylose-lipid complexes to the behavior of thermally processed starches. Starch/Stärke 53: 121-130.
- Biliaderis, C. G., and Galloway, G. 1989. Crystallization behavior of amylose-V complexes: structure-functional property relationships. Carbohydr. Res. 189: 31-48.
- Cacampang, G. B., Cruz, L. J., Espiritu, S. G., Santiago, R. G., and Juliano, B. O. 1966. Studies on the extraction and composition of rice proteins. Cereal Chem. 43(2): 145-155.
- Carlson, T. L., Larsson, K., Dinh-Nguyen, N., and Krog, N. 1979. A study of the amylose-monoglyceride complex by Raman spectroscopy. Starch/Stärke 31: 222-224.
- Chandrashekar, A., and Kirleis, A. W. 1988. Influence of protein on starch gelatinization in sorghum. Cereal Chem. 65(6): 457-462.
- Chang, S. M., and Liu, L. C. 1991. Retrogradation of rice starches studied by differential scanning calorimetry and influence of sugars, NaCl, and lipids. J. Food Sci. 56(2): 564-566, 570.
- Chaplin, M. Starch[Online]. (n.d.). Available from: <http://www.lsbu.ac.uk/water/hysta.html> [2006, March 7]
- Chedid, L. L., and Kokini, J. L. 1992. Influence of protein addition on rheological properties of amylose- and amylopectin-based starches in excess water. Cereal Chem. 69(5): 551-555.
- Choudhury, N. H., and Juliano, B. O. 1980. Effect of amylose content on the lipids of mature rice grain. Phytochem. 19 : 1385-1389.
- Chrastil, J. 1986. Improved colorimetric determination of amylose in starches or flour. Carbohydr. Res. 159:154-158.
- Chrastil, J., and Zarins, Z. M. 1992. Influence of storage on peptides subunits composition of rice oryzenin. J. Agric. Food Chem. 40(6): 927-930.
- Chungcharoen, A., and Lund, D. B. 1987. Influence of solutes and water on rice starch

- gelatinization. Cereal Chem. 64(4): 240-243.
- Conde-Petit, B., and Escher, F. 1994. Influence of starch-lipid complexation on the ageing behavior of high concentration starch gels. Starch/Stärke 46(5): 172-177.
- Copeland, R. A. 1994. *Methods for Protein Analysis: A practical guide to laboratory protocols*. London: Chapsman&Hall.
- Deffenbaugh, L. B. 1997. Carbohydrate/Emulsifier Interactions. In G. L. Hasenhuettl, and R. W. Hartel (eds.). Food Emulsifiers and Their Applications. New York: Chapsman&Hall.
- Eliasson, A. C., and Krog, N. 1985. Physical properties of amylose-monoglyceride complexes. J. Cereal Sci. 3: 239-248.
- Fu, J., Mulvaney, S. J., and Cohen, C. 1997. Effect of added fat on the rheological properties of wheat flour doughs. Cereal Chem. 74(3): 304-311.
- Godet, M. C., Tran, V., Delage, M. M., and Buleon, A. 1993. Molecular modelling of the specific interactions involved in the amylose complexation by fatty acids. Int. J. Biol. Macromol. 15(1): 11-16.
- Gunaratne, A., and Hoover, R. 2002. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. Carbohydr. Polym. 49(4): 425-437.
- Hamaker, B. R., and Griffin, V. K. 1993. Effect of disulfide bond-containing protein on rice starch gelatinization and pasting. Cereal Chem. 70(4): 377-380.
- Hibi, Y. 1994. Effect of lipids on the viscoelastic properties of rice starch gel. Starch/Stärke 46(2): 44-48.
- Hoover, R. 1998. Starch-lipid interactions. In R. H. Walter (ed.). Polysaccharide Association Structures in Food. New York: Marcel Dekker.
- Hoover, R., and Hadziyev, D. 1981. Characterization of potato starch and its monoglyceride complexes. Starch/Stärke 33: 290-300.
- Hsu, S., Lu, S., and Huang, C. 2000. Viscoelastic changes of rice starch suspensions during gelatinization. J. Food Sci. 65(2): 215-220.
- Inberty, A., Buleon, A., Tran, V., and Perez, S. 1991. Recent advances in knowledge of starch structure. Starch/Stärke 43: 375-384.

- Jane, J. L., and Robyt, J. F. 1984. Structure studies of amylose-V complexes and retrograded amylose by action of alpha amylases, and a new method for preparing amyloextrins. Carbohydr. Res. 132(1): 105-118.
- Jane, J., Xu, A., Radosavljevic, M. and Seib, P. A. 1992. Location of amylose in normal starch granules I: Susceptibility of amylose and amylopectin to cross-linking reagents. Cereal Chem. 69: 405-409.
- Jane, J. L., and Shen, J. J. 1993. Internal structure of the potato starch granule revealed by chemical gelatinization. Carbohydr. Res. 247: 279-290.
- Jane, J., Chen, Y. Y., Lee, L. F., McPherson, A. E., Wong, K. S., Radosavljevic, M., and Kasemsuwan, T. 1999. Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on the gelatinization and pasting properties of starch. Cereal Chem. 76(5): 629-637.
- Juliano, B. O. 1971. A simplified assay for milled rice amylose. Cereal Sci. Today 16(10): 334-336, 338, 360.
- Juliano, B. O. 1984. Rice starch: production, properties, and uses. In R. L. Whistler, J. N. BeMiller and E. F. Paschall (eds.). Starch: Chemistry and Technology. 2nd ed. Florida: Academic Press.
- Juliano, B. O. 1992. Structure, chemistry, and function of the rice grain and its fraction. Cereal Foods World 37: 772-778.
- Kalichevsky, M. T., Jaroszkiwicz, E. M., and Blanshard, J. M. V. 1992. Glass transition of gluten II: Effect of lipids and emulsifiers. Int. J. Biol. Macromol. 14: 267-273.
- Karim, A. A., Norziah, M. H., and Seow, C. C. 2000. Review methods for the study of starch retrogradation. Food Chem. 71: 9-36.
- Kasemsuwan, T., and Jane, J. 1994. Location of amylose in normal starch granules. II. Location of phosphodiester crosslinking revealed by phosphorus-31 nuclear magnetic resonance. Cereal Chem. 71: 282-287.
- Kaur, K., and Singh, N. 2000. Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour. Food Chem. 71: 511-517.
- Keetels, C.J.A.M., and van Vliet, T. 1994. Gelation and retrogradation of concentrated starch gels. In D. E. Lineback, G. O. Phillips, P. A. Williams, and D. J. Wedlock (eds.). Gums and Stabilizers for the Food Industry. New York: IRL.

- Kent, N. L. 1983. Technology of Cereals. 3rd ed. Oxford: Pergamon Press.
- Kim, C. S., and Walker, C. E. 1992. Effects of sugars and emulsifiers on starch gelatinization evaluated by differential scanning calorimetry. Cereal Chem. 69(2): 212-217.
- Legendijk, J., and Pennings, H. J. 1970. Relation between complex formation of starch with monoglycerides and the firmness of bread. Cereal Sci. Today 15: 354-356, 365.
- Lai, V. M. F., Shen, M. -C., Yeh, A. I., Juliano, B. O., and Lii, C. -Y. 2001. Molecular and gelatinization properties of rice starches from IR24 and Sinandomeng cultivars. Cereal Chem. 78(5): 596-602.
- Lasztity, R. 1996. The Chemistry of Cereal Proteins. New York: CRC Press.
- Liang, X., King, J. M., and Shih, F. F. 2002. Pasting property differences of commercial and isolated rice starch with added lipids and β -cyclodextrin. Cereal Chem. 79(6): 812-818.
- Liang, X., and King, J. M. 2003. Pasting and crystalline property differences of commercial and isolated rice starch with added amino acids. J. Food Sci. 68(3): 832-838.
- Lii, C. Y., Tsai, M. L., and Tseng, K. H. 1996. Effect of amylose content on the rheological properties of rice starch. Cereal Chem. 73(4): 415-420.
- Lumduwong, N., and Seib, P. A. 2000. Rice starch isolation by alkaline protease digestion of wet-milled rice flour. J. Cereal Sci. 31 : 63-74.
- Marshall, W. E., Normand, F. L., Goynes, W. R. 1990. Effects of lipid and protein removal on starch gelatinization in whole grain milled rice. Cereal Chem. 67(5): 458-463.
- Martin, M., and Fitzgerald, M. A. 2002. Proteins in rice grains influence cooking properties. J. Cereal Sci. 36: 285-294.
- Matz, S. A. 1992. Chemically leavened bread and rolls. In Bakery Technology and Engineering. 3rd ed. New York: AVI.
- Melas, V., Morel, M. -H., Austran, J. -C., and Feillet, P. 1994. Simple and rapid method for purifying low molecular weight subunits of glutenin from wheat. Cereal Chem. 71: 234-237.

- Nurul Islam, M., and Mohd. Azemi, B.M.N. 1995. Thermal behavior of calcium hydroxypropyl rice starch complexes. Starch/Stärke 47(12): 461-465.
- Oates, C. G. 1997. Towards an understanding of starch granule structure and hydrolysis. Trends Food Sci. Technol. 8: 375-382.
- Osborne, T. B. 1907. The Vegetable Proteins. New York: Green and Co.
- Osborne, T. B. 1924. The Vegetable Proteins. 2nd ed. London: Green and Co.
- Ozcan, S., and Jackson, D. S. 2002. The impact of thermal events on amylose-fatty acid complexes. Starch/Stärke 54: 593-602.
- Reddy, K. R., Subramanian, R., Ali, S. Z., and Bhattacharya, K. R. 1994. Viscoelastic properties of rice-flour pastes and their relationship to amylose content and rice quality. Cereal Chem. 71(6): 548-552.
- Regheb, A. A., El-Thalouth, I. A., and Tawfik, S. 1995. Gelatinization of starch in aqueous alkaline solutions. Starch/Stärke 46(9): 338-345.
- Roach, R. R., and Hosney, R. C. 1995. Effect of certain surfactants on the starch in bread. Cereal Chem. 72: 578-582.
- Saif, S. M. H., Lan, Y., and Sweat, V. E. 2003. Gelatinization properties of rice flour. Int. J. Food Properties 6(3): 531-541.
- Sandhya Rani, M. R., and Bhattacharya, K. R. 1995. Microscopy of rice starch granules during cooking. Starch/Stärke 46(9): 334-337.
- Sarko, A., and Wu, H. C. H. 1978. The crystal structures of A-, B-, and C-polymorphs of amylose and starch. Starch/Stärke 30: 73-78.
- Schoch, T. J. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In R. L. Whistler, R. J. Smith and J. N. BeMiller (eds.). Methods in Carbohydrates Chemistry, vol IV, New York: Academic Press.
- Shi, Y. C., and Seib, P. A. 1992. The structure of four waxy starches related to gelatinization and retrogradation. Carbohydr. Res. 227: 131-145.
- Sodhi, N. S., and Singh, N. 2003. Morphological, thermal and rheological properties of starches separated from rice cultivars grown in India. Food Chem. 80: 99-108.
- Sugimoto, T., Tanaka, K. and Kasai, Z. 1986. Molecular species in the protein body (ii) (PBII) of developing rice endosperm. Agric. Biol. Chem. 50: 3031-3035.

- Vasanthan, T., and Bhatta, R. S. 1996. Physicochemical properties of small- and large-granule starches of waxy, regular, and high amylose barleys. Cereal Chem. 73(2): 199-207.
- Walter, R. 1998. Polysaccharide Association Structures in Food. New York: Marcel Dekker.
- Wang, Y. J., and Wang, L. 2002. Structures of four waxy rice starches in relation to thermal, pasting, and textural properties. Cereal Chem. 79(2): 252-256.
- Watanabe, A., Yokomizo, K., and Eliasson, A. C. 2003. Effect of physical states of nonpolar lipids on rheology, ultracentrifugation, and microstructure of wheat flour dough. Cereal Chem. 80(3): 281-284.
- Whistler, R. L., and Daniel, J. R. 1984. Molecular structure of starch. In R. L. Whistler, J. N. BeMiller, and E. F. Paschall (eds.). Starch: Chemistry and Technology. 2nd ed. Florida: Academic Press.
- Whittam, M. A., Noel, T. R., and Ring, S. G. 1990. Melting behavior of A- and B-type crystalline starch. Int. J. Biol. Macromolecules. 12: 359.
- Winton, A. L. 1906. The Microscopy of Vegetable Foods. New York: Wiley.
- Yao, Y., and Ding, X. 2002. Pulsed nuclear magnetic resonance (PNMR) study of rice starch retrogradation. Cereal Chem. 79(6): 751-756.
- Yang, C. C., Lai, H. M., and Lii, C. Y. 1984. The modified alkaline steeping method for the isolation of rice starch. J. Food Sci. 11: 158-162.
- Yang, C. H., and Chang, W. H. 1999. Effects of protein and lipid binding to starch on the physicochemical and pasting properties of rice flour. Food Sci. Agric. Chem. 1(3): 277.
- Yasumatsu, K., Moritaka, S., and Kakinuma, T. 1964. Effect of the change during storage in lipid composition of rice on its amylogram. Agric. Biol. Chem. 28(5): 265-272.
- Yuan, R. C., Thompson, D. B., and Boyer, C. D. 1993. Fine structure of amylopectin in relation to gelatinization and retrogradation behavior of maize starches from three wx-containing genotypes in two inbred lines. Cereal Chem. 70: 81-89.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

วิธีการวิเคราะห์

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้นตามวิธีของ AOAC (1995)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น 600, Germany)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. desiccator

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ลงในถ้วยอะลูมิเนียมที่อบแห้งและชั่งน้ำหนักแล้ว
2. นำตัวอย่างไปอบในตู้อบลมร้อนอุณหภูมิ 105 °C จนน้ำหนักคงที่ โดยเปิดฝาด้วยอะลูมิเนียมไว้
3. นำถ้วยอะลูมิเนียมออกจากตู้อบ ปิดฝาด้วยและทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator จากนั้นชั่งน้ำหนักถ้วยพร้อมตัวอย่าง

การคำนวณ

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

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธีของ AOAC (1995)

อุปกรณ์

1. Buchi digestion unit (รุ่น K-424, Switzerland)
2. Buchi distillation unit (รุ่น B-324, Switzerland)

สารเคมี

1. สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N ที่ standardized ด้วยสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมพาทาเลท 0.1 N
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50% (w/v)
4. สารละลายกรดบอริกเข้มข้น 4% (w/v)
5. สารเร่งปฏิกิริยา (selenium reagent mixture)

6. อินดิเคเตอร์ (เตรียมโดยละลายเมธิลเรดจำนวน 0.125 กรัม และเมธิลลีนบลูจำนวน 0.0825 กรัมในเอธิลแอลกอฮอล์ 90% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร)

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ลงในหลอดย่อยโปรตีน
2. เติมสารเร่งปฏิกิริยา ประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น ปริมาตร 20 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างไปย่อยใน Kjeldahtherm โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอน้ำกรด ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส หรือย่อยเป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
4. นำขวดรูปชมพู่ขนาด 500 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ (เมธิลเรด 0.125 กรัม และเมธิลลีนบลู 0.0825 กรัม ในเอธิลแอลกอฮอล์ 90% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร) 2-3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้ากับเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรม ดังนี้

NaOH	70 มิลลิลิตร
boric acid	50 มิลลิลิตร
H ₂ O	50 มิลลิลิตร
time	6 นาที

6. รอรับสารที่กลั่นตามระยะเวลาที่กำหนด
7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในขวดรูปชมพู่ที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้
8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในขวดรูปชมพู่ทั้งหมดมาไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐานเข้มข้น 0.1 N จนถึงจุดยุติซึ่งจะเปลี่ยนจากสีเขียวกลายเป็นสารละลายไม่มีสี
9. ทำ blank เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ตัวอย่าง

การคำนวณ

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

เมื่อ

V_a คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_b คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต (Normal)

factor มีค่าเท่ากับ 5.95 ใช้สำหรับตัวอย่างสตาร์ชข้าว

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีของ AOAC (1995)

อุปกรณ์

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

วิธีทดลอง

1. อบขวดก้นกลมที่อุณหภูมิ 135 ± 2 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทำให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก
2. ชั่งตัวอย่างใส่กระดาษกรองเบอร์ 1 ประมาณ 3 กรัม นำไปใส่ไว้ใน thimble
3. ใส่ปิโตรเลียมอีเธอร์ปริมาตร 250 มิลลิลิตร ลงในขวดก้นกลมที่ผ่านการอบ และชั่งน้ำหนักแล้ว
4. นำไปประกอบเข้ากับชุดสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันเป็นเวลา 3 ชั่วโมง
5. ระเหยปิโตรเลียมอีเธอร์แล้วนำขวดก้นกลมไปอบที่อุณหภูมิ 135 ± 2 °ซ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
6. ทำให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนัก คำนวณหาปริมาณไขมันดังสมการ

$$\% \text{ ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักขวดก้นกลมหลังสกัดไขมัน} - \text{น้ำหนักขวดก้นกลมก่อนสกัดไขมัน}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100$$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณเถ้าตามวิธีของ AOAC (1995)

อุปกรณ์

1. เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
2. ถ้วย crucible
3. แท่นให้ความร้อน (hot plate)
4. desiccator

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ในถ้วย crucible ที่เผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอนแล้ว
2. นำตัวอย่างไปเผาโดยใช้แท่นให้ความร้อนในตู้ดูดควัน จนกระทั่งตัวอย่างหมดควัน
3. นำตัวอย่างไปเผาต่อในเตาเผา ที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนกระทั่งได้เถ้าสีขาว
4. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักเถ้าที่ได้

การคำนวณ

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

ก.5 การวิเคราะห์ปริมาณเส้นใยตามวิธีของ AOAC (1995)

อุปกรณ์

- เตาเผา (Muffle furnace, Fisher Scientific รุ่น Isotemp, USA)
- ถ้วย crucible
- ตู้อบลมร้อน (Memmert รุ่น 600, Germany)
- desiccator

สารเคมี

- สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.25% (v/v)
- สารละลายไฮเดรอกไซด์เข้มข้น 1.25% (w/v)
- เอซิลแอลกอฮอล์ 95%

วิธีการทดลอง

- นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดไขมันแล้วใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 มิลลิลิตร
- เติมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำกลั่น
- กรองตัวอย่างที่ถูกละลายด้วยกระดาษกรอง Whatman No. 1 แล้วล้างกากด้วยน้ำร้อน จนหมดฤทธิ์กรด ตรวจสอบโดยใช้กระดาษลิตมัส
- นำกากมาย่อยต่อด้วยสารละลายไฮเดรอกไซด์เข้มข้น 1.25% ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ต้มเดือดนาน 30 นาที โดยปรับปริมาตรให้คงที่ด้วยน้ำกลั่น
- กรองตัวอย่างผ่านกระดาษกรอง Whatman No. 42 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
- ล้างกากที่ได้ด้วยเอซิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 25 มิลลิลิตร 2 ครั้ง
- นำกากที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °ซ จนน้ำหนักคงที่
- ทิ้งให้เย็นใน desiccator แล้วชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา
- นำตัวอย่างใส่ในถ้วย crucible ที่ผ่านการเผาและทราบน้ำหนักที่แน่นอน
- เผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 550 °ซ จนได้เถ้าสีขาว
- ทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

การคำนวณ

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

ก.6 การคำนวณปริมาณคาร์โบไฮเดรตตามวิธีของ AOAC (1995)

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

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

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Spectrophotometer; Milton Roy รุ่น Spectronic 601, USA)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น AB204, Switzerland)

สารเคมี

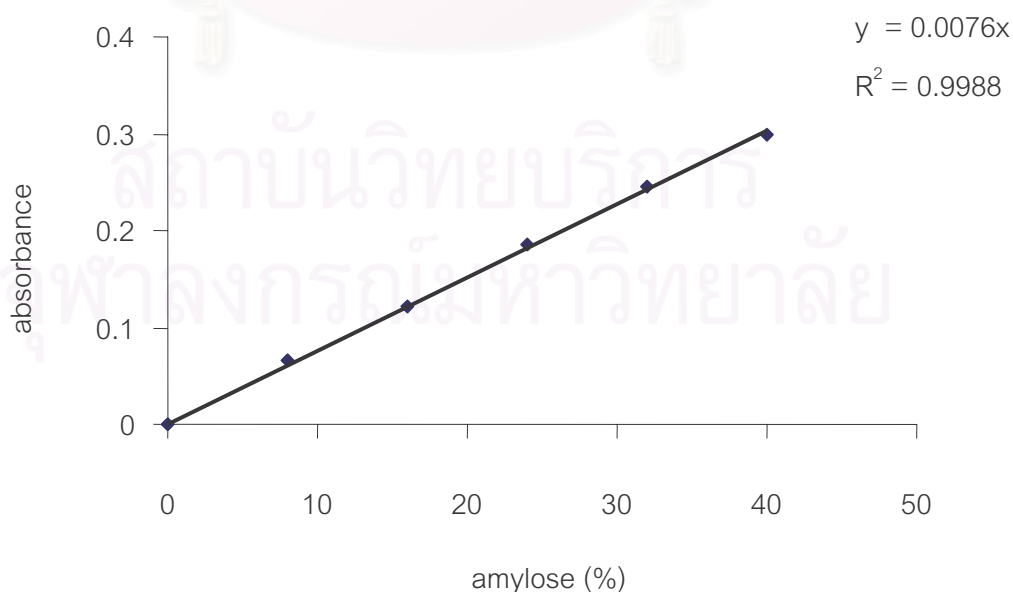
1. อะมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง (บริษัท Sigma)
2. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 N
3. เอธิลแอลกอฮอล์ 95%
4. สารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 N
5. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยละลายไอโอดีน 0.2000 กรัม และโพแทสเซียม-ไอโอไดด์ในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

วิธีทดลอง

1. การเตรียมสารละลายมาตรฐานอะมิโลส

1. ชั่งอะมิโลสบริสุทธิ์จากมันฝรั่ง น้ำหนักแน่นอน 0.0400 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตรและเอธิล-แอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
2. เตรียม blank โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตรและเอธิลแอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน

3. ให้ความร้อนกับสารละลายในข้อ 1 และ 2 ในอ่างน้ำเดือด 5 – 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะสารละลายอะมิโลสใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะสารละลายอะมิโลสออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 ปริมาตร 1 2 3 4 และ 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ
6. ปิเปตสารละลายกรดอะซิติคเข้มข้น 1 N ปริมาตร 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรทั้ง 5 ใบ ตามลำดับ
7. เติมสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
8. ชะ blank ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน จากนั้นปิเปตสารละลายมา 5 มิลลิลิตรลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายกรดอะซิติคเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
9. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
10. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณอะมิโลส ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาณอะมิโลส

2. การเตรียมตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างสตาร์ชซึ่งร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh แล้วประมาณ 100 มิลลิกรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิล-แอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 – 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
4. ชะสารแขวนลอยสตาร์ชใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะสารแขวนลอยสตาร์ชออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรโดยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
7. นำค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ไปอ่านค่าจากกราฟ แล้วคำนวณหาปริมาณอะมิโลส ดังสมการต่อไปนี้

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

การวิเคราะห์ปริมาณ total amylose

1. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของตัวอย่างซึ่งร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 200 mesh แล้วประมาณ 100 มิลลิกรัม ใส่ในหลอด centrifuge
2. เติมเมทานอล 85% ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ต้มในอ่างน้ำเดือดอุณหภูมิ 60 °C โดยใช้น้ำแกวคนบางครั้งคราว แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. นำไปเหวี่ยงแยกที่ 6,000xg เป็นเวลา 15 นาที เทส่วนที่เป็นเมทานอลทิ้งไป
4. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1 N ปริมาตร 9 มิลลิลิตร และเอทิล-แอลกอฮอล์ 95% ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอด centrifuge ที่มีตะกอนสตาร์ชที่สกัดเอาไขมันออกแล้ว เขย่าให้เข้ากัน
5. ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 – 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
6. ชะสารแขวนลอยสตาร์ชใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร (ใช้น้ำกลั่นชะสารแขวนลอยสตาร์ชออกมาให้ได้มากที่สุด) ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรโดยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน

7. ปิเปตสารละลายจากข้อ 4 มา 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร จากนั้นปิเปตสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1 N ปริมาตร 1 มิลลิลิตร และสารละลายไอโอดีน ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 20 นาที

8. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank

9. จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ นำไปอ่านค่าจากกราฟแล้วคำนวณหาปริมาณอะมิโลส

การวิเคราะห์ปริมาณ amylose – lipid complex

วิธีคำนวณ

$$\text{amylose – lipid complex} = \text{total amylose} - \text{apparent amylose}$$

ก.8 กำลังการพองตัวและการละลาย ดัดแปลงจากวิธีของ Schoch (1964)

อุปกรณ์

1. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
2. เครื่องเหวี่ยงแยก (Centrifugal Thermo IEC รุ่น IEC MultiRF, USA)
3. ตู้อบลมร้อน (Mettler รุ่น 600, Germany)

วิธีทดลอง

1. นำขวด centrifuge ขนาด 50 มิลลิลิตร อบให้แห้งแล้วทิ้งไว้ให้เย็นใน desiccator
2. ชั่งน้ำหนักแห้งของตัวอย่าง 0.5000 กรัม ใส่ในขวด centrifuge ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน
3. เติมน้ำกลั่นลงในขวด centrifuge 15 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน
4. นำขวด centrifuge ที่บรรจุตัวอย่างแล้วแช่ลงในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 55 ± 2 °ซ 65 ± 2 °ซ 75 ± 2 °ซ 85 ± 2 °ซ และ 95 ± 2 °ซ
5. ให้ความร้อนเป็นเวลา 30 นาที โดยมีแท่งแก้ววนทุกๆ 5 นาที
6. นำเข้าเครื่องเหวี่ยงแยกที่ 6,000xg เป็นเวลา 20 นาที
7. แยกส่วนใสออกจากตะกอน โดยใช้ปิเปตดูดส่วนใสออกมาใส่ชามกระเบื้องที่ทราบน้ำหนักแล้ว พยายามดูดส่วนใสออกให้มากที่สุด (ระวังอย่าให้ตะกอนสตาร์ชติดมาด้วย)
8. นำขวด centrifuge ที่บรรจุสตาร์ชไปชั่งน้ำหนัก
9. นำส่วนใสในชามกระเบื้องไปอบที่อุณหภูมิ 130 °ซ เพื่อระเหยน้ำออกจนน้ำหนักคงที่
10. ทิ้งให้เย็นใน desiccator เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักชามกระเบื้องเพื่อหาน้ำหนักสตาร์ชที่ละลายน้ำ
11. คำนวณหาค่ากำลังการพองตัวและการละลายของสตาร์ช

วิธีคำนวณ

$$\text{กำลังการพองตัว} = \frac{\text{น้ำหนักของตะกอนสตาร์ช (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักสตาร์ชแห้ง (กรัม)} \times (100 - \text{ร้อยละการละลาย})}$$

$$\text{ร้อยละการละลาย} = \frac{\text{น้ำหนักสตาร์ชที่ละลายน้ำ (กรัม)} \times 100}{\text{น้ำหนักสตาร์ชแห้ง (กรัม)}}$$

ก.9 การศึกษาลักษณะและรูปร่างเม็ดสตาร์ชด้วยวิธีส่องกล้องจุลทรรศน์ ตามวิธีของ กล้าณรงค์ ศรีรอดและเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2543)

อุปกรณ์

1. กล้องจุลทรรศน์ (Olympus รุ่น CHK2-F-GS, Japan)
2. แผ่นสไลด์และแผ่น cover

วิธีทดลอง

1. ละลายฟลาวร์และสตาร์ชในน้ำกลั่นเข้มข้นประมาณ 1% (w/v)
2. หยดสารละลายตัวอย่างที่ต้องการส่องกล้องบนแผ่นสไลด์ปิดด้วยแผ่น cover ระวังอย่าให้มีฟองอากาศ
3. วางแผ่นสไลด์ลงบนฐานกล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อส่องดูลักษณะเม็ดสตาร์ช

ก.10 การสกัดโปรตีน 4 ชนิดจากฟลาวร์ข้าวตัดแปลงจากวิธีของ Sugimoto, Tanaka และ Kasai (1986)

อุปกรณ์

1. เครื่อง magnetic stirrer (Framo-Geratetechnik รุ่น M21/1, Thailand)
2. กรวย Buchner สำหรับกรองสุญญากาศ
3. เครื่องเหวี่ยงแยก (Kubota รุ่น 5200, Japan)

วิธีทดลอง

1. การสกัดโปรตีน 4 ชนิดจากฟลาวร์ข้าว

1. ชั่งน้ำหนักฟลาวร์ที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 70 mesh ประมาณ 100 กรัม
2. เติมเฮกเซนปริมาตร 400 มิลลิลิตร กวนตลอดเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง เพื่อสกัดไขมันออกจากฟลาวร์
3. กรองสุญญากาศโดยใช้กรวย Buchner ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ซ้ำมคิน

4. เติมน้ำกลั่นปริมาตร 400 มิลลิลิตร ลงในฟลาวาร์ที่ผ่านการสกัดไขมันแล้ว กวนตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อสกัดโปรตีนแอลบูมินออกจากฟลาวาร์
5. เหยียงแยกที่ 16,000xg เป็นเวลา 20 นาที เก็บ supernatant เพื่อนำไปตกตะกอนแยกโปรตีนแอลบูมิน
6. นำ residue ที่ได้มาเติมสารละลายโซเดียมคลอไรด์เข้มข้น 5% (w/v) ปริมาตร 400 มิลลิลิตร กวนตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อสกัดโปรตีนโกลบูลินออกจากฟลาวาร์
7. เหยียงแยกที่ 16,000xg เป็นเวลา 20 นาที เก็บ supernatant เพื่อนำไปตกตะกอนแยกโปรตีนโกลบูลิน
8. นำ residue ที่ได้มาเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.02 โมลาร์ ปริมาตร 300 มิลลิลิตร กวนตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อสกัดโปรตีนกลูเตลินออกจากฟลาวาร์
9. เหยียงแยกที่ 16,000xg เป็นเวลา 20 นาที เก็บ supernatant เพื่อนำไปตกตะกอนแยกโปรตีนกลูเตลิน
10. นำ residue ที่ได้มาเติมเอธิลแอลกอฮอล์เข้มข้น 70% (v/v) ปริมาตร 300 มิลลิลิตร กวนตลอดเวลา ที่อุณหภูมิ 25 °ซ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อสกัดโปรตีนโปรลามินออกจากฟลาวาร์
11. เหยียงแยกที่ 16,000xg เป็นเวลา 20 นาที เก็บ supernatant เพื่อนำไปตกตะกอนแยกโปรตีนโปรลามิน
12. ในการสกัดแต่ละครั้ง ให้ทำซ้ำ 2 ครั้ง เพื่อกำจัดโปรตีนทั้งหมดออกจากแต่ละส่วน

2. การตกตะกอนโปรตีนแต่ละชนิด

2.1 การตกตะกอนโปรตีนแอลบูมินและโปรตีนกลูเตลิน ดัดแปลงจากวิธีของ Copeland (1994)

2.1.1 นำ supernatant ที่ได้จากการสกัดโปรตีนแอลบูมินหรือโปรตีนกลูเตลิน วางในอ่างน้ำแข็งที่วางอยู่บนเครื่อง magnetic stirrer

2.1.2 เติมแอมโมเนียมซัลเฟต $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ อิมตัว 85% โดยค่อยๆ เติมแอมโมเนียมซัลเฟตครั้งละน้อย กวนตลอดจนกระทั่งแอมโมเนียมซัลเฟตละลายหมดก่อนที่เติมหมดก่อน จึงเติมครั้งต่อไป

2.1.3 นำสารละลายที่ได้ไปเหยียงแยกที่ 16,000xg ที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 15 นาที ทิ้ง supernatant

2.1.4 นำตะกอนโปรตีนแอลบูมินและโปรตีนกลูเทลินที่แยกได้ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณกรดอะมิโนต่อไป

2.2 การตกตะกอนโปรตีนโกลบูลิน ดัดแปลงจากวิธีของ Copeland (1994)

2.2.1 เติมน้ำกลั่นลงใน supernatant โดยอัตราส่วนของ supernatant : น้ำกลั่นเท่ากับ 1:2 (v/v)

2.2.2 นำสารละลายที่ได้ไปเหวี่ยงแยกที่ 16,000xg ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 15 นาที ทิ้ง supernatant

2.2.3 นำตะกอนโปรตีนโกลบูลินที่แยกได้ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณกรดอะมิโนต่อไป

2.3 การตกตะกอนโปรตีนโพรลามีน ดัดแปลงจากวิธีของ Melas และคณะ (1994)

2.3.1 เติมอะซีโตน (acetone) ลงใน supernatant โดยอัตราส่วนของ supernatant : acetone เท่ากับ 60:40 (v/v)

2.3.2 นำสารละลายที่ได้ไปเหวี่ยงแยกที่ 16,000xg ที่อุณหภูมิ 4 °C เป็นเวลา 15 นาที ทิ้ง supernatant

2.3.3 นำตะกอนโปรตีนโพรลามีนที่แยกได้ไปวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณกรดอะมิโนต่อไป

ก.11 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนที่สกัดได้ ตามวิธีของ AOAC (2000)

วิเคราะห์โดยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) โดยเครื่อง High Performance Liquid Chromatograph amino acid analyzer (Shimadzu รุ่น LC-6A, Japan) แสดงวิธีการวิเคราะห์ดังรูปที่ ก.2

1. สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ทริปโตเฟน

High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) amino acid analyzer

คอลัมน์	:	Shim-pack ISC-07/S 1540 Na (บรรจุตัวแลกเปลี่ยนไอออนแบบแคทไอออนซึ่งประกอบด้วย sulphonate styrene divinyl benzene copolymer)
mobile phase	:	0.6 N sodium citrate 25 mM boric acid (pH 9)
อัตราไหล	:	0.4 มิลลิลิตรต่อนาที
อุณหภูมิคอลัมน์	:	55 °C
ดีเทคเตอร์	:	OPA only fluorescence detector, FR-535, Ex 348 nm, Em 450 nm

เวลา	:	45 นาที/ตัวอย่าง
reaction reagent	:	0.8 g <i>o</i> -phthal aldehyde/14 ml EtOH 0.4 g poly oxyethylene lauryl ether (Brij-35) 1.0 g n-acetyl-L-cysteine add alkaline buffer to 1 L
อัตราไหลของ reaction reagent	:	0.2 มิลลิลิตรต่อนาที
อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา	:	55 °ซ
ดีเทคเตอร์	:	RF-535 EX 348 nm, Em 450 nm (หรือ FLD-6A)
Reference standard	:	L-tryptophan (BDH)

วิธีทดลอง

ใส่ตัวอย่างน้ำหนัก x กรัม ในหลอดสูญญากาศ



เติมโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 4.2 N ปริมาตร 3-4 มิลลิลิตร

และ seal หลอดภายใต้สูญญากาศ



ทำการย่อยที่อุณหภูมิ 110 °ซ เป็นเวลา 16 ชั่วโมง จากนั้นทำให้เย็น



ปรับให้เป็นกลางโดยใช้กรดไฮโดรคลอริกจากนั้นทำการปรับปริมาตรและกรอง



ฉีดตัวอย่างปริมาตร 20 ไมโครลิตรเข้าเครื่อง HPLC (amino acid analyzer)

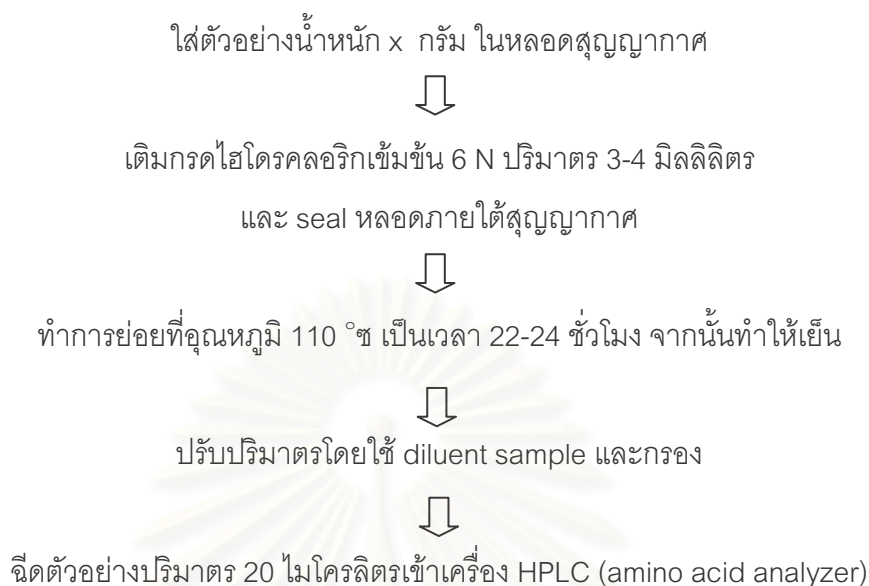
รูปที่ ก.2 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณกรดอะมิโนทริปโตเฟน

2. สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์กรดอะมิโนชนิดอื่น

High Performance Liquid Chromatograph (HPLC) amino acid analyzer แสดงวิธีการวิเคราะห์ดังรูปที่ ก.3

คอลัมน์	:	Shim-pack ISC-07/S 1540 Na (บรรจุตัวแลกเปลี่ยนไอออนแบบแคทไอออนซึ่งประกอบด้วย sulphonate styrene divinyl benzene copolymer)
mobile phase	:	A = 0.2 N sodium citrate (containing 7% EtOH), pH 3.2 B = 0.6 N sodium citrate + 0.2 N boric acid (pH 10) C = โซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.2 N
อัตราไหล	:	0.3 มิลลิลิตรต่อนาที
อุณหภูมิคอลัมน์	:	55 °ซ
ดีเทคเตอร์	:	fluorescence detector (FLD-6A)
Reaction reagent	:	A = 0.4 ml. commercial sodium hypochlorite/1 L alkaline buffer B = 0.8 g o-phthal aldehyde/14 ml. EtOH 0.4 g polyoxyethylene lauryl ether (Brij-35) 1.0 g n-acetyl-L-cysteine add alkaline buffer to 1 L
อัตราไหลของ reaction reagent	:	0.2 มิลลิลิตรต่อนาที
อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยา	:	55 °ซ
ดีเทคเตอร์	:	RF-53 Ex 348 nm, EM 450 nm (หรือ FLD-6A)
alkaline buffer	:	0.384 M sodium carbonate 0.216 M boric acid 0.108 M potassium sulphate pH 10
sample diluent & standard amino acid solution	:	0.2 N sodium citrate 1.5% perchloric acid 0.05% n-caprylic acid pH 2.2

วิธีทดลอง



รูปที่ ก.3 วิธีการวิเคราะห์ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนชนิดอื่น

ก.12 การสกัดไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid ดัดแปลงจากวิธีของ Choudhury และ Juliano (1980)

อุปกรณ์

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

1. การสกัดไขมันส่วน non-starch lipid

- 1.1 ชั่งตัวอย่างใส่กระดาษกรองเบอร์ 1 ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ใส่ไว้ใน thimble
- 1.2 เติมสารละลาย chloroform : methanol (1:1) ปริมาตร 250 มิลลิลิตรลงในขวดก้นกลมที่ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักแล้ว
- 1.3 นำไปประกอบเข้ากับชุดสกัดไขมัน ทำการสกัดไขมันส่วน non-starch lipid เป็นเวลา 16 ชั่วโมง
- 1.4 ระเหยสารละลาย chloroform : methanol (1:1) ออกจนเหลือปริมาณเล็กน้อย นำไประเหยต่อภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ชั่งน้ำหนักของไขมันส่วน non-starch lipid ที่สกัดได้
- 1.5 นำไขมันส่วน non-starch lipid ที่ได้ เปลี่ยนให้อยู่ในรูปเมทิลเอสเทอร์ (methyl ester) เพื่อนำไปฉีดเข้าเครื่อง Gas Chromatography (GC) เพื่อหาชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันส่วน non-starch lipid

2. การสกัดไขมันส่วน starch lipid

2.1 เติมน้ำละลายบิวทานอลที่อิ่มตัว (water-saturated-1-butanol; WSB อัตราส่วนน้ำกลั่น : 1-บิวทานอล เท่ากับ 37:63) เติมลงใน residue ที่เหลือจากการสกัดไขมันส่วน non-starch lipid

2.2 ทำการสกัดไขมันส่วน starch lipid เช่นเดียวกับไขมันส่วน non-starch lipid เป็นเวลา 16 ชั่วโมง

2.3 ระเหย WSB ออกจนเหลือปริมาณเล็กน้อย นำไประเหยต่อภายใต้ก๊าซไนโตรเจน ชั่งน้ำหนักของไขมันส่วน starch lipid ที่สกัดได้

2.4 นำไขมันส่วน starch lipid ที่สกัดได้ เปลี่ยนให้อยู่ในเมทิลเอสเทอร์ เพื่อนำไปฉีดเข้าเครื่อง GC เพื่อหาชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันส่วน starch lipid

ก.13 การวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid ตามวิธีของ AOAC (2000)

อุปกรณ์

1. reaction flasks ใช้ขนาด 25-50 มิลลิลิตร แบบมี joint สำหรับต่อเข้ากับ condenser
2. reflux condenser มีระบบน้ำหล่อเย็นและสามารถต่อเชื่อมกับ reaction flask ได้
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
4. hot plate
5. เครื่อง Gas Chromatography (GC) (Shimadzu รุ่น GC-4A, Japan)
6. Integrator C-R4A CHROMATOPAC (บริษัท Shimadzu, Japan)
7. เข็มฉีดยา ความจุสูงสุด 10 μL โดยมีความละเอียดของเข็มฉีดยา 0.1 μL

สารเคมี

1. boron trifluoride (BF_3) เตรียมสารละลายโบรอนไตรฟลูออไรด์เข้มข้น 14% ในเมทานอล (บริษัท Sigma Chemical จำกัด Catalog no. B-1252 หรือเทียบเท่า) ทำการเตรียมสารละลาย ปริมาตร 200 มิลลิลิตร โดยเติมเมทานอล ปริมาตร 60 มิลลิลิตร ใน BF_3 เข้มข้น 20% ปริมาตร 140 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บในตู้เย็น
2. methanolic sodium hydroxide (NaOH) solution เข้มข้น 0.5 N เตรียมโดยละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2.0 กรัม ด้วยเมทานอล แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยเมทานอล
3. เฮปแทนบริสุทธิ์ไม่มีสารปนเปื้อน เมื่อวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC

4. sodium chloride (NaCl) saturated solution (โซเดียมคลอไรด์ 36 กรัมละลาย น้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร)
5. anhydrous sodium sulphate
6. carrier gas : N_2 มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.95%
7. gas อื่นๆ : H_2 มีความบริสุทธิ์ไม่น้อยกว่า 99.9% อากาศหรือออกซิเจน
8. standard fatty acid methyl esters นำองค์ประกอบของสารละลายมาตรฐานเมทิล-เอสเทอร์หรือเมทิลเอสเทอร์ของน้ำมันที่รู้จักประกอบที่แน่นอน ได้แก่ $C_{8:0}$ $C_{10:0}$ $C_{12:0}$ $C_{14:0}$ $C_{16:0}$ $C_{16:1n-7}$ $C_{17:0}$ $C_{18:0}$ $C_{18:1n-9}$ $C_{18:2n-6}$ $C_{18:3n-3}$ $C_{20:0}$ $C_{20:1n-9}$ $C_{22:0}$ $C_{24:0}$ โดยการเลือกที่มีลักษณะคล้ายกับ ตัวอย่างที่จะทำการวิเคราะห์ หรือที่สามารถหาได้ง่าย

วิธีทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 50-250 มิลลิกรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาดปริมาตร 25 มิลลิลิตร เติมสารละลาย methanolic NaOH ปริมาตร 4 มิลลิลิตร และใส่แท่งแม่เหล็ก (magnetic bar)
2. ต่อขวดรูปชมพู่เข้ากับอุปกรณ์ควบแน่น และ reflux ที่อุณหภูมิประมาณ $100^{\circ}C$ เป็นเวลา 15 นาที
3. เติม BF_3 -methanol reagent ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ผ่าน condenser ตั้งทิ้งไว้ให้เดือด ต่อเนื่องเป็นเวลา 5 นาที
4. เติมเฮปเทน 5 มิลลิลิตร ผ่าน condenser ให้ผสมกัน และตั้งทิ้งไว้ให้เดือดนาน 1 นาที
5. ให้นำตัวอย่างออกจากแท่งให้ความร้อน เมื่อควบแน่นเสร็จแล้ว และเติมสารละลาย อิมตัวของโซเดียมคลอไรด์ปริมาตร 15 มิลลิลิตร ปิดขวดรูปชมพู่ด้วยกระดาษฟอยล์ และกวนต่อ ด้วยแท่งแม่เหล็ก จนกระทั่งตกตะกอนและสารละลายแยกชั้น จากนั้นเติมสารละลายอิมตัวของ โซเดียมคลอไรด์ให้ถึงคอของขวดรูปชมพู่
6. เมื่อสารละลายแยกชั้นแล้ว นำชั้นของสารละลายเฮปเทนประมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ใน vial และเติม anhydrous Na_2SO_4 เล็กน้อยเพื่อกำจัดน้ำ ถ้าจำเป็นต้องทำการเจือจางตัวอย่างด้วย
7. ตั้งสภาวะของเครื่อง Gas Chromatography ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ดังนี้

คอลัมน์ : Capillary column: CBP20M 25 m, 0.25 mm ID
(P/N:221-28638-25)

ดีเทคเตอร์ : Flame ionization detector (FID)

carrier gas : N_2 , 1 kg/cm²

hydrogen flow : 0.6 Hg/cm²

air flow : 0.5 kg/cm²

make up gas N ₂ flow	:	1 kg/cm ²
split ratio	:	20:1
initial temperature	:	170 °ซ hold time, 0 min
program rate	:	1.0 °ซ / นาที
final temperature	:	225 °ซ hold time, 0 min
injection temp	:	250 °ซ
detection temperature	:	270 °ซ
attenuation	:	0
chart speed	:	4 มิลลิเมตรต่อนาที

หลังจากตั้งสภาวะแล้วรอจนกระทั่งสัญญาณคงที่ และอุณหภูมิของคอลัมน์คงที่ ณ อุณหภูมิที่ตั้งไว้ สัญญาณของ background ควรอยู่ในช่วง 1–100 μV แสดงว่าเครื่องพร้อมสำหรับการทำงาน

8. ทำการฉีดสารละลายเฮปแทน 1 μL ภายใต้สภาวะที่กำหนด ทำการแยกอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งได้ส่วนประกอบทั้งหมด

หมายเหตุ : ถ้า signal ของ background ที่ได้ > 100 μV ระหว่างการวิเคราะห์ให้หยุดการวิเคราะห์ และตรวจหาสาเหตุทำให้เกิดความผิดพลาด

9. การวิเคราะห์ fatty acid methyl esters ด้วยเครื่อง GC

9.1 การจำแนกชนิดของพีค (identification of peaks)

ภายใต้สภาวะที่ใช้ ค่า retention times ที่วัดได้ ควรอยู่ในช่วงเดียวกันกับสารมาตรฐาน ($\pm 5\%$ ของ retention time ของแต่ละพีค) ในกรณีที่ไม่ทราบว่าเป็นพีคที่ได้คืออะไร ให้นำทุกพีคที่ไม่สามารถ identified ได้มารวมกัน (เช่น ไม่มีสารมาตรฐานรองรับ) และรายงานเป็น “unidentified peak”

9.2 การคำนวณ

วิธีการคำนวณใช้ normalization method (area percentage method) ซึ่งทำได้โดยการรวมพื้นที่ของพีคหรือขนาดของพีคทั้งหมดทุกพีคที่ปรากฏในโครมาโตแกรมเข้าด้วยกัน แล้วกำหนดให้พื้นที่ทั้งหมดเป็น 100 และคำนวณหาพื้นที่พีคของแต่ละตัว พื้นที่พีคที่จะนำมาคิดเป็นองค์ประกอบและคำนวณหาปริมาณของกรดไขมันแต่ละชนิดจะต้องอยู่ภายใต้สภาวะดังต่อไปนี้

(ก) ปริมาณที่พบต้อง $\geq 0.1\%$

(ข) สัญญาณของพีคที่ได้จะต้องมากกว่า 2 เท่าของสัญญาณรบกวน

ก.14 การทดสอบสมบัติทางความร้อนด้วยเครื่อง Differential Scanning Calorimeter ดัดแปลงจากวิธีของ Kim และ Walker (1992)

อุปกรณ์

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

1. การเกิดเจลลิตินในเซชันของสตาร์ช

วิธีทดลอง

1. ชั่งสตาร์ชและโปรตีนที่ทราบน้ำหนักแน่นอน ใส่ลงใน pan อะลูมิเนียม เติมน้ำกลั่นใน pan ตามอัตราส่วนที่ต้องการ น้ำหนักรวม 15 มิลลิกรัม เช่นตัวอย่างสตาร์ชเข้มข้น 10% เติมน้ำโปรตีนเข้มข้น 6% คือชั่งน้ำหนักสตาร์ช 1.6 มิลลิกรัม โปรตีน 0.1 มิลลิกรัม เติมน้ำให้น้ำหนัก pan รวมเท่ากับ 15 มิลลิกรัม และตัวอย่างสตาร์ชที่เติมกรดไขมัน เตรียมตัวอย่างเป็นสารแขวนลอย สตาร์ชที่เติมไขมันปริมาตรรวมทั้งหมด 3 มิลลิลิตร แล้วจึงดูดสารละลายที่เตรียมไว้ใน pan ชั่งน้ำหนัก pan ให้ได้น้ำหนักรวม 15 มิลลิกรัม เนื่องจากน้ำหนักของไขมันที่ใช้้น้อยมากจึงต้องเตรียมตัวอย่างในปริมาตรที่มากขึ้น เช่น ตัวอย่างสตาร์ชเข้มข้น 10% กรดไลโนเลอิก 1.0% และกรดปาล์มิติก 0.5% ชั่งน้ำหนักสตาร์ช 333.2 มิลลิกรัม กรดไลโนเลอิก 3.0 มิลลิกรัม กรดปาล์มิติก 1.5 มิลลิกรัม (ละลายกรดปาล์มิติกด้วย absolute ethyl alcohol ปริมาตรเล็กน้อย) เติมน้ำให้ครบ 3 มิลลิลิตร

2. ปิดฝา pan ให้สนิทด้วยเครื่องมือปิดผนึก เก็บ pan ที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน เพื่อให้ความชื้นภายใน pan เข้าสู่ภาวะสมดุล

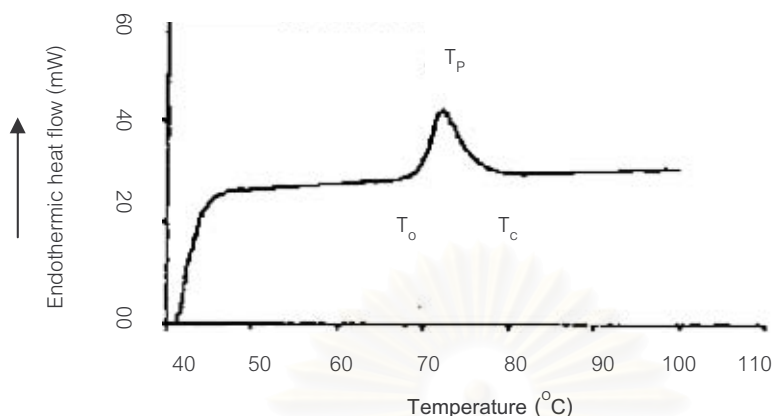
3. นำ pan ใส่ในช่อง sample ของเครื่อง DSC และวาง pan เปล่า ในช่อง reference pan ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจากอุณหภูมิ 30-115 °C ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C ต่อนาที

4. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์โดยใช้ระบบ autocalculation และบันทึกค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเกิดเจลลิตินในเซชัน ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้นในการเกิดเจลลิตินในเซชัน (onset gelatinization temperature, T_o °C) อุณหภูมิที่เอนทัลปี (ΔH) สูงสุด (peak gelatinization temperature, T_p °C) อุณหภูมิสิ้นสุดในการเกิดเจลลิตินในเซชัน (conclusion gelatinization temperature, T_c °C) พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการเกิดเจลลิตินในเซชัน (ΔH_{gel} หน่วย J/g) ดังแสดงในรูปที่ ก.4

2. การเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ช

อุปกรณ์

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



รูปที่ ก.4 ลักษณะ thermogram ของสตาร์ชที่ได้จากการศึกษาด้วยเครื่อง DSC

วิธีทดลอง

1. นำ pan ที่ผ่านการเจลาติไนเซชันตามวิธีในข้อ 1 ในภาคผนวก ก.14 เก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 °ซ เป็นเวลา 14 วัน และเมื่อครบกำหนด นำ pan มาตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง

2. นำ pan ใส่ในช่อง sample ของเครื่อง DSC และวาง pan เปล่า ในช่อง reference pan ให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจากอุณหภูมิ 30-115 °ซ ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °ซ ต่อนาที สำหรับตัวอย่างสตาร์ชที่เติมโปรตีน และให้ความร้อนแก่ตัวอย่างจากอุณหภูมิ 30-120 °ซ ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °ซ ต่อนาที สำหรับตัวอย่างสตาร์ชที่เติมไขมัน

4. คำนวณค่าเทอร์โมไดนามิกส์โดยใช้ระบบ autocalculation และบันทึกค่าต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชัน ได้แก่ T_o , T_p , T_c , ΔH_{ret} (พลังงานที่เปลี่ยนแปลงระหว่างการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชัน)

$$\%retrogradation = \frac{(\Delta H_{ret})}{\Delta H_{gel}} \times 100$$

ก.15 การวิเคราะห์สมบัติเชิงกลของสตาร์ช ดัดแปลงจากวิธีของ Lai และคณะ (2001)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Bohlin Rheometer (Bohlin Instrument รุ่น C-VOR, UK)
2. หัววัด parallel plate ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. (PP40)
3. Temperature contractor
4. ฝาครอบ

วิธีการทดลอง

ส่วนที่ 1 การเปิดเครื่อง Rheometer

1. ประกอบส่วน fixed lower plate กับตัวเครื่อง Bohlin Rheometer โดยต่อสายที่มา จากเครื่อง cooler และช่องสำหรับน้ำเข้าที่ฐานของ fixed lower plate โดยต่อสายสี่ลิ่มเข้ากับช่อง น้ำเข้าสี่ลิ่ม และสายสีดำเข้ากับช่องน้ำเข้าสีดำ
2. เปิดปั๊มลม เปิดวาล์วลมตัวที่ 1 ให้อยู่ที่ 4 บาร์ และเปิดวาล์วลมตัวที่ 2 ให้อยู่ที่ 3 บาร์
3. เปิดเครื่อง Bohlin Rheometer แทนสำหรับต่อส่วน rotating upper plate จะเลื่อน ลงมาจนสุด กดปุ่ม ▲ เพื่อให้แทนสำหรับต่อส่วน rotating upper plate เลื่อนขึ้น
4. วางส่วน Temperature contractor ไร้บนหัววัด PP40 ประกอบหัววัด PP40 กับแทน สำหรับต่อส่วน rotating upper plate ทำการล็อกเกลียว โดยหมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา
5. กดปุ่ม zero เพื่อตั้ง auto zero ส่วน rotating upper plate จะเลื่อนลงมาสัมผัสกับ ส่วน fixed lower plate รอจนไฟสีเขียวตรงจุด OK ปรากฏ กดปุ่ม OK
6. กดปุ่ม gap เพื่อตั้งระยะห่างระหว่างส่วน rotating upper plate และ fixed lower plate โดยตั้งค่าไว้ที่ 1000 ไมโครเมตร รอจนไฟสีเขียวตรงจุด OK ปรากฏ กดปุ่ม OK
7. กดปุ่ม ▲ เพื่อให้แทนสำหรับต่อส่วน rotating upper plate เลื่อนขึ้น
8. เปิดเครื่อง Peltier controller
9. เปิดเครื่อง cooler ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 10 °ซ

ส่วนที่ 2 การเข้าโปรแกรมการทดสอบ

2.1 การทดลอง Temperature sweep test

เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ เข้าโปรแกรม Bohlin Rheometer เลือก mode oscillation ตั้งสภาวะในการทำงานของเครื่องดังนี้

- pre conditioning : controlled rate

shear rate	50	1/s
apply time	10.0	s
equilibrium time	5.0	s
- oscillation test parameters : single frequency

frequency	1	Hz.
strain	0.5	%
- continuous oscillation

- test mode selector : Temperature mode (Temperature gradient)

25 °C - 90 °C	1040	s
90 °C - 90 °C	600	s
90 °C - 50 °C	540	s
50 °C - 50 °C	300	s

2.2 การทดลอง Amplitude sweep test

ก่อนทำการทดลอง Frequency sweep test ต้องทำการทดลอง Amplitude sweep test ก่อนเพื่อหาช่วง Linear Viscoelastic Range (LVR)

การทดลอง Amplitude test ตั้งสภาวะการทดลอง ดังนี้

- pre-shear	off
- auto-tension	off
- sweep type	AMP sweep
range	LOG
frequency	1 Hz
minimum stress	0.1 Pa
maximum stress	300.0 Pa

- isothermal 25 °C

2.3 การทดลอง Frequency sweep test

การทดลอง Frequency sweep test ตั้งสภาวะการทดลอง ดังนี้

- pre conditioning : controlled rate	
shear rate	50 1/s
apply time	10.0 s
equilibrium time	5.0 s

- oscillation test parameters : Frequency sweep

minimum frequency	0.01 Hz.
maximum frequency	100 Hz
range	LOG
strain	0.5 %

- isothermal 25 °C

ส่วนที่ 3 การเตรียมตัวอย่าง

3.1 การทดลอง Temperature sweep test

1. เตรียมตัวอย่างตามความเข้มข้นที่ต้องการ ปริมาตรรวมทั้งหมด 2 มิลลิลิตร โดยการเตรียมตัวอย่างสตาร์ชที่เติมโปรตีนทางการค้า เช่น สตาร์ชเข้มข้น 10% เติมโปรตีนเข้มข้น 6% คือชั่งน้ำหนักสตาร์ช 212.0 มิลลิกรัม โปรตีน 13.1 มิลลิกรัม เติมน้ำกลั่นให้ครบ 2 มิลลิลิตร หรือตัวอย่างสตาร์ชที่เติมกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิก เช่น สตาร์ชเข้มข้น 10% กรดไลโนเลอิก 0.5% และกรดปาล์มิติก 1.0% ชั่งน้ำหนักสตาร์ช 333.2 มิลลิกรัม กรดไลโนเลอิก 1.5 มิลลิกรัม และกรดปาล์มิติก 3.0 มิลลิกรัม (ละลายกรดปาล์มิติกด้วย absolute ethyl alcohol ปริมาตรเล็กน้อย) เติมน้ำกลั่นให้ครบ 2 มิลลิลิตร

2. ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 30 นาที

3. ผสมสารละลายตัวอย่างให้เข้ากัน เทสารละลายตัวอย่างลงบนส่วน fixed lower plate พยายามให้สารละลายตัวอย่างอยู่บริเวณส่วนกลางของส่วน fixed lower plate

4. กดปุ่ม ▼ เพื่อให้ส่วน rotating upper plate เลื่อนลงมาสัมผัสกับสารละลายตัวอย่าง โดยจะหยุดตรงตำแหน่งของ gap ที่ตั้งไว้

5. ตบแต่งขอบริมของตัวอย่างให้เรียบร้อย

6. หยดน้ำกลั่นลงในส่วน Temperature contractor ประมาณ 3-4 หยด ปิดฝาครอบ เพื่อป้องกันการระเหยของน้ำในตัวอย่าง

7. ปลดล๊อคที่ส่วน rotating upper plate

8. กดปุ่ม start ที่หน้าจอมอนิเตอร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเริ่มการทำงานของเครื่อง ตามโปรแกรมของ Temperature sweep test

3.2 การทดลอง Frequency sweep test

1. เตรียมสารละลายตัวอย่างและทำการทดลองเช่นเดียวกับการทดลอง Temperature sweep test

2. ทำการทดลองต่อโดยเปลี่ยนโปรแกรมจาก Temperature sweep test เป็น Frequency sweep test

3. กดปุ่ม start ที่หน้าจอมอนิเตอร์ของเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อเริ่มการทำงานของเครื่องตามโปรแกรมของ Frequency sweep test

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลเกี่ยวกับโปรตีนทางการค้า Remypro N80+[®]ข.1 องค์ประกอบทางเคมีของโปรตีนทางการค้า (Remypro N80+[®])

องค์ประกอบ	ปริมาณ (g/ 100 g wet protein)
ความชื้น	<12
โปรตีน	>79
ไขมัน	<5
เถ้า	<2

ข.2 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีนทางการค้า (Remypro N80+[®])

กรดอะมิโน	ปริมาณ (g/ 100 g dry protein)
Aspartic acid	9.07
Threonine	3.70
Serine	4.92
Glutamic acid	17.85
Proline	4.42
Glycine	4.26
Alanine	5.38
Cystine	1.75
Valine	6.14
Methionine	3.70
Isoleucine	4.31
Leucine	8.49
Tyrosine	5.35
Phenylalanine	5.47
Histidine	2.37
Lysine	3.60
Arginine	8.30
Tryptophan	0.92

ภาคผนวก ค.

รายละเอียดการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken design

ค.1 รายละเอียดการวางแผนการทดลองแบบ Box-Behnken design

ตัวแปร	สัญลักษณ์	+1	0	-1
ปริมาณกรดไลโนเลอิก (%)	x_1	1.0	0.5	0
ปริมาณกรดปาล์มิติก (%)	x_2	1.0	0.5	0
ปริมาณสตาร์ช (%)	x_3	20	15	10

การทดลองที่	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	+1	-1	0
4	+1	+1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	+1
7	+1	0	-1
8	+1	0	+1
9	0	-1	-1
10	0	-1	+1
11	0	+1	-1
12	0	+1	+1
13	0	0	0
14	0	0	0
15	0	0	0

ภาคผนวก ง.

ตารางจากผลการทดลอง

ตารางที่ ง.1 กำลังการพองตัวของสตาร์ชข้าวทดลองในสารแขวนลอยสตาร์ชเข้มข้น 3.33% (w/v)

อุณหภูมิ (°ซ)	กำลังการพองตัว (g/ g dry starch)
55	1.77 ± 0.02
60	1.89 ± 0.16
65	2.31 ± 0.12
70	6.67 ± 0.26
75	8.07 ± 0.24
80	8.21 ± 0.09
85	8.30 ± 0.87
90	9.83 ± 0.14
95	26.92 ± 0.20

ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ ง.2 การละลายของสตาร์ชข้าวทดลองในสารแขวนลอยสตาร์ชเข้มข้น 3.33% (w/v)

อุณหภูมิ (°ซ)	การละลาย (g/ 100 g dry starch)
55	0.96 ± 0.10
60	1.06 ± 0.02
65	1.14 ± 0.03
70	3.20 ± 0.41
75	3.67 ± 0.31
80	4.10 ± 0.18
85	4.52 ± 0.18
90	5.65 ± 0.75
95	18.12 ± 0.30

ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ ๓.3 ค่า onset gelatinization temperature, peak gelatinization temperature และ peak complex viscosity ของสตาร์ชข้าวเข้มน้ำ 10% 15% และ 20% ที่เติมโปรตีนเข้มน้ำ 0% 6% 12% และ 18%

Treatment	gelatinization temperature (°C)*		peak complex viscosity (Pa.s)*
	onset	peak	
starch 10% + protein 0%	71.9 ^e ±0.15	83.1 ^f ±2.89	247.99 ^a ±1.16
starch 10% + protein 6%	71.9 ^e ±0.56	84.9 ^g ±1.31	216.41 ^a ±6.07
starch 10% + protein 12%	72.1 ^e ±0.38	85.3 ^{hi} ±8.07	198.41 ^a ±4.06
starch 10% + protein 18%	72.3 ^e ±0.41	85.8 ⁱ ±3.02	170.52 ^a ±7.75
starch 15% + protein 0%	70.6 ^b ±0.17	75.7 ^d ±6.35	690.42 ^b ±9.20
starch 15% + protein 6%	70.8 ^{bc} ±0.23	76.7 ^e ±6.57	760.12 ^b ±8.65
starch 15% + protein 12%	71.2 ^{cd} ±0.06	76.8 ^e ±3.99	836.32 ^{bc} ±4.78
starch 15% + protein 18%	71.3 ^d ±0.12	77.0 ^e ±2.50	1042.24 ^c ±4.05
starch 20% + protein 0%	69.4 ^a ±0.23	73.2 ^a ±1.53	1878.03 ^d ±8.15
starch 20% + protein 6%	70.3 ^b ±0.17	74.5 ^b ±2.16	1923.10 ^d ±11.2
starch 20% + protein 12%	70.7 ^b ±0.10	74.9 ^{bc} ±1.69	2016.57 ^{de} ±8.38
starch 20% + protein 18%	70.8 ^{bc} ±0.10	75.4 ^{cd} ±1.67	2208.43 ^f ±7.58

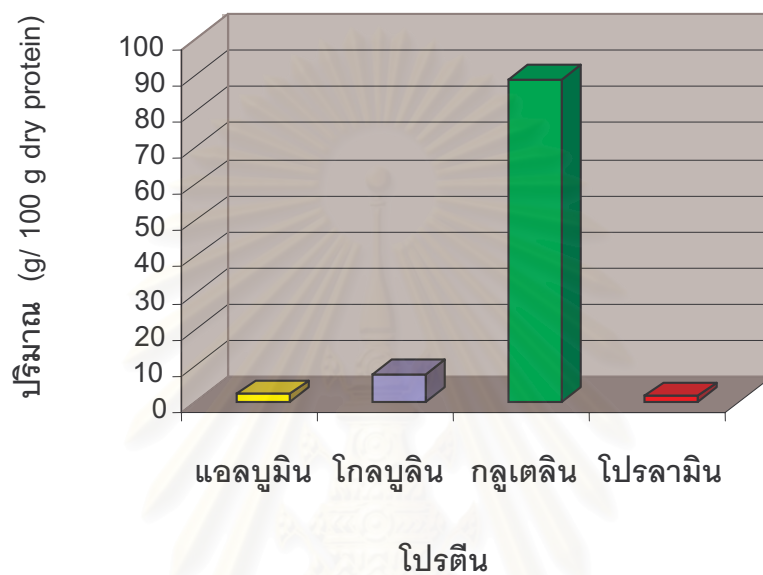
*ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

a, b, c..... ที่แตกต่างกันในแนวตั้ง หมายถึงค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

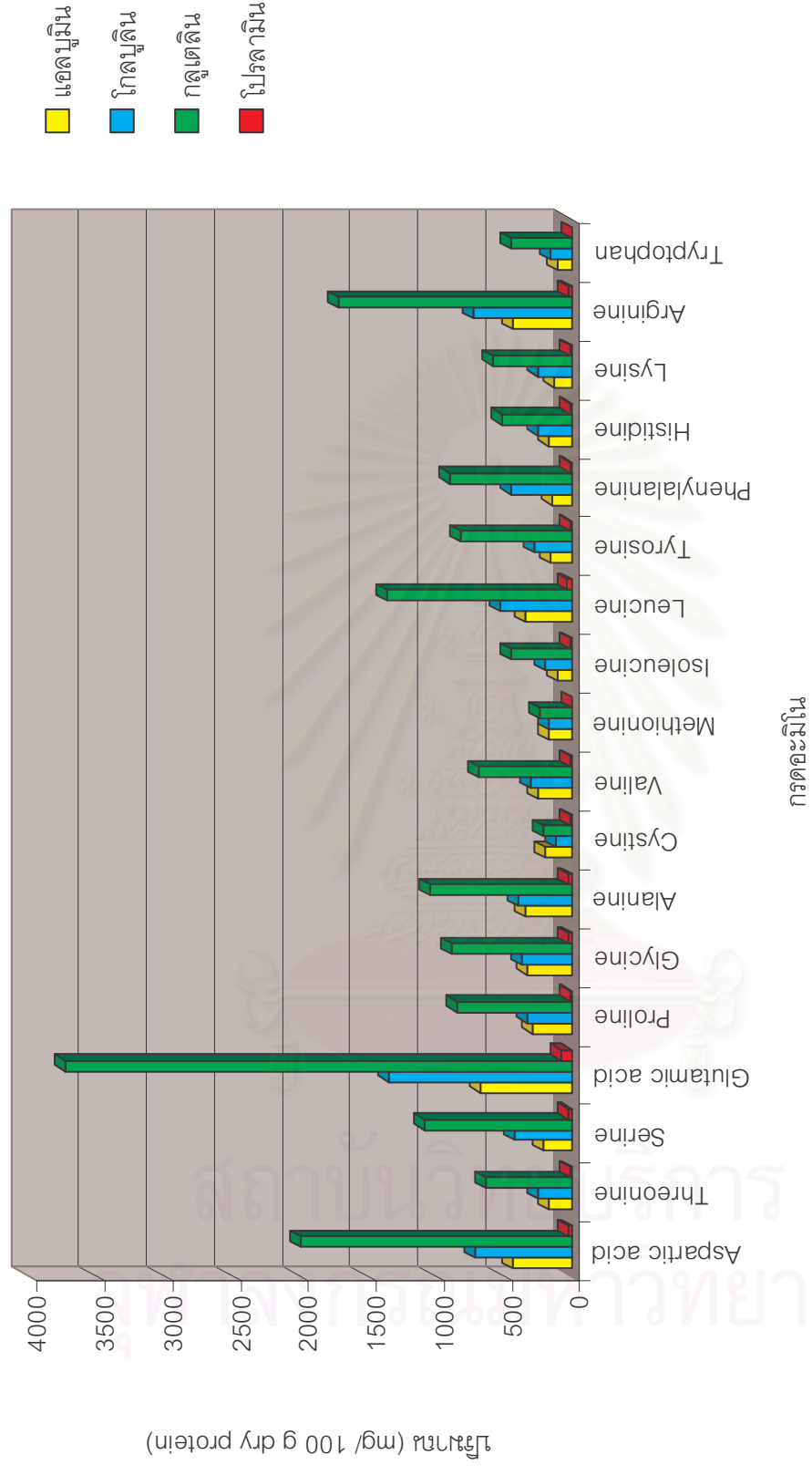
ภาคผนวก จ.

รูปจากผลการทดลอง

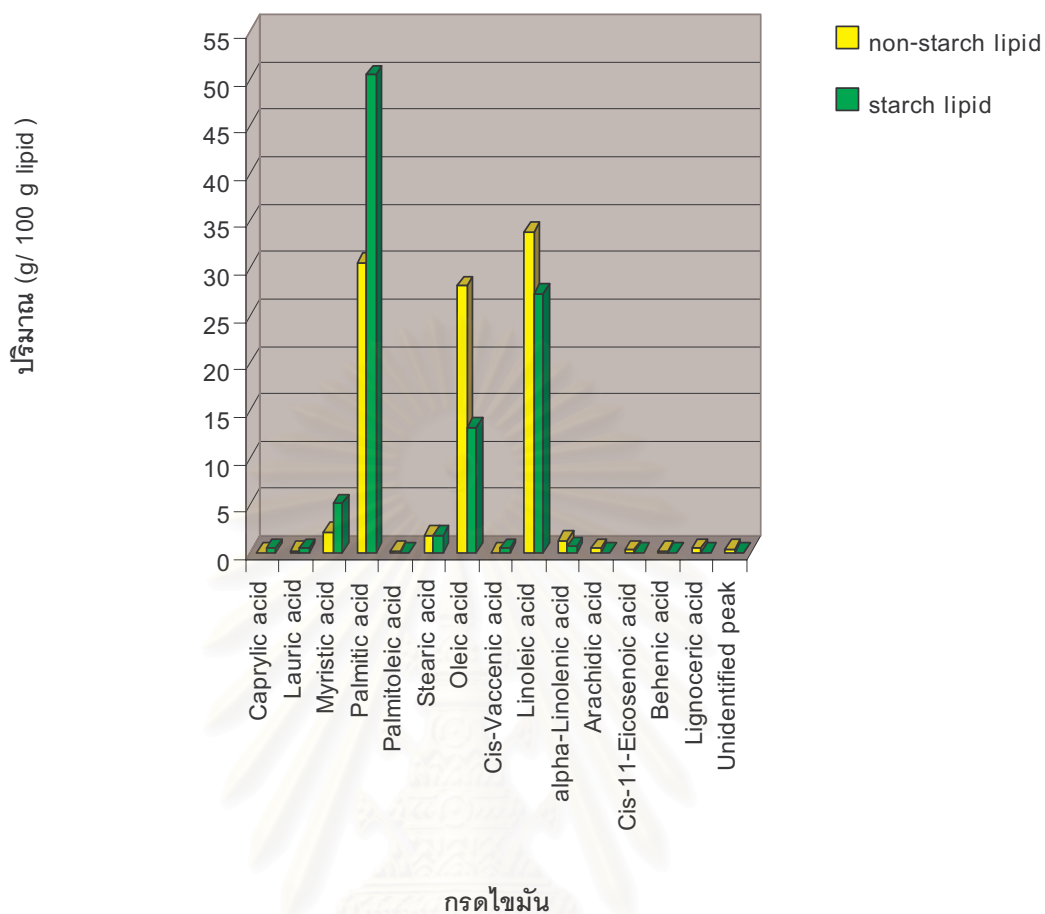


รูปที่ จ.1 ชนิดและปริมาณของโปรตีนที่แยกได้จากฟลาวร์ข้าว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



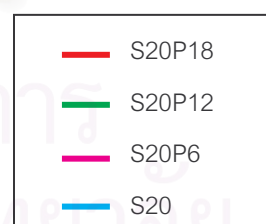
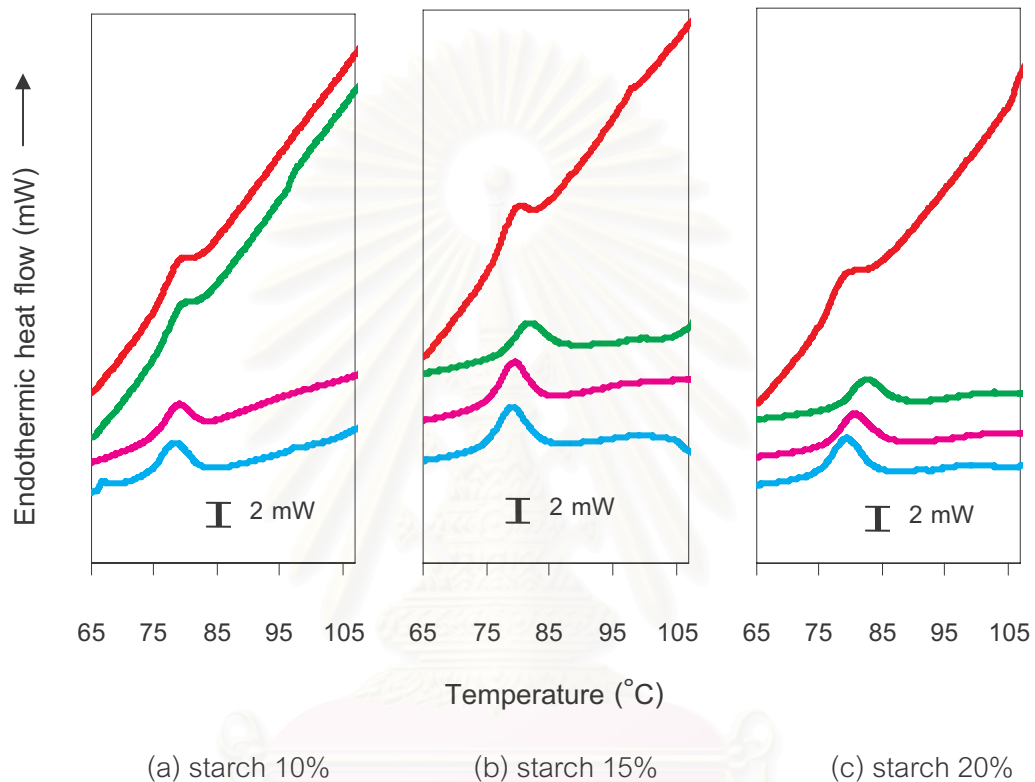
รูปที่ ๑.2 ชนิดและปริมาณกรดอะมิโนที่พบในโปรตีน 4 ชนิดที่แยกได้จากฟลาวาร์ข้าว



รูปที่ ๑.3 ชนิดและปริมาณกรดไขมันที่เป็นองค์ประกอบของไขมันส่วน non-starch lipid และไขมันส่วน starch lipid

ภาคผนวก จ.

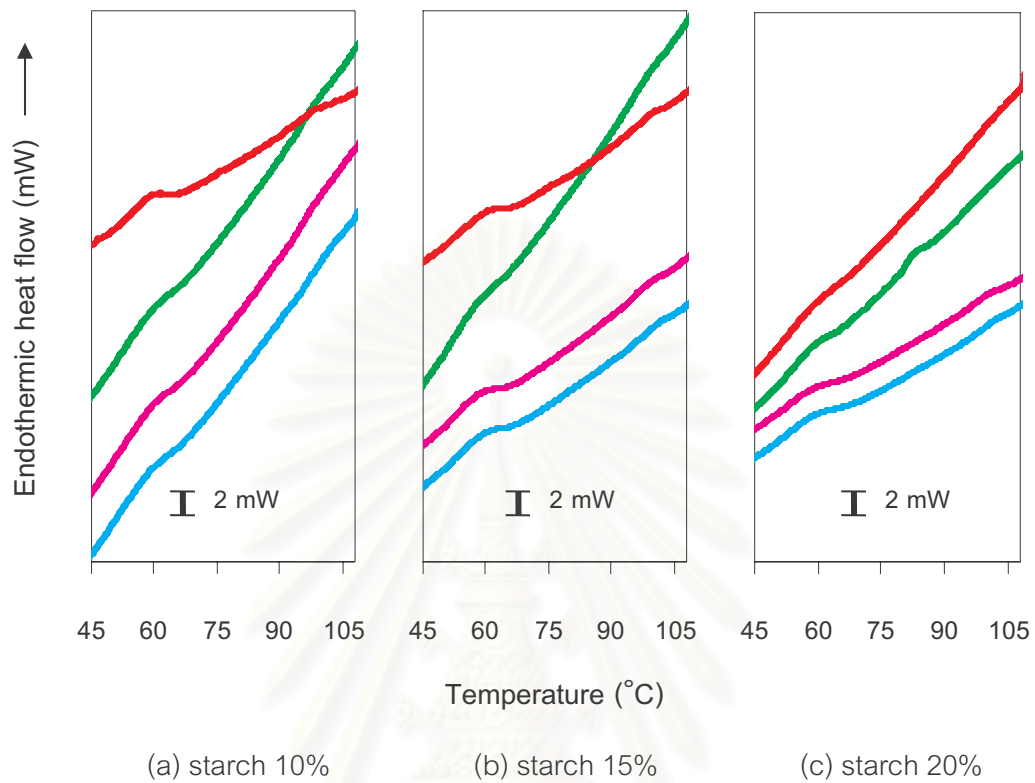
ผลการศึกษาสมบัติทางความร้อนด้วยวิธี Differential Scanning Calorimetry (DSC)



S = starch P = protein

ตัวเลขหมายถึง ความเข้มข้นของสตาร์ช และโปรตีน

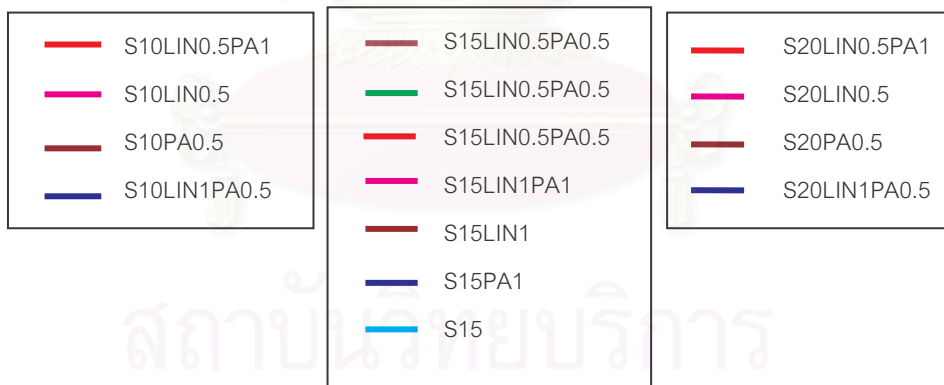
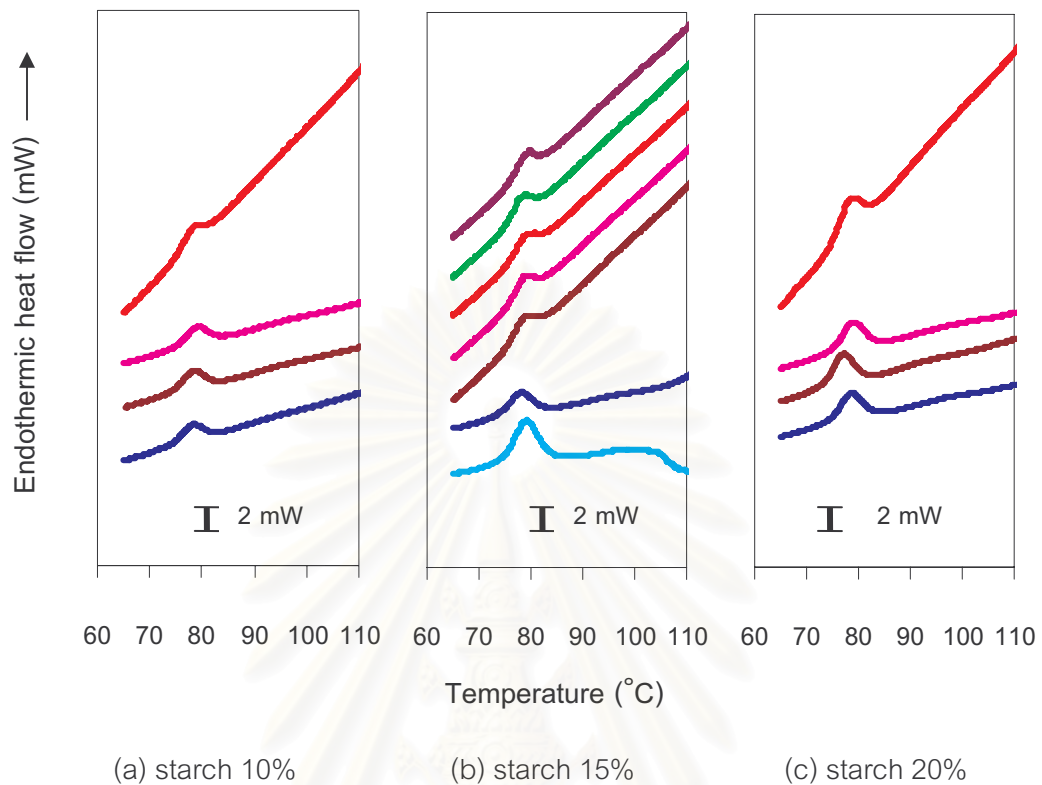
รูปที่ จ.1 Endotherm ของการเกิดเจลลาตินเซชันของสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมโปรตีนทางการค้าเข้มข้น 6% 12% และ 18%



S = starch P = protein

ตัวเลขหมายถึง ความเข้มข้นของสตาร์ช และโปรตีน

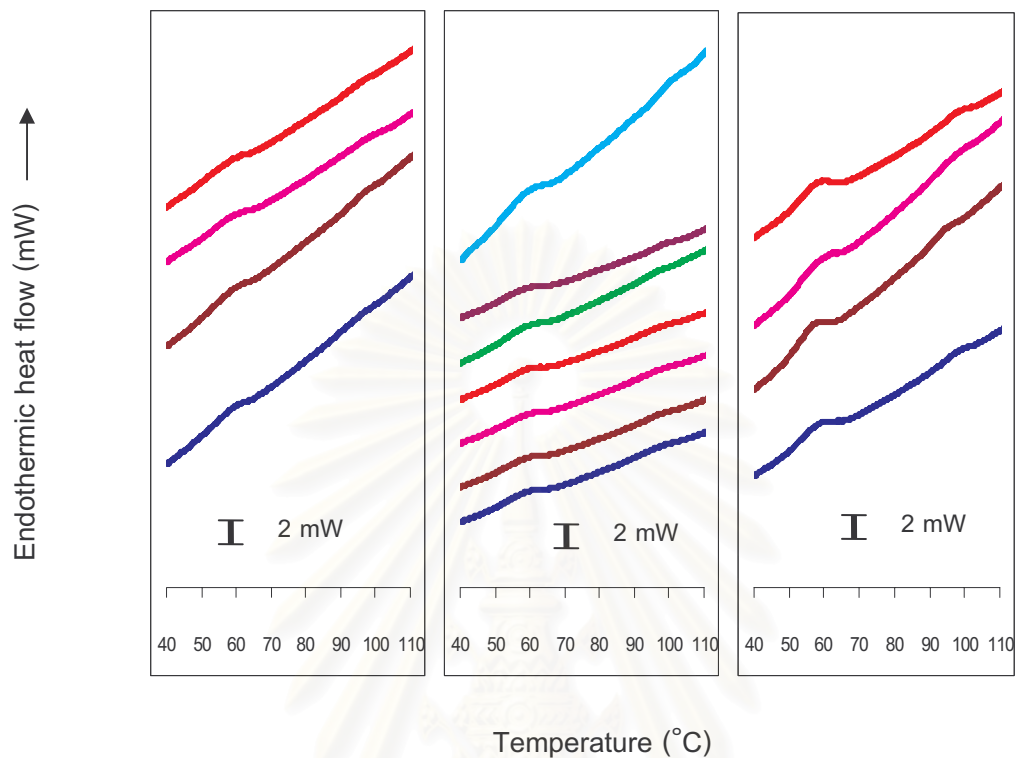
รูปที่ ๑.2 Endotherm ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมโปรตีนทางการค้าเข้มข้น 6% 12% และ 18%



S = starch LIN = linoleic acid PA = palmitic acid

ตัวเลขหมายถึง ความเข้มข้นของสตาร์ช กรดไลโนเลอิกและกรดปาล์มิติก

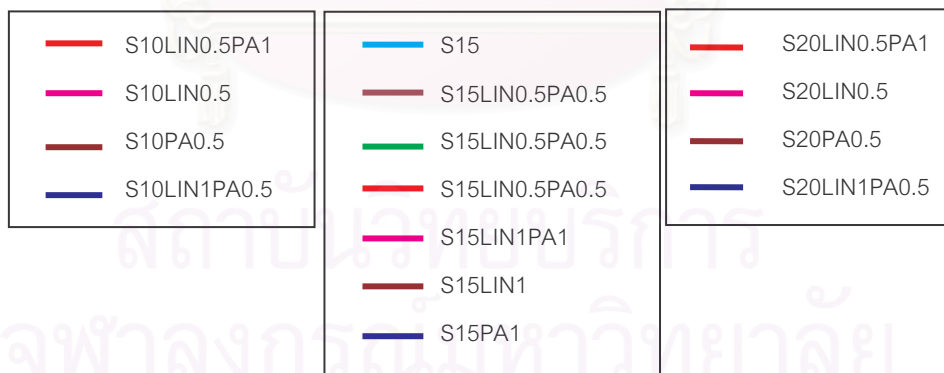
รูปที่ ๓.3 Endotherm ของการเกิดเจลาตินในเซชันของสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% และ 1.0%



(a) starch 10%

(b) starch 15%

(c) starch 20%



S = starch LIN = linoleic acid PA = palmitic acid

ตัวเลขหมายถึง ความเข้มข้นของสตาร์ช กรดไลโนเลอิกและกรดปาล์มิติก

รูปที่ ๑.4 Endotherm ของการหลอมสารที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของสตาร์ชข้าวเข้มข้น 10% 15% และ 20% ที่เติมกรดปาล์มิติกและกรดไลโนเลอิกเข้มข้น 0.5% และ 1.0%

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวประภัสสร เชิดชูธรรม เกิดวันที่ 17 พฤษภาคม 2520 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์การอาหารและโภชนาการ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เมื่อปีการศึกษา 2541 เข้าทำงานที่บริษัท แอลมทองสหการ จำกัด ในตำแหน่งนักวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์ เป็นเวลา 2 ปี 3 เดือน และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย