

ผลของน้ำมันพืชต่อรีโทรเกรเดชันและเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกในรีทอร์ตเพาซ์ระหว่างการเก็บ
รักษา

นางสาวศิโรรัตน์ กาญจนสำราญวงศ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

ปีการศึกษา 2556

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตที่ส่งมาขึ้นทะเบียนที่สำนักงานบัณฑิตวิทยาลัย
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

EFFECTS OF VEGETABLE OIL ON RETROGRADATION AND TEXTURE OF COOKED RICE
IN RETORT POUCH DURING STORAGE

Miss Sirorat Kanjanasumranwong

The logo of Chulalongkorn University, featuring a central emblem with a sunburst and a tiered structure, set against a light background.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

Department of Food Technology

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของน้ำมันพืชต่อรีโทรเกรดชันและเนื้อสัมผัสของข้าว หุงสุกในรีโทรเกรดเพาซ์ระหว่างการเก็บรักษา
โดย	นางสาวศิริโรรัตน์ กาญจนสำราญวงศ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีทางอาหาร
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลหาสงคราม

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลหาสงคราม)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชนิษฐา ธนานุวงศ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.อรอนงค์ นัยวิกุล)

ศิริรัตน์ กาญจนสำราญวงศ์ : ผลของน้ำมันพืชต่อรีโทรเกรเดชันและเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกในรีโทรเกรดแพคเกจจิ้งระหว่างการเก็บรักษา. (EFFECTS OF VEGETABLE OIL ON RETROGRADATION AND TEXTURE OF COOKED RICE IN RETORT POUCH DURING STORAGE) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม: รศ. ดร.กัลยา เลหาสงคราม, 72 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil), น้ำมันมะกอก (olive oil) และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (sunflower oil) ที่มีองค์ประกอบของกรดไขมันแตกต่างกันต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันและเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกระหว่างการเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 6 เดือน โดยแปรอุณหภูมิการฆ่าเชื้อที่ 115, 121 และ 125 องศาเซลเซียสที่ $F_0 = 6$ นาที พบว่า ทุกตัวอย่างที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างๆ ไม่พบ *Cl. botulinum* และ *B. stearothermophilus* และอุณหภูมิฆ่าเชื้อไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสได้แก่ ความแข็ง (hardness), ความเหนียวติดกัน (adhesiveness) และความเกาะติดกัน (cohesiveness) ค่าความขาวและคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมคือ 121 องศาเซลเซียส ที่ $F_0 = 6$ นาที จากการแปรชนิดน้ำมันในปริมาณร้อยละ 0, 3 และ 6 ของข้าวสาร สุ่มตัวอย่างข้าวหุงสุกทุก 10 วันในเดือนแรกและทุกเดือนจนครบ 6 เดือน เพื่อวัดสมบัติทางความร้อน ร้อยละการเกิดผลึกและลักษณะเนื้อสัมผัส, ค่าความขาวและสมบัติทางประสาทสัมผัสพบว่า ตัวอย่างที่เติมน้ำมันมีช่วงอุณหภูมิในการหลอมผลึกเนื่องจากรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกติน ช่วงอุณหภูมิการหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน ค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน ร้อยละการเกิดผลึก (% crystallinity) และค่าความแข็งเพิ่มขึ้น โดยค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกตินมีแนวโน้มลดลง นอกจากนี้ตัวอย่างที่เติมน้ำมันมีค่าความเหนียวติดกันและคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัสและการยอมรับรวมลดลง ทั้งนี้ น้ำมันมะกอกมีแนวโน้มทำให้ตัวอย่างมีค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกตินสูงสุดและพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันต่ำสุด ส่วนน้ำมันจากเมล็ดปาล์มมีแนวโน้มทำให้ร้อยละการเกิดผลึกและค่าความแข็งมีค่าสูงที่สุด แต่ค่าความเหนียวติดกันและคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัสและโดยรวมต่ำที่สุด โดยชนิดน้ำมันไม่มีผลต่อค่าความเกาะติดกันและค่าความขาวอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้น ทำให้ตัวอย่างมีค่าความแข็งและความเกาะติดกันเพิ่มขึ้นแต่ค่าความเหนียวติดกัน, ค่าความขาวที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 10 วันและคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัสและโดยรวมมีค่าลดลง เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าช่วงอุณหภูมิในการหลอมผลึกเนื่องจากรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกติน ช่วงอุณหภูมิการหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน ค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกติน ค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน ร้อยละการเกิดผลึกและค่าความแข็งของตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นแต่ค่าความเหนียวติดกันค่าความเกาะติดกัน ค่าความขาวและคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัสและโดยรวมมีแนวโน้มลดลง

ภาควิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ลายมือชื่อ นิสิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีทางอาหาร

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

537255523 : MAJOR FOOD TECHNOLOGY

KEYWORDS: COOKED RICE / THERMAL PROCESS / % CRYSTALLINITY / RETROGRADATION /
VEGETABLE OIL / SENSORY PROPERTIES / TEXTURAL PROPERTIES

SIRORAT KANJANASUMRANWONG: EFFECTS OF VEGETABLE OIL ON
RETROGRADATION AND TEXTURE OF COOKED RICE IN RETORT POUCH DURING
STORAGE. ADVISOR: ASSOC. PROF. SAIWARUN CHAIWANICHSIRI, Ph.D., CO-ADVISOR:
ASSOC. PROF. KALAYA LAOHASONGKRAM, Ph.D., 72 pp.

This research aimed to investigate the effect of vegetable oil (palm kernel, olive oil and sunflower oil) having different proportion of fatty acids on the retrogradation and texture of cooked rice during storage at room temperature ($28\pm 2^{\circ}\text{C}$) for 6 months. Rice was sterilized at 115, 121 and 125°C to obtain $F_0 = 6$ minutes. The results showed that there was no *Cl. botulinum* and *B. stearothermophilus* detected in all samples. Sterilization temperature had no significant effect on textural properties (hardness, adhesiveness and cohesiveness), whiteness value, hedonic score of texture and overall acceptability ($p > 0.05$). However, it had significant effect on hedonic score of color ($p \leq 0.05$). The optimum sterilization temperature was found to be 121°C and $F_0 = 6$ minutes. Three different types of oil were added at 0, 3 and 6 % w/w, on the basis of uncooked rice. The samples were kept at $28\pm 2^{\circ}\text{C}$ and taken every 10 days for the first month and every month until 6 months for thermal properties, the percentage crystallinity (% crystallinity), textural properties, whiteness value and sensory properties measurement. It was found that the addition of oil increased melting temperature range of amylopectin retrogradation, melting temperature range of amylose-lipid complex, the melting enthalpy of amylose-lipid complex, % crystallinity and hardness, but decreased the enthalpy of amylopectin retrogradation. In addition, the addition of oils decreased adhesiveness and hedonic scores of all attributes. The added olive oil sample had maximum value of the enthalpy of amylopectin retrogradation and minimum value of the melting enthalpy of amylose-lipid complex while the added palm kernel oil sample had maximum value of % crystallinity and hardness, minimum value of adhesiveness and hedonic scores of all attributes. Type of oil had no significant effect on cohesiveness and whiteness value ($p > 0.05$). Increasing the quantity of oil increased hardness and cohesiveness, whereas decreased adhesiveness, whiteness value of cooked rice stored at 10 days storage and hedonic scores of all attributes. Besides increasing storage time increased melting temperature range of amylopectin retrogradation, melting temperature range of amylose-lipid complex, the enthalpy of amylopectin retrogradation, the melting enthalpy of amylose-lipid complex, % crystallinity and hardness, but decreased adhesiveness, cohesiveness, whiteness value and hedonic scores of all attributes.

Department: Food Technology

Student's Signature

Field of Study: Food Technology

Advisor's Signature

Academic Year: 2013

Co-Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สายวรุฬ ชัยวานิชศิริ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา เลหาสงคราม อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์ และเป็นกำลังใจให้ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาของการทำวิจัย ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์สมบูรณ์ รวมทั้งได้อบรมสั่งสอนให้มีความรอบคอบ รับผิดชอบต่อหน้าที่ และตั้งใจปฏิบัติงาน ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พาสวดี ประทีปะเสน ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. อรอนงค์ นัยวิกุล และอ.ดร. ขนิษฐา ธนานาวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่กรุณาให้คำแนะนำเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า ทั้งในด้านวิชาการและจริยธรรม

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช รุ่นที่ 20 ครั้งที่ 1/2556 ที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัย และทุนวิทยานิพนธ์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ประจำปีการศึกษา 2553 ที่ให้ทุนอุดหนุนการศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา

ขอขอบคุณบริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์วัตถุดิบน้ำมันเมล็ดในปาล์ม (palm kernel oil) เพื่อใช้ในงานวิจัย

ขอบคุณพี่ น้องและเพื่อนๆ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจตลอดการทำวิจัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหารทุกท่าน สำหรับการอำนวยความสะดวกในการวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ท้ายสุดนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้สั่งสอนให้ผู้วิจัยมีความอดทน มุมนานะพยายาม ให้กำลังใจและความหวังใจพร้อมทั้งสนับสนุนในด้านทุนทรัพย์ให้แก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 วารสารปริทัศน์.....	2
2.1 ข้าว.....	2
2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว.....	2
2.1.2 การเกิดเจลลาทีไนเซชัน (Gelatinization).....	5
2.1.3 ข้าวหุงสุก.....	5
2.1.4 การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งสุก (Retrogradation).....	6
2.2 น้ำมัน.....	8
2.2.1 น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม (Palm kernel oil).....	8
2.2.2 น้ำมันมะกอก (Olive oil).....	8
2.2.3 น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (Sunflower oil).....	10
2.3 ผลของไขมันต่อสมบัติของแป้ง.....	10
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	13
3.1 การเตรียมวัสดุดิบ.....	13
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	13
3.2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวและน้ำมันพืช.....	13
3.2.1.1 ข้าวสารพันธุ์เสาไห้.....	13
3.2.1.2 น้ำมันพืช.....	14
3.2.2 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อข้าวหุงสุกในรีโอร์ทเพาซ์.....	14
3.2.3 ศึกษาผลของชนิดน้ำมันพืชต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน สมบัติกายภาพและสมบัติทาง ประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกในรีโอร์ทเพาซ์ระหว่างการเก็บรักษา.....	17

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์	20
4.1 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของข้าวและน้ำมันพืช.....	20
4.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อข้าวหุงสุกในรีโอร์ตเพาซ์.....	22
4.2.1 คุณภาพทางจุลชีววิทยา.....	22
4.2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส.....	23
4.2.3 ค่าความขาว	24
4.2.4 สมบัติทางประสาทสัมผัส.....	24
4.3 ศึกษาผลของชนิดน้ำมันพืชต่อการเกิดรีโตร์เกรดเซ็น สมบัติกายภาพและสมบัติทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกในรีโอร์ตเพาซ์ระหว่างการเก็บรักษา	25
4.3.1 สมบัติทางความร้อน	25
4.3.2 ร้อยละการเกิดผลึก.....	32
4.3.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส.....	33
4.3.4 ค่าความขาว	35
4.3.5 สมบัติทางประสาทสัมผัส.....	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	39
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	39
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	39
รายการอ้างอิง	40
ภาคผนวก.....	44
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ.....	45
ภาคผนวก ข แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส	53
ภาคผนวก ค ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ.....	55
ภาคผนวก ง Thermograms ของการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน.....	63
ภาคผนวก จ ตารางผลการทดลอง	65
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	72

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบต่างๆ ของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสี.....	4
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม น้ำมันมะกอก.....	9
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (ร้อยละ).....	10
ตารางที่ 3.1 การสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบบัติต่างๆ	17
ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเจ้าพันธุ์เสาไห้	20
ตารางที่ 4.2 สมบัติทางความร้อนของข้าวสารพันธุ์เสาไห้.....	21
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม น้ำมันมะกอกและน้ำมันเมล็ด ..	22
ตารางที่ 4.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าความขาวและคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุก ในรีทอร์ตแพคเกจที่ 115, 121 และ 125 องศาเซลเซียส	23
ตารางที่ 4.5 สมบัติทางความร้อนของการเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกตินของข้าวหุงสุกที่เติม น้ำมันร้อยละ 6 ในรีทอร์ตแพคเกจที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ.....	26
ตารางที่ 4.6 สมบัติทางความร้อนของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมันของข้าว หุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 6 ในรีทอร์ตแพคเกจที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ	28
ตารางที่ 4.7 ร้อยละการเกิดผลึกของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตแพคเกจที่ระยะเวลาเก็บรักษา ต่างๆ.....	32
ตารางที่ ก.1 อัตราส่วนแอมิโลสและแอมิโลเพกตินเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน	49
ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของลักษณะทางเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกใน รีทอร์ตแพคเกจที่ 115, 121 และ 125 องศาเซลเซียส	55
ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความขาวของข้าวหุงสุกในรีทอร์ตแพคเกจที่ 115, 121 และ 125 องศาเซลเซียส	55
ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าว หุงสุกในรีทอร์ตแพคเกจที่ 115, 121 และ 125 องศาเซลเซียส	56
ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางความร้อนของการเกิดรีโทรเกรเด ชันของแอมิโลเพกตินของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตแพคเกจที่ระยะเวลาเก็บรักษา ต่างๆ.....	57
ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางความร้อนของสารประกอบเชิงซ้อน ของแอมิโลสกับไขมันของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตแพคเกจที่ระยะเวลาเก็บรักษา ต่างๆ.....	58

หน้า

ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตเพาซ์.....	59
ตารางที่ ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตเพาซ์.....	59
ตารางที่ ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเกาะติดกันของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตเพาซ์.....	60
ตารางที่ ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความขาวของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตเพาซ์.....	60
ตารางที่ ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบด้านสีของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตเพาซ์.....	61
ตารางที่ ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตเพาซ์.....	61
ตารางที่ ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบด้านความยอมรับรวมของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตเพาซ์.....	62
ตารางที่ จ.1 ค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	65
ตารางที่ จ.2 ค่าความเหนียวติดกัน (adhesiveness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	66
ตารางที่ จ.3 ค่าความเกาะติดกัน (cohesiveness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	67
ตารางที่ จ.4 ค่าความขาว (whiteness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ.....	68
ตารางที่ จ.5 สมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบสีของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ.....	69
ตารางที่ จ.6 สมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ.....	70
ตารางที่ จ.7 สมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ.....	71

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1 แบบจำลองโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช (starch granule).....	2
ภาพที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างแอมิโลเพกตินที่ประกอบด้วยสาย A, B และ C	3
ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ระหว่างการหุง	6
ภาพที่ 3.1 วิธีการเตรียมข้าวหุงสุกในรีโอร์ทเพาซ์.....	16
ภาพที่ 3.2 วิธีการเตรียมข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันพืชในรีโอร์ทเพาซ์.....	19
ภาพที่ 4.1 ค่าพลังงานการหลอมผลึกเนื่องจากรีโอร์ทเพาซ์ของแอมิโลเพกตินของตัวอย่างที่ ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ.....	30
ภาพที่ 4.2 ค่าพลังงานการหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสของตัวอย่างที่ ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ.....	30
ภาพที่ 4.3 ค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีโอร์ทเพาซ์ที่ ระยะเวลาต่างๆ	34
ภาพที่ 4.4 ค่าความเหนียวติดกัน (adhesiveness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ใน รีโอร์ทเพาซ์ที่ระยะเวลาต่างๆ	34
ภาพที่ 4.5 ค่าความเกาะติดกัน (cohesiveness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ใน รีโอร์ทเพาซ์ที่ระยะเวลาต่างๆ.....	35
ภาพที่ 4.6 ค่าความขาว (whiteness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ.....	36
ภาพที่ 4.7 คะแนนความชอบสีของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีโอร์ทเพาซ์ที่ระยะเวลา เก็บรักษาต่างๆ	37
ภาพที่ 4.8 คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีโอร์ทเพาซ์ที่ ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ.....	38
ภาพที่ 4.9 คะแนนความชอบโดยรวมของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีโอร์ทเพาซ์ที่ ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ.....	38
ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส (แต่ละจุดในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้ จากการทดลอง 3 ซ้ำ) เมื่อ x = ปริมาณแอมิโลส (เปอร์เซ็นต์) และ y = ค่าการดูด กลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร	50
ภาพที่ ง.1 Thermograms ของตัวอย่างของข้าวสารพันธุ์เสาไห้ (gelatinazation)	63
ภาพที่ ง.2 Thermograms ของข้าวเจ้าพันธุ์เสาไห้ที่ผ่านเวลาที่ไนซ์และเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน	63

ภาพที่ ง.3 Thermograms ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 6 ในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 วัน	64
---	----



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

ข้าวมีความสำคัญเนื่องจากประชากรกว่าครึ่งโลกบริโภคเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งชาวเอเชียที่รับประทานข้าวเกือบทุกมื้อโดยรับประทานในรูปของข้าวหุงสุก วิธีการดำรงชีวิตของผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลง ทำให้ผู้บริโภคนิยมรับประทานอาหารที่ง่าย สะดวก ประหยัดเวลาและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน จึงมีการผลิตข้าวหุงสุกในภาชนะปิดสนิท ซึ่งหนึ่งในบรรจุภัณฑ์ที่นิยมในปัจจุบันคือ รีทอร์ตแพจ ซึ่งมีการปรุงรสและทำให้มีพื้นที่ผิวต่อปริมาตรเพื่อถ่ายโอนความร้อนได้ดี จึงใช้เวลาในการฆ่าเชื้อด้วยความร้อนน้อยกว่ากระป๋องหรือขวดแก้วที่มีปริมาณบรรจุเท่ากัน ด้วยเหตุนี้รีทอร์ตแพจจึงสามารถคงคุณค่าทางโภชนาการ เนื้อสัมผัส และสีได้ นอกจากนี้อาหารที่บรรจุรีทอร์ตแพจยังสามารถนำมารับประทานได้สะดวกอีกด้วย อย่างไรก็ตามการเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวหุงสุกทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสที่เป็นตัวแปรด้านคุณภาพที่สำคัญที่สุด ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกมีหลายปัจจัยเช่น พันธุ์ข้าว สภาพการเก็บ ปริมาณแอมิโลส อัตราส่วนน้ำต่อข้าว วิธีการทำให้สุก เป็นต้น นอกจากนี้การรวมตัวของแอมิโลสและไขมันเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (amylose-lipid complex) ก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุก จากการศึกษาของ Zhou *et al.* (2007) พบว่าการเติมกรดไขมันอิ่มตัวคือ กรดสเตียริก (stearic acid) ในแป้งข้าว (rice starch) ทำให้พลังงานการหลอมผลึกที่เกิดจากการรีโทรเกรเดชันลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งปกติ (native starch) และ Lu *et al.* (2009) พบว่าการขจัดไขมันจากแป้งสาลีที่ทำบะหมี่เป็นสาเหตุให้ค่าความแข็ง (hardness) และความเกาะติดกัน (cohesiveness) ของบะหมี่สุกลดลงเมื่อเทียบกับแป้งสาลีที่ไม่ได้ขจัดไขมัน อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาอย่างชัดเจนถึงผลของน้ำมันพืชต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันและการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสในข้าวหุงสุก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของน้ำมันพืชที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบของกรดไขมันอิ่มตัวและไม่อิ่มตัวแตกต่างกันต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันและการเปลี่ยนแปลงเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกระหว่างการเก็บรักษาในรีทอร์ตแพจ โดยใช้ไขมันจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) เป็นตัวแทนของน้ำมันที่มีกรดไขมันอิ่มตัวสูง, น้ำมันมะกอก (olive oil) เป็นตัวแทนน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่ 1 ตำแหน่ง (monounsaturated fatty acids : MUFA) สูง และน้ำมันดอกทานตะวัน (sunflower oil) เป็นตัวแทนน้ำมันที่มีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่มากกว่า 1 ตำแหน่ง (polyunsaturated fatty acids : PUFA) สูง โดยน้ำมันทั้ง 3 ประเภทเป็นน้ำมันที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ซึ่งข้อมูลที่ได้คาดว่าจะประโยชน์ต่อการนำไปประยุกต์ในอุตสาหกรรมอาหารแปรรูปข้าวต่อไป

บทที่ 2 วารสารปริทัศน์

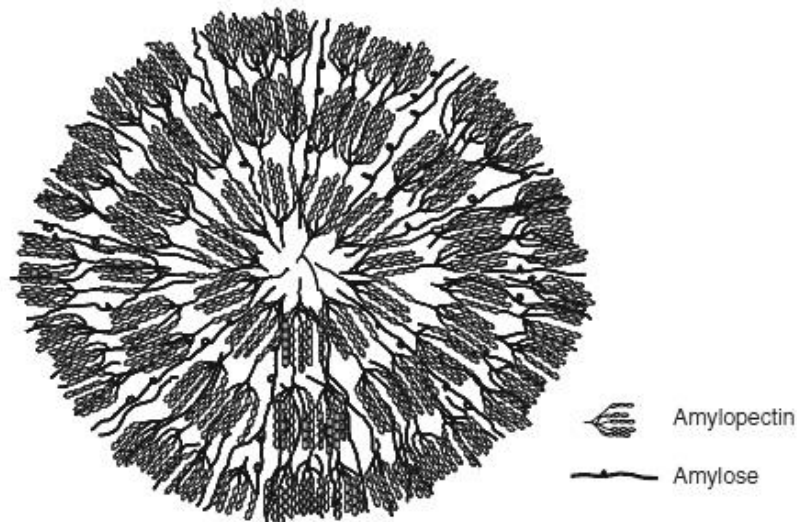
2.1 ข้าว

2.1.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าว

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของข้าวคือ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และน้ำ หรือปริมาณความชื้น

1) คาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตมีสตาร์ช (starch) เป็นองค์ประกอบหลัก และในโมเลกุลสตาร์ชประกอบด้วย 2 องค์ประกอบที่สำคัญคือ แอมิโลส (amylose) และแอมิโลเพกทิน (amylopectin) (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) โดยโครงสร้างของเม็ดสตาร์ชแสดงได้ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แบบจำลองโครงสร้างของเม็ดสตาร์ช (starch granule)

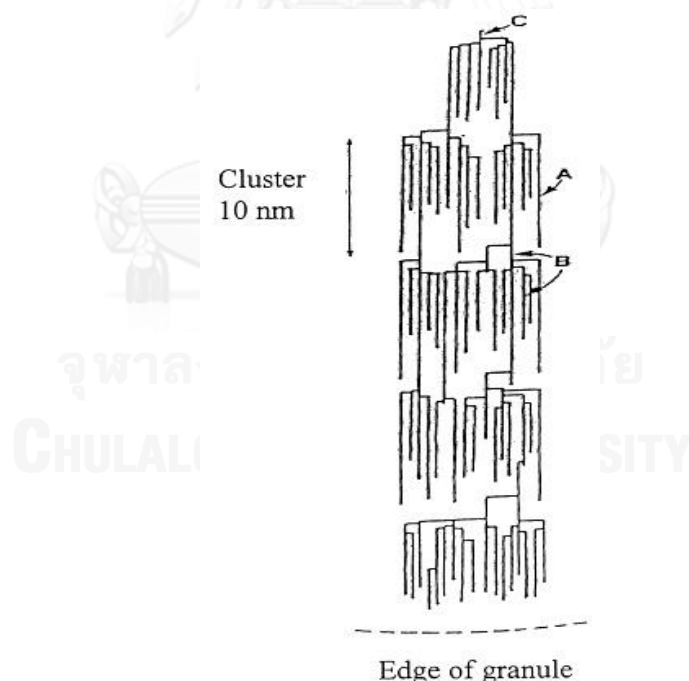
ที่มา : BeMiller and Whistler (2009)

แอมิโลสเป็นพอลิเมอร์เชิงเส้นซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสประมาณ 250 – 2000 หน่วย เชื่อมต่อกันด้วยพันธะกลูโคซิดิก (glucosidic linkage) ชนิดแอลฟา – 1,4 มีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 10^6 ดาลตัน โดยอาจมีพันธะชนิดแอลฟา – 1,6 ประมาณร้อยละ 0.3 – 0.5 ของพันธะ

ทั้งหมด แอมิโลสสามารถรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับไอโอดีนและสารประกอบอินทรีย์อื่นๆ เช่น กรดไขมัน สารลดแรงตึงผิว และ สารโพลาร์อื่นๆ (กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550; นิธิยา รัตนานนท์, 2548)

แอมิโลเพกทินเป็นพอลิเมอร์เชิงกิ่งของกลูโคส โดยมีทั้งพันธะชนิดแอลฟา - 1,4 และชนิดแอลฟา - 1,6 โดยปกติแอมิโลเพกทินมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าแอมิโลสประมาณ 1000 เท่า โดยโครงสร้างของแอมิโลเพกทินมีลักษณะโครงสร้างแบบกิ่งแตกต่างกัน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550) ดังภาพที่ 2.2 คือ

- 1) สาย A (A - chain) เชื่อมต่อกับสายกลูโคสอื่นที่ตำแหน่งเดียว
- 2) สาย B (B - chain) เชื่อมต่อกับสายกลูโคสอื่นๆ 2 สายหรือมากกว่า
- 3) สาย C (C - chain) เป็นสายแกนซึ่งมีหมู่รีดิวซิง 1 หมู่ โดยในแอมิโลเพกทินแต่ละโมเลกุลประกอบด้วยสาย C หนึ่งสายเท่านั้น



ภาพที่ 2. 2 ลักษณะโครงสร้างแอมิโลเพกทินที่ประกอบด้วยสาย A, B และ C

ที่มา : Martin and Smith (1995)

2) โปรตีน

โปรตีนในข้าวมีปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับพันธุ์ข้าว โดยข้าวที่ขัดสีแล้ว (milled rice) มีปริมาณโปรตีนจากการคำนวณโดยใช้แฟกเตอร์ 5.95 คุณโนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 6 – 13 (ตารางที่ 2.1) ซึ่งประกอบด้วยโปรตีนที่ละลายในน้ำหรือ แอลบูมิน (albumin) ร้อยละ 9.7 – 14.2, โปรตีนที่ละลายในเกลือหรือโกลบูลิน (globulin) ร้อยละ 13.5 – 18.9, โปรตีนที่ละลายในแอลกอฮอล์หรือโพรลามิน (prolamin) ร้อยละ 3.0 – 5.4 และโปรตีนที่ละลายในด่างหรือกลูเตลิน (glutelin) ร้อยละ 63.8 – 73.4 (Zhou *et al.*, 2002; อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

3) ไขมัน

ปริมาณไขมันในข้าวที่ขัดสีแล้วอยู่ระหว่างร้อยละ 0.3 – 0.6 (ตารางที่ 2.1) ขึ้นกับพันธุ์และแหล่งที่ปลูกข้าว ภายในเม็ดสตาร์ชเป็นไขมันประเภทสารประกอบโมโนแอซิล (monoacyl) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับแอมิไลส (Choudhury and Juliano, 1980; Ito *et al.*, 1979) โดยกรดไขมันในแป้งข้าว (rice starch) ที่มีอยู่มากคือ กรดปาล์มติก (palmitic acid) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) (Kitahara *et al.*, 1997)

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบต่างๆ ของข้าวเปลือกและส่วนที่ได้จากการขัดสี

Fraction	Protein, N x 5.95 (%)	Crude fat (%)
hull	2 - 4	0.4 - 0.8
brown rice	7 - 15	2 - 4
bran	12 - 17	15 - 22
polish	13 - 16	9 - 15
milled rice	6 - 13	0.3 - 0.6

ที่มา : BeMiller and Whistler (2009)

4) น้ำ

น้ำมีความสัมพันธ์กับอายุการเก็บรักษาของข้าวและยังสามารถบอกถึงความปลอดภัยในการเก็บรักษาให้ข้าวมีคุณภาพดี ระดับความชื้นของข้าวจะมีผลต่ออายุการเก็บรักษา โดยทั่วไป ข้าวที่ความชื้นร้อยละ 13 จะสามารถเก็บรักษาได้ประมาณ 6 เดือน แต่ถ้าข้าวมีความชื้นร้อยละ 12 จะทำให้เก็บรักษาได้นานขึ้น (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547)

2.1.2 การเกิดเจลลาทีโนเซชัน (Gelatinization)

เม็ดสตาร์ชไม่ละลายในน้ำเย็นแต่สามารถดูดซึมน้ำแบบผันกลับได้ เมื่อเม็ดสตาร์ชได้รับความร้อนในภาวะที่มีน้ำมากเกินพอ พันธะไฮโดรเจนในส่วนอสัณฐาน (amorphous region) จะถูกทำลายและน้ำจะถูกดูดซึม เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น น้ำจะเข้าไปและเกิดการพองตัวในส่วนอสัณฐาน ทำให้โครงสร้างผลึกถูกทำลาย ซึ่งการถูกรบกวนของส่วนอสัณฐานและส่วนผลึก ทำให้เม็ดสตาร์ชเกิดการสูญเสียความเป็นระเบียบแบบผันกลับไม่ได้ เรียกปรากฏการณ์ของเม็ดสตาร์ชนี้ว่า การเกิดเจลลาทีโนเซชัน (BeMiller, 2007)

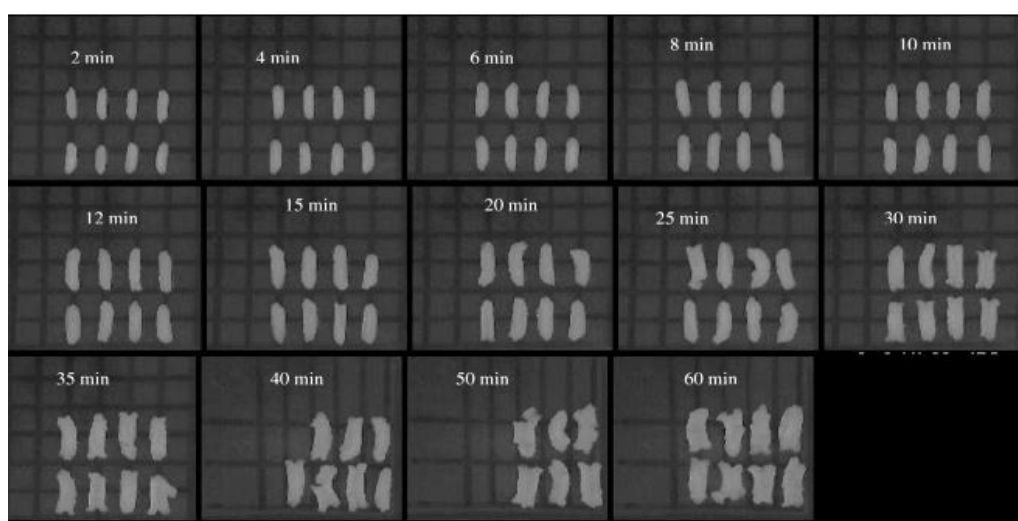
จากการศึกษาการเติมน้ำตาลซูโครสและโซเดียมคลอไรด์ในแป้งข้าวต่อการเกิดเจลลาทีโนเซชันด้วยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) พบว่า เมื่อเติมน้ำตาลซูโครสและโซเดียมคลอไรด์ในแป้งข้าว ทำให้อุณหภูมิการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (gelatinization temperature) เพิ่มขึ้น ส่วนค่าพลังงานการหลอมผลึกเนื่องจากการเกิดเจลลาทีโนเซชัน (enthalpy of gelatinization) มีค่าลดลง (Chungcharoen and Lund, 1987)

2.1.3 ข้าวหุงสุก

ข้าวหุงสุกเกิดจากการเจลลาทีโนเซชันของเม็ดสตาร์ชซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในข้าว ขณะหุงน้ำซึมเข้าไปในเม็ดสตาร์ชของข้าวตรงส่วนอสัณฐาน สายของแอมิโลสและแอมิโลเพกทินคลายตัวออก เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นพันธะไฮโดรเจนอ่อนแอลง น้ำสามารถซึมเข้าเมล็ดข้าวเพิ่มมากขึ้น เม็ดสตาร์ชพองตัวมากขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิแป้งสุกของข้าว (68 - 78 องศาเซลเซียส) ข้าวจะเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจนปฏิกิริยาไม่สามารถผันกลับได้ ข้าวเริ่มสุกจากผิวรอบนอกของเมล็ดก่อนแล้วค่อยๆ เพิ่มขึ้นความหนาของชั้นที่สุกขึ้นเรื่อยๆ ตามอุณหภูมิ และระยะเวลาในการให้ความร้อน จนถึงแกนด้านในของเมล็ดข้าว (อนลักษ์ณ์ โอบาริโกวิท, 2546)

Leelayuthsoontorn และ Thipayarat (2006) ศึกษาผลของการหุงข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่อุณหภูมิสูง (80,100,120 และ 140 องศาเซลเซียส) ภายใต้ความดัน (0, 0.1, 0.3 และ 0.5 MPa) ต่อลักษณะเนื้อสัมผัสโดยเครื่อง Texture analyser และลักษณะทางกายวิภาคบริเวณพื้นผิวรอบนอกและชั้นภายในของข้าวหุงสุกด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ข้าวหุงสุกมีค่าความแข็ง (hardness) ลดลง ลักษณะทางกายวิภาคบริเวณพื้นผิวรอบนอกมีลักษณะเป็นรูพรุนลดลงและชั้นภายในของข้าวหุงสุกมีขนาดของรูใหญ่ขึ้น

Yadav และ Jindal (2007) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ระหว่างการหุงที่ใช้น้ำเกินพอ (ข้าวสาร 8 เมล็ด/น้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 2 นาทีถึง 60 นาที พบว่า เมื่อผ่านการหุงประมาณ 20 – 25 นาที เมล็ดข้าวเริ่มแตกออกและเสีयरูปร่าง และที่ระยะเวลาการหุง 25 นาทีข้าวสุกทั่วทั้งเม็ด (fully cooked rice) ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงของข้าวพันธุ์สุพรรณบุรี 60 ระหว่างการหุง

ที่มา : Yadav and Jindal (2007)

2.1.4 การเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งสุก (Retrogradation)

ขณะที่สตาร์ชเกิดเจลลาทีนเซชัน เม็ดสตาร์ชของตัวเต็มทีและแตกออก ทำให้โมเลกุลแอมิโลสและแอมิโลเพกตินไม่มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบ เมื่ออุณหภูมิลดต่ำลงโมเลกุลของแอมิโลสและแอมิโลเพกตินที่อยู่ใกล้กันจับตัวกันใหม่ด้วยพันธะไฮโดรเจน เกิดการเรียงตัวกันใหม่และเกิดโครงสร้างที่เป็นระเบียบมากขึ้นเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การเกิดรีโทรเกรเดชันของสตาร์ช (retrogradation) โดยการเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลสจะใช้เวลานานกว่าแอมิโลเพกติน (กล้าณรงค์ ศรีรอด และเกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ, 2550; Gudmundsson และ Eliasson, 1990) ช่วงอุณหภูมิการหลอมผลึกของการเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกตินและแอมิโลสเท่ากับ 40 – 100 และ 120 – 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ (Karim et al., 2000) โดยโครงสร้างโมเลกุลของสตาร์ชที่เกิดการรีโทรเกรเดชันนี้ มีลักษณะโครงร่างผลึกแบบบี (B-pattern) เมื่อวิเคราะห์โดยเทคนิค X-ray diffraction (Karim et al., 2000) การเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวจะเกิดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัย

หลายประการ เช่น พันธุ์ข้าว สภาพการเก็บรักษา ปริมาณแอมิโลส ระดับการขัดสี อัตราส่วนข้าวต่อน้ำ วิธีการทำให้สุก (cooking methods) วิธีการลดอุณหภูมิหลังทำให้สุก (cooling methods) เป็นต้น (Yu *et al.*, 2009)

Yu และคณะ (2009) ศึกษาผลของข้าวผ่านการขัดสีที่มีปริมาณแอมิโลสต่างกัน (1.2 – 35.6) ต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของแป้งโดยเครื่อง Differential scanning calorimeter (DSC) และเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกด้วยเครื่อง Texture analyser ในระหว่างการเก็บรักษา (0, 1, 3, 7, 11 และ 14 วัน) ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียสพบว่า เมื่อเวลาเก็บรักษาเพิ่มขึ้น การเกิดรีโทรเกรเดชันเพิ่มขึ้น โดยข้าวหุงสุกเกิดรีโทรเกรเดชันเร็วในช่วง 3 วันแรกของการเก็บรักษาและหลังจากนั้นการเกิดรีโทรเกรเดชันจะช้าลง ซึ่งข้าวหุงสุกที่มีปริมาณแอมิโลสสูงเกิดรีโทรเกรเดชันเร็วกว่าข้าวหุงสุกที่มีปริมาณแอมิโลสต่ำ สอดคล้องกับค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงการเก็บรักษา 3 วันแรกและอัตราการเพิ่มเกิดช้าลงในช่วงเวลาเก็บรักษาต่อมา (7 – 14 วัน)

จากการศึกษาผลของอัตราการทำให้เย็น (cooling rate) (0.40, 1.11, 1.42, 1.64, 2.47 และ 3.36 องศาเซลเซียสต่อนาที) ต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวหุงสุก โดยเครื่อง DSC ในระหว่างการเก็บรักษา 14 วัน พบว่าเมื่ออัตราการทำให้เย็นเพิ่มขึ้น ค่าพลังงานการหลอมผลึกเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันลดลงแสดงว่า การทำให้เย็นแบบรวดเร็ว (rapid cooling rate) จะทำให้เกิดการรีโทรเกรเดชันได้น้อยกว่าการทำให้เย็นแบบช้า (slow cooling rate) ทั้งนี้อาจเนื่องจากการทำให้เย็นแบบรวดเร็วทำให้แอมิโลสและแอมิโลเพกตินรวมตัวได้น้อยและไม่แข็งแรง (Yu *et al.*, 2010)

อารีรัตน์ อิมศิลป์ (2544) ศึกษาผลของการลดอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวหุงสุกพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105, สุพรรณบุรี 60 และขาวตาแห้ง โดยเครื่อง DSC ที่มีปริมาณแอมิโลสเท่ากับ $15.12\% \pm 0.12$, $22.90\% \pm 0.07$ และ $29.42\% \pm 0.50$ ตามลำดับ โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 และ 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 0, 1, 3, 5 และ 7 วัน พบว่า ข้าวหุงสุกพันธุ์ขาวตาแห้งเกิดการรีโทรเกรเดชันสูงที่สุด รองลงมาคือ ข้าวหุงสุกพันธุ์สุพรรณบุรี 60 และพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 ตามลำดับระหว่างการเก็บรักษาทั้ง 2 อุณหภูมิ โดยการเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวหุงสุกพันธุ์ขาวตาแห้ง และสุพรรณบุรี 60 เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรกของการเก็บรักษาและหลังจากนั้นจะมีแนวโน้มคงที่ ในขณะที่ข้าวหุงสุกพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 เกิดรีโทรเกรเดชันต่ำมากในช่วง 3 วันแรกของการเก็บรักษาแต่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นและคาดว่าจะคงที่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลานาน และการเกิดรีโทรเกรเดชันเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียสสูงกว่าเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

เมยวดี แซ่เลี้ยว (2547) ศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋อง ด้วยเครื่อง DSC โดยใช้ข้าวหอมมะลิที่มีแอมิโลสต่ำและข้าวขาวตาแห้งที่มีแอมิโลสสูงที่ระยะเวลาเก็บรักษา 8 เดือนที่อุณหภูมิห้องพบว่า ช่วงแรกของการเก็บรักษาข้าวหอมมะลิเกิดรีโทรเกรเดชันช้ากว่าข้าวขาวตาแห้ง แต่เมื่อเก็บรักษานานขึ้นข้าวทั้งสองพันธุ์มีแนวโน้มการเกิดรีโทรเกรเดชันที่สูงขึ้นเช่นเดียวกัน

2.2 น้ำมัน

2.2.1 น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม (Palm kernel oil)

ผลปาล์มมีลักษณะเป็นทรงไข่ ยาวประมาณ 3 เซนติเมตรและมีสีแดงคล้ายสีลูกพลับ โดยน้ำมันปาล์มจะสกัดจากด้านนอกของผลปาล์ม (mesocarp) ส่วนน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) จะสกัดจากด้านในผลปาล์ม โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำมันปาล์มกับน้ำมันจากเมล็ดปาล์มที่สกัดได้เท่ากับ 8 ต่อ 1 กรดไขมันที่มีมากที่สุดหรือกรดไขมันหลักที่พบในน้ำมันจากเมล็ดปาล์มคือ กรดลอริก (lauric acid) มีอยู่ประมาณ 48% นอกจากนี้ยังมีกรดไมริสติก (myristic acid) ประมาณ 16%, กรดโอเลอิก (oleic acid) ประมาณ 15% และกรดไขมันอื่นๆ ไม่เกิน 10% (ตารางที่ 2.2) (Gunstone, 2000)

2.2.2 น้ำมันมะกอก (Olive oil)

น้ำมันมะกอกมีหลายประเภทโดยแบ่งตามปริมาณกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) เช่น น้ำมันมะกอกเอกซ์ตรา เวอร์จิ้น (extra virgin olive oil), น้ำมันมะกอกเวอร์จิ้น (virgin olive oil) และน้ำมันมะกอกผ่านกรรมวิธี (refined olive oil, light olive oil, extra light olive oil) เป็นต้น ซึ่งใช้ปริมาณกรดไขมันอิสระเป็นเกณฑ์ในการกำหนดคุณภาพของน้ำมันมะกอก โดยกรดไขมันที่มีมากที่สุดหรือกรดไขมันหลักคือ กรดโอเลอิกคืออยู่ในช่วง 55 – 85% และนอกจากนี้ยังมีกรดปาล์มิติก (palmitic acid) 7.5 – 20%, กรดสเตียริก (stearic acid) 0.5 – 5%, กรดปาล์มมิโตเลอิก (palmitoleic acid) 0.3 – 3.5%, กรดลิโนเลนิก (linolenic acid) 0.0 – 1.5% และมีกรดไขมันอื่นๆ อีกเล็กน้อย (ตารางที่ 2.2) (Gunstone, 2000)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม น้ำมันมะกอก

Fatty acid	Palm kernel oil (%)	Olive oil (%)
caproic acid (6:0)	0.2	-
caprylic acid (8:0)	3.3	-
capric acid (10:0)	3.5	-
lauric acid (12:0)	47.8	-
myristic acid (14:0)	16.3	0.0 – 0.1
palmitic acid (16:0)	8.5	7.5 – 20.0
palmitoleic (16:1)	-	0.3 – 3.5
heptadecanoic (17:0)	-	0.0 – 0.5
heptadecenoic (17:1)	-	0.0 – 0.6
stearic acid (18:0)	2.4	0.5 – 5.0
oleic acid (18:1)	15.4	55.0 – 83.0
linoleic acid (18:2)	2.4	3.5 – 21.0
linolenic acid (18:3)	-	0.0 – 1.5
arachidic acid (20:0)	-	0.0 – 0.8
behenic acid (22:0)	-	0.0 – 0.2
lignoceric acid (24:0)	-	0.0 – 1.0

ที่มา : Gunstone (2000)

2.2.3 น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (Sunflower oil)

น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันเป็นหนึ่งในน้ำมันพืชที่นิยมมากที่สุด น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันตามปกติเป็นน้ำมันที่มีปริมาณกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงเมื่อเทียบกับน้ำมันชนิดอื่น นอกจากนี้ยังมีน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันชนิดที่มีโอเลอิกสูง (high-oleic sunflower oil) และชนิดที่มีโอเลอิกปานกลาง (mid-oleic sunflower) อีกด้วย (ตารางที่ 2.3) (Gunstone, 2000)

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบของกรดไขมันในน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (ร้อยละ)

Fatty acid	Traditional	High-oleic	Mid-oleic
total saturates	11 – 13	9 – 10	< 10
oleic acid	20 – 30	80 – 90	55 – 75
linoleic acid	60 – 70	5 – 9	15 – 35
linolenic acid	< 1	< 1	< 1

ที่มา : Gunstone (2000)

2.3 ผลของไขมันต่อสมบัติของแป้ง

ไขมันเป็นเอสเทอร์ของกรดไขมัน 3 โมเลกุลกับกลีเซอรอล 1 โมเลกุล ซึ่งหากมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้องจะเรียกว่า น้ำมัน (oil) ซึ่งกรดไขมันสามารถแบ่งตามจำนวนคาร์บอนในโมเลกุลได้ 3 กลุ่มคือ กรดไขมันสายสั้นได้แก่ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 4 – 10 อะตอม กรดไขมันสายกลางได้แก่ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 12 – 14 อะตอมและกรดไขมันชนิดยาวได้แก่ กรดไขมันที่มีจำนวนคาร์บอนในโมเลกุล 16 อะตอมขึ้นไป (นิธิยา รัตนานนท์, 2548)

Matsuo และคณะ (1986) ศึกษาผลของไขมันต่อค่าการเกาะติดกัน (stickiness) ของเส้นสปาเก็ตตี้ พบว่าการสกัดไขมันออกจากแป้งทำเส้นสปาเก็ตตี้ทำให้ค่าการเกาะติดกันของเส้นสปาเก็ตตี้สูงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับตัวอย่างแป้งควบคุม ในทางตรงกันข้ามการเติมน้ำมันมะพร้าวหรือน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันร้อยละ 1 ในแป้งซาโมลินา (semolina) ทำให้ค่าการเกาะติดกันของเส้นสปาเก็ตตี้ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ โดยการมีไขมันเป็นองค์ประกอบระหว่างเจลาทีนซ์ทำให้แอมิโลสหลุดออกมาจากเม็ดสตาร์ชน้อยลงซึ่งการที่แอมิโลสหลุดออกมาน้อยลง ทำให้ค่าการเกาะติดกันลดลง

Hibi และคณะ (1990) ศึกษาผลของกรดไขมันต่อลักษณะการเกิดผลึกด้วยเครื่อง X-ray diffractometer ระหว่างการเกิดรีโทรเกรดชัน (retrogradation) ของข้าวหุงสุกด้วยเครื่อง โดยนำข้าวที่สกัดไขมันออกแล้ว มาเติมส่วนผสมกรดไขมัน (กรดปาล์มิติก, กรดโอเลอิกและกรดลิโนเลอิก) ร้อยละ 2.25 (โดยน้ำหนัก) เข้าไปใหม่ (refatted rice) ทำให้สุกแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส นาน 144 ชั่วโมงเพื่อให้เกิดการคืนตัว พบว่าข้าวที่ผ่านการเติมกรดไขมัน มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบวี (V-pattern) แสดงถึงการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและไขมัน ซึ่งชะลอการพัฒนา รูปแบบโครงสร้างผลึกแบบพีที่เกิดขึ้นภายหลังให้ช้าลงกว่าตัวอย่างข้าวที่ไม่มีการเติมกรดไขมัน (native rice) และข้าวที่มีการสกัดเอาไขมันออก (defatted rice)

Kaur และ Singh (2000) ศึกษาผลของการเติมกรดไขมันอิ่มตัว 3 ชนิดคือ กรดไมริสติก (myristic acid; C14:0) กรดปาล์มิติก (palmitic acid; C16:0) และกรดสเตียริก (stearic acid; C18:0) ในแป้งข้าว (rice flour) ต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไขมันกับแอมิโลส (amylose-lipid complex formation) จากค่า Complexing index และสมบัติทางความหนืด (pasting properties) ด้วยเครื่อง Brookfield viscometer พบว่า เมื่อให้ความร้อนกับตัวอย่างสารละลายแป้งข้าว (rice pastes) ที่เติมกรดไขมันร้อยละ 0, 1.5, 3.0 และ 4.5 ที่ 30 องศาเซลเซียสถึง 95 องศาเซลเซียส (1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที) แล้วให้ความร้อนคงที่ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30, 60 และ 90 นาที จากนั้นทำให้เย็นลงที่ 50 องศาเซลเซียสด้วยอัตรา 1.5 องศาเซลเซียสต่อนาที พบว่า ร้อยละของกรดไขมันและระยะเวลาให้ความร้อนมีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของไขมันกับแอมิโลส คือเมื่อร้อยละของกรดไขมันและระยะเวลาให้ความร้อนเพิ่มขึ้น ทำให้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับกรดไขมันเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามร้อยละของกรดไขมันมีอิทธิพลมากกว่าระยะเวลาให้ความร้อน นอกจากนี้กรดไมริสติกมีความสามารถในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลสได้สูงที่สุด รองลงมาคือ กรดปาล์มิติกและกรดสเตียริก ตามลำดับ ส่วนสมบัติทางความหนืดพบว่า เมื่อเพิ่มร้อยละกรดไขมัน อุณหภูมิเริ่มเกิดการเปลี่ยนค่าความหนืด (pasting temperature) ความหนืดสูงสุด (peak viscosity) ความหนืดที่อุณหภูมิ 95 และ 50 องศาเซลเซียสของแป้งข้าวเพิ่มขึ้น โดยกรดสเตียริกมีอิทธิพลมากที่สุด ส่วนกรดไมริสติกมีอิทธิพลมากที่สุดต่อค่าความหนืดที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส

Zhou และคณะ (2007) ศึกษาผลของการเติมกรดไขมัน 2 ชนิดคือ กรดสเตียริกที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัว (C18:0) และกรดลิโนเลอิก (linoleic acid) ที่เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัว (C18:2) ต่อการเกิดรีโทรเกรดชันของสตาร์ชข้าวโดยเครื่อง DSC พบว่า กรด สเตียริกมีผลทำให้เกิดการรีโทรเกรดชันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่กรดลิโนเลอิกมีผลทำให้การเกิด รีโทรเกรดชันลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้เนื่องจากโมเลกุลของกรดไขมันอิ่มตัวมีโครงสร้างที่ปรับเปลี่ยนได้ง่ายกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัวและไม่มีพันธะคู่ที่ไปขัดขวางการรวมตัวกับแอมิโลส ทำให้กรดไขมันอิ่มตัวสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้ดีกว่า

Lu และคณะ (2009) ศึกษาผลของไขมันอิสระต่อค่าความแข็ง (hardness) และค่าความเกาะติดกัน (cohesiveness) ของเส้นขนมที่ทำจากแป้งสาลีโดยเครื่อง Texture analyser พบว่าการขจัดไขมันอิสระทำให้ค่าความแข็งและความเกาะติดกันลดลง อาจเนื่องจากไขมันช่วยสนับสนุนการรวมตัวของร่างแหของกลูเตน (gluten network)

Zabar และคณะ (2009) ศึกษาผลของการเติมกรดสเตียริกและกรดลิโนเลอิกต่อโครงสร้างผลึกของแป้งมันฝรั่ง โดยเครื่อง X-ray diffractometer พบว่ารูปแบบโครงสร้างผลึกของตัวอย่างที่เติมน้ำมันทั้ง 2 ชนิดเป็นแบบวี คือเกิดพีคที่ 2θ เท่ากับ 7.4° , 13.1° และ 19.8° แต่ตัวอย่างที่เติมกรดสเตียริกเกิดพีคที่ 2θ เท่ากับ 21.7° เพิ่มอีกหนึ่งพีค

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมวัตถุดิบ

ข้าวเจ้า (พันธุ์เส้าไห้) ซื้อจากตลาดสามย่าน กรุงเทพมหานคร แล้วนำมาบรรจุแบบสุญญากาศในถุงอะลูมิเนียมลามิเนตและเก็บในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 ± 1 องศาเซลเซียส จนกว่าจะใช้ในการทดลอง

น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม (palm kernel oil) ได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด (มหาชน) (ประเทศไทย), น้ำมันมะกอก (olive oil) ยี่ห้อเทสโก้ ผลิตในประเทศสหราชอาณาจักร นำเข้าและจำหน่ายโดยบริษัท เอก-ชัย ดีสทรีบิวชั่น ซิสเทม จำกัด และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (sunflower oil) ยี่ห้อมรกต ผลิตโดยบริษัท มรกต อินดัสตรีส์ จำกัด (มหาชน) ซื้อจากห้างสรรพสินค้าเทสโก้ โลตัส น้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิดเก็บที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) จนกว่าจะใช้ในการทดลอง

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวและน้ำมันพืช

3.2.1.1 ข้าวสารพันธุ์เส้าไห้

บดด้วยเครื่องปั่นอเนกประสงค์ (Teral รุ่น BL 1161AD , Indonesia) และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 50 mesh สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน ไขมัน ความชื้นและแอมิโลสปรากฏ และร่อนด้วยตะแกรงขนาด 100 mesh สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน และวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวสาร ได้แก่

- 1) ปริมาณโปรตีน จากวิธี AOAC (2005) section 32.1.22 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.1)
- 2) ปริมาณไขมัน จากวิธี AOAC (2005) section 4.5.05 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.2)
- 3) ปริมาณความชื้น จากวิธี AOAC (2005) section 32.1.02 (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.3)
- 4) ปริมาณแอมิโลสปรากฏ (Juliano, 1971) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.4)

5) สมบัติทางความร้อนของข้าวสารโดยวัดด้วย Differential Scanning Calorimetry (Zhang et al., 2012) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5)

3.2.1.2 น้ำมันพืช

วิเคราะห์องค์ประกอบของกรดไขมัน (fatty acid profile) ในน้ำมันพืชทั้ง 3 ชนิด (ส่งตรวจวิเคราะห์ โดยอ้างอิงวิธีวิเคราะห์จาก Lepage and Roy, 1986)

3.2.2 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อข้าวหุงสุกในรีทอร์ตแพคเกจ

เตรียมข้าวหุงสุกในรีทอร์ตแพคเกจโดยดัดแปลงจากวิธีของ Byun และคณะ (2010) ดังภาพที่ 3.1 และวัดสมบัติต่างๆ ดังนี้

1) สมบัติทางจุลชีววิทยา ได้แก่ *Cl. botulinum* และ *B. stearothermophilus* (ส่งตรวจวิเคราะห์ โดยอ้างอิงวิธีวิเคราะห์จาก U.S. Food and Drug Administration, 2013)

2) ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง (hardness), ความเกาะติดกัน (cohesiveness) และความเหนียวติดกัน (adhesiveness) ด้วยเครื่อง Texture Analyzer (Stable Micro Systems รุ่น iGodalming, UK) โดยดัดแปลงจากวิธีของ Leelayuthsoontorn และ Thipayarat (2006) 10 ซ้ำ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.6)

3) ค่าความขาว โดยใช้เครื่อง Chroma Meter (Minolta รุ่น CR-400 series, Japan) ระบบ Hunter (L, a, b) 3 ซ้ำ และคำนวณค่าความขาว (whiteness) จากสมการ 3.1 (Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006)

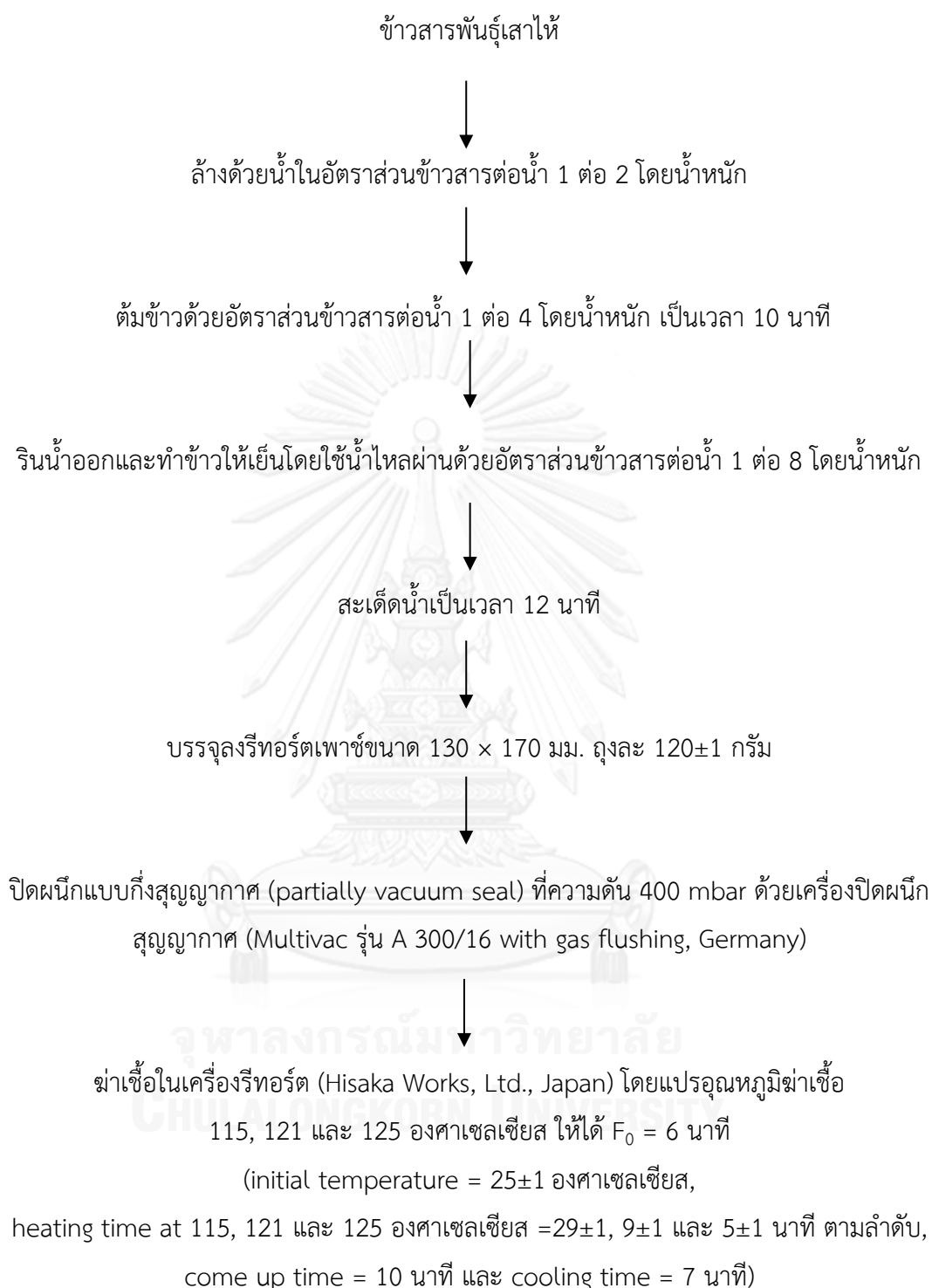
$$\text{ค่าความขาว} = 100 - [(100 - L)^2 + a^2 + b^2]^{0.5} \quad (3.1)$$

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (IBM, version 16, USA) เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4) สมบัติทางประสาทสัมผัส ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 50 คน ระหว่างอายุ 18 – 60 ปี ซึ่งเป็นนิสิตและบุคลากรในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยประเมินด้านสี (ดูสีข้าวจากถ้วยชิมสีขาว) เนื้อสัมผัส และโดยรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic Score 7 ระดับ) ทดสอบชิมตัวอย่างข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิห้อง (ไม่อุ่นก่อนชิม) จำนวน 3 ตัวอย่าง การทดสอบชิมโดยปริมาณตัวอย่างที่จัดให้ชิมเท่ากับ 15 กรัม และใช้แบบสอบถามภาคผนวก ข.1

วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เลือกอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากสมบัติในข้อ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ



ภาพที่ 3.1 วิธีการเตรียมข้าวหุงสุกในรีทอร์ตเพาซ์

3.2.3 ศึกษาผลของชนิดน้ำมันพืชต่อการเกิดรีโทรเกรเดชัน สมบัติกายภาพและสมบัติทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกในรีโทรเกรดเพาซ์ระหว่างการศึกษา

เตรียมข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันพืชในรีโทรเกรดเพาซ์โดยดัดแปลงจากวิธีของ Byun และคณะ (2010) ดังภาพที่ 3.2 เก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิห้อง (28 ± 2 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 6 เดือน และสุ่มตัวอย่างข้าวดังตารางที่ 3.1 เพื่อวัดสมบัติต่างๆ ดังนี้

ตารางที่ 3.1 การสุ่มตัวอย่างเพื่อตรวจสอบสมบัติต่างๆ

สมบัติต่างๆ	ระยะเวลาการเก็บรักษา									
	0	10	20	1	2	3	4	5	6	
	วัน	วัน	วัน	เดือน	เดือน	เดือน	เดือน	เดือน	เดือน	
สมบัติทางความร้อน	x				x		x		x	
ร้อยละการเกิดผลึก	x				x		x		x	
ลักษณะเนื้อสัมผัส	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
ค่าความขาว	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
สมบัติทางประสาทสัมผัส	x	x	x	x	x	x	x	x	x	

หมายเหตุ เครื่องหมาย x คือ วันที่สุ่มตัวอย่าง

1) สมบัติทางความร้อนของข้าวหุงสุกโดยวัดด้วย Differential Scanning Calorimetry วัด 2 ซ้ำ (Zhang et al., 2012) (รายละเอียดแสดงในภาคผนวก ก.5)

2) ร้อยละการเกิดผลึกโดย X-ray Diffractometer (ส่งตรวจวิเคราะห์ โดยอ้างอิงวิธีวิเคราะห์จาก Rewthong et al., 2011)

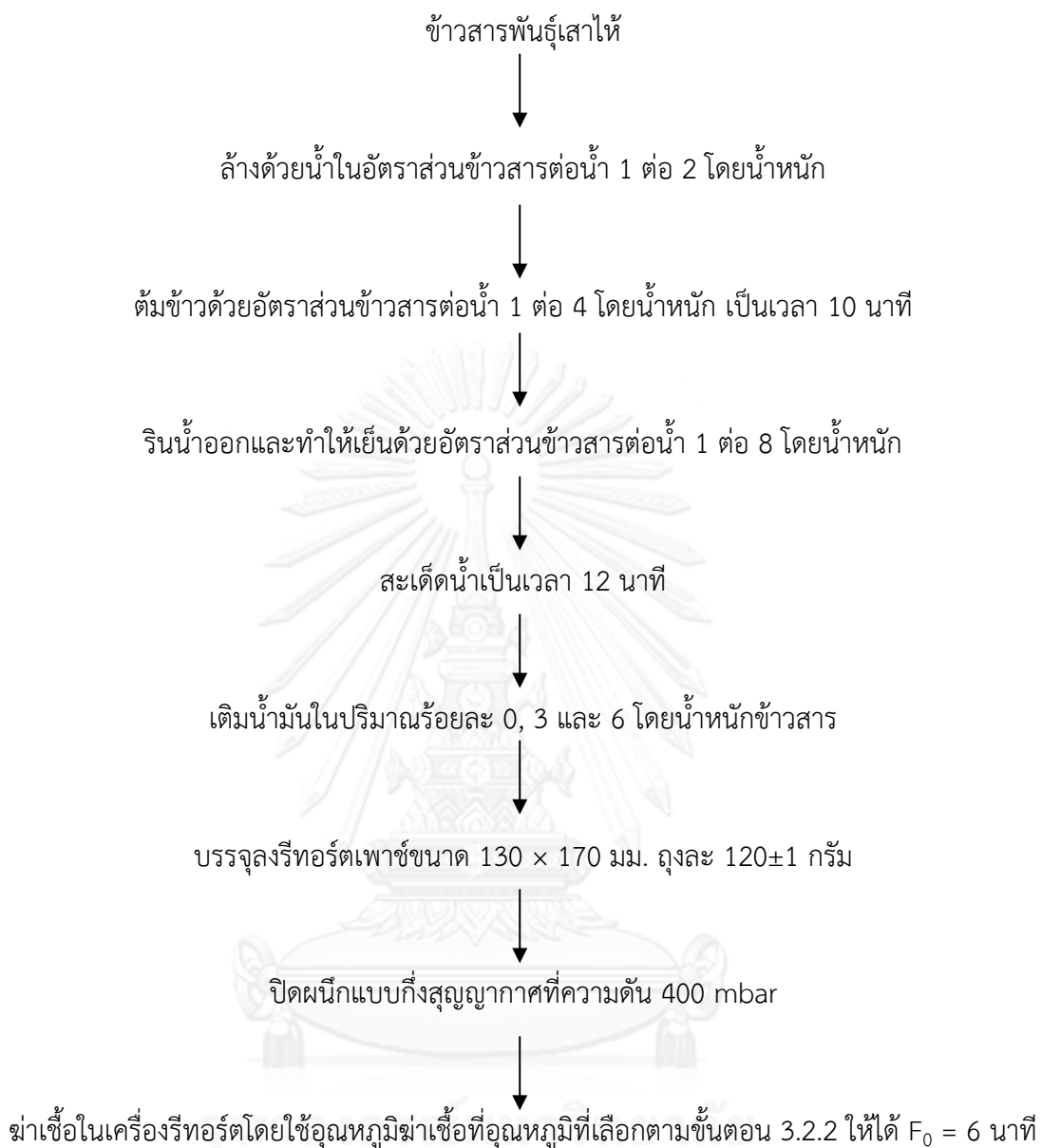
3) ลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง, ความเกาะติดกันและความเหนียวติดกัน ด้วยเครื่อง Texture Analyzer วัด 10 ซ้ำ

4) ค่าความขาวในระบบ Hunter โดยใช้เครื่อง Chroma Meter วัด 3 ซ้ำ

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Completely Randomized Design วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

5) สมบัติทางประสาทสัมผัส โดยวิธีการให้คะแนนความชอบ (Hedonic Score 7 ระดับ) ใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝน 48 คน ระหว่างอายุ 18 – 60 ปี นิสิตและบุคลากรในภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยประเมินด้านสี (ดูสีข้าวจากถ้วยชิมสีขาว) เนื้อสัมผัส และโดยรวม โดยทดสอบชิมตัวอย่างข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิห้อง (ไม่อุ่นก่อนชิม) จำนวน 3 ตัวอย่าง ปริมาณตัวอย่างที่ชิมเท่ากับ 15 กรัม (แบบสอบถามที่ใช้มีรายละเอียดแสดงในภาคผนวก ข.2)

วางแผนการทดลองแบบ Factorial in Randomized Complete Block Design วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพที่ 3.2 วิธีการเตรียมข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันพืชในรีทอร์ตเพาซ์

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของข้าวและน้ำมันพืช

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางกายภาพและเคมีของข้าวเจ้าพันธุ์เส้าไห้ (ตารางที่ 4.1) พบว่า มีความชื้น โปรตีนและไขมัน ร้อยละ 10.8, 7.37 และ 0.46 ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานของ Varavinit และคณะ (2003) ที่พบว่าข้าวไทย 11 สายพันธุ์ มีช่วงความชื้น โปรตีนและไขมัน ร้อยละ 10 – 12, 6 – 11 และ 0.2 – 0.4 ตามลำดับ และมีปริมาณแอมิโลสปรากฏร้อยละ 27.85 ซึ่งจัดว่าเป็นพันธุ์ข้าวที่มีแอมิโลสสูง (high amylose rice) เนื่องจากมีปริมาณแอมิโลสสูงกว่าร้อยละ 25 (BeMiller and Whistler, 2009)

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของข้าวเจ้าพันธุ์เส้าไห้

องค์ประกอบ	ปริมาณ (ร้อยละ)
ความชื้น	10.8±0.04
โปรตีน	7.37±0.06
ไขมัน	0.41±0.02
ปริมาณแอมิโลสปรากฏ	27.85±0.11

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
คำนวณเทียบเป็นน้ำหนักเปียก (wet basis)

จากการวัดสมบัติทางความร้อนของข้าวเจ้าพันธุ์เส้าไห้ (ตารางที่ 4.2 และภาพที่ ง.1 – ง.2) พบว่า ช่วงการหลอมผลึกที่เกิดจากเจลาทีนในเซชันของแอมิโลเพกตินคือ 69 – 94 องศาเซลเซียส ช่วงการหลอมผลึกที่เกิดจากเจลาทีนในเซชันของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันคือ 93 – 108 องศาเซลเซียส ช่วงการหลอมผลึกที่เกิดจากรีโทรเกรดชันของแอมิโลเพกตินคือ 47 – 68 องศาเซลเซียส และการหลอมผลึกของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันคือ 92 – 109 องศาเซลเซียส ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Zhou และคณะ (2007) ที่พบว่าช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เป็นช่วงการหลอมผลึกของการเกิดรีโทรเกรดชันของแอมิโลเพกตินและที่ช่วงอุณหภูมิสูงตั้งแต่ 100 องศาเซลเซียสขึ้นไป เป็นช่วงการหลอมผลึกที่เกิดจากการรวมตัวของแอมิโลสกับไขมัน โดยพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกเนื่องจากการที่เกิดจากเจลาทีนในเซชันและรีโทรเกรดชันของแอมิโลเพกตินและที่เกิดจากเจลาทีนในเซชันและรีโทรเกรดชันของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันเท่ากับ 9.81, 6.21, 0.55 และ 0.83 จูลต่อกรัม ตามลำดับ Zhou et al. (2007)

ตารางที่ 4.2 สมบัติทางความร้อนของข้าวสารพันธุ์เส้าไห้

Thermal behaviors	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔT (°C)	ΔH (J/g)
Gelatinization of amylopectin	69.15±1.13	82.68±0.29	93.11±0.37	23.96±0.75	9.81±0.03
Gelatinization of Amylose-lipid complex	93.73±0.00	100.43±0.17	107.88±0.82	14.15±0.82	0.55±0.18
Retrogradation of amylopectin	47.44±0.19	58.30±0.65	67.74±0.28	20.31±0.47	6.21±0.39
Retrogradation of Amylose-lipid complex	92.58±0.43	101.32±0.53	108.46±0.14	15.89±0.57	0.83±0.08

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบกรดไขมันของน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม น้ำมันมะกอกและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน (ตารางที่ 4.3) พบว่า กรดไขมันที่มีปริมาณมากที่สุดหรือกรดไขมันหลักของน้ำมันทั้ง 3 ชนิดคือ กรดลอริก (ร้อยละ 40.61), กรดโอเลอิก (ร้อยละ 86.14) และกรดลิโนเลอิก (ร้อยละ 60.09) ตามลำดับ สอดคล้องกับ นิธิยา รัตนานนท์ (2548) ที่อธิบายว่าน้ำมันจากเมล็ดปาล์มมีกรดไขมันหลักคือ กรดลอริกร้อยละ 50.4 น้ำมันมะกอกมีกรดไขมันหลักคือ กรดโอเลอิกร้อยละ 57.7 และน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันมีกรดไขมันหลักคือ กรดลิโนเลอิกร้อยละ 70.0 ทั้งนี้ปริมาณที่พบแตกต่างกัน อาจเนื่องจากแหล่งของน้ำมันที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบของกรดไขมันของน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม น้ำมันมะกอกและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน

ชนิดกรดไขมัน	ปริมาณกรดไขมัน (ร้อยละ)		
	น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม	น้ำมันมะกอก	น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน
C10 : 0 Capric acid	1.53	-	-
C12 : 0 Lauric acid	40.61	-	-
C14 : 0 Myristic acid	21.14	-	-
C16 : 0 Palmitic acid	14.90	11.77	6.50
C18 : 0 Stearic acid	0.38	-	0.36
C18 : 1 Oleic acid	21.44	86.14	33.06
C18 : 2 Linoleic acid	-	2.09	60.09

4.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อข้าวหุงสุกในรีโอร์ตเพาซ์

จากการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ วัดลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าสีและประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกหลังการฆ่าเชื้อที่ 115, 121 และ 125 องศาเซลเซียส และ F_0 เท่ากับ 6 นาที พบว่า

4.2.1 คุณภาพทางจุลชีววิทยา

ข้าวหุงสุกทุกตัวอย่างไม่พบ *Cl. botulinum* และ *B. stearothermophilus* แสดงว่า สภาวะที่ใช้มีความเพียงพอต่อการทำลายเชื้อทั้ง 2 ชนิด โดยการกำหนดความร้อนที่ใช้ในกระบวนการฆ่าเชื้อในเชิงการค้าเพื่อให้อาหารปลอดภัยต่อผู้บริโภคนั้นจะต้องทำลายจุลินทรีย์ *Cl. botulinum* ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญได้ที่อุณหภูมิห้อง ไม่ต้องการใช้อากาศในการเจริญ และก่อให้เกิดโรค botulism (Lindström *et al.*, 2006) นอกจากนี้ *B. stearothermophilus* ก็เป็นจุลินทรีย์ที่สำคัญในกระบวนการฆ่าเชื้อเพราะเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถทนความร้อนได้สูง (Cook and Gilbert, 1968)

4.2.2 ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัส ได้แก่ ความแข็ง, ความเกาะติดกันและความเหนียวติดกัน (ตารางที่ 4.4) พบว่า ข้าวที่ผ่านการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิต่างกันมีค่าความแข็ง, ความเกาะติดกันและความเหนียวติดกันไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าเมื่ออุณหภูมิฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น ข้าวหุงสุกมีค่าความแข็งลดลง ค่าความเหนียวติดกันเพิ่มขึ้น ซึ่งอาจเนื่องมาจากระหว่างการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิสูงขึ้น เกิดการรั่วของแอมิโลสออกจากเม็ดสตาร์ช (amylose leaching) เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเคลือบเป็นฟิล์มที่เมล็ดข้าวจึงส่งผลให้ค่าความแข็งลดลงและค่าความเหนียวติดกันเพิ่มขึ้น (Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006)

ตารางที่ 4.4 ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าความขาวและคะแนนความชอบทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกในรีทอร์ตแพคเกจที่ฆ่าเชื้อที่ 115, 121 และ 125 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	ลักษณะเนื้อสัมผัส			คะแนนความชอบทางประสาทสัมผัส			ค่าความขาว ^{ns}
	ความแข็ง ^{ns} (g)	ความเหนียวติดกัน ^{ns} (g.sec)	ความเกาะติดกัน ^{ns}	สัมผัส			
				สี	เนื้อสัมผัส ^{ns}	โดยรวม ^{ns}	
115	1079.89 ±232.13	16.42 ±1.73	0.50 ±0.00	4.51 ^c ±0.10	4.70 ±0.54	4.72 ±0.40	45.37 ±0.52
121	1036.47 ±113.80	20.38 ±1.98	0.48 ±0.01	5.03 ^b ±0.30	4.63 ±0.04	4.72 ±0.03	45.56 ±0.70
125	979.77 ±77.53	19.88 ±0.16	0.49 ±0.03	5.32 ^a ±0.14	4.57 ±0.83	4.80 ±0.62	45.06 ±1.62

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ns หมายถึง ค่าเฉลี่ยในแนวตั้งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.3 ค่าความขาว

จากการวัดค่า L , a และ b และคำนวณค่าความขาวจากสมการที่ 3.1 (ตารางที่ 4.4) พบว่าทุกตัวอย่างมีค่าความขาวไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) อย่างไรก็ตามมีแนวโน้มว่าเมื่ออุณหภูมิฆ่าเชื้อเพิ่มขึ้น ค่าความขาวลดลง สอดคล้องกับรายงานของ Leelayuthsoontorn และ Thipayarat (2006) ที่พบว่า ระดับค่าความขาวของข้าวหุงสุกลดลงเมื่อระดับอุณหภูมิทำให้สุกเพิ่มขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลที่ไม่อาศัยเอนไซม์ (Maillard reaction) ระหว่างการฆ่าเชื้อ (Islam *et al.*, 2004)

4.2.4 สมบัติทางประสาทสัมผัส

จากการประเมินความชอบด้านสี เนื้อสัมผัส และโดยรวม (ตารางที่ 4.4) พบว่าตัวอย่างจากทั้ง 3 อุณหภูมิการฆ่าเชื้อ มีคะแนนการยอมรับด้านเนื้อสัมผัสและโดยรวม ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องจากผู้ทดสอบไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างได้ อย่างไรก็ตามคะแนนความชอบด้านสีมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในขณะที่ค่าความขาวที่วัดด้วยเครื่องมือไม่แตกต่างกัน ซึ่งอาจเนื่องจากผู้ทดสอบเป็นผู้ที่ไม่ได้ผ่านการฝึกฝน จึงทำให้คะแนนความชอบด้านสีแตกต่างกัน

จากผลการทดลองโดยรวมพบว่าอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อมีผลต่อสมบัติทางจุลชีววิทยา ลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าความขาวและสมบัติทางประสาทสัมผัสอย่างไม่มีนัยสำคัญ ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิที่ 121 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิในการฆ่าเชื้อในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากการฆ่าเชื้อตัวอย่างที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียสใช้พลังงานในการให้ความร้อนน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 125 องศาเซลเซียสและเวลาของการฆ่าเชื้อน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 115 องศาเซลเซียส

4.3 ศึกษาผลของชนิดน้ำมันพืชต่อการเกิดรีโทรเกรดเซน สมบัติกายภาพและสมบัติทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกในรีโอร์ตแพคเกจระหว่างการเก็บรักษา

4.3.1 สมบัติทางความร้อน

จากการวัดสมบัติทางความร้อนของตัวอย่างข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม น้ำมันมะกอกและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันปริมาณร้อยละ 6 โดยสุ่มตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 วัน, 2 เดือน, 4 เดือนและ 6 เดือน (ตารางที่ 4.5 – 4.6 และภาพที่ 4.1 – 4.2) โดยตัวอย่าง thermograms ของตัวอย่างที่ระยะเวลาเก็บรักษา 0 วันแสดงในภาพที่ 4.3 และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของข้อมูล (ตารางที่ ค.4 – ค.5) พบว่า ชนิดน้ำมันมีผลต่อพลังงานในการหลอมผลึกเนื่องจากรีโทรเกรดเซนของแอมิโลเพกติน (ΔH_R) ช่วงอุณหภูมิในการหลอมผลึกสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและไขมัน (ΔT_{A-L}) และพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน (ΔH_{A-L}) อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่ออุณหภูมิในการหลอมผลึกเนื่องจากรีโทรเกรดเซนของแอมิโลเพกตินและช่วงอุณหภูมิในการหลอมผลึกเนื่องจากรีโทรเกรดเซนของแอมิโลเพกตินอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่ออุณหภูมิในการหลอมผลึกเนื่องจากรีโทรเกรดเซนของแอมิโลเพกติน ช่วงอุณหภูมิในการหลอมผลึกเนื่องจากรีโทรเกรดเซนของแอมิโลเพกติน (ΔT_R), ΔH_R , อุณหภูมิในการหลอมผลึกเนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและไขมัน ช่วงอุณหภูมิเริ่มต้น (T_o) และสุดท้าย (T_c) การหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันและ ΔH_{A-L} แต่ไม่มีผลต่ออุณหภูมิสูงสุด (T_p) ในการหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน ($p > 0.05$) นอกจากนี้ปัจจัยร่วมระหว่างชนิดน้ำมันและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่ออุณหภูมิเริ่มต้นและอุณหภูมิสูงสุดในการหลอมผลึกเนื่องจากรีโทรเกรดเซนของแอมิโลเพกติน, ΔT_R , ΔH_R , อุณหภูมิเริ่มต้นและสุดท้ายในการหลอมผลึกเนื่องจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสและไขมัน ΔT_{A-L} และ ΔH_{A-L} อย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่ออุณหภูมิสุดท้ายในการหลอมผลึกเนื่องจากรีโทรเกรดเซนของแอมิโลเพกตินและอุณหภูมิสูงสุดในการหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

ตารางที่ 4.5 สมบัติทางความร้อนของการเกิดรีโทรเกรดชันของแอมิโลเพกตินของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 6 ในรีทอร์ตแพซซ์ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

Storage	Sample	Retrogradation of amylopectin				
		T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔT _R (°C)	ΔH _R (J/g)
0 day	Control	47.67 ^{bcd} ±0.94	60.46 ^e ±0.17	70.26 ^{fg} ±0.59	22.59 ^g ±0.35	3.51 ^e ±0.15
	Palm kernel oil	47.83 ^{bcd} ±0.54	60.26 ^e ±0.32	71.44 ^{ef} ±0.13	23.61 ^g ±0.66	2.89 ^{fg} ±0.05
	Olive oil	47.03 ^{cde} ±0.49	60.29 ^e ±0.35	72.01 ^e ±1.31	24.98 ^g ±1.80	3.57 ^e ±0.14
	Sunflower oil	46.00 ^e ±0.26	60.14 ^e ±0.18	69.78 ^g ±0.05	23.78 ^g ±0.21	2.43 ^g ±0.15
	Control	46.29 ^{de} ±0.31	68.00 ^{ab} ±0.17	80.59 ^{ab} ±0.46	34.30 ^{bc} ±0.15	3.71 ^e ±0.37
2 months	Palm kernel oil	49.13 ^{ab} ±0.46	68.38 ^a ±0.00	80.01 ^{abc} ±1.05	30.87 ^{de} ±1.51	3.32 ^{ef} ±0.02
	Olive oil	48.15 ^{bc} ±0.30	67.32 ^c ±0.03	80.63 ^{ab} ±0.91	32.48 ^{cd} ±1.21	3.67 ^e ±0.06
	Sunflower oil	46.29 ^{de} ±0.54	68.46 ^a ±0.13	80.59 ^{ab} ±0.13	34.29 ^{bc} ±0.67	2.75 ^g ±0.43
	Control	46.29 ^{de} ±0.31	68.00 ^{ab} ±0.17	80.59 ^{ab} ±0.46	34.30 ^{bc} ±0.15	3.71 ^e ±0.37

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) สมบัติทางความร้อนของการเกิดรีโทรเกรดชันของแอมิโลเพกตินของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 6 ในรีทอร์ตแพชท์ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

Storage	Sample	Retrogradation of amylopectin				
		T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔT _R (°C)	ΔH _R (J/g)
4 months	Control	50.66 ^a	68.44 ^a	78.67 ^{cd}	28.00 ^f	4.31 ^d
		±0.95	±0.43	±0.14	±1.10	±0.01
	Palm kernel oil	48.15 ^{bc}	67.05 ^{cd}	77.62 ^d	29.47 ^{ef}	5.14 ^{abc}
		±0.34	±0.01	±1.62	±1.96	±0.23
	Olive oil	48.25 ^{bc}	67.66 ^{bc}	78.57 ^{cd}	30.32 ^{def}	5.52 ^a
±0.36		±0.58	±0.47	±0.83	±0.03	
Sunflower oil	49.07 ^{ab}	67.43 ^{bc}	78.90 ^{bcd}	29.83 ^{def}	4.59 ^{cd}	
	±1.40	±0.54	±0.56	±0.84	±0.29	
6 months	Control	43.72 ^{fg}	66.59 ^d	80.78 ^a	37.06 ^a	5.17 ^{ab}
		±1.04	±0.08	±0.69	±1.73	±0.06
	Palm kernel oil	44.11 ^f	67.27 ^c	80.28 ^{abc}	36.17 ^{ab}	4.78 ^{bcd}
		±0.95	±0.01	±0.14	±1.09	±0.59
	Olive oil	42.32 ^f	67.27 ^c	80.45 ^{ab}	38.12 ^a	4.61 ^{cd}
±1.21		±0.00	±0.81	±2.02	±0.10	
Sunflower oil	46.08 ^e	66.44 ^d	80.04 ^{abc}	33.96 ^{bc}	4.80 ^{bcd}	
	±0.10	±0.22	±0.08	±0.18	±0.18	

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ 4.6 สมบัติทางความร้อนของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมันของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 6 ในรีทอร์ตแพจที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

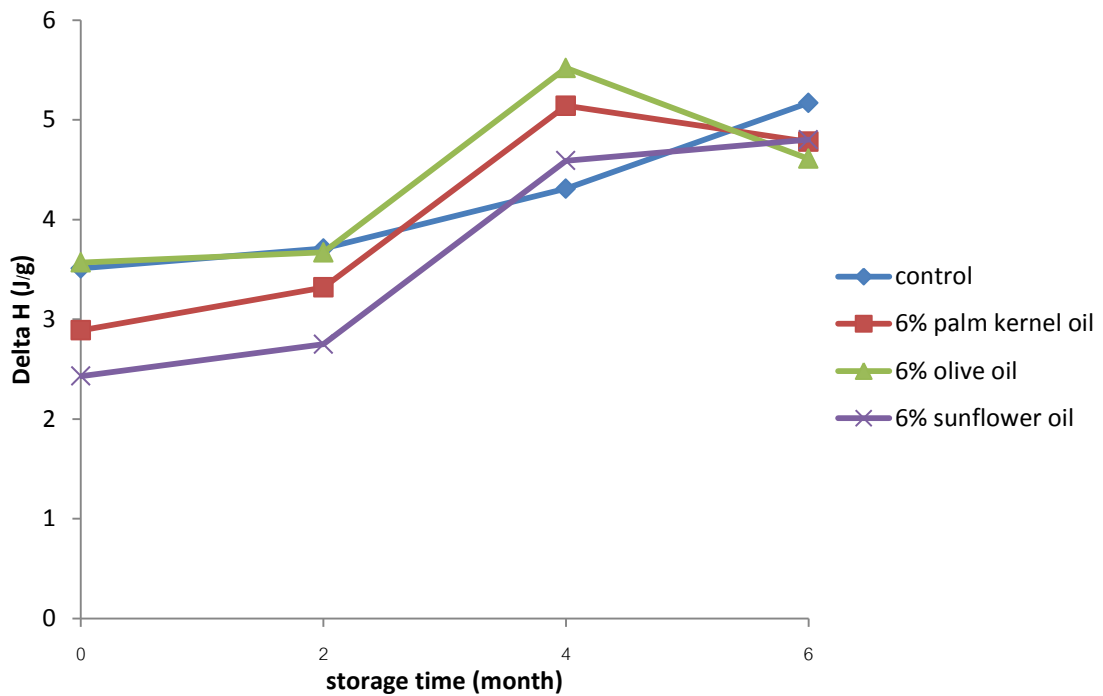
Storage	Sample	Amylose-lipid complex				
		T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔT _{A-L} (°C)	ΔH _{A-L} (J/g)
0 day	Control	89.74 ^a ±0.48	101.80 ^{ab} ±0.33	107.85 ^d ±0.91	18.11 ^h ±1.39	1.16 ^g ±0.22
	Palm kernel oil	84.43 ^{cd} ±0.26	101.53 ^{ab} ±0.02	109.55 ^{cd} ±0.00	25.11 ^{de} ±0.26	1.29 ^{fg} ±0.11
	Olive oil	88.15 ^{ab} ±1.77	103.12 ^a ±1.59	110.34 ^{bc} ±0.28	22.19 ^{fg} ±1.50	0.92 ^h ±0.10
	Sunflower oil	87.71 ^b ±0.31	101.51 ^{ab} ±0.65	109.45 ^{cd} ±0.13	21.74 ^g ±0.45	0.85 ^h ±0.02
	Control	81.27 ^{efg} ±0.00	101.46 ^{ab} ±0.12	108.76 ^{cd} ±0.11	27.49 ^{cd} ±0.11	2.07 ^{bc} ±0.02
2 months	Palm kernel oil	82.17 ^{efg} ±1.10	101.31 ^{abc} ±0.33	108.80 ^{cd} ±0.23	26.63 ^{cde} ±0.86	1.81 ^d ±0.05
	Olive oil	81.89 ^{efg} ±0.96	101.56 ^{ab} ±0.02	110.02 ^{bcd} ±1.30	28.13 ^c ±0.34	1.86 ^{cd} ±0.28
	Sunflower oil	81.27 ^{efg} ±0.16	99.45 ^c ±2.22	109.37 ^{cd} ±0.76	28.10 ^c ±0.91	1.99 ^{bcd} ±0.01
	Control	81.27 ^{efg} ±0.00	101.46 ^{ab} ±0.12	108.76 ^{cd} ±0.11	27.49 ^{cd} ±0.11	2.07 ^{bc} ±0.02

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) สมบัติทางความร้อนของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมันของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 6 ในรีทอร์ตแพซซ์ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

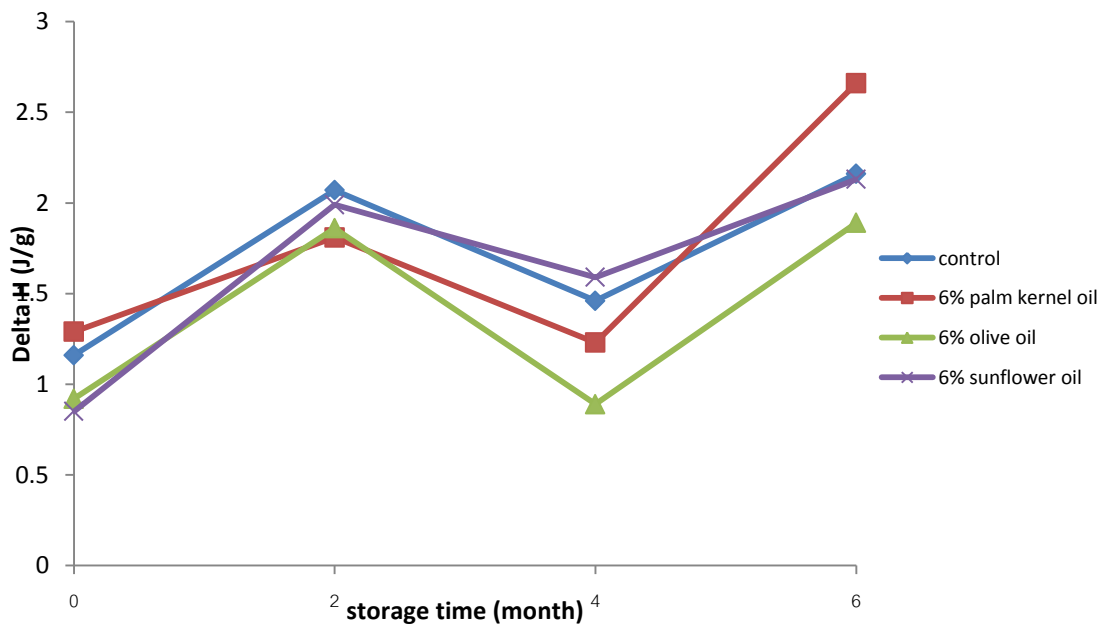
Storage	Sample	Amylose-lipid complex				
		T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔT _{A-L} (°C)	ΔH _{A-L} (J/g)
4 months	Control	86.23 ^{bc} ±1.13	100.66 ^{bc} ±0.60	108.11 ^{cd} ±1.85	21.88 ^g ±0.72	1.46 ^{ef} ±0.06
	Palm kernel oil	83.32 ^{de} ±0.21	100.94 ^{bc} ±0.30	107.74 ^d ±1.00	24.41 ^{ef} ±1.21	1.23 ^{fg} ±0.06
	Olive oil	84.80 ^{cd} ±1.85	102.34 ^{ab} ±0.42	109.36 ^{cd} ±0.76	24.56 ^e ±1.09	0.89 ^h ±0.03
	Sunflower oil	81.07 ^{fg} ±0.75	100.93 ^{bc} ±1.05	109.78 ^{bcd} ±0.25	28.71 ^{bc} ±1.00	1.59 ^e ±0.09
6 months	Control	83.12 ^{def} ±1.03	100.78 ^{bc} ±0.35	110.16 ^{bc} ±0.88	27.03 ^{cd} ±0.15	2.16 ^b ±0.00
	Palm kernel oil	80.72 ^g ±0.57	101.38 ^{ab} ±0.00	114.42 ^a ±1.86	33.70 ^a ±2.43	2.66 ^a ±0.04
	Olive oil	81.52 ^{efg} ±0.96	101.77 ^{ab} ±0.35	109.87 ^{bcd} ±0.52	28.35 ^c ±0.45	1.89 ^{cd} ±0.08
	Sunflower oil	80.95 ^{fg} ±0.05	101.61 ^{ab} ±0.33	111.90 ^b ±1.17	30.95 ^b ±1.22	2.13 ^b ±0.04

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 2 ซ้ำ ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



ภาพที่ 4.1 ค่าพลังงานการหลอมผลึกเนื่องจากรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกตินของตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ



ภาพที่ 4.2 ค่าพลังงานการหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสของตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บรักษาต่างๆ

อุณหภูมิของการหลอมผลึกเนื่องจากรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกตินและการหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันของทุกตัวอย่างตลอดระยะเวลาการเก็บ 6 เดือนอยู่ในช่วงประมาณ 46 – 81 และ 80 – 112 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเดียวกันตัวอย่างที่เติมน้ำมันค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกตินมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ค่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมผลึกของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ Eliasson และ Ljunger (1988) ที่พบว่า การเติมน้ำมันถั่วเหลือง (soya bean oil) ในสตาร์ชข้าวโพดข้าวเหนียว (waxy maize starch) ที่ผ่านการเก็บรักษา 7 วัน ค่า ΔH_R ของตัวอย่างลดลงจาก 14.3 เป็น 12.9 จูลต่อกรัม ทั้งนี้เนื่องจากส่วนที่เป็นเส้นตรงของแอมิโลเพกตินมีโครงสร้างเป็นแบบเกลียวเหมือนแอมิโลส ซึ่งโครงสร้างภายในของเกลียวทั้งแอมิโลเพกตินและแอมิโลสมีสมบัติเป็น hydrophobic คือไม่มีขั้ว ส่วนน้ำมันเป็นสารไม่มีขั้วจึงสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเกลียวของแอมิโลสและแอมิโลเพกตินได้ จึงไปขัดขวางการรวมตัวของแอมิโลเพกติน (Gudmundsson และ Eliasson, 1990; Ottenhof และ Farhat, 2004) เมื่อพิจารณาผลของชนิดน้ำมันที่เติมพบว่า ตัวอย่างที่เติมน้ำมันมะกอกมีแนวโน้มของค่า ΔH_R มากที่สุด ซึ่งอาจเนื่องจากน้ำมันมะกอกมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล ซึ่งพันธะคู่นี้มีผลทำให้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสกับไขมันได้ไม่ดี (Zhou *et al.*, 2007) จึงอาจเป็นสาเหตุให้ตัวอย่างที่เติมน้ำมันมะกอกมีแนวโน้มของค่า ΔH_{A-L} มีค่าน้อยที่สุด นอกจากนี้ที่ทุกระยะเวลาเก็บรักษา ค่า ΔT_R และ ΔT_{A-L} ของตัวอย่างที่เติมน้ำมันมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม แสดงว่าตัวอย่างที่เติมน้ำมันมีความแตกต่างของความแข็งแรงของผลึกหรือมีความหลากหลายของรูปแบบผลึกมากกว่าตัวอย่างควบคุม ค่า ΔH_R ของทุกตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บรักษา สอดคล้องกับรายงานของ Yu และคณะ (2009) ที่พบว่าเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 14 วัน ค่า ΔH_R ของข้าวหุงสุกมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่า ΔH_{A-L} ของตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเก็บรักษานานขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องจากเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันจะเกิดได้มากขึ้นและแข็งแรงมากขึ้น

4.3.2 ร้อยละการเกิดผลึก

จากการวิเคราะห์ร้อยละการเกิดผลึกของตัวอย่างข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม น้ำมันมะกอกและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันปริมาณร้อยละ 6 โดยสุ่มตัวอย่างที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 วัน, 2 เดือน, 4 เดือนและ 6 เดือน (ตารางที่ 4.7) พบว่า ที่ทุกระยะเวลาการเก็บรักษา ชนิดผลึกเป็นแบบผสมระหว่างแบบวีและบี (V+B type) ($2\theta = 5^{\circ}, 15^{\circ}, 17^{\circ}, 20^{\circ}$ และ 21°) ส่วนที่ระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ร้อยละการเกิดผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 4 เดือน สอดคล้องกับรายงานของ Ribotta และคณะ (2004) ที่ศึกษาการแข็งตัวของขนมปัง (staling) หลังการเก็บรักษา 168 ชั่วโมงและพบว่า ร้อยละการเกิดผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ใน 24 ชั่วโมงแรกและลดลงเล็กน้อย เมื่อเก็บรักษานานกว่า 24 ชั่วโมง และทุกระยะเวลาการเก็บรักษา ร้อยละการเกิดผลึกของตัวอย่างที่เติมน้ำมันมีค่ามากกว่าตัวอย่างควบคุม โดยน้ำมันจากเมล็ดปาล์มมีแนวโน้มทำให้ร้อยละการเกิดผลึกมีค่ามากที่สุด ซึ่งผลของร้อยละการเกิดผลึกไม่สอดคล้องกับผลของสมบัติทางความร้อนในด้านปัจจัยของการเติมน้ำมัน ทั้งนี้อาจเนื่องจากปริมาณผลึกที่เกิดขึ้นอาจเป็นผลึกที่ไม่ค่อยแข็งแรงจึงทำให้พลังงานที่จะใช้ในการหลอมผลึกเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของ แอมิโลเพกตินมีค่าน้อย

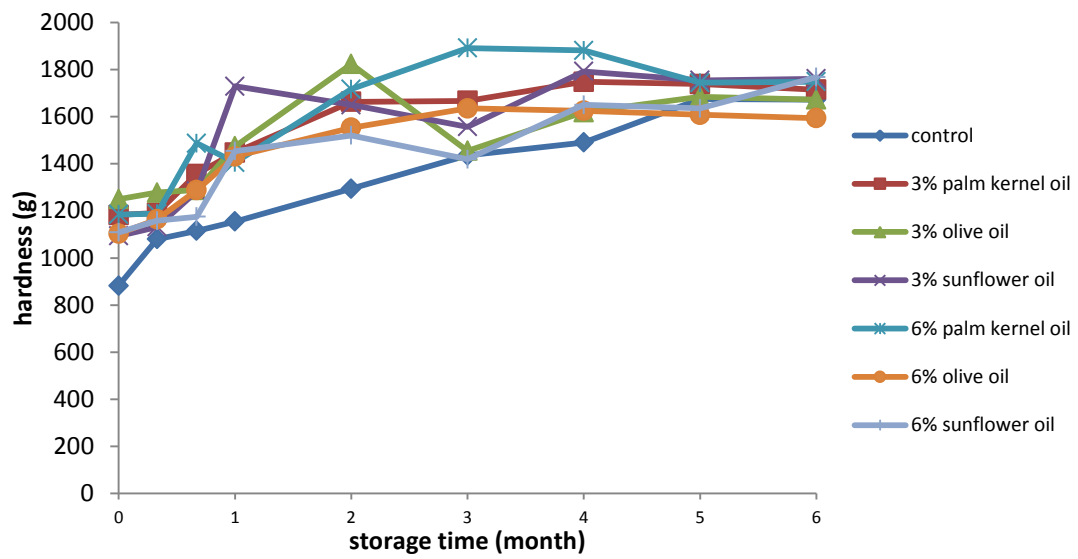
ตารางที่ 4.7 ร้อยละการเกิดผลึกของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีโทรเกรดเพาซ์ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

ตัวอย่าง	ร้อยละการเกิดผลึก			
	0 วัน	2 เดือน	4 เดือน	6 เดือน
ตัวอย่างควบคุม	1.34	2.85	4.02	3.34
น้ำมันจากเมล็ดปาล์ม ร้อยละ 6	2.41	4.38	5.15	4.48
น้ำมันมะกอก ร้อยละ 6	2.19	4.19	5.17	4.56
น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวัน ร้อยละ 6	1.99	4.14	5.08	4.17

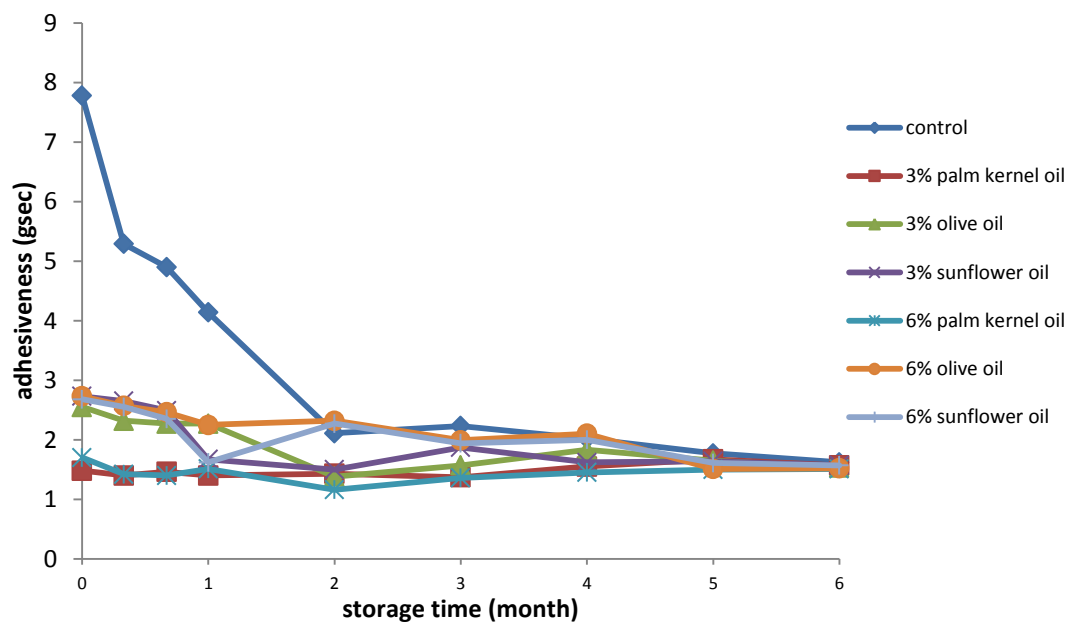
4.3.3 ลักษณะเนื้อสัมผัส

จากการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสของตัวอย่างข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม น้ำมันมะกอกและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันปริมาณร้อยละ 3 และ 6 หลังการเก็บรักษาระยะเวลาต่างๆ เป็นเวลา 6 เดือน (ภาพที่ 4.3 - 4.5 และตารางที่ จ.1- จ.3) และจากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ ค.6 - ค.8) พบว่า ชนิดน้ำมัน ระดับร้อยละของน้ำมันและระยะเวลาการเก็บรักษา มีผลต่อค่าความแข็งและค่าความเหนียวติดกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ส่วนค่าความเกาะติดกันมีค่าขึ้นกับระดับร้อยละของน้ำมันและระยะเวลาเก็บรักษาแต่ไม่ขึ้นกับชนิดน้ำมัน นอกจากนี้ปัจจัยร่วมระหว่างชนิดน้ำมันกับระดับร้อยละของน้ำมันและระดับร้อยละของน้ำมันกับระยะเวลาเก็บรักษาของน้ำมันมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความแข็ง ค่าความเหนียวติดกันและค่าความเกาะติดกัน ($p \leq 0.05$) ส่วนปัจจัยร่วมระหว่างชนิดน้ำมันและระยะเวลาเก็บรักษามีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความแข็งและค่าความเหนียวติดกัน ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อค่าความเกาะติดกัน ($p > 0.05$)

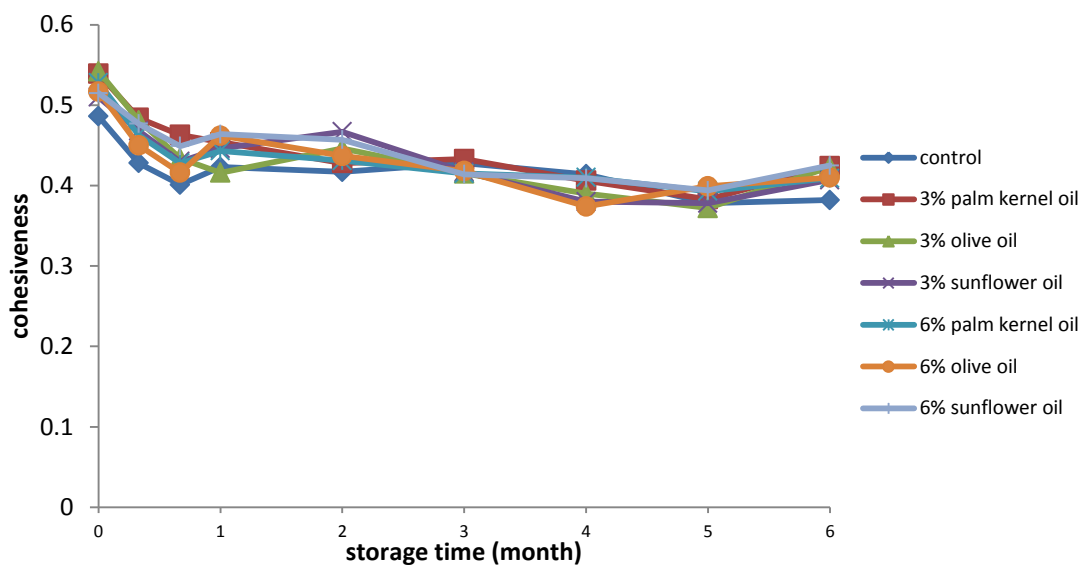
น้ำมันจากเมล็ดปาล์มมีแนวโน้มทำให้ข้าวหุงสุกมีค่าความแข็งมากที่สุดและค่าความเหนียวติดกันน้อยที่สุด สอดคล้องกับปริมาณร้อยละการเกิดผลึกของตัวอย่างที่เติมน้ำมันจากเมล็ดปาล์มมีค่ามากที่สุด (ตารางที่ 4.7) ทั้งนี้อาจเนื่องจากกรดลอริกซึ่งเป็นกรดไขมันอิ่มตัวที่มีปริมาณมากที่สุดในน้ำมันจากเมล็ดปาล์มสามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับแอมิโลสได้ดีหรือมีความเป็นระเบียบมากกว่ากรดไขมันไม่อิ่มตัว (Zhou *et al.*, 2007) การเพิ่มระดับน้ำมันที่เติมทำให้ค่าความแข็งและค่าความเกาะติดกันมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเหนียวติดกันมีค่าลดลง สอดคล้องกับรายงาน Lu และคณะ (2009) ที่พบว่า เมื่อปริมาณไขมันอิสระในแป้งสาลีเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งของเส้นบะหมี่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ Matsuo และคณะ (1986) ได้รายงานเกี่ยวกับความแข็งของเส้นบะหมี่ที่เพิ่มขึ้นว่า เนื่องจากแอมิโลสที่หลุดออกมาระหว่างทำให้สุกมีปริมาณลดลงเมื่อมีการเติมไขมันลงไป และระยะเวลาเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้ค่าความแข็งเพิ่มขึ้น ค่าความเหนียวติดกันและค่าความเกาะติดกันมีค่าลดลง สอดคล้องกับ Villareal และคณะ (1976) ที่รายงานว่า ข้าวหุงสุกมีค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น โดยค่าความแข็งที่เพิ่มขึ้นนี้สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ของร้อยละการเกิดผลึกและพลังงานที่จะใช้ในการหลอมผลึกเนื่องจากการเกิดรีโทรเกรเดชันของแอมิโลเพกตินที่เพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น (Villareal *et al.*, 1976) (Matsuo *et al.*, 1986)



ภาพที่ 4.3 ค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาต่างๆ



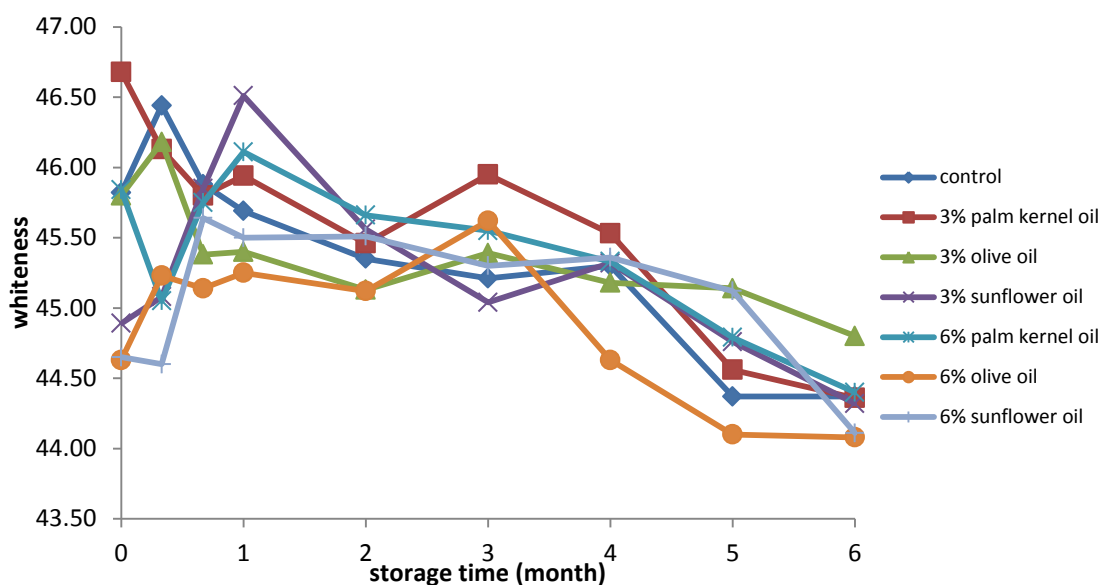
ภาพที่ 4.4 ค่าความเหนียวติดกัน (adhesiveness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 4.5 ค่าความเกาะติดกัน (cohesiveness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตแพคเกจที่ระยะเวลาต่างๆ

4.3.4 ค่าความขาว

จากการวัดค่าสีและคำนวณค่าความขาวของตัวอย่างข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม น้ำมันมะกอกและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันปริมาณร้อยละ 3 และ 6 หลังการเก็บรักษาเป็นเวลา 6 เดือน และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ ค.9, ภาคผนวก ค) พบว่า ระดับร้อยละของน้ำมันและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อค่าความขาวอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ในทางตรงกันข้ามชนิดน้ำมันและอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่างๆ ไม่มีผลต่อค่าความขาวอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ดังนั้นจึงพิจารณาผลของระยะเวลาการเก็บและร้อยละของน้ำมันต่อค่าความขาวเฉลี่ยของตัวอย่างที่เติมน้ำมันชนิดต่างๆ (ภาพที่ 4.6 และตารางที่ จ.4) ที่ระยะเวลาเก็บรักษา 10 วัน ร้อยละของน้ำมันที่เพิ่มขึ้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อค่าความขาว ($p \leq 0.05$) และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ค่าความขาวมีแนวโน้มลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Park และคณะ (2012) ที่พบว่า เมื่อระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น ค่าความขาวของข้าวมีค่าลดลงที่ทุกอุณหภูมิการเก็บรักษา ซึ่งอาจเนื่องจากการเสื่อมสภาพของคุณภาพของข้าวหรืออาจเป็นเพราะปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard reaction) ระหว่างกรดแอมิโนและน้ำตาลรีดิวซ์ในข้าว

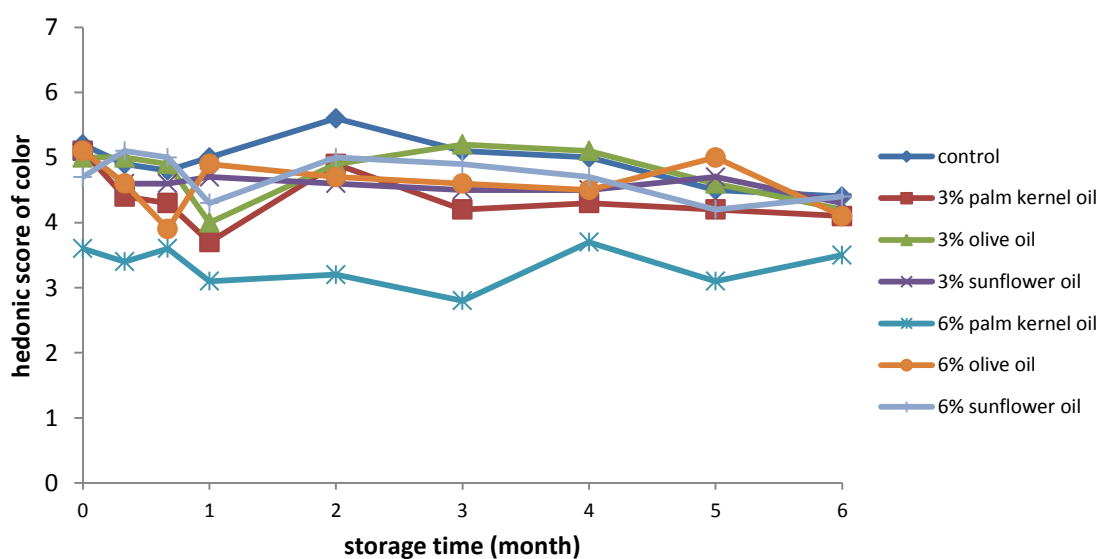


ภาพที่ 4.6 ค่าความขาว (whiteness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

4.3.5 สมบัติทางประสาทสัมผัส

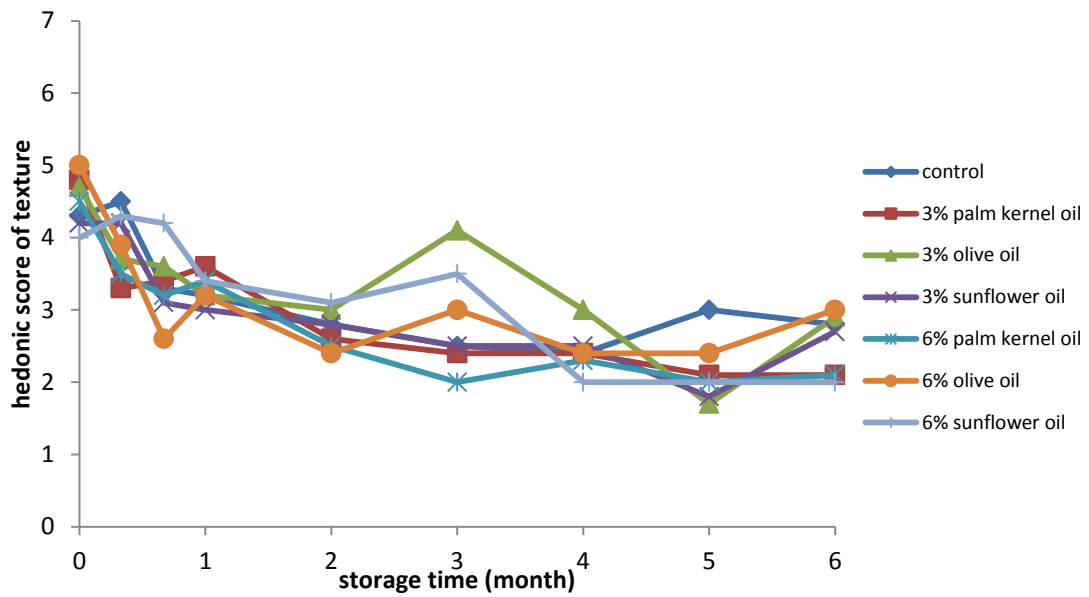
จากการประเมินสมบัติทางประสาทสัมผัสของตัวอย่างข้าวหุงสุก ที่เติมน้ำมันจากเมล็ดปาล์ม น้ำมันมะกอกและน้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันปริมาณร้อยละ 3 และ 6 หลังการเก็บรักษาระยะเวลาต่างๆ เป็นเวลา 6 เดือน (ภาพที่ 4.7 – 4.9 และตารางที่ จ.5 – จ.7) และวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ตารางที่ ค.10 – ค.12, ภาคผนวก ค) พบว่า ชนิดน้ำมัน ระดับร้อยละของน้ำมันและระยะเวลาการเก็บรักษามีผลต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) โดยปัจจัยร่วมระหว่างชนิดน้ำมันกับระดับร้อยละของน้ำมันมีผลต่อคะแนนความชอบด้านสีและความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ปัจจัยร่วมระหว่างชนิดน้ำมันและระยะเวลาเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) ส่วนปัจจัยร่วมระหว่างระดับร้อยละของน้ำมันที่เติมและระยะเวลาเก็บรักษามีผลต่อคะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) นอกจากนี้ปัจจัยร่วมระหว่างทั้ง 3 ปัจจัยมีผลต่อคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) แต่ไม่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$)

น้ำมันจากเมล็ดปาล์มมีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการวัดลักษณะเนื้อสัมผัสคือ น้ำมันจากเมล็ดปาล์มมีแนวโน้มทำให้ตัวอย่างมีค่าความแข็งมากที่สุดและค่าความเหนียวติดกันน้อยที่สุด (ภาพที่ 4.3 – 4.4 และตารางที่ จ.1 – จ.2) ซึ่งส่งผลให้คะแนนความชอบมีค่าน้อยที่สุด และเมื่อระดับร้อยละของน้ำมันและระยะเวลาการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นมีแนวโน้มทำให้คะแนนความชอบด้านสี เนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมมีค่าลดลง สอดคล้องกับ Park และคณะ (2012) ที่รายงานว่า ปัจจัยด้านระยะเวลาเก็บรักษามีผลต่อสมบัติทางประสาทสัมผัสด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของข้าวหุงสุก คือเมื่อระยะเวลาการเก็บเพิ่มขึ้น คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและความชอบโดยรวมของข้าวหุงสุกลดลง นอกจากนี้จากคะแนนความชอบของทุกด้านจะพบว่า ค่าคะแนนความชอบมีค่าค่อนข้างต่ำทั้งนี้อาจเนื่องจากตัวอย่างก่อนทำการทดสอบไม่ได้ผ่านการอุ่น



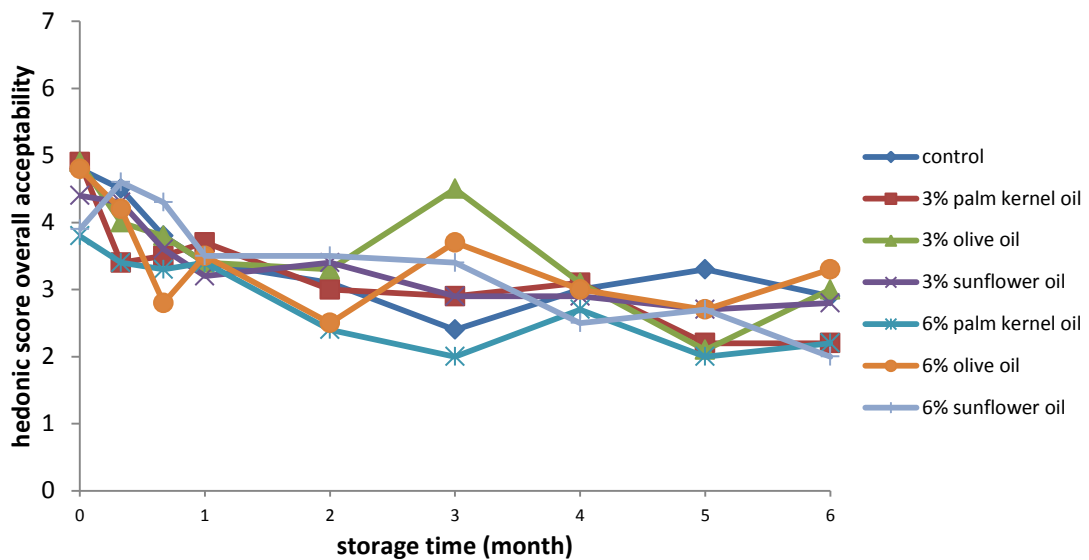
ภาพที่ 4.7 คะแนนความชอบสีของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตแพคเกจที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 7 หมายถึง ชอบมากที่สุด



ภาพที่ 4.8 คะแนนความชอบเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตแพจที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 7 หมายถึง ชอบมากที่สุด



ภาพที่ 4.9 คะแนนความชอบโดยรวมของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตแพจที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด และ 7 หมายถึง ชอบมากที่สุด

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ข้าวเจ้าพันธุ์เส้าไห้ มีความชื้น โปรตีน ไขมัน และปริมาณแอมิโลสปรากฏเท่ากับร้อยละ 10.8, 7.37, 0.46 และ 27.85 ตามลำดับ มี ΔT_R และ ΔT_{A-L} คือ 47 – 68 และ 92 - 109 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และ ΔH_R และ ΔH_{A-L} เท่ากับ 6.21 และ 0.83 จูลต่อกรัม ตามลำดับ

จากการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการฆ่าเชื้อพบว่า การฆ่าเชื้อข้าวหุงสุกที่อุณหภูมิ 115, 121 และ 125 องศาเซลเซียส ที่ F_0 เท่ากับ 6 ไม่พบ *Cl. botulinum* และ *B. stearothermophilus* และไม่มีผลต่อลักษณะเนื้อสัมผัส ค่าความขาวและคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสและโดยรวมอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) แต่มีผลต่อคะแนนความชอบด้านสีอย่างมีนัยสำคัญ ($p \leq 0.05$) ดังนั้นจึงเลือกอุณหภูมิที่ 121 องศาเซลเซียสในขั้นตอนต่อไป เนื่องจากเป็นอุณหภูมิฆ่าเชื้อที่ใช้พลังงานและเวลาในกระบวนการฆ่าเชื้อที่เหมาะสมที่สุด

จากการศึกษาผลของน้ำมันพืชต่อการเกิดริ้วรอยเกรเดชัน สมบัติกายภาพและสมบัติทางประสาทสัมผัสของข้าวหุงสุกในรีโอร์ตแพคเกจระหว่างการเก็บรักษาพบว่า การเติมน้ำมันทำให้คุณภาพโดยรวมของตัวอย่างข้าวหุงสุกมีคุณภาพโดยรวมลดลงเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ได้เติมน้ำมัน เมื่อเทียบเฉพาะตัวอย่างที่เติมน้ำมันทั้ง 3 ชนิด พบว่า น้ำมันทั้ง 3 ชนิดมีผลทำให้คุณภาพของข้าวในด้านต่างๆ ต่ำลง แต่น้ำมันเมล็ดดอกทานตะวันเป็นน้ำมันที่ทำให้คุณภาพของข้าวเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ส่วนด้านปริมาณน้ำมัน พบว่า ปริมาณน้ำมันที่เติมที่ร้อยละ 3 ดีกว่าร้อยละ 6 และปัจจัยด้านระยะเวลาการเก็บรักษา พบว่า ในช่วงระหว่างการเก็บรักษาที่ระยะเวลา 0 – 10 วัน มีอัตราการเปลี่ยนแปลงทางด้านคุณภาพของข้าวช้า แต่เมื่อเก็บรักษาเป็นเวลามากกว่า 10 วัน อัตราการเปลี่ยนแปลงจะเร็วขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาขั้นตอนการเติมน้ำมันพืชในข้าวก่อนและหลังทำให้สุกบางส่วน (pre-cooked) เนื่องจากมีผลต่อการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมันที่แตกต่างกัน
2. ควรมีการอุ่นตัวอย่างข้าวหุงสุกก่อนทำการทดสอบชิม

รายการอ้างอิง

- AOAC (2005). Official methods of analysis. Washington, D.C.: The Association of the Official Analytical Chemists.
- BeMiller, J. N. (2007). "Carbohydrate chemistry for food scientists," American Association of Cereal Chemists, Inc (AACC).
- BeMiller, J. N., and Whistler, R. L. (2009). "Starch: Chemistry and Technology," Academic Press.
- Byun, Y., Hong, S. I., Mangalassary, S., Bae, H. J., Cooksey, K., Park, H. J., and Whiteside, S. (2010). The performance of organic and inorganic coated retort pouch materials on the shelf life of ready-to-eat rice products. *LWT - Food Science and Technology* 43, 862-866.
- Choudhury, N. H., and Juliano, B. O. (1980). Effect of amylose content on the lipids of mature rice grain. *Phytochemistry* 19, 1385-1389.
- Chungcharoen, A., and Lund, D. (1987). Influence of solutes and water on rice starch gelatinization. *Cereal Chemistry* 64, 240-243.
- Cook, A. M., and Gilbert, R. J. (1968). Factors affecting the heat resistance of *Bacillus stearothermophilus* spores. *International Journal of Food Science & Technology* 3, 285-293.
- Eliasson, A. C., and Ljunger, G. (1988). Interactions between amylopectin and lipid additives during retrogradation in a model system. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 44, 353-361.
- Gudmundsson, M., and Eliasson, A.-C. (1990). Retrogradation of amylopectin and the effects of amylose and added surfactants/emulsifiers. *Carbohydrate Polymers* 13, 295-315.
- Gunstone, F. (2000). Vegetable oils in food technology: Composition, Properties and Uses. Boca Raton, Florida. : Blackwell Publishing Ltd. .
- Hibi, Y., Kitamura, S., and Kuge, T. (1990). Effect of lipids on the retrogradation of cooked rice. *Cereal Chemistry* 67, 7-10.
- Islam, M. R., Shimizu, N., and Kimura, T. (2004). Energy requirement in parboiling and its relationship to some important quality indicators. *Journal of Food Engineering* 63, 433-439.
- Ito, S., Sato, S., and Fujino, Y. (1979). Internal Lipid in Rice Starch. *Starch - Stärke* 31, 217-221.
- Juliano, B. O. (1971). Simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today* 16, 334-336,338,360.

- Karim, A. A., Norziah, M. H., and Seow, C. C. (2000). Methods for the study of starch retrogradation. *Food Chemistry* 71, 9-36.
- Kaur, K., and Singh, N. (2000). Amylose-lipid complex formation during cooking of rice flour. *Food Chemistry* 71, 511-517.
- Kitahara, K., Tanaka, T., Sugauma, T., and Nagahama, T. (1997). Release of Bound Lipids in Cereal Starches Upon Hydrolysis by Glucoamylase. *Cereal Chemistry Journal* 74, 1-6.
- Leelayuthsoontorn, P., and Thipayarat, A. (2006). Textural and morphological changes of Jasmine rice under various elevated cooking conditions. *Food Chemistry* 96, 606-613.
- Lepage, G., and Roy, C. C. (1986). Direct transesterification of all classes of lipids in a one-step reaction. *Journal of Lipid Research* 27, 114-20.
- Lindström, M., Kiviniemi, K., and Korkeala, H. (2006). Hazard and control of group II (non-proteolytic) *Clostridium botulinum* in modern food processing. *International Journal of Food Microbiology* 108, 92-104.
- Lu, Q., Guo, S., and Zhang, S. (2009). Effects of flour free lipids on textural and cooking qualities of Chinese noodles. *Food research international* 42, 226-230.
- Martin, C., and Smith, A. M. (1995). Starch biosynthesis. *The plant cell* 7, 971.
- Matsuo, R., Dexter, J., Boudreau, A., and Daun, J. (1986). The role of lipids in determining spaghetti cooking quality. *Cereal Chemistry* 63, 484-489.
- Morrison, W. R. (1988). Lipids in cereal starches: A review. *Journal of Cereal Science* 8, 1-15.
- Ottenhof M.-A. and Farhat I.A. (2004). Starch Retrogradation[Online]. available : <http://www.nottingham.ac.uk/ncmh/BGER/pdf/Volume%2021/BGER21-9.pdf> [accessed June 6, 2014].
- Park, C.-E., Kim, Y.-S., Park, K.-J., and Kim, B.-K. (2012). Changes in physicochemical characteristics of rice during storage at different temperatures. *Journal of stored products research* 48, 25-29.
- Rewthong, O., Soponronnarit, S., Taechapairoj, C., Tungtrakul, P., and Prachayawarakorn, S. (2011). Effects of cooking, drying and pretreatment methods on texture and starch digestibility of instant rice. *Journal of food engineering* 103, 258-264.
- Ribotta, P., Cuffini, S., León, A., and Añón, M. (2004). The staling of bread: an X-ray diffraction study. *European Food Research and Technology* 218, 219-223.

- U.S. Food and Drug Administration (2013). BAM: Examination of Canned Foods [Online].available:<http://www.fda.gov/Food/FoodScienceResearch/LaboratoryMethods/ucm109398.htm> [accessed April 27, 2013].
- Varavinit, S., Shobsngob, S., Varayanond, W., Chinachoti, P., and Naivikul, O. (2003). Effect of Amylose Content on Gelatinization, Retrogradation and Pasting Properties of Flours from Different Cultivars of Thai Rice. *Starch - Stärke* 55, 410-415.
- Villareal, R., Resurreccion, A., Suzuki, L., and Juliano, B. (1976). Changes in physicochemical properties of rice during storage. *Starch - Stärke* 28, 88-94.
- Yadav, B. K., and Jindal, V. K. (2007). Dimensional changes in milled rice (*Oryza sativa* L.) kernel during cooking in relation to its physicochemical properties by image analysis. *Journal of Food Engineering* 81, 710-720.
- Yu, S., Ma, Y., Liu, T., Menager, L., and Sun, D.-W. (2010). Impact of cooling rates on the staling behavior of cooked rice during storage. *Journal of Food Engineering* 96, 416-420.
- Yu, S., Ma, Y., and Sun, D.-W. (2009). Impact of amylose content on starch retrogradation and texture of cooked milled rice during storage. *Journal of Cereal Science* 50, 139-144.
- Zabar, S., Lesmes, U., Katz, I., Shimoni, E., and Bianco-Peled, H. (2009). Studying different dimensions of amylose–long chain fatty acid complexes: Molecular, nano and micro level characteristics. *Food Hydrocolloids* 23, 1918-1925.
- Zhang, B., Huang, Q., Luo, F.-x., and Fu, X. (2012). Structural characterizations and digestibility of debranched high-amylose maize starch complexed with lauric acid. *Food Hydrocolloids* 28, 174-181.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., and Blanchard, C. (2002). Composition and functional properties of rice. *International Journal of Food Science & Technology* 37, 849-868.
- Zhou, Z., Robards, K., Helliwell, S., and Blanchard, C. (2007). Effect of the addition of fatty acids on rice starch properties. *Food research international* 40, 209-214.
- กล้าณรงค์ ศรีรอด และ เกื้อกุล ปิยะจอมขวัญ (2550). "เทคโนโลยีของแป้ง," สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- นิธิยา รัตนพานนท์ (2548). "วิทยาศาสตร์การอาหารของไขมันและน้ำมัน " สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, กรุงเทพมหานคร.
- เมยวดี แซ่เลี้ยว (2547). "การเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวสำเร็จรูปบรรจุกระป๋องระหว่างการเก็บรักษา," วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร

อนลักษ์ณ โอบาริโกวิท (2546). "การผลิตข้าวพร้อมบริโภคในรีทอร์ตแพซ," วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร.

อรอนงค์ นัยวิกุล (2547). "ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี," สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.

อารีรัตน์ อิมศิลป์ (2544). "การศึกษาการเกิดรีโทรเกรเดชันของข้าวเจ้าสุกในระหว่างการเก็บรักษาที่สภาวะต่างๆ," วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพมหานคร



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
วิธีวิเคราะห์ทางเคมีและกายภาพ

ก.1 การวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC , 2005 section 32.1.22)

อุปกรณ์

1. ชุดวิเคราะห์โปรตีน (BUCHI ประกอบด้วย digestion unit รุ่น K-424, distillation unit รุ่น UDK 127, scrubber รุ่น B-414)
2. เครื่องชั่งละเอียดชนิดนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, รุ่น AB204, USA)

สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น
2. สารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.1 N
3. สารละลายกรดบอริก ความเข้มข้น 4% (w/v)
4. selenium reagent mixture
5. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 35% (w/v)
6. สารละลายอินดิเคเตอร์ เตรียมโดยผสมสารละลาย methylene blue 0.2% ในแอลกอฮอล์แล้วกรอง 25 มิลลิลิตร กับสารละลาย methyl red 0.2% ในแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร

วิธีการทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้มือน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 กรัม ใส่ใน Kjeldahl tube
2. เติม selenium reagent mixture เพื่อเร่งปฏิกิริยาประมาณ 5 กรัม และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 20 มิลลิลิตร
3. นำตัวอย่างไปย่อยด้วยเครื่อง Buchi digestion unit โดยใช้ความร้อนเบอร์ 8 และปิดฝาด้านบนที่ต่อเข้ากับเครื่องดูดไอน้ำ (scrubber) ย่อยตัวอย่างจนส่วนผสมในหลอดย่อยกลายเป็นสีเขียวใส และทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

4. นำพลาสติกขนาด 250 มิลลิลิตร ที่หยดสารละลายอินดิเคเตอร์ 2 – 3 หยด ต่อเข้ากับปลาย condenser ของเครื่องกลั่น (distillation unit)
5. นำหลอดตัวอย่างที่ผ่านการย่อยต่อเข้าเครื่องกลั่น เลือกโปรแกรม distillation โดยตั้งโปรแกรม ดังนี้

NaOH	70	มิลลิลิตร
Boric acid	50	มิลลิลิตร
H ₂ O	50	มิลลิลิตร
Time	6	นาที

6. ดักจับแอมโมเนียที่เกิดขึ้นด้วยสารละลายกรดบอริก จะได้สารละลายสีเขียวเมื่อกลั่นครบตามกำหนดเวลา
7. ล้างส่วนปลายของ condenser ด้วยน้ำกลั่นใส่ลงในพลาสติกที่รองรับสิ่งที่กลั่นได้
8. นำสารละลายที่กลั่นได้ในพลาสติกทั้งหมดมาไตเตรตด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน ความเข้มข้น 0.1N จนถึงจุดยุติ (end point) ที่เป็นสีม่วงแดง
9. ทำ blank โดยไม่ต้องใส่ตัวอย่าง และวิเคราะห์เช่นเดียวกับตัวอย่างในข้อ 2 – 8
10. คำนวณหาปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)

$$\text{ปริมาณโปรตีน} = [(V_a - V_b) \times N \times 1.4 \times CF] / \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}$$

เมื่อ V_a คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรตตัวอย่าง (มิลลิลิตร)

V_b คือ ปริมาตรของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต blank (มิลลิลิตร)

N คือ ความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไตเตรต มีหน่วยเป็น Normal

CF คือ conversion factor สำหรับเปลี่ยนไนโตรเจนให้เป็นโปรตีน (ในการทดลองใช้ 5.95)

ก.2 การวิเคราะห์ปริมาณไขมัน (AOAC , 2005 section 4.5.05)

อุปกรณ์

1. ชุดสกัดไขมัน

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอน 3 – 4 กรัม ห่อด้วยกระดาษ Whatman No. 1 ใส่ใน thimble
2. ใส่ thimble ซึ่งมีตัวอย่างบรรจุอยู่ในขวดสกัดที่แห้งสนิทและทราบน้ำหนักแน่นอน
3. เติม petroleum ether ซึ่งใช้เป็นตัวสกัด 250 มิลลิลิตร ลงในขวดสกัด
4. สกัดไขมันเป็นเวลา 4 – 6 ชั่วโมง โดยควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส
5. ระเหยส่วนของ petroleum ether ออกจากส่วนไขมันที่สกัดได้ แล้วอบขวดสกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หรือจนน้ำหนักคงที่
6. ทิ้งไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนักขวดสกัด

$$\text{ปริมาณไขมัน} = [\text{ปริมาณไขมันที่สกัดได้ (กรัม)} \times 100] / \text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น (กรัม)}$$

ก.3 การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น (AOAC , 2005 section 32.1.02)

อุปกรณ์

1. ตู้อบลมร้อน (ED, รุ่น Binder, Germany)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Mettler-Toledo, รุ่น AB204, USA)
4. โถดูดความชื้น

วิธีทดลอง

1. ชั่งตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอนประมาณ 2 – 3 กรัม
2. นำตัวอย่างในถ้วยที่อบแล้วและทราบน้ำหนักที่แน่นอนเข้าอบแห้งในตู้อบโดยควบคุมอุณหภูมิ 105 ± 2 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่
3. ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้นและชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาความชื้น (ร้อยละ) จากสมการ

ปริมาณความชื้น = $[(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ}) \times 100] / \text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}$

ก.4 การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสปรากฏ (Apparent amylose) (ดัดแปลงจาก Juliano, 1971)

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดค่าการดูดกลืนแสง (Thermo Spectronic, รุ่น GENESYS 10 UV, USA)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

สารเคมี

1. แอมิโลสมาตรฐานจากมันฝรั่ง (Sigma-Aldrich, USA)
2. แอมิโลเพกตินมาตรฐานจากข้าวโพด (Sigma-Aldrich, USA)
3. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1N
4. เอทิลแอลกอฮอล์ 95 %
5. สารละลายกรดแอสติกความเข้มข้น 1N
6. สารละลายไอโอดีน เตรียมโดยละลายไอโอดีน 0.2 กรัมและโปแตสเซียมไอโอไดด์ 2.0 กรัม ใน น้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

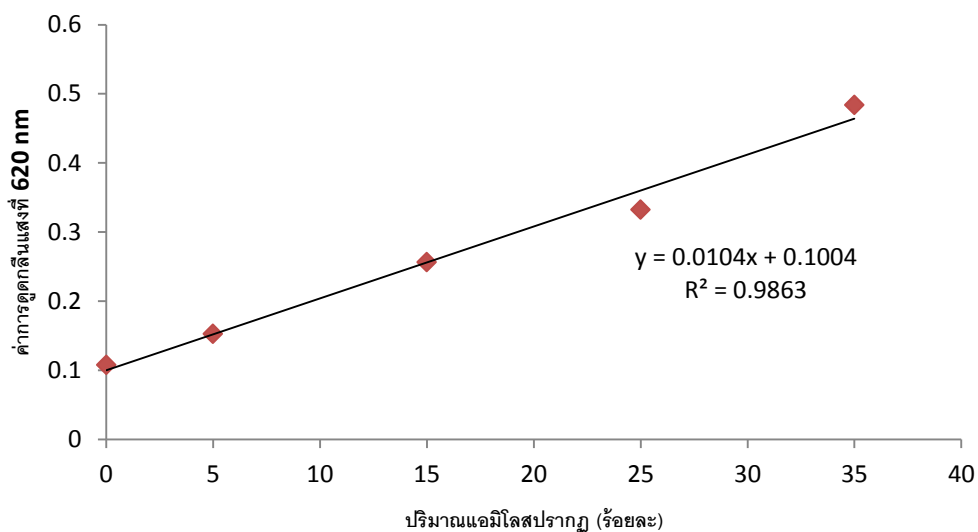
วิธีทดลอง

การสร้างกราฟมาตรฐาน

1. ชั่งแอมโมไลสและแอมโมไลเพกตินในปริมาณดังแสดงในตารางที่ ก.1 ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1N ปริมาตร 9 มิลลิลิตรและเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. เตรียม blank โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1N ปริมาตร 9 มิลลิลิตรและเอทิลแอลกอฮอล์ 95 % ปริมาตร 1 มิลลิลิตรลงในฟลาสก์ขนาด 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
4. ให้ความร้อนกับสารละลายในข้อ 1 และ 3 ในอ่างน้ำเดือด 5 – 10 นาที ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
5. ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
6. เตรียมขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรขวดใหม่ แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 70 มิลลิลิตร, สารละลายกรดแอสติคความเข้มข้น 1N ปริมาตร 2 มิลลิลิตร, สารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตรและสารละลายกราฟมาตรฐานและ blank ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
7. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร เปรียบเทียบกับ blank
8. สร้างกราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับปริมาตรแอมโมไลส ดังภาพ ก.1

ตารางที่ ก.1 อัตราส่วนแอมโมไลสและแอมโมไลเพกตินเพื่อสร้างกราฟมาตรฐาน

ตัวอย่างที่	แอมโมไลส		แอมโมไลเพกติน	
	เปอร์เซ็นต์	ปริมาณ (มิลลิกรัม)	เปอร์เซ็นต์	ปริมาณ (มิลลิกรัม)
1	0	0	100	100
2	5	5	95	95
3	15	15	85	85
4	25	25	75	75
5	35	35	65	65



ภาพที่ ก.1 กราฟมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลส (แต่ละจุดในกราฟเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดลอง 3 ซ้ำ) เมื่อ x = ปริมาณแอมิโลส (เปอร์เซ็นต์) และ y = ค่าการดูดกลืนแสงที่ 620 นาโนเมตร

การวิเคราะห์ปริมาณแอมิโลสในตัวอย่าง

1. ชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง ประมาณ 100 มิลลิกรัม ใส่ในขวดวัดปริมาตร ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1N ปริมาตร 9 มิลลิลิตรและเอทิลแอลกอฮอล์ 95 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 1 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
3. ต้มในอ่างน้ำเดือดนาน 5 – 10 นาที แล้วตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง
4. ปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน
5. เตรียมขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตรขวดใหม่ แล้วเติมน้ำกลั่นปริมาตร 70 มิลลิลิตร, สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้น 1N ปริมาตร 2 มิลลิลิตร, สารละลายไอโอดีนปริมาตร 2 มิลลิลิตรและสารละลายตัวอย่าง ปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน และตั้งทิ้งไว้ 10 นาที
6. วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 620 นาโนเมตร
7. จากค่าการดูดกลืนแสงที่ได้ นำไปอ่านค่าจากกราฟมาตรฐาน

ก.5 การวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของข้าวสารด้วย Differential Scanning Calorimetry (Zhang et al., 2012)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Differential Scanning Calorimeter (Perkin-Elmer, รุ่น DSC 8000, USA)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง

วิธีการเตรียมตัวอย่าง

กรณีข้าวสาร บดข้าวและร่อนด้วยตะแกรงร่อน 100 mesh

กรณีข้าวหุงสุก ทำแห้งข้าวหุงสุกโดย freeze-dry ตัวอย่างแล้วนำมาบดและร่อนด้วยตะแกรงร่อน 100 mesh

วิธีวิเคราะห์

1. กรณีตัวอย่างข้าวสาร ชั่งตัวอย่างข้าว 7 มิลลิกรัม ใส่ลงใน stainless steel DSC pan หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่น 21 มิลลิกรัม โดยคิดเป็นอัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำเท่ากับ 30 : 70 (w/w) ส่วนตัวอย่างข้าวหุงสุก ชั่งตัวอย่างข้าวหุงสุก 0.25 กรัมผสมกับน้ำกลั่น 750 ไมโครลิตร โดยคิดเป็นอัตราส่วนตัวอย่างต่อน้ำเท่ากับ 30 : 70 (w/v) ในบีกเกอร์ แล้วใส่ส่วนผสมใน stainless steel DSC pan 28 มิลลิกรัม
2. ปิดฝา pan ให้สนิทด้วยเครื่องมือปิดผนึก เก็บ sealed pan ไว้ที่อุณหภูมิห้องข้ามคืน (24 ชั่วโมง) เพื่อให้ความชื้นภายใน sealed pan เข้าสู่จุดสมดุลความชื้น
3. นำ pan ใส่ในช่องตัวอย่างของเครื่อง DSC และใช้ pan เปล่าเป็นตัวอย่างอ้างอิง (reference pan) โดยใช้ condition คือ อุณหภูมิ 25 – 150 องศาเซลเซียส ที่อัตราให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที (จากข้อ 1-3 เป็นการวัดสมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลิตีในเซชัน)
4. นำ pan หลังจากการให้ความร้อนไปเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 สัปดาห์
5. นำ pan ไปให้ความร้อนจากอุณหภูมิ 25 – 150 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที (สำหรับการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนในการเกิดรีโทรเกรดเซชัน)

6. คำนวณค่าอุณหภูมิที่จุดเริ่มต้น (onset temperature, T_o), อุณหภูมิที่จุดสูงสุด (peak temperature, T_p) และอุณหภูมิที่จุดสิ้นสุด (conclusion temperature, T_c) ของการเกิดรีโทรเกรเดชันและการเกิดสารเชิงซ้อนระหว่างแอมิโลสและไขมัน (หน่วยเป็นองศาเซลเซียส) และค่าพลังงานที่ใช้ในการสลายผลึก (ΔH) หน่วยเป็นจูลต่อกรัม โดยโปรแกรม Pyris

หมายเหตุ กรณีตัวอย่างข้าวสาร ทำการวัดสมบัติทางความร้อนในการเกิดเจลลาที่ในเซชันและสมบัติทางความร้อนในการเกิดรีโทรเกรเดชัน ส่วนตัวอย่างข้าวหุงสุก ทำการวัดสมบัติทางความร้อนในการเกิดรีโทรเกรเดชันเท่านั้น

ก.6 การวิเคราะห์ลักษณะเนื้อสัมผัส (Leelayuthsoontorn and Thipayarat, 2006)

อุปกรณ์

1. เครื่อง Texture analyzer (Texture Technologies Corp, รุ่น TA-XT2, UK)
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo รุ่น ML 1602, Switzerland)

วิธีวิเคราะห์

1. ทำการ calibrate force และ calibrate height (return distance = 80 mm, return speed = 10 mm/s, contact = 10 g)
2. ชั่งตัวอย่าง 15 กรัมใส่ถ้วยทรงกระบอก (เส้นผ่านศูนย์กลาง, ความสูง, ความหนาเท่ากับ 6.09 7.52, 0.61 เซนติเมตร ตามลำดับ)
3. ใช้แท่งกดตัวอย่างทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 เซนติเมตร โดยใช้ condition คือ Pre-test speed, test speed และ post-test speed เท่ากับ 1.0, 1.0 และ 10.0 มิลลิเมตรต่อวินาที ตามลำดับ และ Compression distance เท่ากับ 50% strain
4. คำนวณค่าความแข็ง, ความเกาะติดกันและความเหนียวติดกัน

ภาคผนวก ข
แบบทดสอบทางประสาทสัมผัส

ข.1 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกพร้อมบริโภคใน
รีทอร์ตแพจ

รหัสผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

ผู้ทดสอบโปรดให้คะแนนตามความชอบด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์ โดยมีระดับคะแนนดังนี้

7 หมายถึง ชอบมากที่สุด

6 หมายถึง ชอบมาก

5 หมายถึง ชอบปานกลาง

4 หมายถึง เฉยๆ

3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง

2 หมายถึง ไม่ชอบมาก

1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด

ลักษณะ	ตัวอย่าง		
สี			
เนื้อสัมผัส			
การยอมรับรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....
.....

หมายเหตุ

คะแนนน้อยกว่า 4 หมายถึงผู้ทดสอบไม่สามารถให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ได้

ข.2 แบบทดสอบทางประสาทสัมผัสในด้านความชอบต่อผลิตภัณฑ์ข้าวหุงสุกเดิมน้ำมันพืชพร้อม
บริโภคในรีทอร์ตแพจ

รหัสผู้ทดสอบ.....

วันที่.....

ผู้ทดสอบโปรดให้คะแนนตามความชอบด้านต่างๆของผลิตภัณฑ์ โดยมีระดับคะแนนดังนี้

7 หมายถึง ชอบมากที่สุด

6 หมายถึง ชอบมาก

5 หมายถึง ชอบปานกลาง

4 หมายถึง เฉยๆ

3 หมายถึง ไม่ชอบปานกลาง

2 หมายถึง ไม่ชอบมาก

1 หมายถึง ไม่ชอบมากที่สุด

ลักษณะ	ตัวอย่าง		
สี			
เนื้อสัมผัส			
การยอมรับรวม			

ข้อเสนอแนะ

.....
.....

หมายเหตุ

คะแนนน้อยกว่า 4 หมายถึงผู้ทดสอบไม่สามารถให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ได้

ภาคผนวก ค

ข้อมูลการวิเคราะห์ทางสถิติ

ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของลักษณะทางเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกในรีทอร์ตแพคเกจที่ฆ่าเชื้อที่ 115, 121 และ 125 องศาเซลเซียส

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Hardness	Treatment	10083.176	2	5041.588	.208	.823
	Error	72847.567	3	24282.522		
	Total	82930.742	5			
Adhesiveness	Treatment	18.572	2	9.286	4.026	.141
	Error	6.919	3	2.306		
	Total	25.491	5			
Cohesiveness	Treatment	.001	2	.000	.929	.485
	Error	.001	3	.000		
	Total	.002	5			

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความขาวของข้าวหุงสุกในรีทอร์ตแพคเกจที่ฆ่าเชื้อที่ 115, 121 และ 125 องศาเซลเซียส

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Treatment	.254	2	.127	.111	.899
Error	3.442	3	1.147		
Total	3.697	5			

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของคะแนนการยอมรับทางประสาทสัมผัสของข้าว
หุงสุกในรีโอร์ตแพคเกจที่ฆ่าเชื้อที่ 115, 121 และ 125 องศาเซลเซียส

	Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Color	Treatment	16.843	2	8.442	39.320	.000
	Block	42.840	49	.874	4.082	.000
	Error	20.990	98	.214		
	Total	80.673	149			
Texture	Treatment	.423	2	.212	.455	.636
	Block	45.833	49	.935	2.011	.002
	Error	45.577	98	.465		
	Total	91.833	149			
Overall quality	Treatment	.213	2	.107	.305	.738
	Block	49.873	49	1.018	2.909	.000
	Error	34.287	98	.350		
	Total	84.373	149			

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางความร้อนของการเกิดรีโทรเกรด
 ชั้นของแอมิโลเพกตินของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตแพคเกจที่ระยะเวลาเก็บรักษา
 ต่างๆ

Source	Dependent Variable	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Oil	Tonset	3.281	3	1.094	2.002	.154
	Tpeak	.329	3	.110	1.456	.264
	Tconclusion	1.836	3	.612	1.145	.361
	Detta T	8.965	3	2.988	2.102	.140
	Detta H	2.143	3	.714	12.494	.000
Storage	Tonset	103.994	3	34.665	63.465	.000
	Tpeak	319.744	3	106.581	1413.838	.000
	Tconclusion	494.796	3	164.932	308.462	.000
	Detta T	696.066	3	232.022	163.245	.000
	Detta H	21.674	3	7.225	126.358	.000
Oil x storage	Tonset	35.368	9	3.930	7.195	.000
	Tpeak	4.622	9	.514	6.812	.000
	Tconclusion	7.550	9	.839	1.569	.207
	Detta T	37.882	9	4.209	2.961	.028
	Detta H	2.919	9	.324	5.672	.001
Error	Tonset	8.739	16	.546		
	Tpeak	1.206	16	.075		
	Tconclusion	8.555	16	.535		
	Detta T	22.741	16	1.421		
	Detta H	.915	16	.057		
Total	Tonset	151.382	31			
	Tpeak	325.901	31			
	Tconclusion	512.737	31			
	Detta T	765.654	31			
	Detta H	27.650	31			

ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางความร้อนของสารประกอบเชิงซ้อนของแอมิโลสกับไขมันของข้าวहुงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

Source	Dependent Variable	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Oil	Tonset	32.419	3	10.806	12.989	.000
	Tpeak	7.797	3	2.599	4.073	.025
	Tconclusion	10.921	3	3.640	4.105	.024
	Detta T	77.447	3	25.816	23.081	.000
	Detta H	.625	3	.208	18.639	.000
Storage	Tonset	185.776	3	61.925	74.434	.000
	Tpeak	4.693	3	1.564	2.451	.101
	Tconclusion	38.823	3	12.941	14.594	.000
	Detta T	300.414	3	100.138	89.529	.000
	Detta H	6.978	3	2.326	208.097	.000
Oil x storage	Tonset	34.778	9	3.864	4.645	.000
	Tpeak	6.353	9	.706	1.106	.411
	Tconclusion	29.695	9	3.299	3.721	.011
	Detta T	75.274	9	8.364	7.478	.000
	Detta H	.899	9	.100	8.939	.000
Error	Tonset	13.311	16	.832		
	Tpeak	10.211	16	.638		
	Tconclusion	14.188	16	.887		
	Detta T	17.896	16	1.119		
	Detta H	.179	16	.011		
Total	Tonset	266.284	31			
	Tpeak	29.055	31			
	Tconclusion	93.627	31			
	Detta T	471.031	31			
	Detta H	8.682	31			

ตารางที่ ค.6 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความแข็งของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตแพจ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Oil	461282.241	2	230641.120	4.909	.008
Percentage	6741433.958	2	3370716.979	71.747	.000
Storage	41040853.725	8	5130106.716	109.196	.000
Oil x percentage	828789.749	4	207197.437	4.410	.002
Oil x storage	1264011.685	16	79000.730	1.682	.045
Percentage x storage	2871632.067	16	179477.004	3.820	.000
Oil x percentage x storage	1410529.696	32	44079.053	.938	.567
Error	34248822.594	729	46980.552		
Total	88867355.716	809			

ตารางที่ ค.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเหนียวติดกันของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตแพจ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Oil	25.859	2	12.929	31.626	.000
Percentage	519.904	2	259.952	635.854	.000
Storage	559.098	8	69.887	170.947	.000
Oil x percentage	14.541	4	3.635	8.892	.000
Oil x storage	15.249	16	.953	2.331	.002
Percentage x storage	561.795	16	35.112	85.886	.000
Oil x percentage x storage	12.389	32	.387	.947	.553
Error	298.032	729	.409		
Total	2006.868	809			

ตารางที่ ค.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความเกาะติดกันของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมัน
ในรีทอร์ตเพาซ์

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Oil	.004	2	.002	1.663	.190
Percentage	.075	2	.038	33.928	.000
Storage	1.012	8	.126	113.660	.000
Oil x percentage	.013	4	.003	2.829	.024
Oil x storage	.017	16	.001	.971	.487
Percentage x storage	.096	16	.006	5.391	.000
Oil x percentage x storage	.031	32	.001	.872	.672
Error	.811	729	.001		
Total	2.059	809			

ตารางที่ ค.9 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของค่าความขาวของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันใน
รีทอร์ตเพาซ์

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Oil	2.977	2	1.472	2.816	.063
Percentage	4.376	2	2.188	4.187	.017
Storage	53.485	8	6.686	12.793	.000
Oil x percentage	2.409	4	.602	1.153	.334
Oil x storage	7.630	16	.477	.912	.556
Percentage x storage	12.328	16	.770	1.474	.115
Oil x percentage x storage	7.996	32	.250	.478	.992
Error	84.660	162	.523		
Total	175.827	242			

ตารางที่ ค.10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบด้านสีของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตแพซซ์

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Oil	113.081	2	56.540	43.230	.000
Percentage	148.241	2	74.121	56.671	.000
Storage	87.645	8	10.956	8.376	.000
Block	49.349	20	2.467	1.887	.010
Oil x percentage	120.355	4	30.089	23.005	.000
Oil x storage	16.761	16	1.048	.801	.686
Percentage x storage	35.473	16	2.217	1.695	.041
Oil x percentage x storage	55.645	32	1.739	1.330	.104
Error	2092.651	1600	1.308		
Total	2719.200	1700			

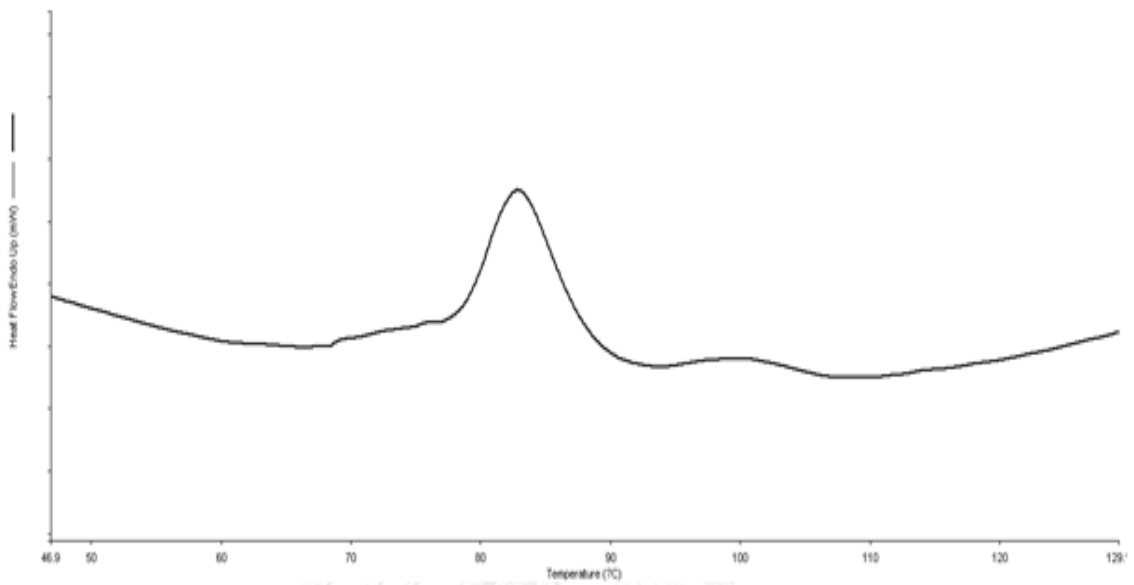
ตารางที่ ค.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตแพซซ์

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Oil	11.104	2	5.552	3.764	.023
Percentage	10.215	2	5.108	3.462	.032
Storage	826.614	8	103.327	70.041	.000
Block	131.637	20	6.582	4.462	.000
Oil x percentage	13.263	4	3.316	2.248	.062
Oil x storage	55.425	16	3.464	2.348	.002
Percentage x storage	78.250	16	4.891	3.315	.000
Oil x percentage x storage	82.272	32	2.571	1.743	.006
Error	2360.363	1600	1.475		
Total	3569.143	1700			

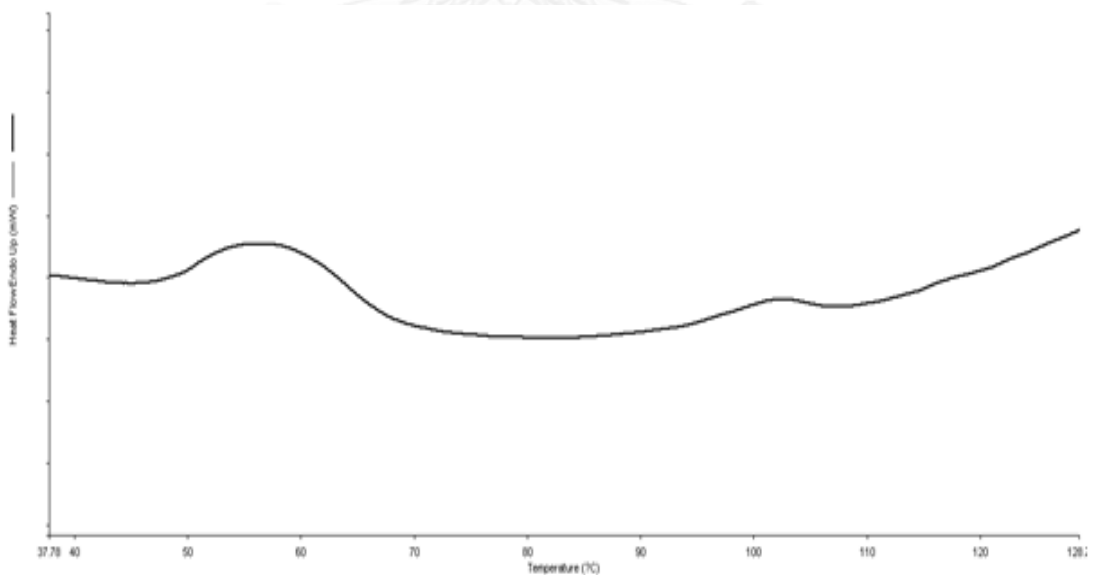
ตารางที่ ค.12 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติของสมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบด้านความยอมรับรวมของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีโอร์ตแพซ

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Oil	30.537	2	15.269	11.227	.000
Percentage	24.340	2	12.170	8.949	.000
Storage	647.193	8	80.899	59.486	.000
Block	145.394	20	7.270	5.346	.000
Oil x percentage	25.068	4	6.267	4.608	.001
Oil x storage	68.055	16	4.253	3.128	.000
Percentage x storage	88.443	16	5.528	4.065	.000
Oil x percentage x storage	76.721	32	2.398	1.763	.005
Error	2175.939	1600	1.360		
Total	3281.691	1700			

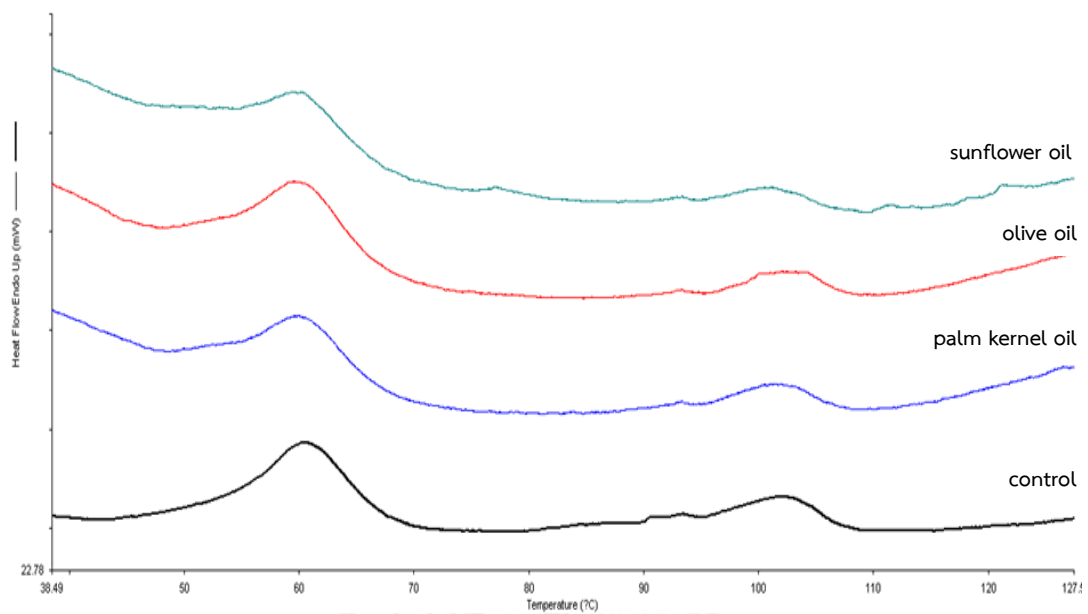
ภาคผนวก ง
 Thermograms ของการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อน



ภาพที่ ง.1 Thermograms ของตัวอย่างของข้าวสารพันธุ์เสาไห้ (gelatinization)



ภาพที่ ง.2 Thermograms ของข้าวเจ้าพันธุ์เสาไห้ที่ผ่านเจลาทีไนซ์และเก็บรักษาที่ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 14 วัน



ภาพที่ ง.3 Thermograms ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 6 ในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 0 วัน

ภาคผนวก จ
ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ จ.1 ค่าความแข็ง (hardness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาต่างๆ

Storage	C (g)	3P (g)	3O (g)	3S (g)	6P (g)	6O (g)	6S (g)
0	882.30 ^s	1182.57 ^{pqr}	1249.77 ^{opqr}	1093.75 ^r	1184.78 ^{pqr}	1102.90 ^r	1108.49 ^r
day	±162.35	±212.98	±215.84	±102.27	±78.46	±100.17	±131.89
10	1080.16 ^r	1191.17 ^{pqr}	1277.52 ^{opqr}	1131.65 ^{qr}	1187.59 ^{pqr}	1164.43 ^{qr}	1157.78 ^{qr}
days	±136.46	±157.69	±86.19	±108.67	±84.85	±123.34	±87.30
20	1115.31 ^r	1356.33 ^{lmnopq}	1288.53 ^{mnpqr}	1283.47 ^{nopqr}	1486.63 ^{ghijklmn}	1287.53 ^{mnpqr}	1175.02 ^{pqr}
days	±95.14	±150.35	±87.32	±184.16	±147.90	±207.10	±100.36
1	1154.37 ^{qr}	1447.42 ^{ghijklmno}	1473.78 ^{ghijklmno}	1728.76	1405.66 ^{klmnop}	1431.16 ^{ijklmno}	1453.69 ^{ghijklmno}
month	±166.72	±266.85	±145.45	±153.28	±196.76	±243.60	±254.98
2	1294.09 ^{mnpqr}	1663.17 ^{abcdefghi}	1823.32 ^{abc}	1649.79 ^{bcdefghij}	1716.54 ^{abcdef}	1552.68 ^{defghijkl}	1520.46 ^{efghijklm}
months	±186.16	±248.70	±364.08	±97.12	±193.07	±225.36	±209.02
3	1435.29 ^{hijklmno}	1667.07 ^{abcdefghi}	1454.66 ^{ghijklmno}	1556.99 ^{defghijkl}	1890.98 ^a	1635.11 ^{cdefghijk}	1418.97 ^{ijklmno}
months	±273.27	±253.16	±258.00	±316.50	±182.83	±271.62	±164.41
4	1490.16 ^{ghijklmno}	1747.96 ^{abcde}	1618.58 ^{cdefghijk}	1791.76 ^{abcd}	1881.09 ^{ab}	1624.75 ^{cdefghijk}	1649.69 ^{bcdefghij}
months	±193.07	±314.78	±169.05	±249.92	±158.09	±249.56	±243.34
5	1675.32 ^{abcdefg}	1738.27 ^{abcde}	1683.68 ^{abcdefg}	1753.91 ^{abcde}	1743.78 ^{abcde}	1608.07 ^{cdefghijk}	1635.26 ^{cdefghijk}
months	±269.79	±244.06	±274.85	±135.68	±379.09	±233.21	±341.87
6	1671.82 ^{abcdefg}	1714.76 ^{abcdef}	1672.44 ^{abcdefg}	1760.58 ^{abcde}	1748.62 ^{abcde}	1593.81 ^{cdefghijk}	1767.35 ^{abcd}
months	±344.01	±334.89	±217.01	±205.99	±335.47	±276.85	±148.08

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวและนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

C = control, 3P = 3% palm kernel oil, 3O = 3% olive oil,

3S = 3% sunflower oil, 6P = 6% palm kernel oil, 6O = 6% olive oil,

6S = 6% sunflower oil

ตารางที่ จ.2 ค่าความเหนียวติดกัน (adhesiveness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์แพชท์ที่ระยะเวลาต่างๆ

Storage	C (gsec)	3P (gsec)	3O (gsec)	3S (gsec)	6P (gsec)	6O (gsec)	6S (gsec)
0	7.78 ^a	1.48 ^{lmnop}	2.55 ^{de}	2.73 ^d	1.70 ^{ijklmnop}	2.73 ^d	2.68 ^d
day	±2.54	±0.30	±0.42	±0.29	±0.19	±0.46	±0.47
10	5.29 ^b	1.40 ^{nop}	2.32 ^{defgh}	2.65 ^d	1.42 ^{nop}	2.57 ^{de}	2.55 ^{de}
days	±1.01	±0.25	±0.26	±0.53	±0.25	±0.49	±0.36
20	4.90 ^b	1.46 ^{mnp}	2.27 ^{defghi}	2.49 ^{def}	1.40 ^{nop}	2.46 ^{defg}	2.35 ^{defgh}
days	±0.66	±0.14	±0.28	±0.41	±0.16	±0.30	±0.35
1	4.14 ^c	1.40 ^{nop}	2.27 ^{defghi}	1.67 ^{ijklmnop}	1.51 ^{klmnop}	2.25 ^{defghi}	1.62 ^{ijklmnop}
month	±0.76	±0.18	±0.41	±0.22	±0.26	±0.46	±0.34
2	2.11 ^{efghij}	1.43 ^{nop}	1.38 ^{op}	1.50 ^{klmnop}	1.16 ^p	2.32 ^{defgh}	2.27 ^{defghi}
months	±0.41	±0.29	±0.20	±0.28	±0.16	±0.36	±0.38
3	2.23 ^{defghi}	1.37 ^{op}	1.57 ^{klmnop}	1.87 ^{hijklmno}	1.36 ^{op}	1.99 ^{fghijklm}	1.94 ^{ghijklmn}
months	±0.44	±0.25	±0.22	±0.37	±0.26	±0.29	±0.31
4	2.02 ^{fghijk}	1.55 ^{klmnop}	1.83 ^{hijklmno}	1.62 ^{ijklmnop}	1.45 ^{nop}	2.10 ^{efghij}	2.00 ^{fghijkl}
months	±0.36	±0.25	±0.26	±0.23	±0.19	±0.42	±0.35
5	1.77 ^{ijklmno}	1.67 ^{ijklmnop}	1.65 ^{ijklmnop}	1.64 ^{ijklmnop}	1.50 ^{klmnop}	1.51 ^{klmnop}	1.61 ^{ijklmnop}
months	±0.35	±0.17	±0.30	±0.19	±0.29	±0.22	±0.26
6	1.62 ^{ijklmnop}	1.57 ^{klmnop}	1.53 ^{klmnop}	1.57 ^{klmnop}	1.51 ^{klmnop}	1.52 ^{klmnop}	1.57 ^{klmnop}
months	±0.30	±0.29	±0.30	±0.25	±0.27	±0.31	±0.31

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

C = control, 3P = 3% palm kernel oil, 3O = 3% olive oil,

3S = 3% sunflower oil, 6P = 6% palm kernel oil, 6O = 6% olive oil,

6S = 6% sunflower oil

ตารางที่ จ.3 ค่าความเกาะติดกัน (cohesiveness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์เพาซ์ที่ระยะเวลาต่างๆ

Storage	C	3P	3O	3S	6P	6O	6S
0	0.486 ^{bcde}	0.539 ^a	0.542 ^a	0.510 ^{abcd}	0.528 ^a	0.517 ^{ab}	0.515 ^{abc}
day	±0.01	±0.02	±0.02	±0.02	±0.03	±0.01	±0.02
10	0.428 ^{klmnopqrst}	0.484 ^{cde}	0.481 ^{def}	0.468 ^{efgh}	0.463 ^{efghij}	0.450 ^{efghijklmn}	0.477 ^{defg}
days	±0.01	±0.02	±0.02	±0.02	±0.03	±0.02	±0.02
20	0.401 ^{rstuvwxy}	0.463 ^{efghij}	0.434 ^{hijklmnopqr}	0.430 ^{ijklmnopqrs}	0.428 ^{klmnopqrst}	0.416 ^{nopqrstuvw}	0.449 ^{efghijklmn}
days	±0.03	±0.03	±0.02	±0.04	±0.03	±0.03	±0.02
1	0.423 ^{lmnopqrst}	0.454 ^{efghijklm}	0.416 ^{nopqrstuvw}	0.446 ^{efghijklmno}	0.443 ^{ghijklmnopq}	0.462 ^{efghijk}	0.464 ^{efghij}
month	±0.02	±0.04	±0.01	±0.04b	±0.02b	±0.03	±0.03
2	0.417 ^{mnopqrstuv}	0.428 ^{klmnopqrst}	0.446 ^{efghijklmnop}	0.467 ^{efghi}	0.431 ^{ijklmnopqrs}	0.437 ^{hijklmnopqr}	0.457 ^{efghijkl}
months	±0.03	±0.04	±0.04	±0.03	±0.03	±0.03	±0.04
3	0.428 ^{klmnopqrst}	0.433 ^{hijklmnopqr}	0.415 ^{nopqrstuvw}	0.417 ^{mnopqrstuv}	0.415 ^{nopqrstuvw}	0.418 ^{mnopqrstu}	0.414 ^{nopqrstuvw}
months	±0.03	±0.23	±0.03	±0.02	±0.03	±0.02	±0.02
4	0.414 ^{nopqrstuvw}	0.406 ^{qrstuvwxy}	0.390 ^{tuvwxy}	0.380 ^{wxy}	0.410 ^{opqrstuvwxx}	0.374 ^{xy}	0.409 ^{opqrstuvwxx}
months	±0.03	±0.04	±0.03	±0.04	±0.06	±0.06	±0.05
5	0.378 ^{wxy}	0.383 ^{uvwxy}	0.372 ^y	0.378 ^{wxy}	0.393 ^{stuvwxy}	0.399 ^{rstuvwxy}	0.394 ^{stuvwxy}
months	±0.02	±0.04	±0.05	±0.03	±0.02	±0.04	±0.04
6	0.382 ^{uvwxy}	0.424 ^{klmnopqrst}	0.423 ^{lmnopqrst}	0.407 ^{opqrstuvwxy}	0.409 ^{opqrstuvwxx}	0.410 ^{opqrstuvwxx}	0.425 ^{klmnopqrst}
months	±0.02	±0.03	±0.03	±0.03	±0.02	±0.01	±0.03

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวตั้งและนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

C = control, 3P = 3% palm kernel oil, 3O = 3% olive oil,

3S = 3% sunflower oil, 6P = 6% palm kernel oil, 6O = 6% olive oil,

6S = 6% sunflower oil

ตารางที่ จ.4 ค่าความขาว (whiteness) ของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันในรีทอร์ตเพาซ์ที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

ระยะเวลาเก็บรักษา	ค่าความขาวของข้าว		
	ตัวอย่างควบคุม	น้ำมันร้อยละ 3	น้ำมันร้อยละ 6
0 วัน	45.82 ^{ab,A} ±1.16	45.79 ^{a,A} ±1.06	45.04 ^{ab,A} ±0.78
10 วัน	46.44 ^{a,A} ±1.19	45.80 ^{a,AB} ±0.74	44.96 ^{ab,B} ±0.93
20 วัน	45.88 ^{ab,A} ±0.76	45.68 ^{a,A} ±0.74	45.51 ^{a,A} ±0.71
1 เดือน	45.69 ^{ab,A} ±0.91	45.95 ^{a,A} ±0.74	45.62 ^{a,A} ±0.72
2 เดือน	45.35 ^{ab,A} ±0.14	45.38 ^{ab,A} ±0.36	45.43 ^{a,A} ±0.53
3 เดือน	45.21 ^{ab,A} ±0.88	45.46 ^{ab,A} ±0.73	45.39 ^{a,A} ±0.30
4 เดือน	45.30 ^{ab,A} ±0.67	45.34 ^{ab,A} ±0.35	45.11 ^{ab,A} ±0.41
5 เดือน	44.37 ^{b,A} ±0.65	44.82 ^{bc,A} ±0.75	44.67 ^{bc,A} ±0.90
6 เดือน	44.37 ^{b,A} ±0.53	44.49 ^{c,A} ±0.55	44.20 ^{c,A} ±0.40

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

A,B,C ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละคอลัมน์แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ตารางที่ จ.5 สมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบสีของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมันร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตแพคเกจระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

Storage	C	3P	3O	3S	6P	6O	6S
0	5.2 ^{abc}	5.1 ^{abcd}	5.0 ^{abcdef}	5.1 ^{abcd}	3.6 ^{klmno}	5.1 ^{abcd}	4.7 ^{bcdefgh}
day	±1.0	±1.0	±1.1	±1.2	±1.2	±1.1	±0.9
10	4.9 ^{abcdefg}	4.4 ^{bcdefghijk}	5.0 ^{abcdef}	4.6 ^{bcdefghi}	3.4 ^{mno}	4.6 ^{bcdefgh}	5.1 ^{abcd}
days	±1.3	±1.2	±0.9	±0.9	±0.9	±1.2	±1.0
20	4.8 ^{abcdefgh}	4.3 ^{cdefghijkl}	4.9 ^{abcdefg}	4.6 ^{bcdefgh}	3.6 ^{klmno}	3.9 ^{hijklmn}	5.0 ^{abcdef}
days	±1.0	±0.9	±1.3	±1.0	±1.0	±1.4	±1.4
1	5.0 ^{abcdefg}	3.7 ^{ijklmn}	4.0 ^{ghijklm}	4.7 ^{bcdefgh}	3.1 ^{no}	4.9 ^{abcdefg}	4.3 ^{bcdefghijkl}
month	±1.0	±0.8	±0.7	±0.8	±1.1	±0.9	±0.7
2	5.6 ^a	4.9 ^{abcdefg}	4.9 ^{abcdefg}	4.6 ^{bcdefgh}	3.2 ^{no}	4.7 ^{bcdefgh}	5.0 ^{abcdef}
months	±0.8	±1.3	±0.9	±0.7	±1.1	±1.1	±1.1
3	5.1 ^{abcd}	4.2 ^{defghijklm}	5.2 ^{ab}	4.5 ^{bcdefghijk}	2.8 ^o	4.6 ^{bcdefghi}	4.9 ^{abcdefg}
months	±1.4	±1.7	±1.6	±0.6	±1.7	±1.6	±1.9
4	5.0 ^{abcde}	4.3 ^{bcdefghijkl}	5.1 ^{abcd}	4.5 ^{bcdefghijk}	3.7 ^{ijklmn}	4.5 ^{bcdefghij}	4.7 ^{bcdefgh}
months	±0.8	±0.8	±1.4	±0.6	±1.0	±0.8	±0.4
5	4.5 ^{bcdefghijk}	4.2 ^{defghijklm}	4.6 ^{bcdefghi}	4.7 ^{bcdefgh}	3.1 ^{no}	5.0 ^{abcdefg}	4.2 ^{defghijklm}
months	±0.8	±1.3	±0.4	±1.5	±0.7	±1.2	±0.9
6	4.4 ^{bcdefghijkl}	4.1 ^{fghijklm}	4.2 ^{defghijklm}	4.3 ^{cdefghijkl}	3.5 ^{lmno}	4.1 ^{efghijklm}	4.4 ^{bcdefghijkl}
months	±1.2	±1.5	±0.6	±1.5	±1.1	±0.9	±1.3

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวและแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

C = control, 3P = 3% palm kernel oil, 3O = 3% olive oil,

3S = 3% sunflower oil, 6P = 6% palm kernel oil, 6O = 6% olive oil,

6S = 6% sunflower oil

คะแนนความชอบที่ใช้เป็น Hedonic Score 7 ระดับ

ตารางที่ จ.6 สมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบเนื้อสัมผัสของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมัน ร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตแพคเกจที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

Storage	C	3P	3O	3S	6P	6O	6S
0	4.3 ^{abcdef}	4.8 ^{ab}	4.7 ^{abc}	4.2 ^{abcdefgh}	4.5 ^{abcde}	5.0 ^a	4.0 ^{bcdefghijk}
day	±1.4	±1.4	±1.2	±0.9	±1.5	±1.0	±0.8
10	4.5 ^{abcd}	3.3 ^{klmnopqr}	3.7 ^{efghijklm}	4.2 ^{abcdefgh}	3.5 ^{ghijklmno}	3.9 ^{cdefghijkl}	4.3 ^{abcdefg}
days	±1.4	±1.3	±1.3	±1.8	±1.3	±1.5	±1.8
20	3.3 ^{ijklmnopq}	3.4 ^{hijklmnop}	3.6 ^{efghijklm}	3.1 ^{klmnopqrs}	3.2 ^{ijklmnopqrs}	2.6 ^{opqrstuvwxyz}	4.2 ^{bcdefghi}
days	±1.3	±1.4	±1.4	±1.4	±1.1	±1.0	±1.3
1	3.2 ^{ijklmnopqrs}	3.6 ^{efghijklm}	3.2 ^{klmnopqrs}	3.0 ^{mnpqrstuv}	3.4 ^{ghijklmno}	3.2 ^{ijklmnopqrs}	3.4 ^{ghijklmno}
month	±1.6	±1.5	±1.0	±1.1	±1.4	±1.2	±1.1
2	2.8 ^{mnpqrstuvwxy}	2.6 ^{opqrstuvwxyz}	3.0 ^{lmnopqrstu}	2.8 ^{mnpqrstuvwxy}	2.5 ^{pqrstuvwxy}	2.4 ^{rstuvwxy}	3.1 ^{klmnopqrs}
months	±1.5	±1.2	±0.7	±0.9	±1.0	±0.9	±1.3
3	2.5 ^{pqrstuvwxy}	2.4 ^{qrstuvwxy}	4.1 ^{abcdefghij}	2.5 ^{pqrstuvwxy}	2.0 ^{wxy}	3.0 ^{klmnopqrst}	3.5 ^{efghijklmno}
months	±0.9	±0.9	±1.8	±0.9	±1.0	±1.3	±1.8
4	2.4 ^{qrstuvwxy}	2.4 ^{rstuvwxy}	3.0 ^{mnpqrstuv}	2.5 ^{pqrstuvwxy}	2.3 ^{stuvwxy}	2.4 ^{rstuvwxy}	2.0 ^{wxy}
months	±0.8	±0.5	±1.1	±0.9	±0.9	±0.6	±0.4
5	3.0 ^{lmnopqrstu}	2.1 ^{tuvwxy}	1.7 ^y	1.8 ^{xy}	2.0 ^{wxy}	2.4 ^{rstuvwxy}	2.0 ^{wxy}
months	±0.5	±0.6	±0.8	±0.6	±0.5	±1.1	±0.8
6	2.8 ^{mnpqrstuvwxy}	2.1 ^{uvwxy}	2.9 ^{mnpqrstuvwxy}	2.7 ^{nopqrstuvwxy}	2.1 ^{uvwxy}	3.0 ^{lmnopqrstu}	2.0 ^{wxy}
months	±1.6	±0.9	±1.2	±0.9	±0.9	±1.2	±0.8

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวและแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

C = control, 3P = 3% palm kernel oil, 3O = 3% olive oil,

3S = 3% sunflower oil, 6P = 6% palm kernel oil, 6O = 6% olive oil,

6S = 6% sunflower oil

คะแนนความชอบที่ใช้เป็น Hedonic Score 7 ระดับ

ตารางที่ จ.7 สมบัติทางประสาทสัมผัสของคะแนนความชอบโดยรวมของข้าวหุงสุกที่เติมน้ำมัน ร้อยละ 3 และ 6 ในรีทอร์ตแพคเกจที่ระยะเวลาเก็บรักษาต่างๆ

Storage	C	3P	3O	3S	6P	6O	6S
0	4.8 ^{ab}	4.9 ^a	4.9 ^a	4.4 ^{abcde}	3.8 ^{cdefghijk}	4.8 ^a	3.9 ^{cdefghi}
day	±1.1	±1.2	±1.2	±0.9	±1.2	±1.3	±0.8
10	4.5 ^{abcd}	3.4 ^{ghijklmn}	4.0 ^{bcdefgh}	4.3 ^{abcdef}	3.4 ^{fghijklmn}	4.2 ^{abcdefg}	4.6 ^{abc}
days	±1.2	±1.2	±1.2	±1.4	±0.9	±1.4	±1.5
20	3.8 ^{cdefghij}	3.5 ^{efghijklm}	3.8 ^{cdefghijk}	3.6 ^{efghijklm}	3.3 ^{hijklmnop}	2.8 ^{lmnopqrstu}	4.3 ^{abcdef}
days	±1.3	±1.3	±1.2	±1.3	±1.2	±1.0	±1.2
1	3.4 ^{fghijklmn}	3.7 ^{cdefghijk}	3.4 ^{ghijklmn}	3.2 ^{hijklmnopq}	3.4 ^{fghijklmn}	3.5 ^{efghijklm}	3.5 ^{fghijklm}
month	±1.4	±1.4	±0.9	±1.5	±0.9	±1.1	±1.1
2	3.1 ^{hijklmnopq}	3.0 ^{ijklmnopqrs}	3.3 ^{hijklmnop}	3.4 ^{ghijklmn}	2.4 ^{qrstu}	2.5 ^{opqrstu}	3.5 ^{fghijklm}
months	±1.7	±1.5	±0.7	±1.0	±1.0	±0.9	±1.3
3	2.4 ^{pqrstu}	2.9 ^{ijklmnopqrs}	4.5 ^{abcd}	2.9 ^{klmnopqrst}	2.0 ^u	3.7 ^{defghijkl}	3.4 ^{fghijklmn}
months	±0.9	±0.8	±1.5	±0.7	±1.0	±1.6	±1.8
4	3.0 ^{ijklmnopqrs}	3.1 ^{hijklmnopq}	3.1 ^{hijklmnopq}	2.9 ^{klmnopqrst}	2.7 ^{mnopqrstu}	3.0 ^{ijklmnopq}	2.5 ^{mnopqrstu}
months	±0.7	±1.0	±1.0	±0.7	±1.1	±0.9	±0.5
5	3.3 ^{ghijklmno}	2.2 ^{rstu}	2.1 ^{stu}	2.7 ^{mnopqrstu}	2.0 ^u	2.7 ^{mnopqrstu}	2.7 ^{mnopqrstu}
months	±0.9	±0.4	±0.5	±1.0	±0.0	±1.1	±0.4
6	2.9 ^{ijklmnopqrst}	2.2 ^{rstu}	3.0 ^{ijklmnopq}	2.8 ^{lmnopqrstu}	2.2 ^{rstu}	3.3 ^{hijklmnop}	2.0 ^{tu}
months	±1.6	±1.1	±1.2	±1.0	±1.0	±1.1	±0.8

หมายเหตุ a,b,c ตัวอักษรที่ต่างกันในแต่ละแถวและแนวนอนแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

C = control, 3P = 3% palm kernel oil, 3O = 3% olive oil,

3S = 3% sunflower oil, 6P = 6% palm kernel oil, 6O = 6% olive oil,

6S = 6% sunflower oil

คะแนนความชอบที่ใช้เป็น Hedonic Score 7 ระดับ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวศิริโรรัตน์ กาญจนสำราญวงศ์ เกิดวันที่ 16 เมษายน 2529 ที่จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิตจาก ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร คณะอุตสาหกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2551 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2553

การนำเสนอผลงานทางวิชาการ

Sirorat Kanjanasumranwong, Saiwarun Chaiwanichsiri and Kalaya Laohasongkram. 2014. Effect of vegetable oil on retrogradation and textural properties of cooked rice in retort pouch. The 2nd International Conference on Food and Applied Bioscience (poster). 6 – 7 February, 2014. The Empress hotel, Chiang Mai, Thailand.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY