



การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของกายภาพของกะทิและอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม

โดย

นางสาวนฤชนัน ชัยแจ้ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของทางกายภาพของกะทิและอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม

โดย

นางสาวนฤชณ์ ชัยแจ้ง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2552

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

**STUDY OF FACTORS AFFECTING PHYSICAL STABILITY OF COCONUT MILK AND
FOODS CONTAINING COCONUT MILK**

**By
Naruerat Chaijang**

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree

MASTER OF SCIENCE

Department of Food Technology

Graduate School

SILPAKORN UNIVERSITY

2009

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร อนุมัติให้วิทยานิพนธ์เรื่อง “ การศึกษาปัจจัยที่มีผล
ต่อความคงตัวของกายภาพของกะทิและอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม ” เสนอโดย นางสาวนฤชนัน
ชัยแจ้ง เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี
อาหาร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย ชินะตั้งกูร)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน..... พ.ศ.....

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย
2. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญดา เพ็ญโรจน์
3. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ธีรธรรมถาวร

คณะกรรมการตรวจสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสงค์ ศิริวงศ์วิไลชาติ)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาณี คำนวิริยะกุล)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริญดา เพ็ญโรจน์)

...../...../.....

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงใจ ธีรธรรมถาวร)

...../...../.....

51403205 : สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร

คำสำคัญ : กะทิ / โปรตีนกะทิ / ความคงตัวของกายภาพ / อาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม

นฤธน์ ชัยแจ้ง : การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวของกายภาพของกะทิและอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ.ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย, ผศ.ดร.ปริญดา เพ็ญโรจน์ และ ผศ.ดร.ดวงใจ อิทธิธรรมถาวร. 100 หน้า.

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการแยกโปรตีนกะทิออกเป็น 4 ส่วน คือ 1) โปรตีนที่ไม่ละลายในกะทิ (insoluble coconut milk protein, IP) ซึ่งแยกมาจากการเหวี่ยงน้ำกะทิ 2) โปรตีนที่ดูดซับอยู่รอบผิวครีม (coconut cream protein, CCP) ซึ่งแยกได้จากการแช่แข็ง-ละลายหัวกะทิ 3) โปรตีนที่ละลายอยู่ในหางกะทิ (coconut skim milk protein, CSP) ซึ่งแยกได้จากการไคอะไลซ์หางกะทิ และ 4) โปรตีนที่ไม่ละลายในหางกะทิ (insoluble skim milk protein, ISP) ซึ่งแยกได้โดยการกรองหางกะทิที่ผ่านการไคอะไลซ์แล้ว ผลการวิเคราะห์ด้วย SDS-PAGE แสดงให้เห็นว่าโปรตีนกะทิมีน้ำหนักโมเลกุลโดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 14.4-66.2 กิโลดาลตัน (kDa) ผลการวิเคราะห์ด้วย DSC แสดงให้เห็นว่าโปรตีนกะทิมีอุณหภูมิการเสียสภาพธรรมชาติ (T_d) ต่ำสุดที่ประมาณ 90°C

จากการศึกษาสถานะในการโฮโมจีไนซ์กะทิที่ความดัน (ขั้นที่ 1/ขั้นที่ 2) 3 ระดับ คือ 11/4 17/4 และ 23/4 MPa โดยโฮโมจีไนซ์ 1, 2 และ 3 รอบ กรณีไม่เติมสารสตาบิไลเซอร์พบว่าเมื่อเพิ่มระดับความดันและจำนวนรอบในการโฮโมจีไนซ์ส่งผลให้ขนาดของครีมเล็กลงและมีความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนในกรณีที่เติมสาร CMC หรือ Tween 60 พบว่าการเพิ่มความดันและจำนวนรอบในการโฮโมจีไนซ์ไม่ได้ทำให้ขนาดครีมเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยที่ความดัน 23/4 MPa และโฮโมจีไนซ์ 1 รอบ ให้กะทิที่มีขนาดครีมเล็กลง มีความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมสูง

การโฮโมจีไนซ์กะทิรวมกับการใช้ Tween 60 (ร้อยละ 0.25-1.00) และ CMC (ร้อยละ 0.60) ทำให้ได้กะทิสเตอริไลซ์ที่ไม่เกิดตะกอนอ่อน มีความเป็นเนื้อเดียวกันหลังแช่เยือกแข็ง และมีความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมสูง ส่วนในอาหารสเตอริไลซ์แบบพีเอชต่ำ พีเอชสูง และความเข้มข้นน้ำตาลสูงที่ผลิตจากกะทิที่โฮโมจีไนซ์ร่วมกับ Tween 60 ร้อยละ 0.25-1.00 และ CMC ร้อยละ 0.60 ไม่พบการเกิดตะกอนอ่อนและการแยกชั้นน้ำมัน ในขณะที่อาหารแบบเดียวกันแต่แช่แข็งกลับพบการตกตะกอนและเกิดการแยกชั้นน้ำมัน

ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2552

ลายมือชื่อนักศึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ 1. 2. 3.

51403205 : MAJOR : FOOD TECHNOLOGY

KEY WORDS : COCONUT MILK / COCONUT PROTEIN / PHYSICAL STABILITY / FOODS
CONTAINING COCONUT MILK

NARUERAT CHAIJANG : STUDY OF FACTORS AFFECTING PHYSICAL STABILITY
OF COCONUT MILK AND FOODS CONTAINING COCONUT MILK. THESIS ADVISORS : ASST.
PROF. EAKAPHAN KEOWMANEECHAI, Ph.D., ASST. PROF. PARINDA PENROJ, Ph.D., AND
ASST. PROF. DOUNGJAI TIRATHUMTHAVORN, Ph.D.. 100 pp.

In this study, four coconut milk protein fractions were separated from coconut milk; 1) insoluble coconut milk protein (IP) obtained by centrifuging whole coconut milk, 2) coconut cream protein (CCP) separated by freeze-thawing coconut cream, 3) coconut skim milk protein (CSP) obtained by dialyzing coconut skim milk and 4) insoluble coconut skim milk protein (ISP) separated by filtrating dialyzed coconut skim milk. Results from SDS-PAGE revealed that most coconut milk proteins had the molecular weight (MW) ranging from 14.4 to 66.2 kDa. DSC demonstrated that coconut milk proteins had lowest peak denaturation temperatures (T_d) about 90°C.

Homogenization conditions for coconut milk were studied at pressure levels (first stage/second stage) of 11/4, 17/4 and 23/4 MPa for 1, 2 and 3 passes through a homogenizer. In an absence of CMC and Tween 60, increasing pressure and number of passes significantly reduced average droplet size and increased the stability against creaming ($P < 0.05$). In a presence of CMC or Tween 60, increasing pressure and number of passes did not significantly decrease the average droplet size of the coconut milk ($P > 0.05$). At 23/4 MPa for 1 pass, the coconut milk had small average droplet size and high stability against creaming.

Homogenization in presence of Tween 60 (0.25-1.00 wt%) and CMC (0.60 wt%) could provide sterilized coconut milk which had no curding, stayed homogeneous after shaking and showed high stability against creaming. High-acid, low-acid and high-sugar sterilized foods containing homogenized coconut milk with 0.25-1.00% Tween 60 and 0.60% CMC did not exhibit curding and oiling-off. On the other hand, precipitation and oiling-off were found in corresponding frozen foods.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกพันธ์ แก้วมณีชัย ซึ่งให้ความกรุณาเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และ ให้ความช่วยเหลือดูแลให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีมาโดยตลอด ขอขอบพระคุณที่ ท่านได้ให้ความรู้และคำแนะนำ ทั้งในส่วนของเนื้อหา การจัดทำรูปเล่ม ตลอดจนตรวจแก้ไข วิทยานิพนธ์เล่มนี้ให้เสร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่าน ที่กรุณาให้ความรู้ในด้าน วิชาการ ตลอดจนคำแนะนำต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ยิ่งมาโดยตลอด

ขอขอบคุณภาควิชาเทคโนโลยีอาหารสำหรับทุนการศึกษา และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยศิลปากร ผู้ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย ภายใต้ชุดโครงการ การพัฒนาและปรับปรุง คุณภาพผลิตภัณฑ์จากมะพร้าว ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ บริษัท เทพผดุงพรมะพร้าว จำกัด สำหรับการสนับสนุนและให้ข้อมูลใน การทำดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาเทคโนโลยีอาหารทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือใน การค้นคว้าหนังสือและอำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณพี่ๆ และเพื่อนๆ ทุกคน ที่ช่วยเหลือในเรื่องต่าง ๆ พร้อมทั้งให้คำปรึกษาและ เป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยอบรมเลี้ยงดูเป็นกำลังใจในการ ทำงานและให้การสนับสนุนการศึกษาอย่างดียิ่งตลอดมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ฌ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
ขอบเขตของการศึกษา.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
คำจำกัดความ	4
คุณลักษณะของกะทิ.....	4
วิธีการแยกและสมบัติของโปรตีนกะทิ	6
อิมัลชัน.....	9
ความไม่คงตัวของกายภาพของอิมัลชัน	10
อิมัลซิฟายเออร์และกัม.....	14
การรักษาความคงตัวของน้ำกะทิแปรรูป.....	15
3 วัตถุดิบ อุปกรณ์ และวิธีการ	19
วัตถุดิบ	19
เครื่องมือและอุปกรณ์.....	19
สารเคมี.....	20
วิธีดำเนินงานวิจัย	22
การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	28
สถานที่ทำการทดลอง	28
4 ผลการทดลองและการวิจารณ์	30
องค์ประกอบทางเคมีของกะทิและโปรตีนกะทิ	30

บทที่	หน้า
องค์ประกอบและขนาดโมเลกุลของโปรตีนกะทิ.....	32
การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนของโปรตีนกะทิ.....	33
ผลของสภาวะในการไฮโมจิไนซ์ต่อสมบัติและความคงตัวของกะทิ.....	35
ผลของปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ร่วมกับการไฮโมจิไนซ์กะทิในระบบการสเตอริไลซ์และการแช่แข็ง-ละลาย	42
ผลของปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ร่วมกับการไฮโมจิไนซ์ในระบบอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสมแบบพีเอชต่ำต่อสมบัติและความคงตัวของกะทิ.....	45
ผลของปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ร่วมกับการไฮโมจิไนซ์ในระบบอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสมแบบพีเอชสูงต่อสมบัติและความคงตัวของกะทิ.....	51
ผลของปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ร่วมกับการไฮโมจิไนซ์ในระบบอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสมแบบความเข้มข้นน้ำตาลสูงต่อสมบัติและความคงตัวของกะทิ	56
5 สรุปผลการทดลอง	62
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก	70
ภาคผนวก ก วิธีการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี	71
ภาคผนวก ข สูตรและวิธีการเตรียมอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม.....	82
ภาคผนวก ค ตารางผลการทดลอง	89
ประวัติผู้วิจัย	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 องค์ประกอบโดยประมาณของกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวโดยไม่เติมน้ำ.....	5
2 องค์ประกอบโดยประมาณของโปรตีนกะทิที่แยกได้จากกะทิ	8
3 สัดส่วนองค์ประกอบของกรดไขมันในกะทิและน้ำมันมะพร้าว.....	13
4 อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับกะทิบรรจุกระป๋องขนาดต่าง ๆ	18
5 องค์ประกอบโดยประมาณของกะทิ ส่วนครีม ส่วนหางกะทิและส่วนตะกอน ที่ไม่ละลายในกะทิ	30
6 ปริมาณโปรตีนโดยประมาณของโปรตีนส่วนต่าง ๆ ที่แยกได้จากกะทิ	31
7 อุณหภูมิการเสียดสภาพธรรมชาติที่ยอดฟักและค่าเอนทาลปีของโปรตีนกะทิ.....	34
8 ผลของระดับความเข้มข้นของ Tween 60 ต่อขนาดครีโอล์เล็กเกลียว ความคงตัวต่อการแยกชั้น และค่าความหนืดของกะทิ.....	40
9 สมบัติของส่วนใสที่ได้จากการเหวี่ยงแยกส่วนของเหลวในอาหารที่มีกะทิเป็น ส่วนผสมที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์โดยไม่เติมสเตบิลไลเซอร์	61
10 สารละลายที่ใช้สำหรับเตรียมเจล SDS-PAGE	80
11 ส่วนผสมสำหรับต้มยำใก่น้ำขุ่น	84
12 ส่วนผสมสำหรับต้มยำใก่	84
13 ส่วนผสมสำหรับแกงเผ็ดใก่	85
14 ส่วนผสมสำหรับแกงเขียวหวานใก่	86
15 ส่วนผสมสำหรับกล้วยบัวขี้.....	87
16 ผลของสภาวะในการโฮโมจีไนซ์ต่อขนาดครีโอล์เล็กเกลียวของกะทิ	90
11 ผลของสภาวะในการโฮโมจีไนซ์ต่อความคงตัวของการแยกชั้นครีมของกะทิ.....	91
12 ผลของกระบวนการผลิตและปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวของการ แยกชั้นครีมของกะทิที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....	92
13 ผลของกระบวนการผลิตและปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวของการ แยกชั้นครีมของต้มยำใก่น้ำขุ่นที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....	93
14 ผลของกระบวนการผลิตและปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวของการ แยกชั้นครีมของต้มยำใก่ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ	94
15 ผลของกระบวนการผลิตและปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวของการ แยกชั้นครีมของแกงเผ็ดใก่ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ	95

ตารางที่	หน้า
16 ผลของกระบวนการผลิตและปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวของการ แยกชั้นครีมของแกงเขียวหวานไก่ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ.....	96
17 ผลของกระบวนการผลิตและปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวของการ แยกชั้นครีมของกล้วยบวชชีที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ	97
18 ผลของกระบวนการแช่แข็งและปริมาณ Tween 60 ร้อยละ 0.25-1.00 และ CMC ร้อยละ 0.60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นน้ำมันและปริมาณการเกิดตะกอน หลังผ่านละลายด้วยไมโครเวฟในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม.....	98
19 ค่าพีเอชและความหนืดในระบบอาหารสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากกะทิที่มีปริมาณ Tween 60 ต่างกัน	99

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 ความไม่คงตัวทางกายภาพของอิมัลชัน	11
2 ขั้นตอนการแยกโปรตีนจากกะทิ	23
3 ขั้นตอนการศึกษาสภาวะในการโฮโมจีไนซ์ต่อสมบัติและความคงตัวทาง กายภาพของกะทิ	25
4 ลักษณะ SDS-PAGE ของโปรตีนกะทิ.....	32
5 เทอร์โมแกรมของโปรตีนกะทิ	34
6 ผลของสภาวะในการโฮโมจีไนซ์ต่อขนาดอนุภาครีโอพลีและผลต่อ ต่อการแยกชั้นครีมของกะทิ	36
7 ผลของสภาวะในการโฮโมจีไนซ์ที่ความดัน 23/4 MPa จำนวน 1 รอบ ต่อการ กระจายตัวของอนุภาครีโอพลี	37
8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์แสดงผลของสภาวะในการโฮโมจีไนซ์ที่ความดัน 11/4 MPa ในตัวอย่างควบคุม เติม CMC และ Tween 60.....	38
9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า และ 400 เท่า แสดงผลการ โฮโมจีไนซ์กะทิร่วมกับ CMC และ Tween 60 ต่อลักษณะรีโอพลี.....	41
10 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในกะทิที่ไม่ผ่าน การสเตอริไลซ์และผ่านการสเตอริไลซ์.....	43
11 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะกะทิที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการ สเตอริไลซ์ด้วยความร้อน	44
12 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในกะทิที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลาย.....	44
13 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะการแยกชั้นในกะทิที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลาย.....	45
14 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในส่วนของเหลว ของตัวยำไถ่น้ำขุ่นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 ซึ่งไม่ผ่านการสเตอริไลซ์และ ผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน	46
15 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในส่วนของเหลว ของตัวยำไถ่น้ำขุ่นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 ซึ่งไม่ผ่านการสเตอริไลซ์และผ่าน การสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน.....	47

ภาพที่	หน้า
16 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะส่วนของเหลวของตั้มยาไก่อ้น้ำขึ้นและ ตั้มยาไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน	48
17 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมและการตกตะกอน ในส่วนของเหลวของตั้มยาไก่อ้น้ำขึ้นและตั้มยาไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลาย.....	49
18 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะการแยกชั้นของส่วนของเหลวของตั้มยาไก่อ้น้ำขึ้น และตั้มยาไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 และผ่านการแช่แข็ง-ละลาย.....	50
19 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในส่วนของเหลว ของแกงเผ็ดไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 ซึ่งไม่ผ่านการสเตอริไลซ์และผ่าน การสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน	52
20 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในส่วนของเหลว ของแกงเขียวหวานไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 ซึ่งไม่ผ่านการสเตอริไลซ์ และผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน	53
21 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะส่วนของเหลวของแกงเผ็ดไก่อ้น้ำขึ้นและแกง เขียวหวานไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการสเตอริไลซ์.....	54
22 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมและการตกตะกอน ในส่วนของเหลวของแกงเผ็ดไก่อ้น้ำขึ้นและแกงเขียวหวานไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลาย.....	55
23 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะการแยกชั้นของส่วนของเหลวของแกงเผ็ดไก่อ้น้ำขึ้น และแกงเขียวหวานไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 และผ่านการแช่แข็ง-ละลาย.....	56
24 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในส่วนของเหลว ของกล้วยบวชชีไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 ซึ่งไม่ผ่านการสเตอริไลซ์และผ่าน การสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน.....	57
25 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะส่วนของเหลวของกล้วยบวชชีไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน.....	58
26 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวในการแยกชั้นครีมในส่วนของเหลว ของกล้วยบวชชีไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลาย.....	59
27 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะการแยกชั้นในส่วนของเหลวของกล้วยบวชชี ไก่อ้น้ำขึ้นที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลาย	59

ภาพที่	หน้า
28 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ขนาดครีโอล์ด้วยเครื่องวัดการกระเจิงแสงเลเซอร์	75
29 ส่วนประกอบของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ และขั้นตอนการประกอบข้อ 1-5	78
30 ส่วนประกอบของเครื่องอิเล็กทรอนิกส์ และขั้นตอนการประกอบข้อ 6-9	79
31 ลักษณะของกะทิภายหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ	88
32 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ดื่มยาโกน้าขึ้นและดื่มขำไ้ภายหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ.....	88
33 ลักษณะของผลิตภัณฑ์แกงเผ็ดไก่และแกงเขียวหวานไ้ภายหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ.....	88
34 ลักษณะของผลิตภัณฑ์กล้วยบวชชีภายหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ.....	88

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอาหารไทยได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในประเทศต่าง ๆ ทั่วโลก เนื่องจากอาหารไทยมีคุณลักษณะเฉพาะตัวที่โดดเด่นทั้งในด้านลักษณะปรากฏ กลิ่น และรสชาติ มีการใช้ส่วนผสมมากมายหลายชนิด ที่มีคุณค่าทางโภชนาการและมีประโยชน์ต่อสุขภาพ รัฐบาลไทยจึงได้เล็งเห็นศักยภาพของอาหารไทยที่จะสามารถเติบโตและแข่งขันได้ในตลาดโลก และได้ให้การสนับสนุนอุตสาหกรรมอาหารไทยโดยผลักดันให้อาหารไทยเป็นหนึ่งในยุทธศาสตร์สำคัญของประเทศ ส่งผลให้อุตสาหกรรมอาหารไทยมีการพัฒนาและเติบโตอย่างต่อเนื่อง ทั้งชนิด ปริมาณ และมูลค่าของอาหารไทยส่งออกได้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

อาหารไทยหลายชนิดมีส่วนผสมของกะทิ ทั้งในอาหารคาวและอาหารหวาน ทำให้เกิดความต้องการกะทิในปริมาณสูง อุตสาหกรรมกะทิกลายเป็นหนึ่งในอุตสาหกรรมอาหารที่มีความสำคัญเชิงเศรษฐกิจของประเทศ โดยมีการแปรรูปกะทิเป็นผลิตภัณฑ์หลายชนิด ได้แก่ กะทิพาสเจอร์ไรซ์ กะทิกะป๋องสเตอริไลซ์ กะทิล่องยูเอชที กะทิผง รวมทั้งผลิตภัณฑ์อาหารแปรรูปที่มีกะทิเป็นส่วนผสมหลัก เช่น แกงเขียวหวาน แกงกะหรี แกงมัสมั่น พะแนง คัมข่าไก่ คัมข่าน้ำขื่น กล้วยบวชชี บัวลอย รวมนิตร ซึ่งอาจผ่านการแช่เย็น การแช่แข็ง การสเตอริไลซ์ในกระป๋องหรือในรีทอร์ทเพาซ์ เป็นต้น กะทิที่ใช้ในอาหารเหล่านี้ทำหน้าที่ให้กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และลักษณะปรากฏเฉพาะตัวของอาหารแต่ละชนิด อาหารบางอย่างอาจต้องการความคงตัวของกะทิ คือไม่เกิดการแยกชั้น หรือการแตกมัน ในทางตรงกันข้าม อาหารบางอย่างก็อาจต้องการให้กะทิกเกิดการแยกชั้น แตกมันเล็กน้อย หรือแตกมันมาก ผู้ผลิตอาหารจึงจำเป็นต้องควบคุมความคงตัวและการแตกมันของกะทิให้เหมาะสมกับชนิดของผลิตภัณฑ์ และความชอบของผู้บริโภค ดังนั้นอาหารแปรรูปที่ต้องการยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนาน จะต้องสามารถรักษาความคงตัวหรือระดับการแตกมันของกะทิที่เหมาะสมไว้ได้ตลอดช่วงเวลาของการเก็บรักษา

ปัญหาการแยกชั้นครีม (creaming) และการแตกมัน (oiling off) ของกะทิในผลิตภัณฑ์แปรรูป อันจัดว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของกะทิ ซึ่งเป็นระบบอิมัลชันตามธรรมชาติ แบบน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsion) โดยประกอบด้วยส่วนที่เป็นเฟสหรือวัฏภาคของน้ำ

(aqueous phase) และเฟสหรือวัฏภาคของน้ำมันมะพร้าว (oil phase) ซึ่งไม่ละลายซึ่งกันและกัน โดยเฟสของน้ำมันมะพร้าวจะกระจายตัว (dispersed phase) เป็นเม็ดเล็ก ๆ เรียกว่า ครอบเล็ก (droplet) อยู่ในเฟสของน้ำที่เป็นเฟสต่อเนื่อง (continuous phase) (Tangsuphoom and Coupland, 2008) ในกะทิจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบโดยทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ตามธรรมชาติ (Birose, Gonzales and Santos, 1963) ช่วยให้กะทิมีความคงตัวอยู่ได้ระยะหนึ่ง โดยไม่แยกชั้นหรือแตกมัน อย่างไรก็ตามกะทิจะสูญเสียความคงตัวได้ง่ายเมื่อนำไปประกอบหรือผลิตอาหาร โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผ่านกระบวนการให้ความร้อนซึ่งทำให้โปรตีนกะทิกเกิดการเปลี่ยนแปลง (denaturation) กะทิที่ได้รับความร้อนจะเริ่มสูญเสียความคงตัว โดยครอบเล็กที่เป็นเมื่อน้ำมันจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบน รวมตัวหนาแน่นเป็นชั้นครีมข้นเรียกว่าการแยกชั้นครีม (creaming) จากนั้นเมื่อครอบเล็กในชั้นครีมรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ เป็นเนื้อเดียวกัน จะเห็นเป็นชั้นน้ำมันใสลอยตัวอยู่ที่ผิวหน้าเรียกว่า การแตกมัน (oiling off) การแยกชั้นครีมและการแตกมันมีความเกี่ยวข้องกับสัมพันธกันต่อเนื่องกัน ถ้าเกิดการแยกชั้นครีมอย่างมาก ก็มักนำไปสู่การแตกมันในที่สุด (Dickinson and Stainsby, 1982; Dickinson, 1992; Walstra, 1996; McClements, 2005)

โดยทั่วไปแล้วความคงตัวของระบบอิมัลชันที่มีโปรตีนเป็นอิมัลซิฟายเออร์จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ คุณสมบัติของโปรตีน พิเศษ อุณหภูมิและระยะเวลาในการให้ความร้อน การแช่เย็น การแช่แข็งและการละลาย กระบวนการทำให้เป็นเนื้อเดียวกันหรือโฮโมจิไนเซชัน ชนิดและความเข้มข้นขององค์ประกอบอื่น ๆ ที่มีอยู่ในอิมัลชัน เช่น สารไฮโดรคอลลอยด์ เกลือ น้ำตาล และ surfactant แม้ว่าจะมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาความไม่คงตัวของกะทิมาบ้างแล้ว แต่ก็ยังมีอยู่น้อยและยังไม่ครอบคลุม โดยส่วนใหญ่มุ่งเน้นไปที่การลดการแยกชั้นครีมในกะทิที่ผ่านกระบวนการพาสเจอร์ไรส์และสเตอริไลเซชัน ปัจจุบันจึงยังขาดข้อมูลพื้นฐานอีกหลายแง่มุมที่จะช่วยให้เกิดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับความคงตัวของกะทิอย่างแท้จริง

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อความคงตัวทางกายภาพของกะทิและอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม ได้แก่ องค์ประกอบและคุณสมบัติในการทนความร้อนของโปรตีนในกะทิ อิทธิพลของจำนวนรอบในการโฮโมจิไนเซชันกะทิ ผลของปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ในระบบอาหาร สเตอริไลซ์ที่มีกะทิเป็นส่วนผสมแบบพีเอชต่ำ แบบพีเอชสูง และแบบความเข้มข้นน้ำตาลสูง รวมทั้งผลของการแช่แข็ง-ละลาย ต่อความคงตัวทางกายภาพของอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม

เพื่อให้ได้มาซึ่งองค์ความรู้ที่จะนำไปใช้ควบคุมการแยกชั้นครีมและการแตกมันของกะทิแปรรูป และกะทิในผลิตภัณฑ์อาหารต่าง ๆ ต่อไป

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 การศึกษาองค์ประกอบโปรตีนกะทิในส่วนหัวกะทิ (adsorbed proteins) และหางกะทิ (non- adsorbed proteins) ด้วยวิธีเจลอิเล็กโตรโฟรีซิส (gel electrophoresis) และคุณสมบัติของโปรตีนในกะทิด้านการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อน โดยใช้ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (differential scanning calorimeter: DSC) เพื่อตรวจสอบการเกิด thermal denaturation และความคงตัวต่อความร้อนของโปรตีนกะทิ

1.3.2 การศึกษาผลของกระบวนการโฮโมจีไนเซชันชนิดความดันสูงแบบความดัน 2 ขั้น ที่ระดับความดันขั้นที่ 1/ขั้นที่ 2 (stage 1/stage 2) แตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 11/4 17/4 และ 23/4 MPa และจำนวนรอบในการผ่านเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ 1-3 รอบ ร่วมกับสารสตาบิไลเซอร์ ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxy methylcellulose, CMC) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก หรือ Tween 60 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่เติมสารสตาบิไลเซอร์ต่อคุณสมบัติและความคงตัวทางกายภาพของกะทิ

1.3.3 การศึกษาผลของปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ คือ Tween 60 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0 - 1.0 โดยน้ำหนัก ร่วมกับการ์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก) ต่อคุณสมบัติและความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมและการแตกมันของกะทิ ในระบบอาหารที่ผ่านการให้ความร้อนระดับสเตอริไลซ์และอาหารแช่แข็งที่มีกะทิ 3 แบบ คือ แบบพีเอชต่ำ ได้แก่ ดมย้าโก-น้ำข้นและดมย้าโก แบบพีเอชสูง ได้แก่ แงงเผ็ดโกและแงงเขียวหวานโก และแบบความเข้มข้นน้ำตาลสูง ได้แก่ กล้วยบวชชี

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สร้างองค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับองค์ประกอบและคุณสมบัติของโปรตีนในกะทิ อิทธิพลของกระบวนการแปรรูปและองค์ประกอบทางเคมีในอาหารต่อความคงตัวทางกายภาพของอาหารที่มีกะทิผสม

1.4.2 ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมอาหารไทยสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้แก้ปัญหาหรือปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คำจำกัดความ

ในปี ค.ศ. 1994 The standard Task Force of the Asian Pacific Coconut Community (APCC) ได้เสนอให้ใช้คำจำกัดความสำหรับผลิตภัณฑ์จากมะพร้าวเพื่อความเข้าใจที่ตรงกัน โดยกำหนดให้คำว่า “น้ำมะพร้าว” (coconut water) หมายถึงของเหลวตามธรรมชาติที่มีอยู่ในมะพร้าว (*Cocos nucifera* L.) ในส่วนเอนโดสเปิร์ม (endosperm) ส่วนคำว่า “กะทิ” (coconut milk) หรือ “หัวกะทิ” (coconut cream) หมายถึงผลิตภัณฑ์ของเหลวปราศจากเส้นใยที่ได้จากการสกัดหรือคั้นเนื้อมะพร้าวโดยอาจมีน้ำมะพร้าวผสมอยู่ด้วยก็ได้ Malaysia Food Regulations (Anon, 1988) ได้ให้คำจำกัดความว่า “กะทิ” จะต้องมีความเข้มข้นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 30 โปรตีนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 3 และมีน้ำไม่เกินร้อยละ 55 ส่วน “หัวกะทิ” เป็นส่วนที่ได้จากการแยกอิมัลชันกะทิโดยการตั้งทิ้งไว้หรือเหวี่ยงแยก ซึ่งจะประกอบด้วยไขมันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 โปรตีนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 5 ส่วน Seow และ Gwee (1997) ให้คำจำกัดความว่า “กะทิ” เป็นอิมัลชันที่บิสเฟสสีขาวระหว่างโปรตีน-น้ำ-ไขมันที่บีบหรือคั้นจากเนื้อมะพร้าวสด โดยอาจมีการเติมน้ำหรือไม่ก็ได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้คำว่ากะทิในความหมายเดียวกันกับ Seow และ Gwee (1997)

2.2 คุณลักษณะของกะทิ

กะทิ (coconut milk) เป็นผลิตภัณฑ์ที่สำคัญจากมะพร้าวที่ได้จากการบีบหรือคั้นเนื้อมะพร้าวสด โดยอาจมีการเติมน้ำหรือไม่ก็ได้ กะทิมีลักษณะเป็นของเหลวสีขาวขุ่นคล้ายนม มีกลิ่นรสเฉพาะตัวของมะพร้าว (nutty flavor) (เทพกัญญา, 2545) สัดส่วนขององค์ประกอบในกะทิขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สายพันธุ์ อายุ สภาพแวดล้อมในการเจริญเติบโต กระบวนการเตรียมและวิธีการแยกกะทิ (Cancel, 1979; Gonzalez, 1990) องค์ประกอบของกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวสดโดยไม่เติมน้ำประกอบด้วยความชื้นร้อยละ 50.0 – 54.0 ไขมันร้อยละ 32.0-40.0 โปรตีนร้อยละ 2.8 – 4.4 เกลือร้อยละ 1.0-1.5 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 5.5-8.3 (Nathaneal, 1954; Popper, Notter และ Nurry, 1966; Jeganathan, 1970; Anon, 1984) (ตารางที่ 1) ส่วนปริมาณไขมัน

ในผลิตภัณฑ์กะทิจากประเทศไทยจะอยู่ในช่วงร้อยละ 15-30 (Simuang และคณะ, 2004) Buccat, Gonzalez และ Manalac (1973) รายงานค่า pH ของน้ำกะทียู่ระหว่าง 5.8-6.39 โดยวัดในช่วงอุณหภูมิ 10-80°C จึงถือว่ากะทิเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low-acid food)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบ โดยประมาณ (ร้อยละ) ของกะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวโดยไม่เติมน้ำ

องค์ประกอบ	Nathaneal (1954)	Popper และคณะ (1966)	Jeganathan (1970)	Anon (1984)
ความชื้น	50.0	54.1	50.0	53.9
ไขมัน	39.8	32.2	40.0	34.7
โปรตีน (N×6.25)	2.8	4.4	3.0	3.6 ^a
เถ้า	1.2	1	1.5	1.2
คาร์โบไฮเดรต ^b	6.2	8.3	5.5	6.6

^a N×5.3

^b ได้จากการคำนวณ คาร์โบไฮเดรต = 100 – (ความชื้น+ไขมัน+โปรตีน+เถ้า)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Onsaard (2008)

กะทิโดยทั่วไปจะเป็นอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsions: O/W emulsions) ซึ่งมีดริอปเล็ทของน้ำมันมะพร้าวกระจายตัวอยู่ในน้ำที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง ในกะทิจะมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่ โดยทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ตามธรรมชาติธรรมชาติ ได้แก่ โกลบูลิน (globulins) และอัลบูมิน (albumins) (Birose, Gonzales และ Santos, 1963; Kwon, Park และ Rhee, 1996) รวมทั้งฟอสโฟลิปิด (phospholipids) ได้แก่ เลซิทีน (lecithin) และเซฟาลิน (cephalin) (Birose, Gonzales และ Santos, 1963; Luis, 1969) ช่วยให้กะทิตกตัวอยู่ได้ระยะเวลาหนึ่ง แต่อย่างไรก็ตามอิมัลชันกะทิก็คะแยกตัวเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนล่างเป็นชั้นน้ำ (coconut skim milk) และส่วนบนเป็นชั้นครีม (coconut cream) (Cancel, 1979; Gonzalez, 1990) เนื่องจากความเข้มข้นของโปรตีนที่ผิวระหว่างเม็ดไขมันและน้ำมีไม่มากพอที่จะทำให้เกิดความคงตัว (Monera และ del Rosario, 1982) โดยกะทิจะเริ่มเกิดการแยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้ 5- 10 ชั่วโมง จนกระทั่งแยกสมบูรณ์ในเวลา 24 ชั่วโมง (Escueta, 1980; Tangsuphoom และ Coupland, 2005)

2.3 วิธีการแยกและสมบัติของโปรตีนกะทิ

โปรตีนกะทิเป็นผลิตภัณฑ์ได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำมันมะพร้าว ซึ่งสามารถสกัดได้จากส่วนเหลือของเนื้อมะพร้าวแห้ง (copra) อย่างไรก็ตามการใช้อุณหภูมิสูงในการสกัดน้ำมันมะพร้าวจะทำให้ได้น้ำมันและโปรตีนที่มีคุณภาพต่ำ (Gunetileke และ Laurentius, 1974) ต่อมาจึงได้มีการปรับปรุงกระบวนการสกัดน้ำมันมะพร้าวและโปรตีนได้จากกระบวนการที่เรียกว่า “wet processing” ซึ่งทำการสกัดน้ำมันและโปรตีนได้จากเนื้อมะพร้าวสด น้ำมันและโปรตีนจะถูกแยกออกมาพร้อม ๆ กันจากกะทิโดยการทำให้อิมัลชันแตกออก การแยกโปรตีนกะทิสามารถแยกได้จาก 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ ส่วนครีม (coconut cream) และส่วนหางกะทิ (coconut skim milk)

การแยกโปรตีนจากส่วนครีมกะทิทำได้โดยการทำให้อิมัลชันแตกออกและแยกน้ำมันมะพร้าวออกมา สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ความร้อน การใช้เอนไซม์ การแช่แข็ง-ละลาย และการเหวี่ยงแยก เป็นต้น Grimwood (1975) ทดลองแยกน้ำมันออกจากกะทิด้วยการให้ความร้อน พบว่า สามารถแยกน้ำมันมะพร้าวออกมาได้ แต่วิธีนี้ทำให้โปรตีนเสียคุณภาพและทำให้สีของน้ำมันเปลี่ยนแปลงไป Gunetileke และ Laurentius (1974) นำกะทิมาหมนเหวี่ยงที่ 2,000 xg แล้วลดอุณหภูมิกะทิลงเป็นค่าต่างๆ ต่ำกว่า 25°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นปรับอุณหภูมิกลับมาที่ 25°C แล้วหมนเหวี่ยงที่ 2,000 xg พบว่าต้องลดอุณหภูมิกะทิลงให้ต่ำกว่า 17°C จึงจะสามารถแยกน้ำมันและจะได้ปริมาณน้ำมันมะพร้าวเพิ่มขึ้นเมื่อลดอุณหภูมิให้ต่ำลง McGlone และคณะ (1986) สกัดน้ำมันมะพร้าวโดยผสมเอนไซม์ α -amylase, polygalacturonase และ protease ลงในเนื้อมะพร้าวสับละเอียดต่อน้ำในอัตราส่วน 1:4 ทิ้งไว้ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 4°C ก่อนนำไปเหวี่ยงแยกที่ 12,300 xg พบว่าสามารถแยกน้ำมันออกมาได้ร้อยละ 80 สุคนธ์ชื่น (2542) ศึกษาวิธีการแยกน้ำมันมะพร้าวออกจากหัวกะทิที่แยกได้จากเครื่องแยกครีม พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการรวมตัวของไขมันในหัวกะทิต่ำกว่า 15°C และอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำลายอิมัลชันต้องมากกว่า 40°C แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการทำลายอิมัลชันคือที่ 80°C เพราะให้ผลผลิตน้ำมันมะพร้าวสูงและได้น้ำมันที่มีลักษณะใส Onsaard และคณะ (2006) ทำการแยกโปรตีนกะทิจากส่วนครีม 2 วิธีคือ 1) การแช่แข็ง-ละลาย โดยนำส่วนครีมกะทิที่ได้จากการเหวี่ยงแยกมาแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20°C อย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วนำมาละลายจนมีอุณหภูมิ 40°C และเหวี่ยงแยกที่ 5,500 xg เป็นเวลา 30 นาที คึงเอาส่วนน้ำมันที่เหลือออกด้วยเฮกเซน แล้วนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) จะได้โปรตีนมะพร้าวที่ดูดซับรอบผิวหรือเปลือกจากวิธีการแช่แข็ง-ละลาย (CCPF) 2) การตกตะกอน ณ จุดไอโซอิเล็กทริก โดยนำกะทิมาปรับให้มี pH 3.9 ตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 8 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 4°C จะได้กะทิที่แยกชั้นเป็นสองส่วน คือ ส่วนล่างเป็นชั้นน้ำ และส่วนบนเป็นชั้นครีม

แยกส่วนครีมมาอุ่นจนมีอุณหภูมิ 40°C และเหยียงแยกที่ 5,500 xg เป็นเวลา 30 นาที ดึงเอาส่วนน้ำมันที่เหลือออกด้วยเฮกเซน แล้วนำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง จะได้โปรตีนมะพร้าวที่ดูดซับรอบผิวครีโอล์ (coconut cream protein isolate: CCPI)

การแยกโปรตีนจากส่วนหางกะทิสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนโดยใช้ความร้อน การตกตะกอน ณ จุดไอโซอิเล็กทริก การตกตะกอนด้วยเกลือ และวิธีอัลตราฟิลเทรชัน (ultrafiltration) เป็นต้น Buccat, Gonzalez และ Manalac (1973) ศึกษาวิธีแยกโปรตีนจากส่วนหางกะทิ 4 วิธีคือ การตกตะกอนโดยใช้ความร้อน การตกตะกอน ณ จุดไอโซอิเล็กทริก (isoelectric point) วิธีร่วมระหว่างการตกตะกอนโดยใช้ความร้อนกับการตกตะกอน ณ จุดไอโซอิเล็กทริก และวิธีร่วม 2 วิธีข้างต้นกับการตกตะกอนด้วยเกลือแคลเซียม พบว่าปริมาณโปรตีนที่ได้จากวิธีการตกตะกอนโดยใช้ความร้อนมากกว่าการตกตะกอน ณ จุดไอโซอิเล็กทริก แต่วิธีการร่วมจะให้ร้อยละการได้คืนสูงสุด Capulso, Gonzales และ Celestino (1981) ทำการแยกโปรตีนจากส่วนหางกะทิโดยการตกตะกอน ณ จุดไอโซอิเล็กทริกที่ pH 4 จะได้ผลิตผลโปรตีนร้อยละ 60 ส่วนการตกตะกอนโดยใช้ความร้อนที่ 90°C เป็นเวลา 30 นาที ได้ผลิตผลโปรตีนร้อยละ 69.07 Kwon, Park, และ Rhee (1996) ทำการแยกโปรตีนจากส่วนหางกะทิด้วยวิธีอัลตราฟิลเทรชัน โดยใช้เมมเบรนที่มีขนาดโมเลกุลที่ยอมให้ผ่านได้ (molecular weight cut off: MWCO) 5,000 ดาลตัน ได้โปรตีนที่มีองค์ประกอบความชื้นร้อยละ 5 โปรตีนร้อยละ 51.8 ไขมันร้อยละ 5.2 เกลือร้อยละ 4.3 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 36.7 Sringam (1997) แยกโปรตีนจากส่วนหางกะทิด้วยวิธีอัลตราฟิลเทรชัน (MWCO 5,000 ดาลตัน) ได้โปรตีนกะทิที่มีองค์ประกอบความชื้นร้อยละ 5.0 โปรตีนร้อยละ 52.1 และไขมันร้อยละ 13.7 ส่วน Onsaard (2005) แยกโปรตีนจากส่วนที่ละลายในหางกะทิด้วยวิธีอัลตราฟิลเทรชัน (MWCO 10,000 ดาลตัน) และสกัดน้ำมันส่วนที่เหลือด้วยเฮกเซน ได้โปรตีนที่ละลายในหางกะทิ (coconut skim milk protein concentrate: CSPC) ที่มีองค์ประกอบความชื้นร้อยละ 6.5 โปรตีนร้อยละ 48.77 และไขมันร้อยละ 0.84 เกลือร้อยละ 9.45 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 39.14 นอกจากนี้ยังสามารถแยกโปรตีนจากกะทิได้อีก 2 ส่วนคือ โปรตีนที่ไม่ละลายในกะทิ (insoluble protein: IP) ซึ่งแยกมาจากการเหยียงแยกกะทิ และโปรตีนที่ไม่ละลายในหางกะทิ (insoluble skim milk protein: ISP) ซึ่งได้จากส่วนตะกอนที่เกิดขึ้นภายหลังจากการตั้งหางกะทิทิ้งไว้ (Onsaard, 2008) องค์ประกอบของโปรตีนกะทิที่แยกได้จากกะทิ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 องค์ประกอบโดยประมาณ (ร้อยละ) ของโปรตีนกะทิที่แยกได้จากกะทิ^a

องค์ประกอบ	CCPI	CCPF	CSPI	CSPC	ISP	IP
ความชื้น ^b	3.58±0.02	3.37±0.16	2.69±0.02	6.50±0.30	3.60±3.61	3.56±0.09
โปรตีน ^c	92.24±0.23	77.90±0.97	61.25±0.60	48.77±0.10	67.15±1.19	86.83±0.67
ไขมัน	1.97±0.07	2.54±0.24	29.29±0.50	0.84±0.08	25.30±0.95	3.00±0.00
เถ้า	4.10±0.04	4.24±0.10	5.40±0.02	9.45±0.02	1.88±3.21	3.84±0.14
คาร์โบไฮเดรต ^d	1.76±0.15	15.18±0.67	4.01±1.00	39.14±0.60	1.73±0.55	2.76±1.08

^aค่าจากการวิเคราะห์ 3 ซ้ำ

CCPI โปรตีนกะทิจากส่วนครีม แยกได้จากวิธีการตกตะกอน ณ จุดไอโซอิเล็กทริก

CCPF โปรตีนกะทิจากส่วนครีม แยกได้จากวิธีการแช่แข็ง-ละลาย

CSPI โปรตีนกะทิจากส่วนหางกะทิ แยกได้จากวิธีการตกตะกอน ณ จุดไอโซอิเล็กทริก

CSPC โปรตีนกะทิจากส่วนหางกะทิ แยกได้จากวิธีอุลตราฟิลเตรชัน

ISP โปรตีนกะทิจากส่วนหางกะทิ แยกได้จากการตั้งส่วนหางกะทิจึงไว้

IP โปรตีนกะทิจากส่วนที่ไม่ละลายในกะทิ แยกได้จากวิธีเหวี่ยงแยก

^bร้อยละโดยน้ำหนักเปียก

^cN×5.3

^dได้จากการคำนวณ คาร์โบไฮเดรต = 100 - (ความชื้น+ไขมัน+โปรตีน+เถ้า)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Onsaard และคณะ (2005, 2006) และ Onsaard (2008)

Onsaard (2008) ได้ทำการศึกษาชนิดและสัดส่วนของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนกะทิ (CCPI, CCPF, CSPI, CSPC, ISP และ IP) ตามคุณสมบัติการละลายของโปรตีนแต่ละชนิด ได้แก่ อัลบูมิน (albumin) โกลบูลิน (globulin) โปรลามิน (prolamin) กลูเตลิน-1 (glutelin-1) และกลูเตลิน-2 (glutelin-2) ตามวิธีของ Kwon, Park, และ Rhee (1996) โดยใช้น้ำกลั่น, 0.5 M NaCl, สารละลาย 2-propanal (IPA) ความเข้มข้นร้อยละ 70, สารละลายกรดอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 50 และ 0.1 M NaOH ตามลำดับ พบว่าชนิดและสัดส่วนของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักใน CCPI ประกอบด้วยกลูเตลิน-1 ร้อยละ 68.9 และอัลบูมินร้อยละ 10.7 CCPF ประกอบด้วยกลูเตลิน-1 ร้อยละ 74.8 และอัลบูมินร้อยละ 8.4 CSPI ประกอบด้วยอัลบูมินร้อยละ 94.7 และโกลบูลินร้อยละ 2.1 CSPC ประกอบด้วยอัลบูมินร้อยละ 54.3 และโกลบูลินร้อยละ 42.2 ISP ประกอบด้วยกลูเตลิน-1 ร้อยละ 75.4 และโกลบูลินร้อยละ 12.1 และ IP ประกอบด้วยกลูเตลิน-1

ร้อยละ 63.0 และโกลบูลินร้อยละ 28.3 ซึ่งชนิดและสัดส่วนของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบดังกล่าวย่อมมีผลต่อคุณสมบัติทางด้านหน้าที่ของโปรตีนที่แตกต่างกันด้วย

สมบัติในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ (emulsifier) ของโปรตีนกะทิ ได้รับอิทธิพลจากค่า pH, ionic strength และอุณหภูมิ (Gonzalez และ Tanchuco, 1977; Kwon และ Rhee, 1996; Onsaard และคณะ, 2005, 2006) โดยทั่วไปอิทธิพลของค่า pH ต่อการละลายของโปรตีนมีลักษณะคล้ายกันในโปรตีนทุกชนิด คือ การละลายจะมีลักษณะเป็นโค้งรูปตัวยู โดยพบว่าค่าการละลายน้ำของโปรตีนกะทิจะต่ำสุดที่ pH 4-5 ซึ่งคือจุดไอโซอิเล็กทริกของโปรตีนกะทิ โดยเฉพาะที่ความเข้มข้นของเกลือสูงขึ้น อิมัลชันกะทิจะมีความคงตัวลดลง และเมื่อมีการให้ความร้อนกับอิมัลชันกะทิที่ผ่านและไม่ผ่านการโฮโมจิไนเซชันที่อุณหภูมิ 70°C ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของน้ำมันเริ่มมีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้น และพบว่าโปรตีนกะทิเริ่มจะเสียสภาพและตกตะกอนที่อุณหภูมิประมาณ 80°C (Gonzalez, 1990; Kwon, Park, และ Rhee, 1996; Onsaard, 2008) นอกจากนี้ Onsaard (2008) ทำการศึกษาองค์ประกอบของโปรตีนกะทิที่แยกจากส่วนครีมและส่วนหางกะทิด้วยวิธีเจลอิเล็กโตรโฟรีซิส โดยใช้โซเดียมโดเดซิลซัลเฟตพอลิอะคริลาไมด์เจล (sodium dodecylsulfate polyacrylamide gel electrophoresis: SDS-PAGE) รายงานว่าโปรตีนกะทิมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 10-144 กิโลดาลตัน (kDa) ซึ่งโดยส่วนใหญ่ขนาดโมเลกุลของโปรตีนกะทิจะอยู่ในช่วง 22-52 kDa และยังพบว่าองค์ประกอบบางส่วน of โปรตีนกะทิมีการจับยึดกันด้วยพันธะไดซัลไฟด์ (disulfide bonds)

2.4 อิมัลชัน

อิมัลชัน (emulsion) ประกอบด้วยของเหลวชนิดหนึ่งซึ่งกระจายตัว (disperse) อยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่ง โดยของเหลวทั้งสองชนิดนี้เป็นของเหลวที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน (immiscible liquids) ระบบอิมัลชันโดยทั่วไปจะประกอบด้วยของเหลวที่กระจายตัวเป็นเม็ดทรงกลมเล็กๆ เรียกว่า ครอบเล็ท (droplets) ซึ่งเป็นวัฏภาคกระจายตัว (dispersed phase) แทรกอยู่ในของเหลวอีกชนิดหนึ่งที่เป็นวัฏภาคต่อเนื่อง (continuous phase หรือ continuous medium) ซึ่งระบบอิมัลชันในอาหารจะมีขนาดของครอบเล็ทประมาณ 0.1 – 100 μm (Dickinson และ Stainsby, 1982; Dickinson, 1992; Walstra, 1996 และ McClements, 2005)

อิมัลชันส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับน้ำและน้ำมัน ชนิดของอิมัลชันแบ่งตามชนิดของของเหลวที่เป็นวัฏภาคกระจายตัวและวัฏภาคต่อเนื่อง ได้เป็น 2 ชนิด เมื่อน้ำเป็นวัฏภาคต่อเนื่อง และน้ำมันเป็นวัฏภาคกระจายตัว เรียกว่าอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ (oil-in-water emulsions: O/W

emulsions) ตัวอย่างเช่น มายองเนส นม ชุป และกะทิ ในทางกลับกันเมื่อน้ำมันเป็นวัฏภาคต่อเนื่องและน้ำเป็นวัฏภาคกระจายตัว เรียกว่าอิมัลชันแบบน้ำในน้ำมัน (water-in-oil emulsions: W/O emulsions) ตัวอย่างเช่น เนยหรือมาการีน

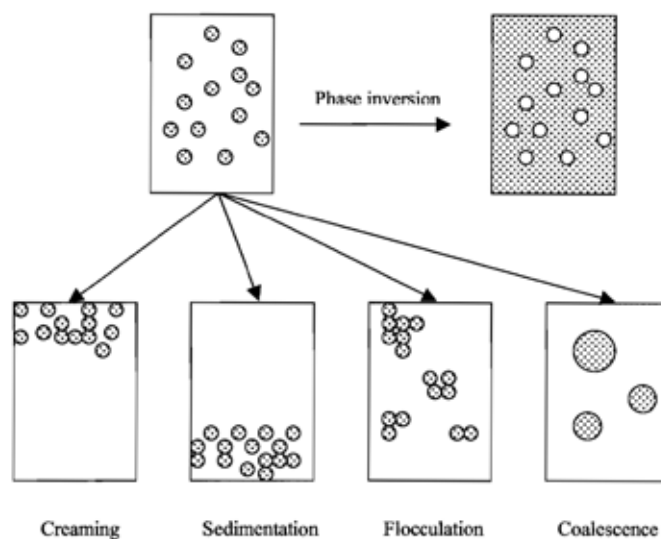
การเตรียมอิมัลชันเป็นการทำให้ของเหลวต่างชนิดกันซึ่งไม่ละลายซึ่งกันและกัน เกิดการกระจายตัวผสมกัน โดยวัฏภาคกระจายตัวจะแตกออกเป็นเม็ดเล็กๆ ที่เรียกว่าคอลลอยด์ ซึ่งแทรกอยู่ในวัฏภาคต่อเนื่อง การเตรียมอิมัลชันสามารถทำได้ด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (homogenizer) นอกจากการใช้โฮโมจีไนเซอร์ช่วยให้อิมัลชันคงตัวได้เป็นเวลานานจำเป็นต้องมีการเติมสารอิมัลซิฟายเออร์ เพื่อช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างของเหลว 2 ชนิด ทำให้ของเหลวชนิดหนึ่งกระจายตัวอยู่ในของเหลวชนิดหนึ่งโดยไม่เกิดการแยกชั้น (Das และ Kinsella, 1990) ขั้นตอนการเตรียมอิมัลชันอาจประกอบด้วยหลายขั้นตอนขึ้นอยู่กับชนิดหรือลักษณะของวัตถุดิบตั้งต้น เริ่มจากการละลายส่วนผสมต่างๆ ในเฟสหรือวัฏภาคที่ส่วนผสมนั้นๆ สามารถละลายได้ เช่น ส่วนผสมที่ละลายได้ในน้ำมัน ได้แก่ วิตามิน (A, D, E และ K) ซี สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (antioxidant) อิมัลซิฟายเออร์ที่ละลายในน้ำมัน เป็นต้น ส่วนผสมที่ละลายได้ในน้ำ ได้แก่ โปรตีน พอลิแซ็กคาไรด์ เกลือ วิตามิน ซี และอิมัลซิฟายเออร์ที่ละลายในน้ำ เป็นต้น แล้วนำส่วนผสมทั้งสองส่วนมาผสมด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูง จะได้อิมัลชันหยาบ (coarse emulsion) ที่มีขนาดอนุภาคคอลลอยด์ใหญ่ แล้วจึงนำอิมัลชันหยาบผ่านเข้าเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ จะได้เป็นอิมัลชันละเอียด (fine emulsion) ที่มีขนาดอนุภาคคอลลอยด์เล็กและมีความคงตัวมากขึ้น (McClements, 2005)

2.5 ความไม่คงตัวทางกายภาพของอิมัลชัน

ความไม่คงตัวทางกายภาพของอิมัลชันในกะทิอาจพบได้หลายลักษณะดังต่อไปนี้ (ภาพที่ 1) (Dickinson และ Stainsby, 1982; Dickinson, 1992; Walstra, 1996; McClements, 2005)

2.5.1 การเกาะกลุ่มกัน (flocculation)

เกิดขึ้นเมื่อคอลลอยด์ตั้งแต่ 2 คอลลอยด์ขึ้นไป เข้ามาใกล้และเกาะจับกันโดยไม่เกิดการรวมตัวกันของคอลลอยด์ ดังนั้นคอลลอยด์ยังมีจำนวนและขนาดเท่าเดิม เพียงแต่เกาะกันเป็นกลุ่มเท่านั้น ความไม่คงตัวแบบนี้อาจเป็นขั้นแรกที่จะนำไปสู่ความไม่คงตัวแบบอื่น ๆ ได้ เช่น การรวมตัวกัน หรือการแยกชั้นครีม การเกาะกลุ่มกันของคอลลอยด์จะมีผลต่อคุณสมบัติทางกระแสวิทยา (rheological properties) ของอิมัลชัน ขึ้นกับลักษณะ โครงสร้างที่เกิดขึ้นจากการเกาะกลุ่มกันของคอลลอยด์ คือ



ภาพที่ 1 ความไม่คงตัวทางกายภาพของอิมัลชัน

ที่มา : McClements (2005)

- ในอิมัลชันที่มีความเข้มข้นของครีโอลี้น้อย การเกาะกลุ่มกันของครีโอลี้นี้จะทำให้อิมัลชันมีความหนืดเพิ่มขึ้น แต่เมื่อทำการกวน (ถูกระทำด้วยแรงเฉือนในการกวนอย่างต่อเนื่อง) ความหนืดจะลดลงเนื่องจากครีโอลี้นี้แตกกลุ่มกระจายออกมาเรียกว่าเกิด shear-thinning

- ในอิมัลชันที่มีความเข้มข้นของครีโอลี้นี้มาก การเกาะกลุ่มกันของครีโอลี้นี้ทำให้เกิดโครงสร้างร่างแหสามมิติ (three dimension network) ที่แข็งแรงเกิดขึ้นในอิมัลชัน ทำให้อิมัลชันมีสมบัติยืดหยุ่น (elastic properties) เช่น เกิดเป็นเจลได้

2.5.2 การรวมตัวกัน (coalescence)

เกิดขึ้นเมื่อครีโอลี้นี้ตั้งแต่ 2 ครีโอลี้นี้เข้าไปเข้ามาใกล้แล้วรวมตัวกันเกิดเป็นครีโอลี้นี้ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ดังนั้นครีโอลี้นี้จะมีจำนวนน้อยลงแต่มีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อครีโอลี้นี้ที่เป็นเมื่อน้ำมันรวมตัวกัน พื้นที่ผิวสัมผัสร่วม (interfacial area) โดยรวมของอิมัลชันจะลดลง ดังนั้นพลังงานพื้นผิว (surface energy) จึงลดลงด้วย ซึ่งเป็นไปได้ง่ายทางเทอร์โมไดนามิก (thermodynamically favorable) การรวมตัวกันของครีโอลี้นี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อครีโอลี้นี้เข้ามาใกล้กันและเชื่อมที่ผิวสัมผัสร่วม (interfacial membranes) แยกออก ปฏิสัมพันธ์ระหว่างครีโอลี้นี้จะมีความสำคัญต่อการเกิดการรวมตัวกันของครีโอลี้นี้มาก อัตราการรวมตัวกันของครีโอลี้นี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อเชื่อมที่ผิวสัมผัสร่วมละลายหรือถูกทำลายมากขึ้น เชื่อมที่หนาและยืดหยุ่นจะทำให้ครีโอลี้นี้เกิดการรวมตัวได้ยาก ดังนั้นอัตราการรวมตัวกันของครีโอลี้นี้จะขึ้นอยู่กับธรรมชาติของสารอิมัลซิฟายเออร์ที่ผิวสัมผัสร่วมอย่างมาก

การรวมตัวกันของครีโอล์ไม่สามารถทำให้ย้อนกลับได้โดยการกวนธรรมดาต่างจากการเกาะตัวกัน หรือการเกิดชั้นครีมที่อาจทำให้ย้อนกลับได้โดยการกวนให้ครีโอล์ในอิมัลชันแยกและกระจายตัวใหม่ได้อีก ในอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำ การรวมตัวกันของครีโอล์จะทำให้เกิดการแยกชั้นครีมได้เร็วขึ้น เนื่องจากครีโอล์ที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (รัศมียาวขึ้น) การรวมตัวกันของ ครีโอล์อย่างต่อเนื่อง ในที่สุดจะทำให้เกิดชั้นน้ำมันลอยอยู่ด้านบนของอิมัลชัน เรียกว่า oiling off

2.5.3 การรวมตัวกันบางส่วน (partial coalescence)

เกิดขึ้นเมื่อครีโอล์ที่มีผลึกไขมันบางอย่างน้อย 2 ครีโอล์เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันแล้วเกิดการสัมผัสกัน และจัดเรียงตัวเป็นรูปร่างที่ผิดปกติ การเกาะตัวกันยังคงรูปร่างของครีโอล์ไว้ เนื่องจากโครงร่างของผลึกไขมันภายในครีโอล์จะป้องกันการรวมตัวกันอย่างสมบูรณ์ ซึ่งอัตราส่วนของไขมันแข็ง (fat solid) จะขึ้นกับองค์ประกอบของส่วนผสมที่เป็น triacylglycerol และ อุณหภูมิ ความไม่คงตัวแบบนี้มักเกิดกับอิมัลชันที่มีครีโอล์เป็นไขมันอิ่มตัว เช่น อิมัลชันกะทิ จะมีองค์ประกอบของกรดไขมันชนิดที่เป็นกรดไขมันอิ่มตัวในปริมาณสูง (ตารางที่ 3) ซึ่งจะตกผลึกได้ง่ายที่อุณหภูมิต่ำ โดยกะทิและน้ำมันมะพร้าวจะตกผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า 5 และ 15°C ตามลำดับ (Tangsuphoom และ Coupland, 2009a) และเมื่อระบบมีอุณหภูมิสูงขึ้นอาจทำให้ส่วนผลึกเกิดการหลอมรวมตัวกัน ทำให้เกิดการรวมตัวของครีโอล์ (coalescence) ได้อย่างสมบูรณ์ในที่สุด

2.5.4 การแยกชั้นครีม (creaming)

เกิดขึ้นเมื่อครีโอล์หรือกลุ่มของครีโอล์ที่เป็นน้ำมันมีความหนาแน่นน้อยกว่าวัฏภาคต่อเนื่อง จึงลอยตัวขึ้นไปรวมตัวกันบริเวณผิวหน้าด้านบนของอิมัลชันที่อยู่ในภาชนะ จนในที่สุดอาจเกิดเป็นชั้นน้ำมัน แยกตัวลอยอยู่เหนือส่วนที่เหลือของอิมัลชัน อัตราเร็วของการแยกชั้น-ครีม (creaming velocity) อาจคำนวณได้จากสมการของสโตกส์ (Stokes' equation) ดังต่อไปนี้

$$v = \frac{2r^2(\rho_0 - \rho_1)g}{9\eta_0}$$

V	= อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของครีโอล์หรืออัตราเร็วในการแยกชั้นครีม
ρ	= ความหนาแน่น
g	= ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก
r	= รัศมีของอนุภาค หรือ ครีโอล์
η	= ความหนืดของวัฏภาคต่อเนื่อง

อักษรห้อย 0 = ภูมิภาคต่อเนื่อง

อักษรห้อย 1 = ภูมิภาคกระจายตัว (ครีโอล์)

จากสมการของสโตกส์ จะเห็นได้ว่า

- ถ้าครีโอล์ยังมีขนาดใหญ่ (r มาก) อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของครีโอล์ และอัตราเร็วของการแยกชั้นครีมยิ่งเร็ว (V มาก) หรือกล่าวได้ว่าครีโอล์ที่มีขนาดเล็ก อิมัลชันยิ่งมีความคงตัวมาก กระบวนการโฮโมจิไนเซชันให้อิมัลชันมีครีโอล์ขนาดเล็กจึงมีความสำคัญ
- ถ้าภูมิภาคต่อเนื่องมีความหนืดสูง (η มาก) จะทำให้อัตราเร็วของการแยกชั้นครีมยิ่งช้า (V น้อย) การเติมสารเพิ่มความหนืดในภูมิภาคต่อเนื่องจะทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น

ตารางที่ 3 สัดส่วนองค์ประกอบของกรดไขมันในกะทิและน้ำมันมะพร้าว

fatty acid	ร้อยละ	
	coconut milk ¹⁾	coconut oil ²⁾
caprylic acid (C8)	8.05	7.8
capric acid (C10)	8.16	6.7
lauric acid (C12)	50.09	47.5
myristic acid (C14)	16.98	18.1
palmitic acid (C16)	7.89	8.8
stearic acid (C18:0)	2.96	2.6
oleic acid (C18:1)	5.03	6.2
linoleic acid (C18:2)	0.84	1.6
arachidic acid (C20)	non detect	0.1
total saturated fatty acid	94.13	92.1
total unsaturated fatty acid	5.87	6.2

ที่มา: ดัดแปลงจาก ¹⁾ทศพรพรรณ และ สุคนธ์ชื่น (2546) ²⁾http://en.wikipedia.org/wiki/Coconut_oil

ลักษณะการแยกชั้นครีมของอิมัลชันจะขึ้นอยู่กับ การกระจายตัวของขนาดครีโอลเล็กเมื่อเริ่มต้น ถ้าหากมีทั้งครีโอลเล็กที่มีขนาดเล็กและขนาดใหญ่ปนกัน ครีโอลเล็กขนาดใหญ่จะเคลื่อนที่ลอยขึ้นสู่ด้านบนได้เร็วกว่า ดังนั้นหลังการแยกชั้นครีมจะมีชั้นของครีโอลเล็กที่มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จากด้านบนสู่ด้านล่างของภาชนะที่บรรจุอิมัลชันนั้น การเกาะกลุ่มกัน (flocculation) หรือการรวมตัวกัน (coalescence) ของครีโอลเล็กจะทำให้เกิดอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ขึ้นในอิมัลชัน ทำให้กระบวนการแยกชั้นครีมเกิดเร็วขึ้น

2.6 อิมัลซิฟายเออร์และกัม

2.6.1 อิมัลซิฟายเออร์ คือกลุ่มของสารประกอบที่ภายในโมเลกุลมีทั้งส่วนที่มีขั้วหรือชอบน้ำ (polar or hydrophilic) และส่วนที่ไม่มีขั้วหรือไม่ชอบน้ำ (nonpolar or hydrophobic) เมื่ออยู่ในระบบอิมัลชัน อิมัลซิฟายเออร์จะดูดซับ (adsorb) อยู่ที่บริเวณผิวสัมผัสร่วม (interface) ระหว่างน้ำกับน้ำมัน ซึ่งก็คือผิวของครีโอลเล็ก โดยยื่นส่วนของโมเลกุลที่ชอบน้ำเข้าหาน้ำ และยื่นส่วนที่ไม่ชอบน้ำเข้าหาน้ำมัน อิมัลซิฟายเออร์จะเป็นตัวกลางคั่นระหว่างน้ำกับน้ำมัน ซึ่งช่วยลดแรงดึงที่ผิวสัมผัสร่วม และยังเป็นเสมือนเยื่อหุ้มป้องกัน (protective membrane) รอบ ๆ ครีโอลเล็ก ขัดขวางไม่ให้ครีโอลเล็กรวมตัวกัน ระบบอิมัลชันจึงมีความคงตัวมากขึ้น

อิมัลซิฟายเออร์อาจแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ กลุ่มที่เป็นพอลิเมอร์ (polymeric emulsifiers) ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน และกลุ่มที่เป็นสารเซอร์แฟกแทนต์หรือสารลดแรงดึงผิว (surfactants) ซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็ก เช่น เลซิธิน (lecithin) โมโนกลีเซอไรด์และไดกลีเซอไรด์ (monoglycerides and diglycerides) เช่น Tween และ Span

อิมัลซิฟายเออร์ที่ดีและมีประสิทธิภาพควรจะดูดซับที่บริเวณผิวสัมผัสร่วมหรือผิวครีโอลเล็กที่เพิ่งเกิดขึ้นใหม่ระหว่างกระบวนการโฮโมจีไนซ์ได้มากและรวดเร็ว โดยทั่วไปสารอิมัลซิฟายเออร์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าและมีโครงสร้างที่ยืดหยุ่นกว่า จะดูดซับที่ผิวสัมผัสร่วมได้เร็วกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่า โปรตีนโดยทั่วไปจึงมีประสิทธิภาพในการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ต่ำกว่าสารเซอร์แฟกแทนต์ นอกจากนี้โปรตีนยังมีข้อด้อยที่มักจะเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพธรรมชาติ (denaturation) เมื่อได้รับความร้อน ทำให้ประสิทธิภาพในการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ลดลง (Walstra, 1996; McClements, 2005)

2.6.2 กัม (gum) เป็นสารประกอบประเภทโพลีแซคคาไรด์ (polysaccharide) ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่และมีคุณสมบัติชอบน้ำ เมื่อละลายหรือกระจายตัวในน้ำจะทำให้เกิดความข้นหนืดหรือเกิดเจล จึงมีคุณสมบัติเป็นสารสแตบิไลเซอร์ช่วยให้อิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำคงตัวได้ดีขึ้น

(Glicksman, 1976) Becher (1965) รายงานว่าการใช้กัมเพียงอย่างเดียวจะไม่มีประสิทธิภาพพอที่จะทำให้อิมัลชันเกิดความคงตัว ต้องใช้ร่วมกับสารอิมัลซิไฟเออร์อื่นจึงจะเกิดผล โดยกัมมีบทบาทเป็นตัวเสริมการทำงานของอิมัลซิไฟเออร์ในลักษณะไปเพิ่มความข้นหนืดให้แก่ส่วนต่อเนื่องของระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ แต่จะมีกัมบางชนิด เช่น กัมอาราบิก (gum arabic) คาร์ราจีแนน (carrageenan) คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose) สามารถเกิดเป็นฟิล์มที่แข็งแรงระหว่างผิวของครีโอลี้น้ำมันและน้ำได้ (Sharma, 1981)

2.7 การรักษาความคงตัวของน้ำกะทิแปรรูป

เนื่องจากกะทิเป็นระบบอิมัลชันที่ไม่คงตัว เกิดการแยกชั้นได้ง่ายจากปัจจัยหลายประการดังได้กล่าวมาแล้วข้างต้น การรักษาคุณภาพของน้ำกะทิโดยเฉพาะที่กะทิที่ผ่านการแปรรูปให้คงไว้ตลอดอายุการเก็บรักษาทั้งจากการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพ เคมีและจุลินทรีย์ จึงเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมมีความต้องการเป็นอย่างมาก จึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการรักษาความคงตัวของน้ำกะทิอยู่จำนวนหนึ่ง เช่น การศึกษาชนิดและปริมาณของสารอิมัลซิไฟเออร์ สารเพิ่มความหนืด สภาวะความดันในการโฮโมจีไนซ์ ผลของการให้ความร้อนต่อความคงตัวของน้ำกะทิแปรรูป เป็นต้น

ศิริวรรณ (2528) รายงานว่าน้ำกะทิที่ผ่านการให้ความร้อนก่อนการเติม Tween 60 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 แล้วนำไปโฮโมจีไนซ์ที่ความดัน 2,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (psi) และฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งความดันที่ 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี มีสีคล้ายน้ำมัน และเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อเติมสารเพิ่มความคงตัว คือ โซเดียมอัลจิเนต ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 0.5 และ 0.75 กัวกัมและแซนแทนกัม ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 0.2 และ 0.3 พบว่าเกิดตะกอนอ่อน (curd) เป็นลิ่มสีน้ำตาล

ประสงค์ (2531) ได้ศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์และกัมในการรักษาความคงตัวของกะทิบรรจุกระป๋อง (ไขมันร้อยละ 14) พบว่า การใช้ Tween 40 ผสมกับ GMS และ Tween 60 ผสมกับ Span 80 ที่ค่า HLB มากกว่าหรือเท่ากับ 14.0 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 และ 0.5 ตามลำดับ โดยนำไปผ่านการโฮโมจีไนซ์ที่ความดัน 2,500/500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือ 17/4 MPa และฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 115°C หรือที่ความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 45 นาที ทำให้น้ำกะทิที่ได้มีลักษณะเนื้อเนียน สี กลิ่นและรสชาติดี ไม่มีการแยกชั้นในระยะเวลา 3 วัน แต่เมื่อใช้กัมคือ CMC โซเดียมอัลจิเนต และคาร์ราจีแนน ความเข้มข้นร้อยละ 0.1-1.0 รวมด้วยกลับทำให้น้ำกะทิมีการ

แยกชั้นและมีตะกอนอ่อนขนาดใหญ่เกิดขึ้น ยกเว้นการใช้ CMC ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 ที่ยังให้ลักษณะดี

กรพกา (2539) ทำการศึกษาการผลิตน้ำกะทิที่เปลี่ยนแปลงไขมันบางส่วนด้วยน้ำมันพืช รายงานว่าน้ำกะทิแปลงไขมันที่แทนที่น้ำมันมะพร้าวร้อยละ 50 ด้วยน้ำมันรำข้าวโดยใช้สารอิมัลซิฟายเออร์หรือสารเพิ่มความคงตัว 3 ชนิด คือ Tween 60 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2-0.5 CMC ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1-0.4 และโซเดียมเคซิเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.6-1.5 นำมาผ่านการโฮโมจีไนซ์ที่ความดัน 2,500/500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แล้วบรรจุกระป๋องขนาด 300×407 และฆ่าเชื้อที่ความดัน 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 40 นาทีพบว่าในตัวอย่างกะทิที่ใช้ Tween 60 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.3 ให้ลักษณะปรากฏดีที่สุด คือกะทิมีสีขาวและเนื้อเนียน CMC ให้ลักษณะกะทิที่มีตะกอนอ่อน ยึดหยุ่น ส่วนโซเดียมเคซิเนตให้ลักษณะกะทิที่มีตะกอนอ่อนจับตัวค่อนข้างแน่น มีสีคล้ำเล็กน้อย

เอกสิทธิ์ (2540) ศึกษาการผลิตและอายุการเก็บน้ำกะทิแปลงไขมันบรรจุกระป๋อง (ไขมันร้อยละ 17) รายงานว่าการใช้อิมัลซิฟายเออร์คือ Tween 60 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.10-0.25 และโซเดียมเคซิเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.50-2.25 ในน้ำกะทิแปลงไขมันที่แทนที่น้ำมันมะพร้าวร้อยละ 75 ด้วยน้ำมันรำข้าว พบว่าการใช้ Tween 60 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.2 และโซเดียมเคซิเนตที่ความเข้มข้นร้อยละ 2.0 จะให้น้ำกะทิที่มีเนื้อเรียบเนียนไม่แยกชั้น แต่โซเดียมเคซิเนตให้กลิ่นนมเล็กน้อย และนอกจากนี้การใช้ KMS ปริมาณ 200 ppm เป็นสารป้องกันการเกิดสารประกอบสีน้ำตาลในน้ำกะทิบรรจุกระป๋องทำให้มีอายุการเก็บรักษานานที่สุด เมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุมและการใช้ EDTA 100 ppm

เทพกัญญา (2545) ได้ศึกษาผลของอิมัลซิไฟเออร์และแซนแทนกัมต่อความคงตัวของอิมัลชันที่มีน้ำมันมะพร้าวร้อยละ 8, 14 และ 20 เป็นองค์ประกอบ พบว่าหลังจากให้ความร้อนอิมัลชันที่บรรจุในขวดแก้วปริมาณ 200 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 10 นาที มีเพียงระบบที่เติม Tween 60 ในทุกความเข้มข้นที่ศึกษา (ร้อยละ 0.25-1.0) ที่ให้ลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และมีค่า creaming index ต่ำ ส่วนระบบที่มีการเติมแซนแทนกัมและปรับค่า HLB 7-14.9 ด้วย Tween 60 และ Span 60 พบว่าอิมัลชันมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน แต่เมื่อให้ความร้อนมีเพียงอิมัลชันที่มีแซนแทนกัมร้อยละ 0.4 ที่ยังคงให้อิมัลชันมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และมีค่า creaming index เป็นศูนย์

Srithunma (2002) รายงานว่าอิมัลชันกะทิ (ไขมันร้อยละ 15-30) ที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ ร่วมกับการใช้ Tween 60 กับ CMC อัตราส่วนร้อยละ 0.6 : 0.4 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรกะทิ ที่ระดับความดันสูงเพิ่มขึ้น ($4/4 - 11/4$ MPa) จะให้กะทิที่มีความหนืดปรากฏและความคงตัวเพิ่มขึ้น และมี

ขนาดของอนุภาคไขมันลดลง และการใช้ความดันในการโฮโมจีไนซ์ชั้นที่ 11/4 MPa เหมาะสมในการผลิตน้ำกะทิเนื่องจากมีค่าความคงตัวที่สูงและขนาดอนุภาคไขมันขนาดเล็ก

Perrier-Cornet, Marie และ Gervais (2005) ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอิมัลชันแบบน้ำมันในน้ำที่ให้ความคงตัวจากโปรตีนโดยผ่านการโฮโมจีไนซ์ด้วยเครื่องโฮโมจีไนซ์ต่างชนิดกัน พบว่าการใช้เครื่องโฮโมจีไนซ์ชนิดความดันสูงจะให้ลักษณะอิมัลชันที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยขนาดเล็ก และเมื่อผ่านการโฮโมจีไนซ์ 3 และ 4 รอบ จะทำให้อนุภาคน้ำมันเล็กลงมากกว่าการโฮโมจีไนซ์เพียงหนึ่งรอบ

Tangsuphoom และ Coupland (2005) ได้ศึกษาผลของความดันในการโฮโมจีไนซ์ชั้นต่อความคงตัวของอิมัลชันกะทิ (ไขมันร้อยละ 17) ที่ระดับความดันต่าง ๆ คือ 20/2 40/4 และ 60/6 MPa พบว่า ที่ระดับความดัน 40/4 MPa อิมัลชันของกะทิมีค่าเฉลี่ยของขนาดอนุภาคต่ำที่สุด และจากการศึกษาการโฮโมจีไนซ์กะทิจำนวน 1- 5 รอบ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยของขนาดครีโอล์ที่น้ำมันหลังจากการโฮโมจีไนซ์รอบที่ 3

จันทิมา (2546) ได้ศึกษาผลของความดันในการโฮโมจีไนซ์และสภาวะในการฆ่าเชื้อต่อความคงตัวของน้ำกะทิไขมันสูง (ไขมันร้อยละ 30) บรรจุกระป๋องขนาด 300×407 ปริมาตร 400 มิลลิลิตร โดยใช้การโฮโมจีไนซ์แบบ 2 ชั้นที่ความดันรวม 15-27 MPa (11/4-23/4 MPa) และความร้อนในการฆ่าเชื้อที่อุณหภูมิ 109.3 115.6 และ 121.1°C ที่ระดับความดัน 5 10 และ 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เป็นเวลา 160 110 และ 60 นาที ตามลำดับ ร่วมกับการใช้สารเพิ่มความคงตัวคือ Tween 60 หรือ CMC และการใช้ร่วมกันในอัตราส่วนต่างๆ โดยรายงานผลการทดลองจากการใช้วิธี response surface สรุปว่า การใช้ Tween 60 ร่วมกับ CMC ในอัตราส่วนร้อยละ 0.6 : 0.6 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผ่านการโฮโมจีไนซ์ที่ 14/4 MPa แล้วให้ความร้อนที่ 121.1°C เป็นเวลา 60 นาที เป็นสภาวะที่ทำให้ให้น้ำกะทิไขมันสูงบรรจุกระป๋องมีคุณภาพดี และมีสีใกล้เคียงน้ำกะทิสด

การที่น้ำกะทิมี pH ประมาณ 6.2 ถือเป็นอาหารที่มีความเป็นกรดต่ำ (low-acid food) จึงจำเป็นต้องใช้การฆ่าเชื้อโดยใช้ความร้อนสูงเพื่อทำลายจุลินทรีย์ที่อาจก่อให้เกิดการเสื่อมเสีย ให้ความร้อน ควรให้เท่าที่จำเป็นเท่านั้น เพื่อรักษาความคงตัวของผลิตภัณฑ์ ในการฆ่าเชื้อโดยใช้หม้อนึ่งความดัน (retort) ใช้ F_0 ประมาณ 5 นาที (Timmins และ Kramer, 1977; APCC, 1994)

Arumugham และคณะ 1993 กล่าวว่า การสเตอริไลซ์ที่อุณหภูมิ 121°C นาน 20 นาที เพียงพอสำหรับกะทิที่บรรจุกระป๋องขนาด 301×204 Teixeira-Neto และคณะ (1985) สเตอริไลซ์น้ำกะทิบรรจุขวดแก้วปริมาตร 200 ml และ 500 ml ที่อุณหภูมิ 121°C นาน 60 นาที และ 70 นาที ตามลำดับ Gonzalez และคณะ (1977) ได้เสนออุณหภูมิ 115°C เวลา 32 นาที ซึ่งมีค่า F_0 เท่ากับ 7.5 ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความคงตัวในระหว่างการเก็บรักษาดีมาก สุคนธ์ชื่น (2531) แนะนำสภาวะในการฆ่าเชื้อกะทิ

บรรจุกระป๋องขนาด 300×407 อาจเลือกใช้อุณหภูมิ 115.6, 118.3 หรือ 121.1°C เป็นเวลา 22, 14 หรือ 8 นาที ตามลำดับ น้ำกะทิที่ได้หลังจากเขย่าแล้ว สามารถคงสภาพเป็นเนื้อเดียวได้นานกว่า 2 สัปดาห์ APCC (1994) ได้เสนออุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับกะทิบรรจุกระป๋อง ขนาดต่าง ๆ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 อุณหภูมิและระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับกะทิบรรจุกระป๋องขนาดต่าง ๆ (APCC, 1994)

ขนาดกระป๋อง	ระยะเวลาในการให้ความร้อนที่อุณหภูมิ				F ₀ (นาที)
	115°C		121°C		
	IT ^a =21°C	IT= 71°C	IT= 21°C	IT= 71°C	
211×400	36	30	22	18	4.85
307×409	40	35	27	22	4.94
401×411	46	39	30	25	5.08
603×700	61	51	42	33	5.39

^aIT คือ อุณหภูมิเริ่มต้น (initial temperature)

ที่มา : ดัดแปลงจาก Seow และ Kwee (1997)

บทที่ 3

วัตถุดิบ อุปกรณ์และวิธีการ

3.1 วัตถุดิบ

- กะทิที่ได้จากการบีบเนื้อมะพร้าวชนิดไม่ปอกผิวสีน้ำตาลโดยไม่เติมน้ำ ด้วยเครื่องบีบน้ำกะทิชนิดไฮโดรลิก จากตลาดปทุมมงคล จังหวัดนครปฐม

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- เครื่องบีบน้ำกะทิชนิดไฮโดรลิก (Sakaya-A2, Sakaya, Thailand)
- เครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ (Sorvall, RC 6, USA)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก 4 ตำแหน่ง (Sartorius, BS 224S, Germany)
- เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง (Pioneer, Ohaus, USA)
- เครื่องวัดค่าพีเอช (Sartorius, PB-11, Germany)
- ตู้อบลมร้อนแบบควบคุมอุณหภูมิได้ (Binder, ATP FED, USA)
- ตู้อบลมร้อนแบบสุญญากาศ (Eyela, VOS-300SD, Japan)
- เครื่องเจลอิเล็กโตรโฟรีซิสแบบแนวตั้ง (vertical gel electrophoresis) (Galileo Bioscience, 85-2020, USA)
- เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC) (Perkin Elmer, Pyris-1, USA)
- เครื่องโฮโมจิไนเซอร์ความดันสูงแบบความดัน 2 ขั้น (Two-stage homogenizer) (APV, Lab 2000, USA)
- หม้อนึ่งอัดความดันไอน้ำ (autoclave) (Tomy, SS 325, Japan)
- เครื่องแช่แข็งแบบเป่าลมเย็นจัด (air blast freezer)
- กล้องจุลทรรศน์ (Olympus, CHS, Japan) พร้อมกล้องถ่ายภาพ (Olympus, C-7070WZ, Japan)

- เครื่องวัดการกระเจิงแสงเลเซอร์ (laser light scattering instrument) (Coulter, LS 100Q, USA) สำหรับการวัดการกระจายของขนาดอนุภาค (particle size distribution)
- เครื่องวิเคราะห์ปริมาณแร่ธาตุ (Inductively Coupled Plasma Spectrometer, ICP) (Varian, Liberty 220, USA)
- เครื่องวัดความหนืด (Brookfield, DVL VII+, USA)
- แทนให้ความร้อนพร้อมระบบกวนด้วยแม่เหล็ก
- อ่างน้ำไฟฟ้าแบบควบคุมอุณหภูมิได้
- ชุดวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน Kjeldahl ประกอบด้วยชุดเครื่องย่อย (Gerhardt, Vapodest, UK) และชุดเครื่องกลั่น (Gerhardt, Kjeldatherm, UK)
- ถังไคอะไลซิส (Cellu Sep, H1 5-0250-45, USA)
- ถ้วยอะลูมิเนียมมีฝาปิด (moisture can)
- โถดูดความชื้น (desiccators)
- ตะแกรงร่อนขนาด 100 mesh
- ตะแกรงร่อนขนาด 10 mesh
- ไมโครปิเปต (micropipette)
- ขวดหาความถ่วงจำเพาะ (pycnometer) (Superior, Marienfeld, Germany) ขนาด 10 มิลลิลิตร
- เครื่องแก้วชนิดต่างๆ ที่จำเป็นในการวิเคราะห์

3.3 สารเคมี

3.3.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนตามวิธีของ AOAC (2000)

- โพแทสเซียมซัลเฟต
- คอปเปอร์ซัลเฟต
- กรดซัลฟูริก
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กรดบอริก
- เมทิลเรด
- โบรโมครีซอลกรีน

3.3.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณไขมันตามวิธีของ AOAC (2000)

- แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์
- เอทิลอีเทอร์
- ปีโตรเลียมอีเทอร์
- เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95

3.3.3 สารเคมีที่ใช้ในการทำอิเล็กโทรโฟรีซิสแบบเจลโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตพอลิอะคริ-

ลาไมด์ (sodium dodecylsulfate polyacrylamide gel electrophoresis: SDS-PAGE)

- อะคริลาไมด์ (acrylamide)
- บิสอะคริลาไมด์ (bisacrylamide) (N,N'-Methylenebisacrylamide)
- โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (sodium dodecyl sulfate)
- ทริส (tris (hydroxy methyl) aminomethane)
- ไกลซีน (glycine)
- แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต
- ไดไธรีโอไธออล (dithiothreitol, DTT)
- TEMED (N, N, N', N'-tetramethylethylenediamine)
- สีย้อมโปรตีน (Coomassie Brilliant Blue R-250)
- เมทานอล
- กรดแอซิดิก
- กลีเซอรอล
- โบรโมฟินอลบลู
- โปรตีนมาตรฐาน ประกอบด้วย

phosphorylase b	(97.400 kD)	bovine serum albumin	(66.2 kD)
ovalbumin	(45.0 kD)	carbonic anhydrase	(31.0 kD)
trypsin inhibitor	(21.5 kD)	lysozyme	(14.4 kD)

3.3.4 สารเพิ่มความคงตัวหรือสารสเตบิไลเซอร์ (stabilizer)

- สารเพิ่มความหนืด (thickening agent) ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) ชนิดความหนืดสูง (Sigma, C5013, USA)
- สารอิมัลซิฟายเออร์ (emulsifier) ได้แก่ Tween 60 (Polysorbate 60 หรือ Polyoxyethylene sorbitan monostearate) (Aldrich, W291609, Germany)

3.3.5 สารยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ โซเดียมเอไซด์ (sodium azide) (Carlo Erba, 478482, France)

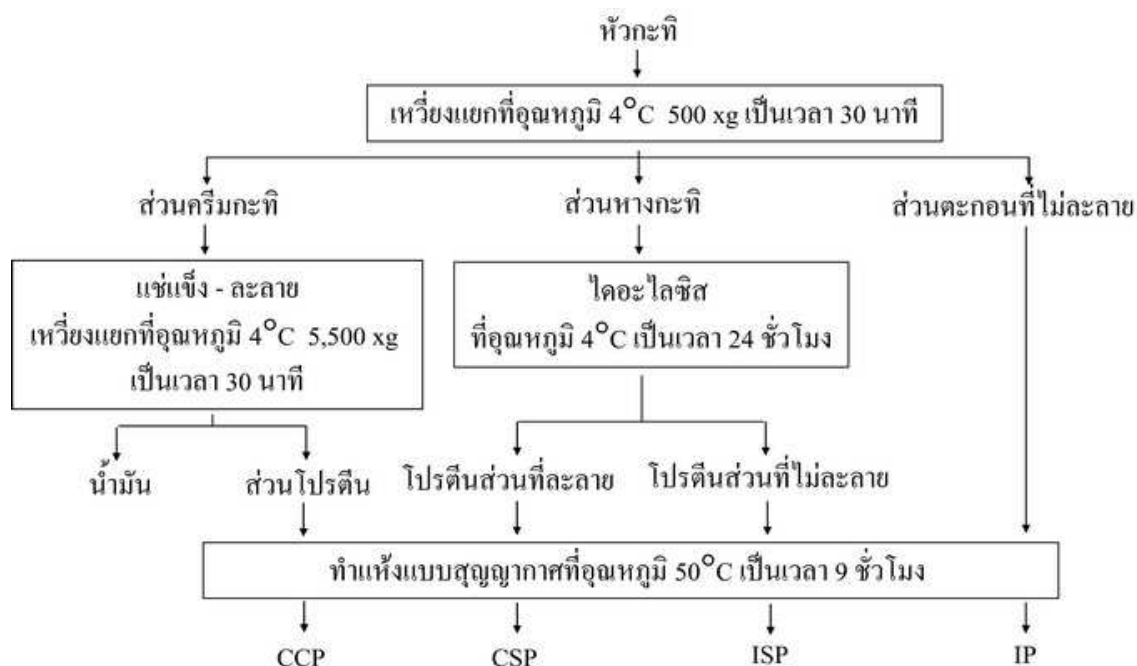
3.4 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การศึกษาองค์ประกอบและสมบัติของโปรตีนกะทิ

3.4.1.1 การแยกโปรตีนกะทิ

ทำการเหวี่ยงแยกหัวกะทิด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ อุณหภูมิ 4°C ความเร็ว 500 xg เป็นเวลา 30 นาที เพื่อแยกส่วนกะทิและนำมาสกัดโปรตีนกะทิในแต่ละส่วนต่อไป และทำการเก็บตัวอย่างกะทิสด และส่วนต่างๆ ของกะทิที่ได้หลังจากเหวี่ยงแยก มาทำการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน และเถ้า ตามวิธีของ AOAC (2000) ส่วนการหาปริมาณไขมันในน้ำกะทิ ส่วนครีม และส่วนหางกะทิ จะวิเคราะห์ตามวิธี modified Mojonnier (AOAC Official Method 989.05, AOAC, 2000) รายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ก

นำส่วนต่างๆ ของกะทิที่ได้หลังจากเหวี่ยงแยกมาทำให้เข้มข้นหรือบริสุทธิ์ขึ้นดังนี้ (แสดงดังภาพที่ 2) ทำการแยกส่วนครีม (coconut cream) โดยนำมาแช่แข็งที่อุณหภูมิ -18°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากนั้นนำมาละลายในอ่างน้ำร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 45°C แล้วจึงนำไปเหวี่ยงแยกด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้ความเร็ว 5,500 xg ที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 30 นาที ส่วนครีมจะแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของโปรตีนที่ดูดซับอยู่รอบผิวครีโอลไลท์น้ำมัน (coconut cream protein, CCP) และส่วนไขมัน (coconut oil) ทำการแยกส่วนหางกะทิ (coconut skim milk) โดยนำมาบรรจุลงในถุงไดอะไลซิส (molecular weight cut off, MWCO 2,000 ดาลตัน) แล้วแช่ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยเปลี่ยนน้ำทุก 12 ชั่วโมง มีการกวนตลอดเวลาด้วยแท่งแม่เหล็กกวน ส่วนหางกะทิจะแยกเป็นสองส่วนคือ ส่วนน้ำซึ่งมีโปรตีนที่ละลายในหางกะทิ (coconut skim milk protein, CSP) และส่วนโปรตีนที่ไม่ละลายในหางกะทิ (insoluble skim milk protein, ISP) แยกส่วนโปรตีนที่ไม่ละลายโดยกรองผ่านกระดาษกรอง (whatman No.1) จากนั้นนำโปรตีนกะทิที่แยกได้จากส่วนครีม ส่วนหางกะทิ และส่วนตะกอนโปรตีนที่ไม่ละลายจากการเหวี่ยงแยกกะทิ (insoluble protein, IP) ไปทำแห้งด้วยการอบสูญญากาศที่อุณหภูมิ 50°C เป็นเวลา 9 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000) เพื่อตรวจสอบความบริสุทธิ์



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการแยกโปรตีนจากกะทิ

3.4.1.2 การศึกษาองค์ประกอบของโปรตีนกะทิ

นำโปรตีนกะทิมาวิเคราะห์องค์ประกอบและขนาดโมเลกุล ด้วยวิธีเจลอิเล็กโตร-โฟรีซิสโดยใช้เจลโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตโพลีอะคริลาไมด์ (sodium dodecylsulfate polyacrylamide gel electrophoresis: SDS-PAGE) ตามวิธีของ Laemmli (1970), Sringam (1997) และสุกัญญา (2549) โดยทำการเตรียมเจลพอลิอะคริลาไมด์ความเข้มข้นร้อยละ 12 (12% total acrylamide) ขนาด 20×20 เซนติเมตร หนา 1.50 มิลลิเมตร ด้วยเครื่องทำเจลอิเล็กโตรโฟรีซิสแบบแนวดิ่ง แยกองค์ประกอบโดยใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าคงที่ที่ 200 โวลต์ เตรียมสารละลายตัวอย่างโปรตีนแต่ละชนิดในสารละลายทริส-ไกลซีนบัฟเฟอร์ (Tris-glycine buffer) ผสมโซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) ร้อยละ 2 ให้มีความเข้มข้นของโปรตีนประมาณ 15 mg/ml โดยใช้ปริมาณสารตัวอย่างครั้งละ 15 μl ในระบบที่มีการรีดิวซ์จะใช้ dithiothreitol (DTT) เพื่อรีดิวซ์โปรตีน และเปรียบเทียบ proteins fractions กับโปรตีนมาตรฐานที่ทราบน้ำหนักโมเลกุล รายละเอียดของวิธีการวิเคราะห์แสดงไว้ในภาคผนวก ก

3.4.1.3 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนของโปรตีนกะทิ

นำโปรตีนกะทิมาศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนของโปรตีน โดยใช้ differential scanning calorimeter (DSC) (Perkin Elmer, Pyris-1, USA) โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลง

คุณสมบัติทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิ 25-120°C ที่อัตราการให้ความร้อน 10°C ต่อนาที โดยชั่งตัวอย่างโปรตีนกะทิใส่ในถ้วยอลูมิเนียม (volatile aluminum pan) และเจือจางตัวอย่างด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 10 μ l เพื่อให้มีความเข้มข้นสุดท้ายของโปรตีนเท่ากับร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เท่ากันในทุกตัวอย่าง ปิดผนึกถ้วยตัวอย่างและนำมาบ่มที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนการวิเคราะห์

3.4.2 การศึกษาสภาวะในการโฮโมจิไนซ์ต่อสมบัติและความคงตัวของทางกายภาพของกะทิ

3.4.2.1 นำหัวกะทิมาวัด pH ก่อนสุ่มตัวอย่างไปวิเคราะห์ปริมาณไขมันที่เป็นองค์ประกอบ เพื่อใช้เป็นฐานในการคำนวณปริมาณน้ำที่ใช้ในการเจือจางให้ได้น้ำกะทิที่มีปริมาณไขมันร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก เท่ากันในทุกตัวอย่างตลอดการทดลอง

3.4.2.2 นำกะทิที่ปรับปริมาณไขมันแล้วมาพาสเจอไรซ์ที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 1 นาที เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์และการทำงานของเอนไซม์ไลเปส แล้วจึงนำมาผ่านกระบวนการโฮโมจิไนซ์ที่ความดัน 3 ระดับ ด้วยเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ความดันสูงแบบความดัน 2 ชั้น (two-stage homogenizer) (APV, Lab 2000, USA) ที่ระดับความดัน (ความดันขั้นที่หนึ่ง/ความดันขั้นที่สอง) 11/4 17/4 และ 23/4 MPa ร่วมกับการใช้สารสแตบิไลเซอร์ ได้แก่ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxy methylcellulose: CMC) (เพื่อเพิ่มความหนืดให้กับกะทิที่ผ่านการปรับปริมาณไขมันให้ใกล้เคียงกับหัวกะทิ โดยกำหนดให้มีความเข้มข้นของ CMC คงที่ คือร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก) หรือ Tween 60 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก โดยจะทำการเติมสารสแตบิไลเซอร์ในระหว่างขั้นตอนการพาสเจอไรซ์กะทิ ขณะที่ให้ความร้อนกะทิพร้อมกับการคนตลอดเวลาด้วยแท่งแม่เหล็ก (magnetic stirrer) จนมีอุณหภูมิประมาณ 50°C จึงค่อยๆ เติมสารสแตบิไลเซอร์ทีละน้อยจนหมด หลังจากผ่านกระบวนการพาสเจอไรซ์ กะทิจะถูกทำให้เย็นลงจนมีอุณหภูมิประมาณ 35°C จากนั้นจึงนำกะทิผ่านเข้าเครื่องโฮโมจิไนเซอร์ในแต่ละระดับความดันจำนวน 1, 2 และ 3 รอบ (แสดงดังภาพที่ 3) โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่ได้เติมสารสแตบิไลเซอร์

3.4.2.3 เก็บตัวอย่างกะทิในข้อ (3.4.2.2) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยจะมีการเติมโซเดียมเอไซด์ (sodium azide) ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนักของน้ำกะทิ เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ จากนั้นนำมาวิเคราะห์

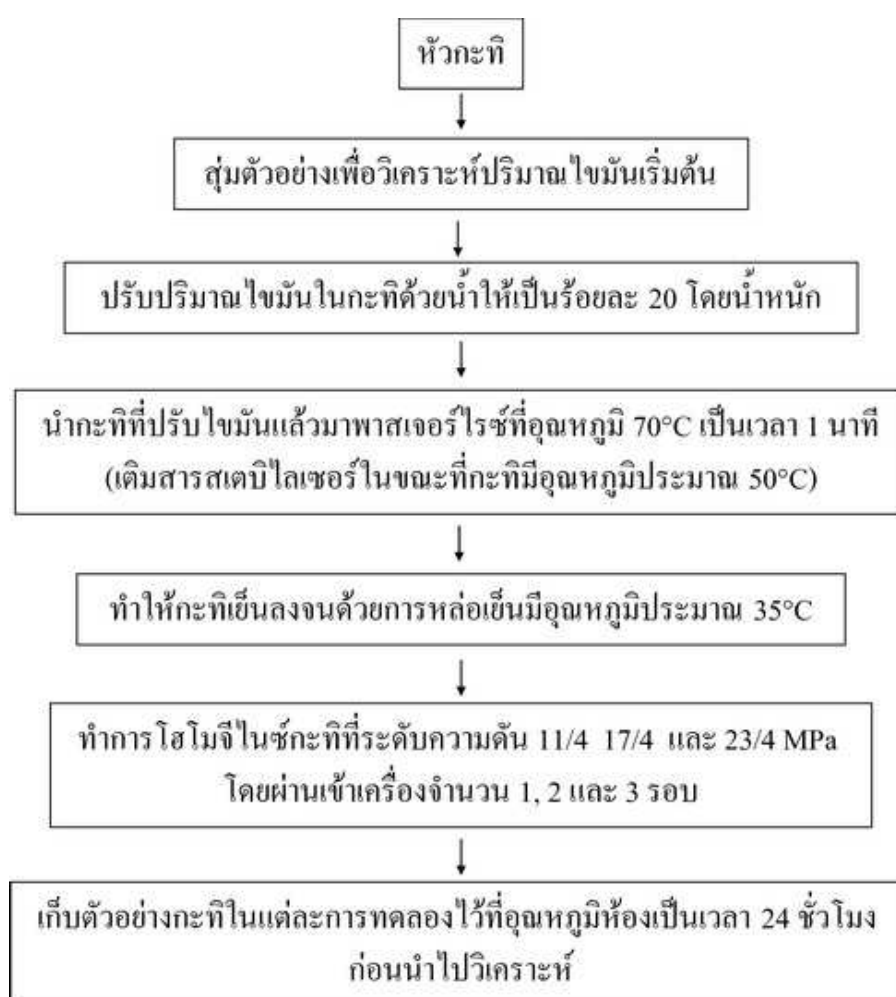
- ลักษณะจุลภาคของครีโอลีฟ ด้วยกล้องจุลทรรศน์พร้อมกล้องถ่ายภาพ เพื่อตรวจสอบการเกิดการเกาะหรือรวมตัวกันของครีโอลีฟน้ำมันในกะทิ

- ขนาดของครีโอลีฟเฉลี่ยและการกระจายตัวของขนาดครีโอลีฟในกะทิ ด้วย laser light scattering instrument (Coulter, LS 100Q, USA)

- ความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม ด้วยการวัด creaming index (ดัดแปลงจาก Onsaard และคณะ, 2005) เพื่อตรวจสอบระดับการแยกชั้นครีมที่มองเห็นได้ ทำได้โดยชั่งตัวอย่างอิมัลชันจำนวน 25 กรัม ใส่ในหลอดทดลองก้นแบน แล้วปิดฝา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง อิมัลชันจะแยกเป็นชั้นครีมขุ่น (cream) ที่ด้านบน และส่วนใส (serum) ที่ด้านล่าง ความคงตัวในการแยกชั้นครีมหาได้จากค่า creaming index (CI) ดังสมการ

$$CI (\%) = 100 \times (H_s/H_e)$$

เมื่อ H_s เป็นความสูงของส่วนใส และ H_e เป็นความสูงทั้งหมดของอิมัลชัน



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการศึกษาสภาวะในการโฮโมจีไนซ์ต่อสมบัติและความคงตัวของกะทิ

โดยค่า creaming index หรือ CI เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความไม่คงตัวของอิมัลชัน จากลักษณะอนุภาคน้ำมันลอยตัวมารวมกันอยู่ด้านบนซึ่งเรียกว่าชั้นครีม หากค่า CI มาก

แสดงว่าอิมัลชันมีความคงตัวน้อย คือมีอนุภาคหรือปเล้น้ำมันลอยตัวสะสมกันแน่นด้านบนทำให้มีส่วนใสแยกตัวอยู่ด้านล่างในปริมาณมาก ในทางกลับกันหากค่า CI น้อยแสดงว่าอิมัลชันมีความคงตัวมาก

- ความคงตัวต่อการแยกชั้นน้ำมัน ด้วยการวัด oiling off index (OI) เพื่อตรวจสอบระดับการแยกชั้นน้ำมันที่มองเห็นได้ ทำได้โดยชั่งตัวอย่างอิมัลชันจำนวน 25 กรัม ใส่ในหลอดทดลองก้นแบน แล้วปิดฝา ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงทำการวัดส่วนของน้ำมันใสที่แยกตัวอยู่ด้านบนของหลอดทดลอง ความคงตัวในการแยกชั้นน้ำมันหาได้ดังสมการ

$$OI (\%) = 100 \times (H_o/H_E)$$

เมื่อ H_o เป็นความสูงของส่วนน้ำมันใส และ H_E เป็นความสูงทั้งหมดของอิมัลชัน

- สำหรับตัวอย่างที่มีการตกตะกอนด้านล่างของหลอดทดลอง จะทำการวัดปริมาณตะกอน โดยการวัด precipitation index (PI) ดังสมการ

$$PI (\%) = 100 \times (H_p/H_E)$$

เมื่อ H_p เป็นความสูงของส่วนตะกอน และ H_E เป็นความสูงทั้งหมดของอิมัลชัน

- ความหนืดปรากฏ ด้วยเครื่องวัดความหนืด ที่อุณหภูมิ 25°C ด้วยหัววัดเบอร์ 1 และหัววัดเบอร์ 2 ที่ความเร็วรอบ 100 rpm เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความหนืดของหัวกะทิ และกะทิที่ผ่านการปรับไขมันกับตัวอย่างกะทิที่มีการเติมสารสเตบิลไลเซอร์

3.4.2.4 ทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อเลือกสภาวะในการโฮโมจิไนเซชันที่ระดับความดันและจำนวนรอบที่เหมาะสม

3.4.2.5 ทำการศึกษาผลของการใช้สารอิมัลซิฟายเออร์ (Tween 60 ความเข้มข้นร้อยละ 0.25- 1.0) ร่วมกับ CMC (ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก) ที่ระดับความดันและจำนวนรอบที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.2.4 ต่อสมบัติและความคงตัวทางกายภาพของกะทิ โดยมีขั้นตอนการศึกษาเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.1-3.4.2.3

3.4.3 การศึกษาผลของปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ร่วมกับการโฮโมจิไนเซชันกะทิในระบบระบบการสเตอริไลซ์และการแช่แข็ง-ละลาย

3.4.3.1 เตรียมตัวอย่างน้ำกะทิเช่นเดียวกับข้อ 3.4.2.1 และ 3.4.2.2 แต่ในระหว่างการพาสเจอไรเซชันจะทำการเติมสารอิมัลซิฟายเออร์ ได้แก่ Tween 60 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0, 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 โดยน้ำหนัก ก่อนเติมสาร CMC (ความเข้มข้นร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ โดยทำการทดลองเปรียบเทียบกับตัวอย่างกะทิกวนที่ไม่ได้เติมสารสเตบิลไลเซอร์

3.4.3.2 นำกะทิไปผ่านการโฮโมจีไนส์ ตามสภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.4.2

3.4.3.3 แบ่งกะทิแต่ละตัวอย่างเป็น 3 ส่วน (ส่วนละ 300 กรัมโดยประมาณ)

- ส่วนที่หนึ่งนำไปบรรจุขวดแก้วทนความร้อนและฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดความดันที่อุณหภูมิ 12°C เป็นเวลา 30 นาที
- ส่วนที่สองนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ - 30°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ - 18°C เป็นเวลา 7 วันแล้วนำมาละลายจนร้อนด้วยไมโครเวฟ (เลียนแบบการละลายของผู้บริโภค) ที่กำลังไฟ 900 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที
- ส่วนที่สามเป็นตัวอย่างควบคุม คือไม่ผ่านการฆ่าเชื้อและการแช่แข็ง โดยเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งจะมีการเติมโซเดียมเอไซด์ (sodium azide) ความเข้มข้นร้อยละ 0.02 โดยน้ำหนัก เพื่อยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์

3.4.3.4 ทำการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

- ความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม ด้วยการวัด CI และความคงตัวต่อการแยกชั้นน้ำมัน ด้วยการวัด OI และปริมาณตะกอน ด้วยการวัด PI (ตามวิธีในข้อ 3.4.2.3) ที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1, 7 และ 30 วัน สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการสเตอริไลซ์ และที่ระยะเวลาการเก็บรักษาหลังจากการละลาย 1 วันสำหรับตัวอย่างที่ผ่านการแช่แข็ง-ละลาย
- พีเอช (pH) ด้วย pH meter โดยนำส่วนของเหลวมาเหวี่ยงแยกเฟสน้ำและน้ำมันออกจากกันด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยงแบบความคมอุณหภูมิ โดยใช้ความเร็ว 5,500 xg ที่อุณหภูมิ 25°C เป็นเวลา 30 นาที แล้วจึงทำการวัด pH ของเฟสน้ำ
- ความหนาแน่นของเฟสน้ำและน้ำมัน โดยใช้ขวดหาความถ่วงจำเพาะ (pycnometer) ที่อุณหภูมิ 30°C
- ปริมาณเถ้าและเกลือแร่ของเฟสน้ำ โดยการเผาหาปริมาณเถ้า และวิเคราะห์ปริมาณเกลือแร่ด้วยเครื่อง inductively coupled plasma spectrometer (ICP) (ICP-OES, VISTA-PRO, USA) ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก

3.4.4 การศึกษาผลของปริมาณสารอินัลซิฟายเออร์ร่วมกับการโฮโมจีไนส์ในระบบอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสมแบบพีเอชต่ำต่อสมบัติและความคงตัวทางกายภาพของกะทิ

3.4.4.1 เตรียมตัวอย่างนำกะทิเช่นเดียวกับข้อ 3.4.3.1 และ 3.4.3.2

3.4.4.2 นำกะทิแต่ละตัวอย่างไปเตรียมเป็นตั้มยำใก่น้ำขึ้นและตั้มยำใก่ ตามรายละเอียดในภาคผนวก ข

3.4.4.3 แบ่งตั้มยำใก่น้ำขึ้นและตั้มยำใก่ แต่ละตัวอย่างเป็น 3 ส่วน (ส่วนละ 300 กรัมโดยประมาณ)

- ส่วนที่หนึ่งนำไปบรรจุขวดแก้วทนความร้อนและฆ่าเชื้อในหม้อนึ่งอัดความดันที่อุณหภูมิ 121°C เป็นเวลา 30 นาที
 - ส่วนที่สองนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -30°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ก่อนนำมาเก็บไว้ที่อุณหภูมิ -18°C เป็นเวลา 7 วันแล้วนำมาละลายจนร้อนด้วยไมโครเวฟ (เลียนแบบการละลายของผู้บริโภค) ที่กำลังไฟ 900 วัตต์ เป็นเวลา 5 นาที
 - ส่วนที่สามเป็นตัวอย่างควบคุม คือไม่ผ่านการฆ่าเชื้อและการแช่แข็ง
- 3.4.4.4 นำตั๋ยม้าไก่ น้ำขึ้นและตั๋ยม้าไก่ มากรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของเหลวไปทำการวิเคราะห์ ตามวิธีเช่นเดียวกันกับในข้อที่ 3.4.3.4
- 3.4.5 การศึกษาผลของปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ร่วมกับการโฮโมจีไนซ์ในระบบอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสมแบบพีเอชสูงต่อสมบัติและความคงตัวของกายภาพของกะทิ
- มีขั้นตอนและวิธีการในการศึกษาเช่นเดียวกันกับกรณีของตั๋ยม้าไก่ น้ำขึ้นและตั๋ยม้าไก่ในข้อ 3.4.4 แต่เตรียมเป็นแกงเผ็ดไก่และแกงเขียวหวานไก่
- 3.4.6 การศึกษาผลของปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ร่วมกับการโฮโมจีไนซ์ในระบบอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสมแบบความเข้มข้นน้ำตาลสูงต่อสมบัติและความคงตัวของกายภาพของกะทิ
- มีขั้นตอนและวิธีการในการศึกษาเช่นเดียวกันกับกรณีของตั๋ยม้าไก่ น้ำขึ้นและตั๋ยม้าไก่ในข้อ 3.4.4 แต่เตรียมเป็นกล้วยบวชชี

3.5 การวางแผนการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ

ในการทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบ RCBD (Random Complete Block Design) ทำการทดลอง 2 ซ้ำ (replication) โดย block คือซ้ำของการทดลอง และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan's new multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($\alpha=0.05$)

3.6 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการเคมีอาหาร ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

โรงปฏิบัติการ ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี-
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

ห้องปฏิบัติการ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และ
เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร
วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 องค์ประกอบทางเคมีของกะทิและโปรตีนกะทิ

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบโดยประมาณ (ตารางที่ 5) จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบความชื้น โปรตีน ไขมัน เกล็ดและคาร์โบไฮเดรตในกะทิที่คั้นแบบไม่เติมน้ำมีค่าใกล้เคียงกับที่มีการรายงานมาก่อน คือ องค์ประกอบในน้ำกะทิที่คั้นแบบไม่เติมน้ำมีปริมาณความชื้นร้อยละ 50.00-54.10 โปรตีนร้อยละ 2.80-4.40 ไขมันร้อยละ 32.20-40.00 เกล็ดร้อยละ 1.00-1.50 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 5.50-8.30 (Nathaneal, 1954; Popper, Notter และ Nurry , 1966; Jaganathan, 1970; Anon, 1984) ทั้งนี้คุณภาพและปริมาณองค์ประกอบของน้ำกะทิขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ความแก่อ่อนของมะพร้าว สภาวะแวดล้อมในการเจริญเติบโต และสภาวะที่ใช้ในการแปรรูป เช่น เครื่องมือและวิธีการสกัด เป็นต้น ส่วนค่า pH ของน้ำกะทิ อยู่ในช่วง 5.95-6.12 สอดคล้องกับค่าที่มีการรายงานมาก่อน คือ น้ำกะทิมีค่า pH อยู่ระหว่าง 5.8-6.39 โดยวัดที่ช่วงอุณหภูมิ 10-80°C (Buccat, Gonzalez และ Manalac, 1973)

ตารางที่ 5 องค์ประกอบโดยประมาณ ของกะทิ ส่วนครีม ส่วนหางกะทิ และส่วนตะกอนที่ไม่ละลายในกะทิ

ตัวอย่าง	ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก ¹⁾				
	ความชื้น	โปรตีน ²⁾	ไขมัน	เถ้า	คาร์โบไฮเดรต ³⁾
กะทิ	55.49±3.74	3.14±0.18	37.94±3.08	1.08±0.20	2.36±0.68
ส่วนครีม	21.75±4.62	1.19±0.04	73.63±0.76	0.22±0.04	3.22±3.78
ส่วนหางกะทิ	91.92±0.52	2.39±0.04	0.25±0.01	0.78±0.10	4.67±0.37
ส่วนตะกอน	51.41±1.60	36.24±2.26	3.30±0.13	7.32±0.25	1.74±1.03

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

²⁾ ใช้ค่า nitrogen conversion factor เท่ากับ 6.25

³⁾ ได้จากการคำนวณ คาร์โบไฮเดรต = 100 – (ความชื้น+ไขมัน+โปรตีน+เถ้า)

เมื่อทำการเหวี่ยงแยกน้ำกะทิแล้ว น้ำกะทิจะแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนครีม (coconut cream) ส่วนหางกะทิ (coconut skim milk) และส่วนตะกอนที่ไม่ละลาย (insoluble fraction) คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 27.24 $\pm$ 3.01 56.58 $\pm$ 2.41 และ 16.19 $\pm$ 0.59 ตามลำดับ เมื่อนำมาวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนพบว่าโปรตีนจะอยู่ในส่วนหางกะทิสูงกว่าในหัวกะทิหรือส่วนครีม โดยมีโปรตีนร้อยละ 2.39 และ 1.19 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่ามีปริมาณโปรตีนในส่วนครีมอยู่เพียงเล็กน้อย ซึ่งก็น่าจะมีผลให้โปรตีนที่ดูดซับรอบครีโอลีพให้น้ำมันมีน้อยด้วย จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้กะทิไม่สามารถคงตัวอยู่ได้เนื่องจากมีปริมาณไขมันสูงเมื่อเทียบกับปริมาณโปรตีน ซึ่งไม่เพียงพอในการป้องกันการรวมตัวของครีโอลีพให้น้ำมันไว้ได้ (Monera และ del Rosario, 1982) ส่วนหางกะทิมีปริมาณไขมันต่ำมาก แสดงว่าหางกะทิประกอบด้วยวัฏภาคน้ำ (aqueous phase) เป็นส่วนใหญ่และมีส่วนของวัฏภาคน้ำมัน (oil phase)อยู่น้อยมาก นอกจากนี้ยังพบว่ามีปริมาณโปรตีนในส่วนตะกอนที่ไม่ละลายค่อนข้างสูง (ร้อยละ 36.24) สอดคล้องกับรายงานของ Onsaard (2008) พบว่ามีปริมาณโปรตีนในส่วนหางกะทิ หัวกะทิ และส่วนตะกอนที่ไม่ละลายร้อยละ 1.28, 0.83 และ 43.41 ตามลำดับ

ตารางที่ 6 ปริมาณ โปรตีน โดยประมาณ (ร้อยละโดยน้ำหนักเปียก) ของ โปรตีนส่วนต่าง ๆ ที่แยกได้จากกะทิ

Protein fractions	ปริมาณโปรตีน ¹⁾
โปรตีนที่ไม่ละลายในกะทิ (IP)	77.67 $\pm$ 2.34
โปรตีนที่ดูดซับรอบผิวครีโอลีพ (CCP)	30.07 $\pm$ 4.09
โปรตีนที่ละลายในหางกะทิ (CSP)	43.71 $\pm$ 1.27
โปรตีนที่ไม่ละลายในหางกะทิ (ISP)	96.11 $\pm$ 3.61

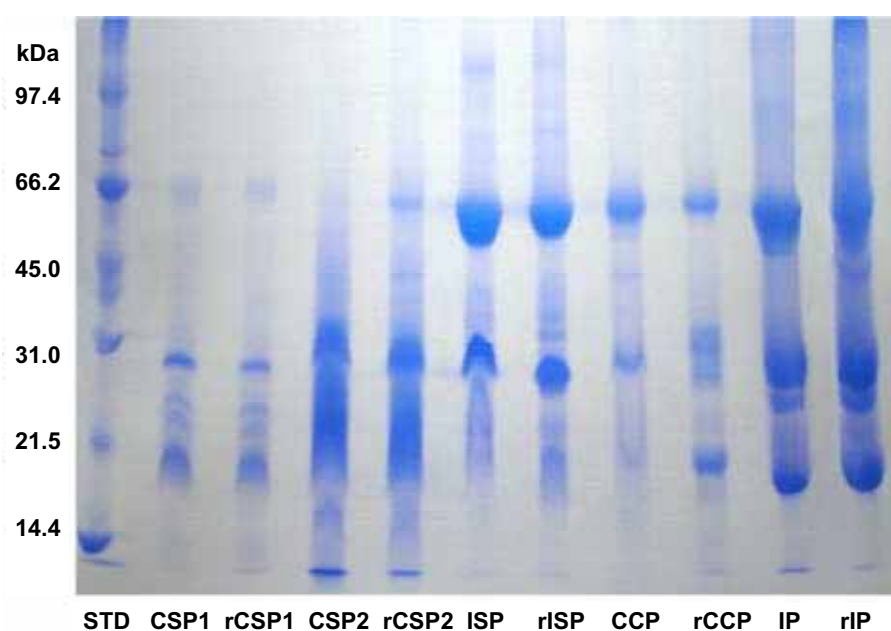
¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนในส่วนที่แยกได้จากกะทิ 4 ส่วน (ตารางที่ 6) คือ โปรตีนที่ไม่ละลายในกะทิ (IP) ซึ่งแยกมาจากการเหวี่ยงน้ำกะทิ โปรตีนที่ดูดซับรอบผิวครีโอลีพ (CCP) ซึ่งแยกได้จากการแช่แข็ง-ละลายหัวกะทิ โปรตีนที่ละลายในหางกะทิ (CSP) ซึ่งแยกได้จากการไคอะไลซ์หางกะทิ และโปรตีนที่ไม่ละลายในหางกะทิ (ISP) ซึ่งแยกได้โดยการกรองหางกะทิที่ผ่านการไคอะไลซ์แล้ว จะเห็นได้ว่าโปรตีนที่แยกได้ยังมีความบริสุทธิ์ต่ำ เนื่องจากวิธีการที่ใช้ในการแยกส่วนโปรตีนเป็นวิธีทางกายภาพ เพื่อต้องการที่จะรักษาสภาพธรรมชาติของโปรตีนไว้ให้ได้มากที่สุด ในตัวอย่าง CCP ยังมีปริมาณไขมันปนค่อนข้างสูง เนื่องจากไม่สามารถใช้ความร้อนสูง

ในการทำให้มีอัลชันในส่วนครีมแตกออก สุคนธ์ชัน (2542) รายงานว่าต้องใช้ความร้อนสูงกว่า 80°C จึงจะสามารถแยกน้ำมันและโปรตีนออกได้สมบูรณ์ และนอกจากนี้ในการทดลองไม่ได้ใช้ตัวทำละลายสกัดไขมัน เช่น เฮกเซนเพื่อกำจัดไขมันส่วนที่เหลือออกด้วย ส่วน CSP อาจมีคาร์โบไฮเดรตและไขมันปนอยู่สูง เนื่องจากสารเหล่านี้ในหางกะทิมีขนาดโมเลกุลใหญ่ไม่สามารถผ่านถุงไดอะไลซิสที่มี MWCO 2,000 ดาลตัน ออกไปได้

4.2 องค์ประกอบและขนาดโมเลกุลของโปรตีนกะทิ

ลักษณะ SDS-PAGE ของโปรตีนกะทิ (ภาพที่ 4) แสดงให้เห็นว่าโปรตีนกะทิมีขนาดโมเลกุล (MW) โดยส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 14.4-66.2 กิโลดาลตัน (kDa) ในสถานะไม่รีดิวซ์โปรตีนที่ละลายในหางกะทิทั้งก่อนและหลังการทำแห้ง (CSP1 และ CSP2 ตามลำดับ) แสดงให้เห็นแถบโปรตีนหลักซึ่งมีขนาดโมเลกุลอยู่ในช่วง 14.4-31.0 kDa ทั้งในตัวอย่างก่อนและหลังการทำแห้ง แต่ CSP2 จะแสดงแถบน้ำหนักโมเลกุลมากกว่า 31.0 kDa เล็กน้อย ทั้งนี้อาจเกิดจากผลของการทำแห้ง



ภาพที่ 4 ลักษณะ SDS-PAGE ของโปรตีนกะทิ; CSP1 และ CSP2 : โปรตีนที่ละลายในหางกะทิ ก่อนและหลังการทำแห้ง, ISP: โปรตีนที่ไม่ละลายในหางกะทิ, CCP: โปรตีนที่ถูกจับรอบผิวดริอ์ปเล็ต, IP: โปรตีนที่ไม่ละลายในกะทิ และ STD: โปรตีนมาตรฐานที่ทราบน้ำหนักโมเลกุล ส่วนชื่อที่มีอักษร “r” นำหน้าคือโปรตีนกะทิที่ถูกรีดิวซ์

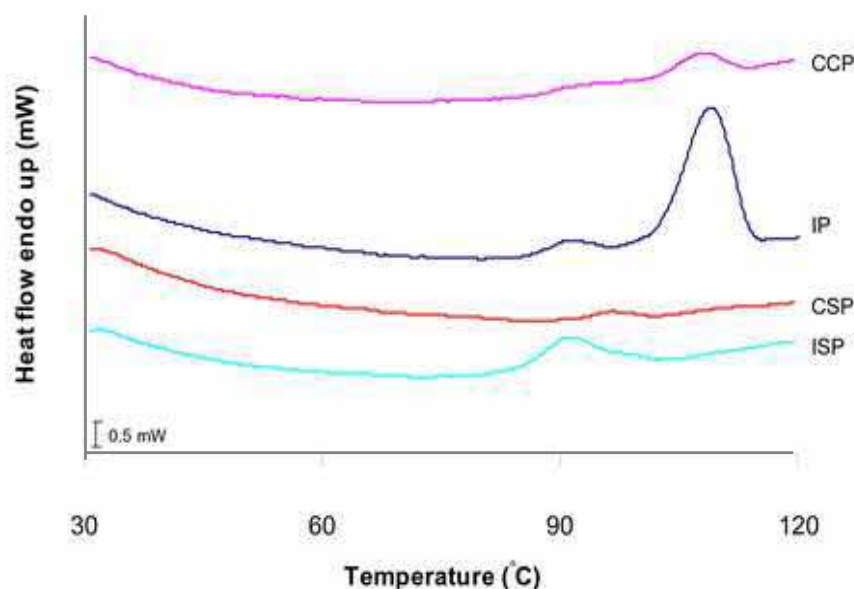
แบบสุญญากาศอาจทำให้โปรตีนบางส่วนเกิดการรวมกลุ่มกัน จากการทดลองพบว่า ISP, CCP และ IP ที่ผ่านการทำแห้งมีน้ำหนักโมเลกุลส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 14.4-66.2 kDa ซึ่งกว้างกว่า CSP (14.4-32.0 kDa) ทั้งนี้เมื่อพิจารณาประกอบกับรายงานของ Onsaard (2008) ที่แสดงให้เห็นว่า ISP, CCP และ IP มีโปรตีนกลูเตลิน (glutelin) ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำแต่จะละลายได้ในสารละลายที่มีความเป็นกรดหรือด่างเจือจาง (Osborne, 1924) เป็นองค์ประกอบในปริมาณที่สูง (ร้อยละ 75.4, 74.8 และ 63.0 ตามลำดับ) รวมทั้งมีขนาดโมเลกุลค่อนข้างใหญ่ อยู่ในช่วง 14.4-100 kDa (Kwon, Park, และ Rhee, 1996 และ Onsaard, 2008) ทำให้โปรตีนเหล่านี้มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อย จึงสามารถเกิดการรวมกลุ่มกันและตกตะกอนได้ง่าย

ส่วนในสภาวะรีดิวซ์ สารละลายตัวอย่างโปรตีนจะถูกเติมสารรีดิวซ์ (reducing agent) คือ ไดไธโอไธออล (DTT) ซึ่งจะทำให้โมเลกุลโปรตีนที่มีพันธะไดซัลไฟด์เป็นองค์ประกอบถูกรีดิวซ์ได้เป็นหมู่ซัลไฟไฮดริล (sulfhydryl group) จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าแถบโปรตีนยังคงมีลักษณะเดียวกันกับแถบโปรตีนในสภาวะไม่รีดิวซ์ แต่ในตัวอย่าง rISP, rCCP และ rIP จะปรากฏแถบของโปรตีนรองที่มีขนาดโมเลกุลเล็กเพิ่มขึ้นและแถบโปรตีนหลักที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จะลง นั่นแสดงถึงการมีพันธะไดซัลไฟด์บางส่วนอยู่ในโมเลกุลโปรตีนกะทิ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Onsaard (2008)

4.3 การเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนของโปรตีนกะทิ

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนของโปรตีนกะทิในช่วงอุณหภูมิ 25-120°C แสดงดังภาพที่ 5 และตารางที่ 7 จะเห็นได้ว่า IP และ CCP มีฟิสิกการเสียสภาพธรรมชาติ 2 ฟิสิก โดย IP มีอุณหภูมิการเสียสภาพธรรมชาติ (denature temperature, T_d) ที่ยอดฟิสิกเท่ากับ 91.03°C และ 109.04°C มีค่าเอนทัลปี (ΔH) ในการเสียสภาพธรรมชาติเป็น 0.83 และ 18.21 จูลต่อกรัมโปรตีนตามลำดับ ส่วน CCP มี T_d ที่ยอดฟิสิกเท่ากับ 90.42°C และ 107.48°C มีค่าเอนทัลปี 0.47 และ 2.72 จูลต่อกรัมโปรตีนตามลำดับ CSP มี T_d ที่ยอดฟิสิกเท่ากับ 96.36°C และมีค่าเอนทัลปี 0.42 จูลต่อกรัมโปรตีน ส่วน ISP มีฟิสิกในช่วงกว้าง ซึ่งมี T_d ที่ยอดฟิสิกเท่ากับ 91.19°C โดยมีค่าเอนทัลปี 12.72 จูลต่อกรัมโปรตีน แสดงให้เห็นว่าโปรตีนกะทิจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติที่อุณหภูมิประมาณ 90°C แต่อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิประมาณ 84°C โปรตีนกะทิจะเริ่มเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ โดยอุณหภูมิที่เริ่มเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (onset) ของ IP, CCP, CSP และ ISP คือ 87.71, 86.88, 93.08 และ 84.40°C ตามลำดับ นั่นคือโปรตีนจะสูญเสียคุณสมบัติต่างๆ อย่างถาวร เช่น การละลาย คุณสมบัติความเป็นอิมัลซิไฟเออร์ ทำให้กะทิเกิดการแยกชั้นหรือแตกมันนั่นเอง ซึ่งค่า T_d มีความ

ใกล้เคียงกับรายงานของ Kwon, Park, และ Rhee, 1996 โดยพบว่าโปรตีนอัลบูมินและโกลบูลินที่สกัดจากเนื้อมะพร้าวปราศจากไขมัน (defatted coconut flour) ซึ่งเป็นโปรตีนส่วนใหญ่ในกะทิ (มีปริมาณอัลบูมินร้อยละ 21.0 และโกลบูลินร้อยละ 40.1) เกิดการเสียสภาพที่อุณหภูมิประมาณ 94°C



ภาพที่ 5 เทอร์โมแกรมของโปรตีนกะทิ; CCP: โปรตีนที่ดูดซับรอบผิวครีโอลเลท, IP: โปรตีนที่ไม่ละลายในกะทิ, CSP: โปรตีนที่ละลายในหางกะทิ และ ISP: โปรตีนที่ไม่ละลายในหางกะทิ

ตารางที่ 7 อุณหภูมิการเสียสภาพธรรมชาติ (T_d) ที่ยอดพีคและค่าเอนทัลปี (ΔH) ของ CCP, IP, ISP และ CSP

Protein fractions	Peak No.	$T_d^{1)}$ (°C)	$\Delta H^{1)}$ (J/g)
CCP	1	90.42±0.62 ^d	0.47±0.08 ^c
	2	107.48±0.34 ^b	2.72±0.41 ^c
IP	1	91.03±0.00 ^d	0.83±0.43 ^c
	2	109.04±0.00 ^a	18.21±1.13 ^a
CSP	1	96.36±0.16 ^c	0.42±0.05 ^c
ISP	1	91.19±0.33 ^d	12.72±1.79 ^b

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

^{a, b, ...} ตัวอักษรกำกับที่เหมือนกันตามคอลัมน์แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

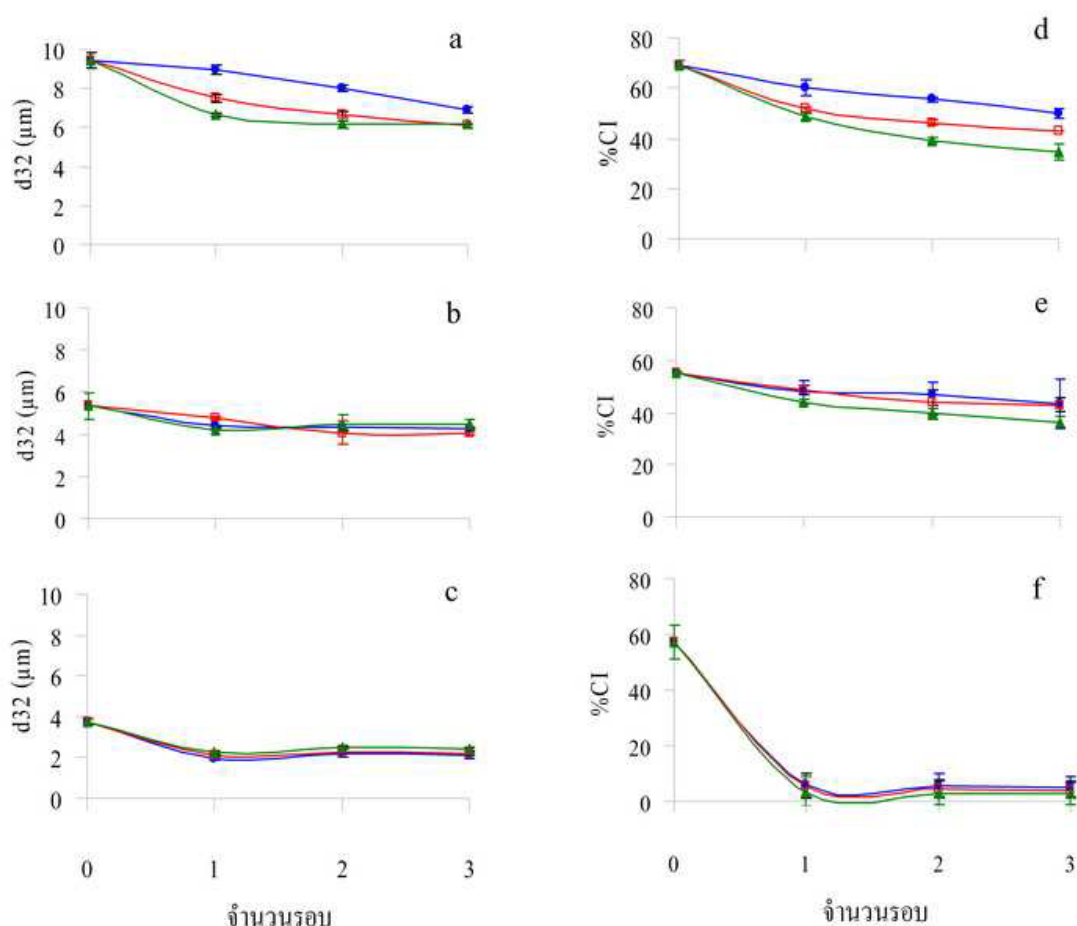
และที่อุณหภูมิช่วง 92-112°C ตามลำดับ ส่วน Onsaard (2008) รายงานค่า T_g ของโปรตีนกะทิในส่วน IP, CCP, CSP และ ISP ซึ่งมีค่าต่ำกว่าผลที่ได้จากการทดลองเล็กน้อยคืออยู่ในช่วง 81.40-106.45°C ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสภาวะในการแยกส่วนโปรตีนที่แตกต่างกัน เช่น ในการทดลองนี้ไม่ได้ใช้ตัวทำละลายสกัดไขมัน เช่น เฮกเซน เพื่อกำจัดไขมันที่เหลือในส่วนของโปรตีนออก และใช้การทำแห้งโปรตีนแบบสุญญากาศ ซึ่งอาจส่งผลต่อโครงสร้างและการจับกันของโมเลกุลโปรตีน

4.4 ผลของสภาวะในการโฮโมจีไนซ์ต่อสมบัติและความคงตัวของกายภาพของกะทิ

จากผลการทดลองเพื่อศึกษาสภาวะในการโฮโมจีไนซ์กะทิ ในกรณีที่ไม่เติมสารสเตบิไลเซอร์ จะเห็นได้ว่าระดับความดันและจำนวนรอบในการโฮโมจีไนซ์ส่งผลต่อขนาดอนุภาครีโอฟเลทเฉลี่ย (d_{32}) และความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมของกะทิอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) (ภาพที่ 6a และ 6d และตารางผนวกที่ 9 และ 10) โดยกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ที่ระดับความดันสูงขึ้นจะทำให้ขนาดรีโอฟเลทเฉลี่ยมีขนาดเล็กลง และมีความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมมากขึ้น และเมื่อพิจารณาจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นในระดับความดันเดียวกันก็ส่งผลในลักษณะเดียวกัน เนื่องจากความดันที่เพิ่มขึ้นเป็นการให้พลังงานและแรงเฉือนทำให้รีโอฟเลทแตกออก มีขนาดเล็กลง ระบบอิมัลชันที่มีรีโอฟเลทขนาดเล็กจะเกิดการแยกชั้นครีมได้ช้าซึ่งอธิบายได้ตามสมการของสโตกส์ (Stokes' equation) (McClement, 2005) ส่วนในกรณีที่มีการเติม CMC (ภาพที่ 6b และ 6e และตารางผนวกที่ 16 และ 17) หรือ Tween 60 (ภาพที่ 6c และ 6f และตารางผนวกที่ 16 และ 17) ร่วมกับการโฮโมจีไนซ์ พบว่าขนาดของอนุภาครีโอฟเลทเฉลี่ยที่ระดับความดันและจำนวนรอบในการโฮโมจีไนซ์ที่เพิ่มขึ้นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$) แต่เมื่อพิจารณาความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมจะเห็นได้ว่ากะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ที่ระดับความดัน 23/4 MPa มีความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมมากที่สุด โดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการโฮโมจีไนซ์ 1-3 รอบ ($P > 0.05$) และมีความคงตัวไม่แตกต่างกันกับกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ที่ระดับความดัน 11/4 MPa จำนวน 3 รอบ และกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์กะทิที่ระดับความดัน 17/4 MPa จำนวน 2 และ 3 รอบ

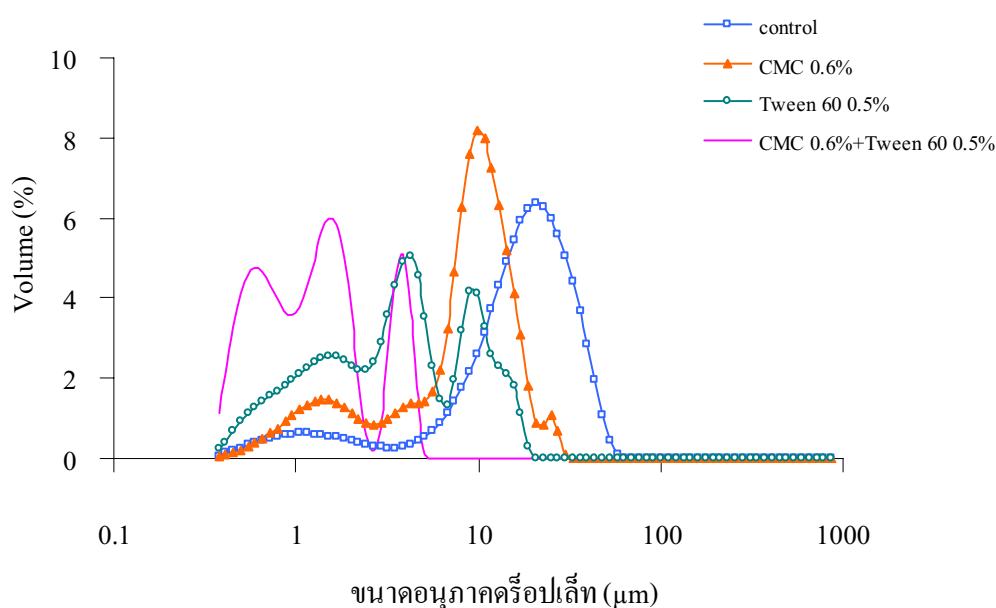
อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบสภาวะในการโฮโมจีไนซ์ระหว่างตัวอย่างควบคุมและตัวอย่างที่เติมสารสเตบิไลเซอร์ จะเห็นได้ว่ากะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ CMC หรือ Tween 60 จะมีขนาดอนุภาครีโอฟเลทเฉลี่ยเล็กกว่าและสัดส่วนของอนุภาครีโอฟเลทขนาดเล็กที่มากกว่า โดยการใช้ Tween 60 จะทำให้ได้ขนาดรีโอฟเลทที่เล็กกว่าการใช้ CMC (ภาพที่ 6 a-c และ 7) เนื่องจาก Tween 60 ซึ่งเป็นสารอิมัลซิฟายเออร์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กสามารถหุ้มรอบผิวรีโอฟเลทที่เกิดขึ้นใหม่ในระหว่างการโฮโมจีไนซ์ได้อย่างรวดเร็ว จึงช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างวฏภาคน้ำและ

น้ำมัน เกิดเป็นฟิล์มป้องกันการเกาะกลุ่มหรือรวมตัวกันของครีโอล์ได้ในช่วงการเก็บรักษา ส่วน CMC มีบทบาทเป็นสารเพิ่มความข้นหนืดให้แก่ส่วนต่อเนื่องของระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Becher, 1965) และสามารถเกิดเป็นฟิล์มที่แข็งแรงระหว่างผิวของหยดน้ำมันและน้ำได้ (Sharma, 1981) จึงช่วยชะลอการเคลื่อนที่ของครีโอล์และป้องกันไม่ให้ครีโอล์เข้ามาชนหรือรวมตัวกันเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ได้ในระยะเวลาหนึ่ง (Tangsuphoom และ Coupland, 2008) แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของ CMC ในการเข้าหุ้มรอบครีโอล์ยังต่ำกว่า Tween 60 ซึ่งเป็นสารเซอร์แฟกแทนต์ (surfactant) อยู่มาก ส่วนกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ (ภาพที่ 8 b-d, f-h และ j-l) มีขนาดครีโอล์เล็กลงเมื่อเทียบกับกะทิที่ไม่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ (ภาพที่ 8a, 8e และ 8i) และ

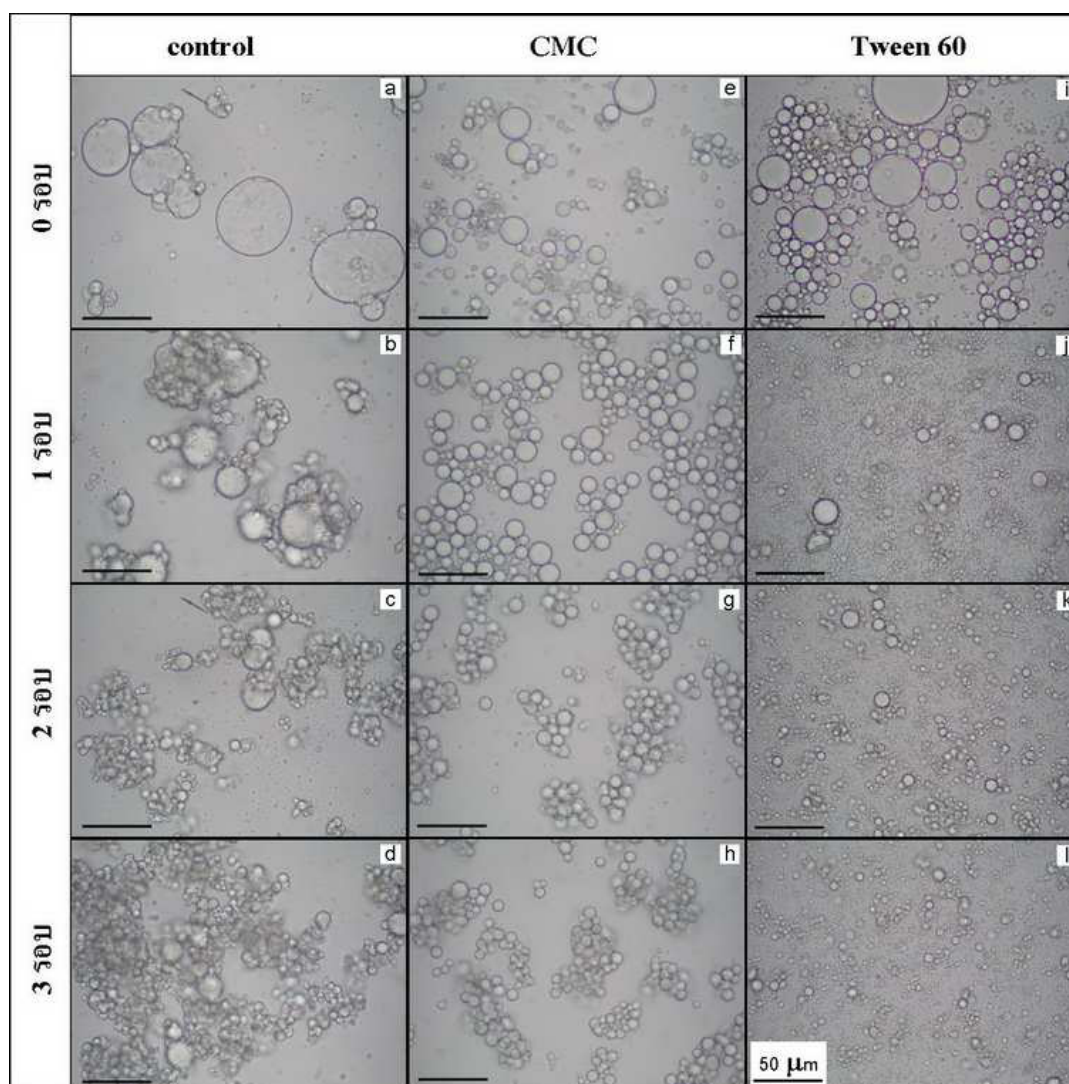


ภาพที่ 6 ผลของสภาวะในการโฮโมจีไนซ์ต่อขนาดครีโอล์เฉลี่ย (d_{32}) และความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม (%CI) ของกะทิในตัวอย่างที่ไม่เติมสารสเตบิไลเซอร์ (a, d) ตัวอย่างที่เติม CMC (b, e) และเติม Tween 60 (c, f) ที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ที่ความดัน 11/4 (●) 17/4 (□) และ 23/4 MPa (▲)

เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการโฮโมจีไนส์ จะส่งผลให้ครีโอล์น้ำมันมีขนาดเล็กลงและมีขนาดอนุภาคสม่ำเสมอขึ้น แต่จะเกิดการเกาะกลุ่มกัน (flocculation) ของครีโอล์น้ำมันอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการโฮโมจีไนส์ทำให้เกิดครีโอล์ขนาดเล็กจำนวนมากขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของน้ำมันโดยที่ในกะทิมีปริมาณโปรตีนอยู่ไม่มากเพียงพอในการหุ้มครีโอล์ที่เกิดขึ้นใหม่ (del Rosario และ Punzalan, 1997) จึงทำให้หนึ่งโมเลกุลของโปรตีนที่เคยจับอยู่กับครีโอล์หนึ่งต้องจับกับอีกครีโอล์พร้อมๆ กัน นำไปสู่การเกิดการรวมกลุ่มเชื่อมกันเป็นสาย (bridging flocculation) (McClement, 2005) ซึ่งจะส่งผลต่อความหนืดและความคงตัวของอิมัลชันได้ โดยทั่วไปแล้วการเกิดเกาะกลุ่มกันของครีโอล์ (flocculation) จะทำให้เกิดการแยกชั้นครีมได้เร็วขึ้น (Tangsuphoom และ Coupland, 2008) แต่อย่างไรก็ตามอาจทำให้เกิดการแยกชั้นครีมช้าลงได้ เนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างกลุ่มครีโอล์น้ำมันกับวัฏภาคต่อเนื่องอาจจะน้อยกว่าความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นครีโอล์เดี่ยวกับวัฏภาคต่อเนื่องได้ เพราะการเกาะกลุ่มของครีโอล์จำนวนมากสามารถเกิดการเชื่อมต่อกันเป็นสายและจับครีโอล์ไว้ภายในโครงสร้างร่างแหนั้น (Dickinson, Golding และ Povey, 1997)



ภาพที่ 7 ผลของสภาวะในการโฮโมจีไนส์ที่ความดัน 23/4 MPa จำนวน 1 รอบ ต่อการกระจายตัวของอนุภาคครีโอล์ในกะทิที่เติมสารสเตบิไลเซอร์ (CMC, Tween 60) และไม่เติมสารสเตบิไลเซอร์ (control)



ภาพที่ 8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 400 เท่า แสดงผลการโฮโมจิไนซ์กะทิที่ความดัน 11/4 MPa ของกะทิในตัวอย่างที่ไม่เติมสารสเตบิลไลเซอร์ (control) (a-d) ตัวอย่างที่เติม CMC (e-h) และ Tween 60 (i-l) โดยผ่านการโฮโมจิไนซ์ 0 รอบ (a, e, i) 1 รอบ (b, f, j) 2 รอบ (c, g, k) และ 3 รอบ (d, h, l)

จากภาพที่ 8 (b-d) แสดงให้เห็นการรวมตัวกันของครีโอลี้น้ำมัน (coalescence) ขนาดเล็กเกิดเป็นครีโอลี้น้ำมันที่มีขนาดใหญ่ของกะทิที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์โดยไม่เติมสารสเตบิลไลเซอร์ซึ่งจะเกิดการรวมตัวกันของครีโอลี้น้ำมันได้เร็วกว่ากะทิที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ร่วมกับ CMC หรือ Tween 60 ซึ่งส่งผลต่อการเกิดการแยกชั้นครีมอย่างรวดเร็ว และสามารถเกิดการแยกชั้นน้ำมันได้ในที่สุด ส่วนภาพที่ 8 (e-h) แสดงให้เห็นถึงการเกาะกลุ่มกันของครีโอลี้น้ำมันตัวอย่าง

กะทิที่ผ่านการโฮโมจิไนส์ร่วมกับ CMC ซึ่งจะเกาะกลุ่มกันน้อยและมีครีโอล์ขนาดเล็กใหญ่เกิดขึ้นน้อยกว่าตัวอย่างควบคุม โดยยังรักษาวนาคของครีโอล์ไว้ได้ ทั้งนี้เนื่องจาก CMC มีบทบาทเป็นสารเพิ่มความข้นหนืดให้แก่ส่วนต่อเนื่องของระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Becher, 1965) และยังสามารถเกิดเป็นฟิล์มที่แข็งแรงระหว่างผิวของหยดน้ำมันและน้ำได้ (Sharma, 1981) จึงช่วยชะลอการเคลื่อนที่ของครีโอล์และช่วยป้องกันครีโอล์ไม่ให้เข้ามาชนหรือรวมตัวกันเป็นอนุภาคนาคใหญ่ได้ในระยะเวลาหนึ่ง ส่วนตัวอย่างกะทิที่มีการเติม Tween 60 ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์จึงช่วยลดแรงตึงผิวระหว่างวณาคน้ำและน้ำมันสามารถหุ้มรอบผิวครีโอล์ที่เกิดขึ้นใหม่จากการโฮโมจิไนส์ จึงช่วยป้องกันการเกาะกลุ่มหรือรวมตัวกันของครีโอล์ได้ ทำให้อิมัลชันมีความคงตัวมากขึ้น (Tangsuphoom และ Coupland, 2008) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และจากการทดลองพบว่าความหนืดของกะทีก่อนปรับปริมาณไขมัน (ร้อยละ 34-40) และกะทิที่ผ่านการปรับปริมาณไขมัน (ร้อยละ 20) เท่ากับ 23.20 ± 4.07 และ 5.50 ± 1.38 เซนติพอยส์ (cP) ตามลำดับ ส่วนกะทิที่ผ่านการโฮโมจิไนส์ร่วมกับ CMC (ร้อยละ 0.60) หรือ Tween 60 (ร้อยละ 0.50) มีค่าความหนืดอยู่ในช่วง 20.30-36.45 cP และ 18.44-19.84 cP ตามลำดับ

จากผลการทดลองเพื่อหาสถานะในการโฮโมจิไนส์ต่อสมบัติและความคงตัวของกะทิข้างต้น สามารถเลือกระดับความดันและจำนวนรอบในการโฮโมจิไนส์กะทิได้คือ ที่ระดับความดัน 23/4 MPa โดยผ่านเข้าเครื่องโฮโมจิไนเซอร์จำนวน 1 รอบก็เพียงพอที่จะผลิตกะทิที่มีความคงตัวสูงแต่อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าการโฮโมจิไนส์กะทิตั้งกับการใช้ CMC หรือ Tween 60 เพียงอย่างเดียวยังไม่เพียงพอที่จะรักษาความคงตัวทางกายภาพของกะทิไว้ได้ จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่าแม้กะทิจะเป็นอิมัลชันตามธรรมชาติที่มีโปรตีนและฟอสโฟลิปิดทำหน้าที่เป็นอิมัลซิฟายเออร์ช่วยหุ้มครีโอล์น้ำมันทำให้เกิดความคงตัวได้ในระยะเวลาหนึ่ง แต่เนื่องจากกะทิมีปริมาณโปรตีนอยู่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณไขมัน ประกอบกับสมบัติในการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ของโปรตีนกะทียังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอและเกิดการเสียสภาพได้ง่ายจากปัจจัยหลายประการดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ดังนั้นจึงทำการทดลองเพื่อศึกษาผลของปริมาณอิมัลซิฟายเออร์ที่ระดับต่างๆ ร่วมกับการใช้ CMC (ร้อยละ 0.60) ในการโฮโมจิไนส์ต่อสมบัติและความคงตัวทางกายภาพของกะทิ โดยเลือกใช้ Tween 60 เนื่องจากเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่อนุญาตให้ใช้ได้ในการอาหารและมีสมบัติในการเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่ดีช่วยให้กะทิมีความคงตัวสูงตามที่มิในรายงานก่อนหน้านี้ (ศิริวรรณ, 2528; กรพกา, 2539; เอกสิทธิ์, 2540; เทพกัญญา, 2545; จันทิมา, 2546 และ Srithunma, 2002)

จากการทดลองทำการโฮโมจิไนส์กะทิตั้งกับ CMC (ร้อยละ 0.60) และ Tween 60 ที่ความเข้มข้น ร้อยละ 0.25-1.00 โดยน้ำหนัก เปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุม (ไม่เติม Tween 60) แสดงผลดังตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่าขนาดครีโอล์น้ำมันเฉลี่ยของกะทิมิขนาดเล็กลงอย่างมี

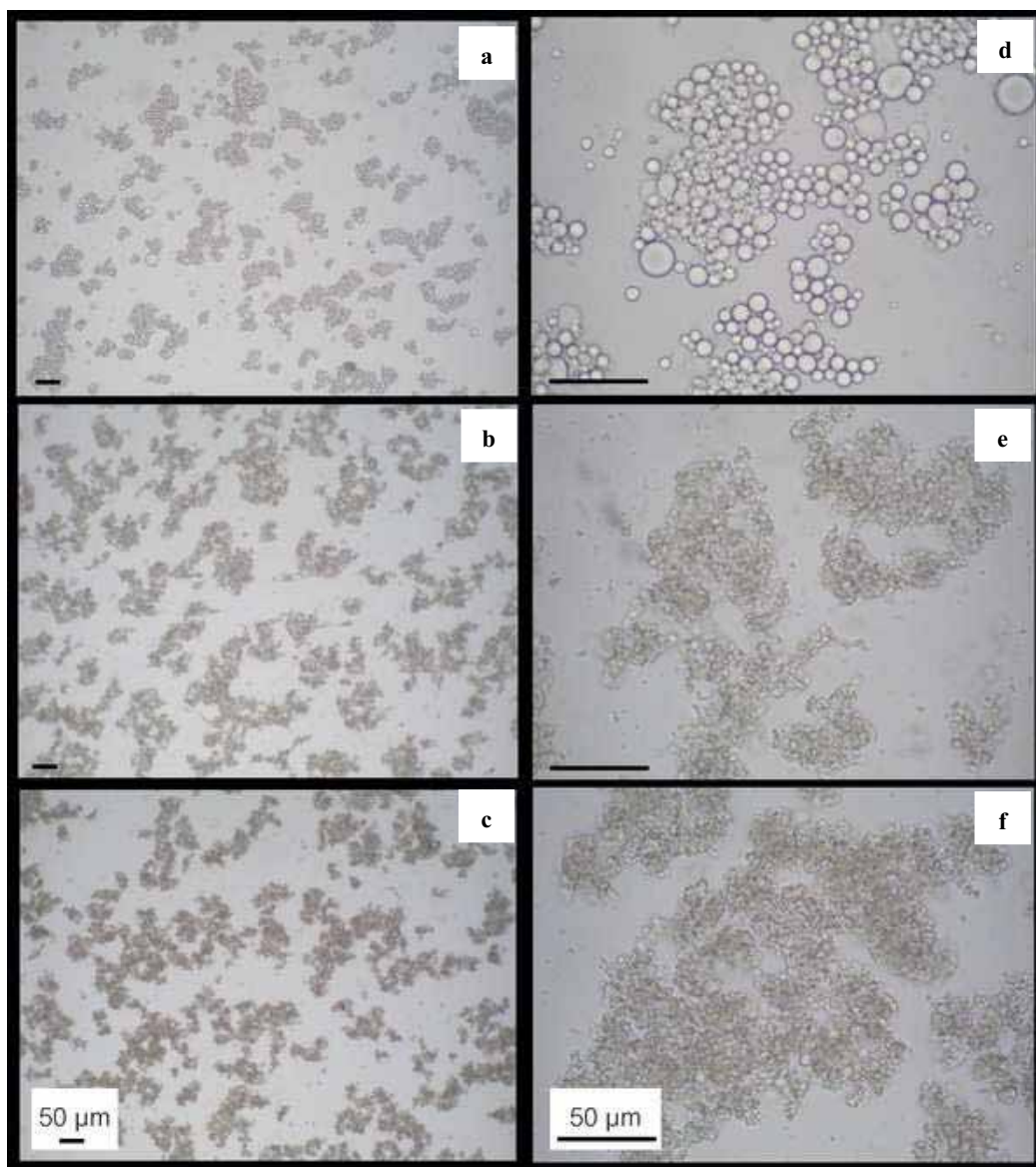
นัยสำคัญ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Tween 60 จนถึงร้อยละ 0.5 แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของขนาดหรือปเล็กเมื่อเพิ่มระดับความเข้มข้นของ Tween 60 ในช่วงร้อยละ 0.50-1.00 โดยน้ำหนัก ($p > 0.05$) (ภาพที่ 9) ซึ่งสอดคล้องกับค่าความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมของกะทิและความหนืดที่เพิ่มขึ้น โดยกะทิจะมีความคงตัวทางกายภาพมากที่สุดเมื่อใช้ความเข้มข้นของ Tween 60 ร้อยละ 1.00 โดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับความคงตัวของกะทิที่ใช้ความเข้มข้นของ Tween 60 ร้อยละ 0.75 ($p > 0.05$) แสดงให้เห็นว่า Tween 60 เป็นอิมัลซิฟายเออร์มีประสิทธิภาพที่ดีในการรักษาขนาดของหรือปเล็กและความคงตัวของอิมัลชัน โดยสามารถเข้าไปหุ้มรอบหรือปเล็กขนาดเล็กๆ ที่เกิดขึ้นใหม่ได้อย่างรวดเร็วหลังผ่านกระบวนการโฮโมจิไนเซชันและป้องกันการกลับเข้ามารวมตัวและเกาะกลุ่มกันของหรือปเล็กได้ อย่างไรก็ตามจะเห็นว่าน้ำกะทียังคงเกิดการแยกชั้นครีมได้เล็กน้อย เมื่อตั้งทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 24 ชั่วโมง ($CI < 10\%$) แต่กะทิที่ผ่านการโฮโมจิไนเซชันร่วมกับการใช้สารสเตบิไลเซอร์ คือ CMC และ Tween 60 ยังคงให้ลักษณะปรากฏของอิมัลชันกะทิที่ดี มีเนื้อเนียน เมื่อทำการเขย่าหรือกวนอิมัลชันกะทิเพียงเล็กน้อย จะทำให้กะทิลักษณะคงตัวไม่แยกชั้นเมื่อตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 10 ชั่วโมง และมีความหนืดใกล้เคียงกับหัวกะทิสดอยู่ในระดับที่ยอมรับได้

ตารางที่ 8 ผลของระดับความเข้มข้นของ Tween 60 ต่อขนาดหรือปเล็กเฉลี่ย (d_{32}) ความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม (CI) และความหนืดของกะทิที่มี CMC ร้อยละ 0.60

ความเข้มข้นของ Tween 60 (%)	$d_{32}^{1)}$ (μm)	CI ¹⁾ (%)	ความหนืด ¹⁾ (cP)
0	4.83 ± 0.33^a	43.46 ± 0.84^a	39.18 ± 2.58^d
0.25	1.50 ± 0.16^b	8.51 ± 0.69^b	52.58 ± 4.84^c
0.50	1.13 ± 0.11^c	5.30 ± 2.21^c	56.63 ± 4.21^b
0.75	1.07 ± 0.16^c	3.23 ± 2.75^{cd}	68.98 ± 3.01^a
1.00	1.00 ± 0.11^c	1.43 ± 2.02^d	69.60 ± 3.68^a

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

^{a, b, ...} ตัวอักษรที่เหมือนกันตามคอลัมน์แสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($P > 0.05$)



ภาพที่ 9 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 100 เท่า (a-c) และ 400 เท่า (d-f) แสดงผลการ
 โสโมจิไนซ์กะที่ร่วมกับ CMC (ร้อยละ 0.6) และ Tween 60 ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0
 (a,d) ร้อยละ 0.5 (b, e) และร้อยละ 1.0 (c, f) ต่อลักษณะดริอปเล็ทที่เวลา 24 ชั่วโมง

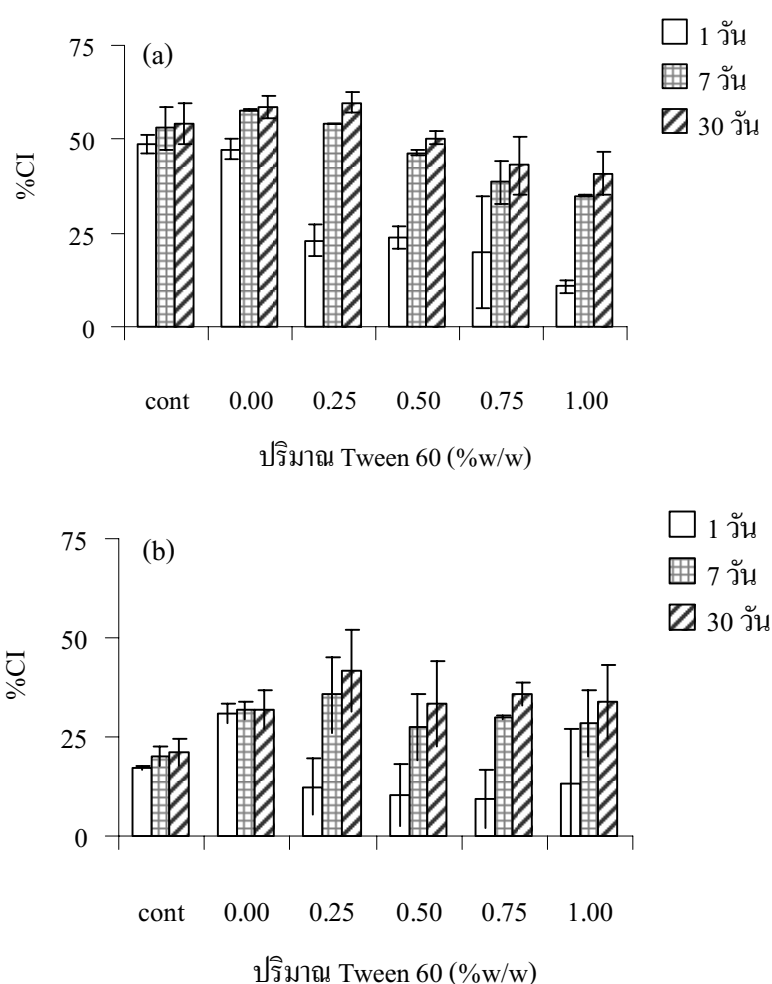
4.5 ผลของปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ร่วมกับการโฮโมจีไนซ์กะทิในระบบการสเตอริไลซ์และการแช่แข็ง-ละลาย

จากการศึกษาผลของปริมาณสารอิมัลซิฟายเออร์ คือ Tween 60 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-1.00 และ CMC ร้อยละ 0.60 ร่วมกับการโฮโมจีไนซ์กะทิในระบบสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน คือที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 วัน พบว่า ปริมาณ Tween 60 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับค่า CI ที่ต่ำลง นั่นคือกะทิมีความคงตัวต่อการแยกชั้นสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 7 และ 30 วัน กลับพบว่าค่า CI ของกะทิเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่างโดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และจะมีค่า CI ต่ำกว่ากะทิที่ไม่ผ่านการสเตอริไลซ์เล็กน้อย (ภาพที่ 10 และตารางผนวกที่ 18) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่ากะทิสเตอริไลซ์ในตัวอย่างควบคุม (ผ่านการโฮโมจีไนซ์โดยไม่เติมสารสเตบิไลเซอร์ใดๆ) และกะทิสเตอริไลซ์ที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ CMC เพียงอย่างเดียว จะมีตะกอนอ่อน (curd) เกิดขึ้น (ภาพที่ 11) และมีค่า CI ต่ำ ทั้งนี้เนื่องมาจากโปรตีนในกะทิจะเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติได้เมื่อให้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิประมาณ 80°C (Gonzalez, 1990; Kwon, Park, และ Rhee, 1996; Onsaard, 2008) จึงทำให้โปรตีนในกะทิเกิดการรวมตัวเป็นก้อน (coagulate) โดย Kwon, Park, และ Rhee (1996) รายงานว่าโปรตีนอัลบูมินและโกลบูลินซึ่งเป็นโปรตีนส่วนใหญ่ในกะทิ (มีปริมาณร้อยละ 21.0 และ 40.1 ตามลำดับ) เกิดการเสียสภาพที่อุณหภูมิประมาณ 94°C และที่อุณหภูมิช่วง $92-112^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ ส่วนระบบที่มี CMC อย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะป้องกันการเกิดตะกอนอ่อนได้เนื่องจาก CMC มีบทบาทในการเพิ่มความข้นหนืดให้แก่ส่วนต่อเนื่องของระบบอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำ (Becher, 1965) จึงยังสามารถเกิดการรวมตัวกันของโปรตีนที่เสียสภาพได้ ซึ่งตะกอนโปรตีนที่เกิดขึ้นนี้ยังสามารถจับอนุภาคหรือเปลือกน้ำมันไว้ในร่างแหได้จึงไม่พบการแตกมันในผลิตภัณฑ์และมีค่า CI ต่ำเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างกลุ่มหรือเปลือกน้ำมันกับวัฏภาคต่อเนื่องอาจจะน้อยกว่าความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นหรือเปลือกเดียวกันกับวัฏภาคต่อเนื่องได้ เพราะการเกาะกลุ่มของหรือเปลือกจำนวนมากสามารถเกิดการเชื่อมต่อกันเป็นสายจับหรือเปลือกและน้ำไว้ภายใน โครงสร้างร่างแหนั้น (Dickinson, Golding และ Povey, 1997; McClements, 2005; Tangsuphoom และ Coupland, 2009a)

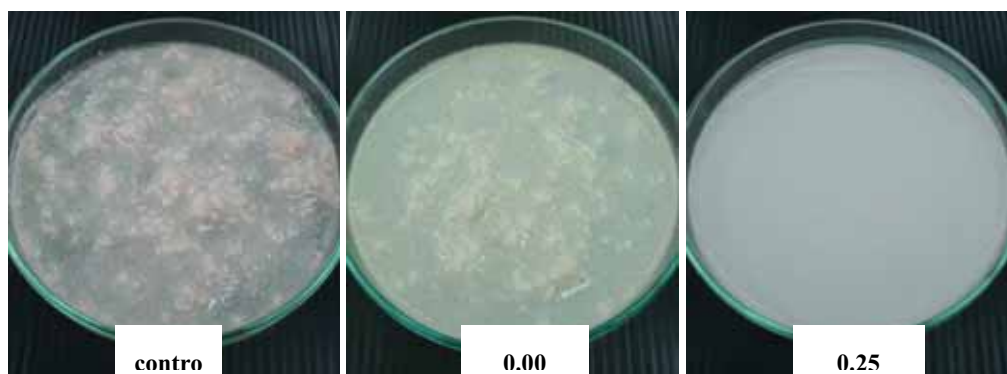
ส่วนกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ Tween 60 (ร้อยละ 0.25-1.00) และ CMC ไม่พบการเกิดตะกอนอ่อนเนื่องจากโดยทั่วไปนอกจาก Tween 60 จะทำหน้าที่ดูดซับที่ผิวสัมผัสส่วนระหว่างน้ำมันและน้ำในระบบอิมัลชันทำให้เกิดความคงตัวแล้วยังสามารถเกิดพันธะกับองค์ประกอบอื่นๆ ในระบบได้ รวมถึงสามารถยึดเกาะกับโปรตีนที่เสียสภาพให้แขวนลอยอยู่ใน

ผลิตภัณฑ์ได้ (Branen และคณะ, 2002) และจันทิมา (2546) กล่าวว่า การเติม Tween 60 ร่วมกับ CMC มีผลให้เกิดตะกอนอ่อนในผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

ส่วนกะทิที่ผ่านกระบวนการแช่แข็งและละลายด้วยไมโครเวฟกลับพบว่าไม่เกิดการแยกชั้นน้ำมันและตะกอนอ่อนในตัวอย่างกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ Tween 60 (ร้อยละ 0.25-1.00) และ CMC (ร้อยละ 0.6) แต่เกิดตะกอนอ่อนในตัวอย่างที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์โดยไม่เติมสารสเตบิไลเซอร์และเกิดตะกอนอ่อนเล็กน้อยในตัวอย่างที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ CMC เพียงอย่างเดียว โดยพบว่าค่า CI ของกะทิที่มี CMC และ Tween 60 มีค่าใกล้เคียงกับ CI ของกะทิที่ไม่มีการเติมสเตบิไลเซอร์ ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p > 0.05$) และ

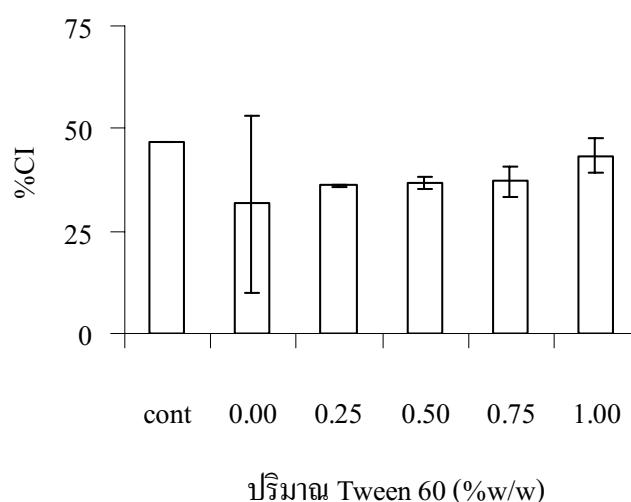


ภาพที่ 10 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในกะทิที่มี CMC ร้อยละ 0.60 ซึ่งไม่ผ่านการสเตอริไลซ์ (a) และผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน (b) (cont คือ กะทิที่ไม่มีการเติมสารสเตบิไลเซอร์)

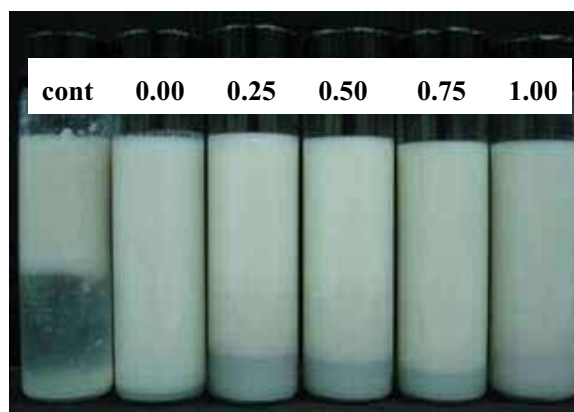


ภาพที่ 11 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะกะทิที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน (cont คือ กะทิที่ไม่มีการเติมสารสเตบิไลเซอร์)

ไม่พบการตกตะกอนของกะทิในทุกตัวอย่าง (ภาพที่ 12 และ 13) ทั้งนี้เนื่องจากในตัวอย่างกะทิควบคุมเกิดตะกอนอ่อนที่เกิดจากโปรตีนที่เสียสภาพแล้วเข้ามาเกาะกลุ่มกัน โดยสามารถจับตัวหรือปลดน้ำมันไว้ภายในได้ ส่วนในกะทิที่มีการเติม CMC เพียงอย่างเดียว หรือเติมร่วมกับ Tween 60 ช่วยลดการเกิดการแยกชั้นและการแตกมันได้เนื่องจาก CMC เป็นสารที่มีโมเลกุลเป็นสายยาวและมีขนาดใหญ่จึงช่วยชะลอการเคลื่อนที่และขัดขวางการเข้ามาเกาะกลุ่มกันของหรือปลดน้ำมันในระหว่างการแช่แข็ง และเมื่อนำกะทิมาละลายด้วยความร้อน CMC และ Tween 60 ยังสามารถแขวนลอยโปรตีนที่เสียสภาพไว้ได้ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



ภาพที่ 12 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม (CI) ในกะทิที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน (cont คือ กะทิที่ไม่มีการเติมสารสเตบิไลเซอร์)

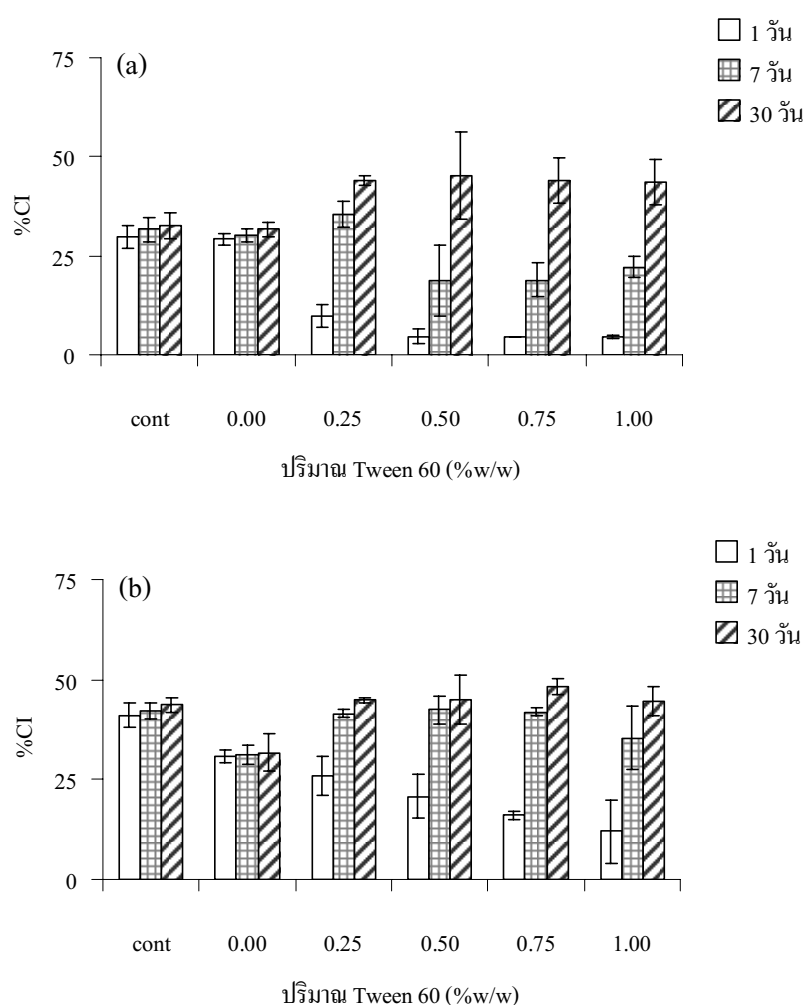


ภาพที่ 13 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะการแยกชั้นในกะทิที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน (cont คือ กะทิที่ไม่มีการเติมสารสเตบิไลเซอร์)

4.6 ผลของปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับการโฮโมจีไนซ์ในระบบอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสมแบบฟิเอซต่ำต่อสมบัติและความคงตัวทางกายภาพของกะทิ

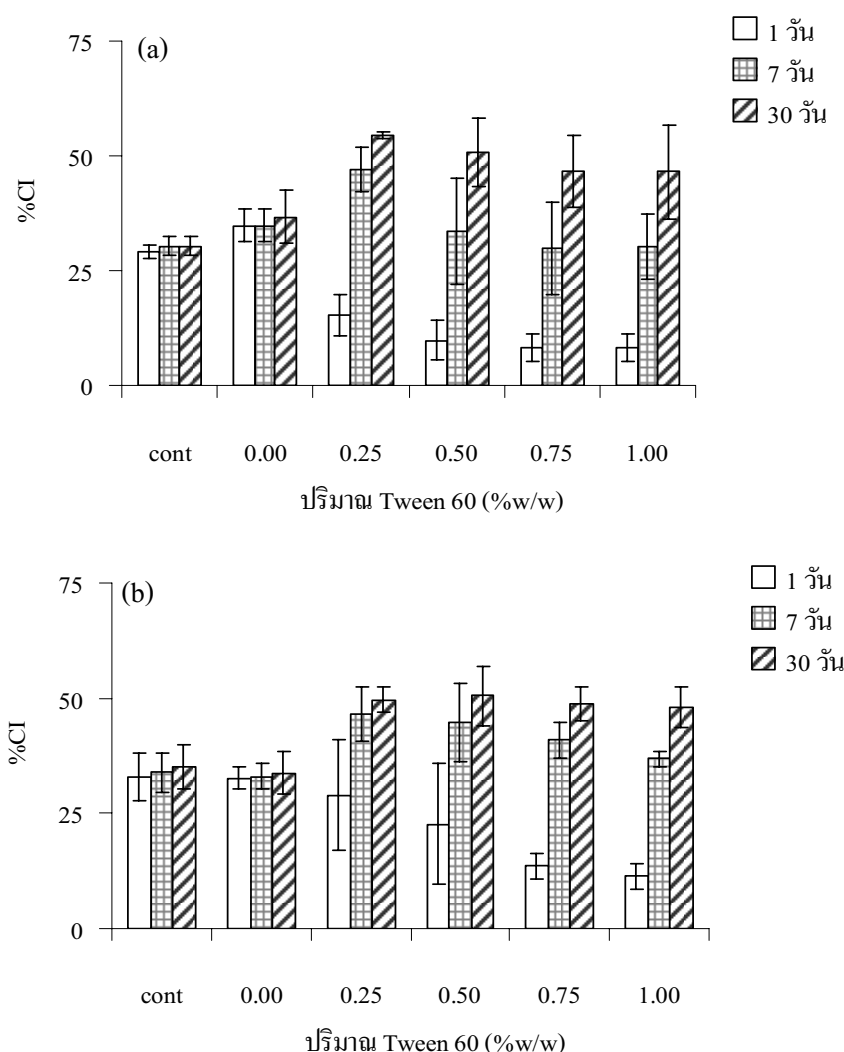
จากการศึกษาในระบบอาหารแบบฟิเอซต่ำ ได้แก่ คัมข้าโกน้ำข้นและคัมข้าโก (สูตรอาหารแสดงดังภาคผนวก ข) ที่ผลิตโดยใช้กะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ Tween 60 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-1.00 และ CMC ร้อยละ 0.60 ในตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน คือที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 วัน พบว่า ปริมาณ Tween 60 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับค่า CI ที่ต่ำลง นั่นคืออาหารมีความคงตัวต่อการแยกชั้นสูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 7 และ 30 วัน กลับพบว่าค่า CI ของอาหารเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่างโดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และจะมีค่า CI สูงกว่าตัวอย่างอาหารที่ไม่ผ่านการสเตอริไลซ์เล็กน้อย (ภาพที่ 14 และ 15 และตารางผนวกที่ 19 และ 20) นอกจากนี้จะเห็นว่าอาหารสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากกะทิควบคุม (ผ่านการโฮโมจีไนซ์โดยไม่เติมสารสเตบิไลเซอร์) และที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ CMC เพียงอย่างเดียว จะมีตะกอน-อ่อน (curd) เกิดขึ้นและมีค่า CI ต่ำ ซึ่งผลการทดลองมีลักษณะเช่นเดียวกันทั้งในคัมข้าโกน้ำข้นและคัมข้าโก (ภาพที่ 16a และ b) ทั้งนี้ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นคือโปรตีนในกะทิจะเกิดการเสียสภาพทางธรรมชาติเมื่อให้ความร้อนสูงกว่าอุณหภูมิ 80°C (Gonzalez, 1990; Kwon, Park, และ Rhee, 1996; Onsaard, 2008) จึงทำให้โปรตีนในกะทิเกิดการรวมตัวเป็นก้อน ซึ่งอาจจะกระจายตัวแขวนลอยหรือตกตะกอนลงมา ส่วนระบบที่มี CMC อย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะป้องกันการเกิด

ตะกอนอ่อนได้เนื่องจาก CMC มีบทบาทในการเพิ่มความข้นหนืดให้แก่ส่วนต่อเนื่องของระบบอิมัลชัน (Becher, 1965) จึงยังสามารถเกิดการรวมตัวกันของโปรตีนที่เสียดสภาพได้ ซึ่งตะกอนโปรตีนที่เกิดขึ้นนี้ยังสามารถจับอนุภาคคอลลอยด์น้ำมันไว้ในร่างแหได้จึงไม่พบการแตกมันในผลิตภัณฑ์และยังมีค่า CI ต่ำเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นระหว่างกลุ่มคอลลอยด์น้ำมันกับวัฏภาคต่อเนื่องอาจจะน้อยกว่าความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นคอลลอยด์เดียวกับวัฏภาคต่อเนื่องได้ (Dickinson, Golding และ Povey, 1997; McClements, 2005; Tangsuphoom และ Coupland, 2009a) ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

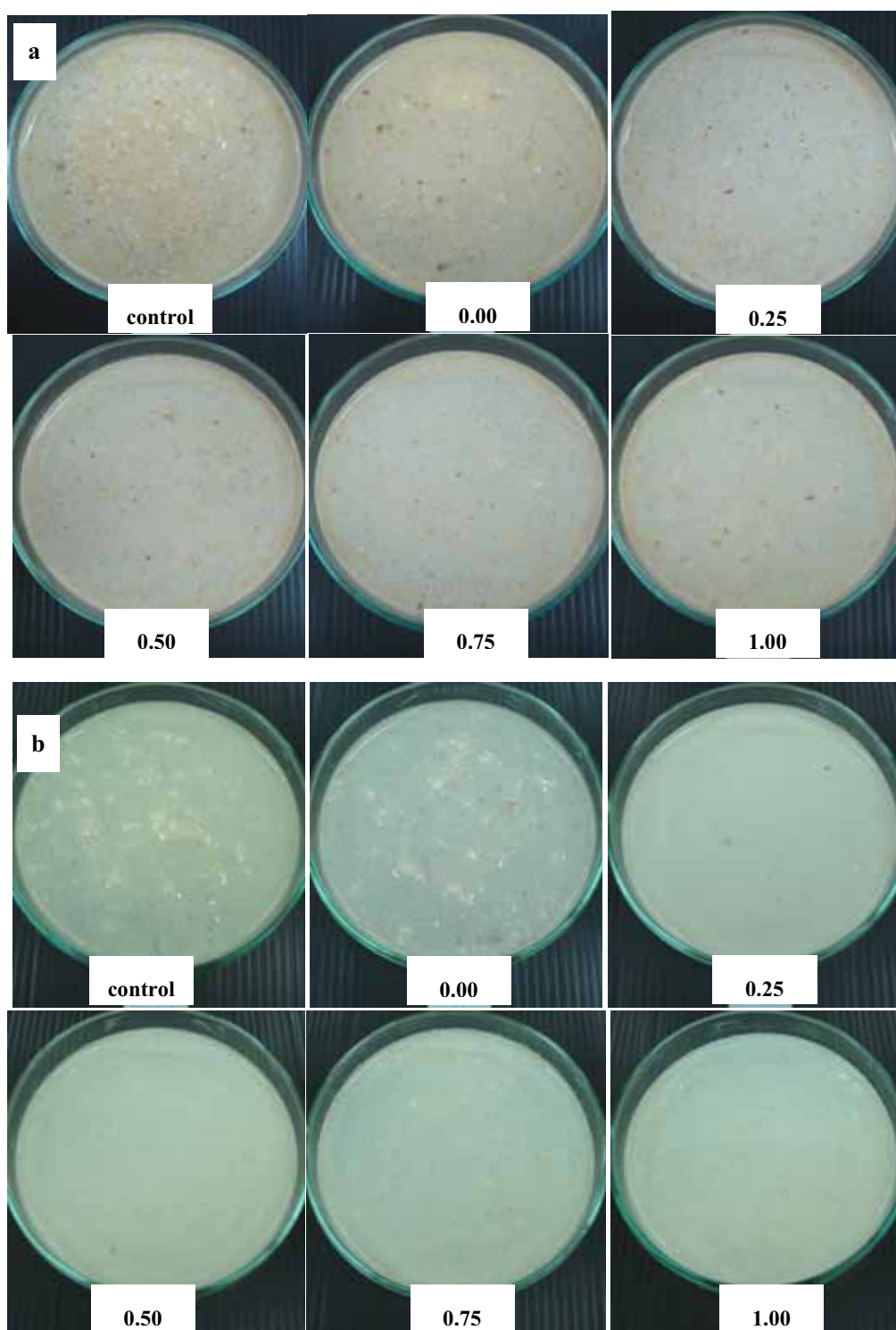


ภาพที่ 14 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในส่วนของเหลวของตัวยำไก่อ้วนที่มี CMC ร้อยละ 0.60 ซึ่งไม่ผ่านการสเตอริไลซ์ (a) และผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน (b) (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสเตบิลไลเซอร์)

ส่วนอาหารที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ Tween 60 (ร้อยละ 0.25-1.00) และ CMC ไม่พบการเกิดตะกอนอ่อนเนื่องจากโดยทั่วไปนอกจาก Tween 60 จะทำหน้าที่ลดชั้นที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำมันและน้ำในระบบอิมัลชันทำให้เกิดความคงตัวแล้วยังสามารถเกิดพันธะกับองค์ประกอบอื่นๆ ในระบบได้ รวมถึงสามารถยึดเกาะกับโปรตีนที่เสถียรภาพให้แขวนลอยอยู่ในผลิตภัณฑ์ได้ (Branen และคณะ, 2002) และจันทิมา (2546) กล่าวว่า การเติม Tween 60 ร่วมกับ CMC มีผลให้เกิดตะกอนอ่อนในผลิตภัณฑ์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$)

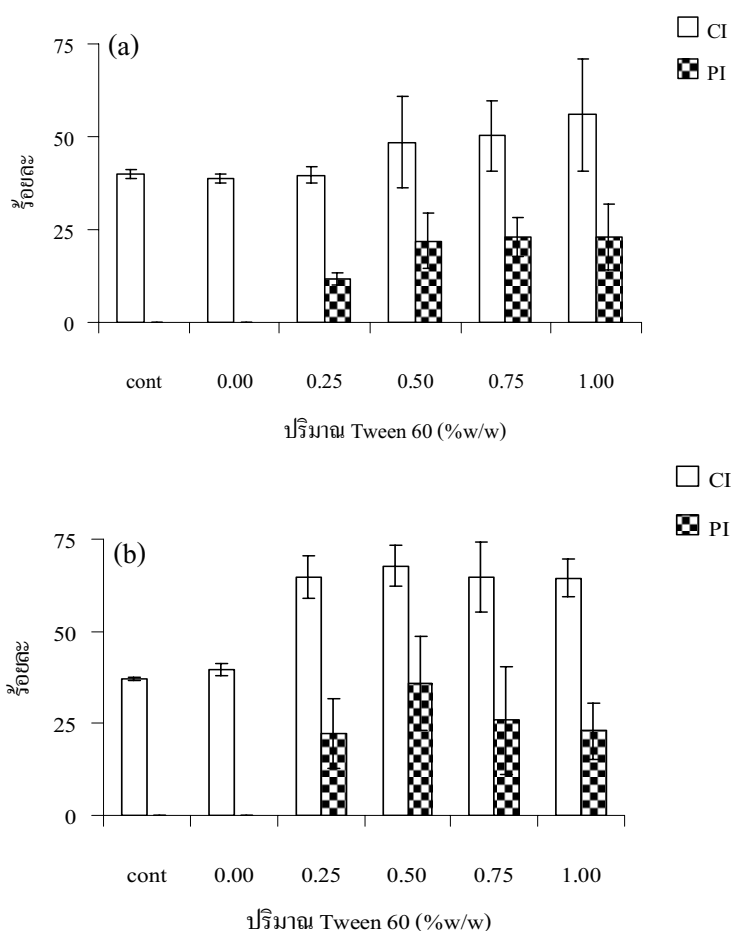


ภาพที่ 15 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในส่วนของเหลวของ
 ดัมข้าไก่ที่มี CMC ร้อยละ 0.60 ซึ่งไม่ผ่านการสเตอริไลซ์ (a) และผ่านการสเตอริไลซ์
 ด้วยความร้อน (b) (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสเตบิลไลเซอร์)



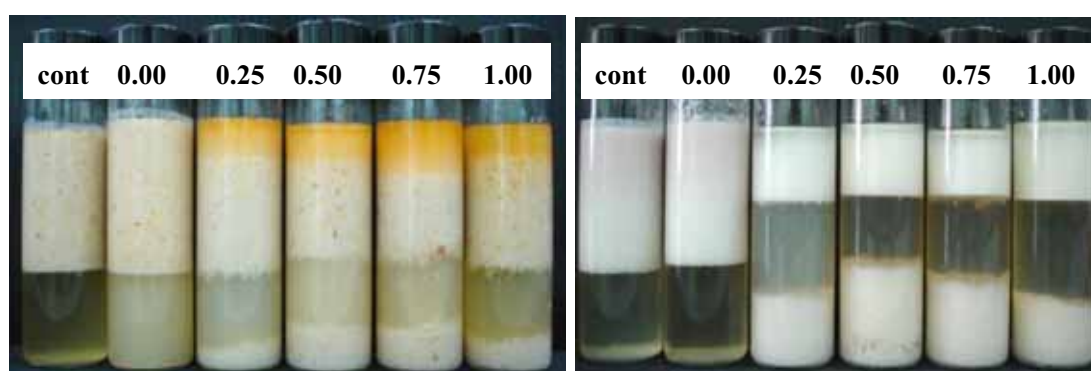
ภาพที่ 16 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะส่วนของเหลวของตั้มยำใก่น้ำขึ้น (a) และตั้มยำใก่ (b) ที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน (b) (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสเทบิไลเซอร์)

ในตัวอย่างตั้มยำและตั้มข่าไก่ที่ผ่านกระบวนการแช่แข็ง (-30°C) แล้วนำมาละลายด้วยไมโครเวฟเพื่อเลียนแบบพฤติกรรมการบริโภค พบว่าปริมาณ Tween 60 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับค่า CI ของส่วนของเหลวที่สูงขึ้น ทั้งนี้ในตัวอย่างอาหารที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ร่วมกับ Tween 60 (ร้อยละ 0.25-1.00) และ CMC จะมีส่วนของตะกอนที่ตกลงมายังด้านล่างของภาชนะในส่วนของวัฏภาคน้ำจึงทำให้ค่า CI สูงขึ้น (ภาพที่ 17) นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณการแยกชั้นน้ำมัน (OI) มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Tween 60 ที่เพิ่มขึ้นด้วย (ภาพที่ 18 และตารางผนวกที่ 24) โดยในตัวอย่างตั้มยำไก่น้ำข้นที่มี Tween 60 ร้อยละ 0.25, 0.50, 0.75 และ 1.00 มีค่า OI เป็น 0.89 ± 0.26 , 0.90 ± 0.25 , 1.26 ± 0.25 และ 1.45 ± 0.52 ตามลำดับ ส่วนในตั้มข่าไก่ มีค่า OI เป็น 0.92 ± 0.26 , 1.61 ± 0.28 , 1.81 ± 0.06 และ 1.80 ± 0.50 ตามลำดับ



ภาพที่ 17 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม (CI) และการตกตะกอน (PI) ในส่วนของเหลวของตั้มยำไก่น้ำข้น (a) และตั้มข่าไก่ (b) ที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสเตบิไลเซอร์)

ทั้งนี้เนื่องจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ร่วมกับ Tween 60 ซึ่งเป็นอิมัลซิฟายเออร์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก หรือที่เรียกว่าสาร surfactant สามารถเข้าไปแทนที่โปรตีนกะทิที่หุ้มอยู่รอบๆ ฝัสดร็อปเล็ท (เช่น CCP) ได้รวดเร็วและเกือบทั้งหมดในระหว่างกระบวนการโฮโมจิไนซ์ (Tangsuphoom และ Coupland, 2009b) สามารถช่วยรักษาความคงตัวของอิมัลชันกะทิไว้ได้ในระหว่างการผลิตอาหาร ซึ่งผ่านการให้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100°C แต่ในขณะที่การแช่แข็งเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง ดร็อปเล็ทน้ำมันในกะทิเกิดส่วนผลึก (crystal) และสามารถเคลื่อนที่เข้ามาใกล้และรวมตัวกันได้บางส่วน (partial coalescence) เนื่องจาก Tween 60 เป็น surfactant ที่ไม่มีประจุ (non-ionic) และเกิดเป็นฟิล์มหุ้มรอบดร็อปเล็ทน้ำมันเป็นชั้นที่บางกว่าสารอิมัลซิฟายเออร์ที่เป็นโปรตีน ดังนั้นเมื่อนำอาหารที่ผ่านการแช่แข็งมาละลายด้วยการให้ความร้อนจึงทำโปรตีนที่กระจายตัวอยู่ เช่น CSP ISP IP และ CCP ที่ถูกแทนที่บางส่วนหรือทั้งหมด เกิดการเสียสภาพและรวมตัวกันตกตะกอน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าโปรตีนส่วนที่ตกตะกอนลงมายังด้านล่างของภาชนะ คือ CSP ISP และ IP ส่วนตะกอนที่กระจายตัวแขวนลอยอยู่ด้านบนติดกับชั้นน้ำมันคือ CCP ดังนั้นส่วนของดร็อปเล็ทน้ำมันที่เกิดการรวมตัวบางส่วนก็สามารถหลอมรวมกันเป็นดร็อปเล็ทที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นจนเกิดการแยกเป็นชั้นน้ำมันในที่สุด ลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นเช่นเดียวกับการศึกษาของ Tangsuphoom และ Coupland (2009a) โดยทำการศึกษาผลของสภาวะในการให้ความร้อนต่อสมบัติของอิมัลชันกะทิ โดยใช้โซเดียมเคซิเนต เวย์โปรตีนไอโซเลท (WPI) โซเดียมโดเดซิลซัลเฟต (SDS) และ Tween 20 เป็นอิมัลซิฟายเออร์ โดยพบว่าอิมัลชันกะทิที่เตรียมจากสารอิมัลซิฟายเออร์ชนิดที่เป็นโปรตีนมีความคงตัวต่อกระบวนการแช่แข็ง-ละลายมากกว่าอิมัลซิฟายเออร์ที่เป็นสาร surfactant



ภาพที่ 18 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะการแยกชั้นของส่วนของเหลวของดัมย่ำโก๋น้ำขุ่น (ซ้าย) และดัมย่ำโก๋ (ขวา) ที่มี CMC ร้อยละ 0.60 และผ่านการแช่แข็ง-ละลายแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสเตบิไลเซอร์)

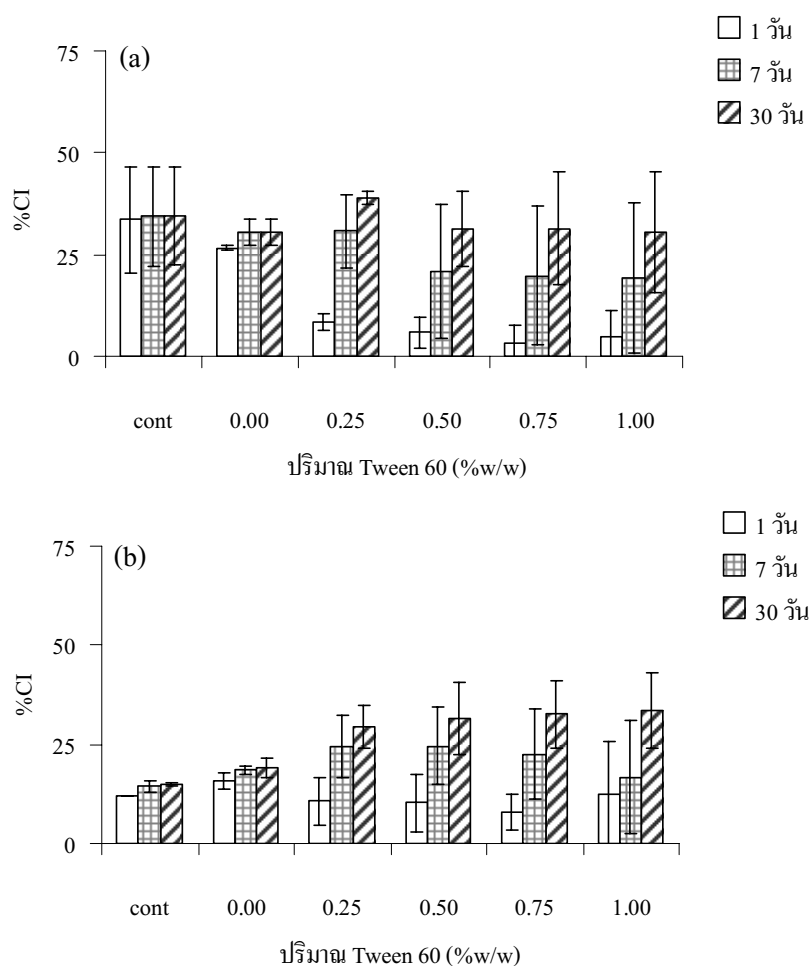
ส่วนลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้มยำไก่ น้ำขึ้นและต้มยำไก่ภายหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (แสดงภาพในภาคผนวก ข) ที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์โดยไม่เติมสารสเตบิลไลเซอร์และผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ CMC จะมีการเกิดตะกอนอ่อนที่เกิดขึ้นจากโปรตีนที่เสียสภาพแล้วเข้ามาเกาะกลุ่มกันโดยสามารถจับเอาครีโอลีฟที่น้ำมันไว้ภายในจึงไม่สังเกตเห็นการแยกชั้นน้ำมันเช่นเดียวกับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการสเตอริไลซ์ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

4.7 ผลของปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับการโฮโมจีไนซ์ในระบบอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสมแบบพีเอชสูงต่อสมบัติและความคงตัวของกายภาพของกะทิ

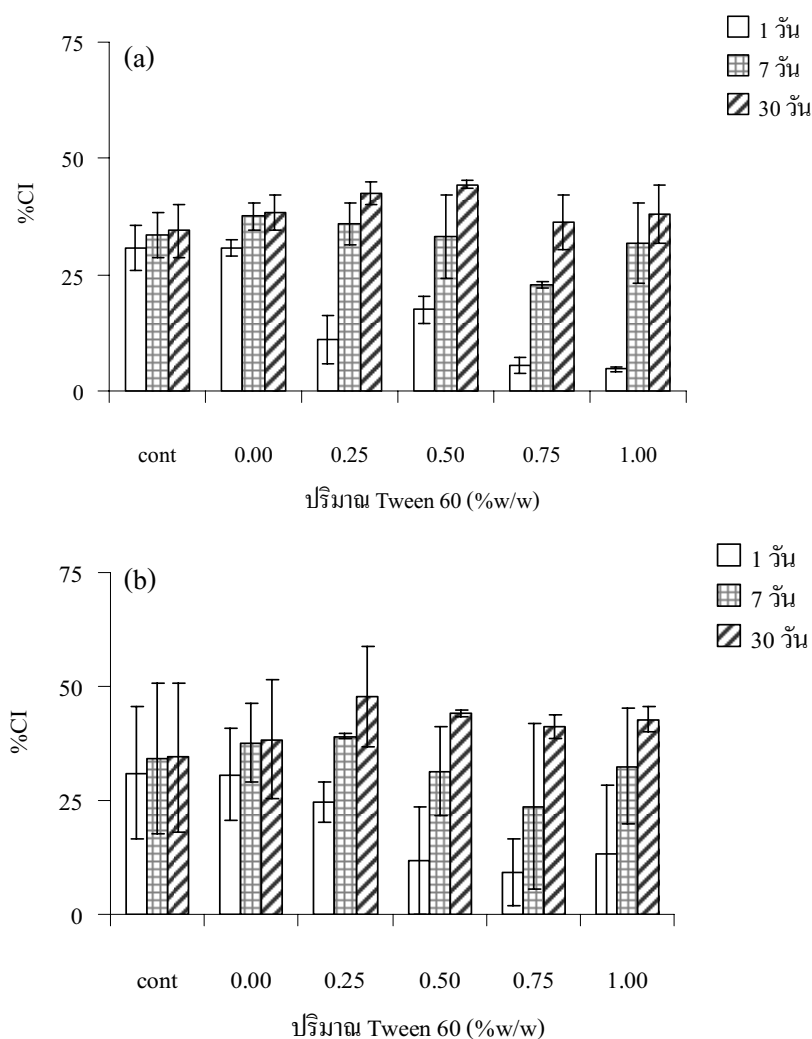
จากการศึกษาในระบบอาหารแบบพีเอชสูง ได้แก่ แอ่งเผ็ดไก่และแอ่งเขียวหวานไก่ (สูตรอาหารแสดงดังภาคผนวก ข) ที่ผลิตโดยใช้กะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ Tween 60 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-1.00 และ CMC ร้อยละ 0.60 ในตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน คือที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 วัน พบว่า ปริมาณ Tween 60 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับค่า CI ที่ต่ำลง นั่นคืออาหารมีความคงตัวต่อการแยกชั้นสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 7 และ 30 วัน กลับพบว่าค่า CI ของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่างโดยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) และจะมีค่า CI ต่ำกว่าตัวอย่างอาหารที่ไม่ผ่านการสเตอริไลซ์เล็กน้อย (ภาพที่ 19 และภาพที่ 20 และตารางผนวกที่ 21 และ 22) นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าอาหารสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากตัวอย่างกะทิควบคุม (ผ่านการโฮโมจีไนซ์โดยไม่เติมสารสเตบิลไลเซอร์) และผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ CMC เพียงอย่างเดียว จะมีตะกอนอ่อนเกิดขึ้น ซึ่งผลการทดลองมีลักษณะเช่นเดียวกันทั้งในตัวอย่างแอ่งเผ็ดไก่และแอ่งเขียวหวานไก่ (ภาพที่ 21a และ b) ที่เป็นเช่นนี้สามารถอธิบายเหตุผลได้เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.6 ส่วนอาหารที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ Tween 60 (ร้อยละ 0.25-1.00) และ CMC ไม่พบการเกิดตะกอนอ่อน ดังที่กล่าวมาแล้วคือ Tween 60 นอกจากจะทำหน้าที่ดูดซับที่ผิวสัมผัสระหว่างน้ำมันและน้ำในระบบบิมัลชันทำให้เกิดความคงตัวแล้วยังสามารถเกิดพันธะกับองค์ประกอบอื่นๆ ในระบบได้ รวมถึงสามารถยึดเกาะกับโปรตีนที่เสียสภาพให้แขวนลอยอยู่ในผลิตภัณฑ์ได้ (Brannen และคณะ, 2002)

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบค่า CI ของระบบอาหารสเตอริไลซ์แบบพีเอชต่ำ (ต้มยำน้ำไก่ขึ้นและต้มยำไก่) กับอาหารสเตอริไลซ์แบบพีเอชสูง (แอ่งเผ็ดไก่และแอ่งเขียวหวานไก่) จะเห็นได้ว่าค่า CI ของระบบอาหารพีเอชสูงมีค่าต่ำกว่า CI ของอาหารพีเอชต่ำ ทั้งนี้เนื่องมาจากอาหารพีเอชสูงมีส่วนผสมในสูตรซึ่งเป็นอนุภาคที่สามารถกระจายตัวและแขวนลอยอยู่จำนวนมากในระบบ

(เช่น พริกแกงและน้ำตาล) ทำให้ระบบมีค่าความหนืดสูงกว่าอาหารพีเอชต่ำ ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าความหนืดของตั้มยำและตั้มข่าอยู่ในช่วง 20.3-80.9 cP ส่วนความหนืดของแกงเผ็ดและแกงเขียวหวานอยู่ในช่วง 83.0-128.7 cP ดังนั้นจึงช่วยชะลอการเคลื่อนที่ของครีโอลีทน้ำมันและทำให้มีส่วนใส (serum) น้อยลง ส่งผลทำให้มี CI ต่ำลงด้วย นอกจากนี้ยังมีผลจาก pH ของอาหาร โดยพบว่าค่า pH ของตั้มยำไก่ น้ำข้นและตั้มข่าไก่อยู่ในช่วง 4.52-4.81 ส่วนค่า pH ของแกงเผ็ดไก่และแกงเขียวหวานไก่อยู่ในช่วง 5.92-5.97 (ค่าความหนืดและ pH ของระบบอาหารสเตอริไลซ์แสดงในตารางผนวกที่ 25) ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า pH ของอาหารแบบพีเอชต่ำมีค่าใกล้เคียงกับค่า pI ของโปรตีนกะทิ (pH 4-5) (Onsaard และคณะ, 2005, 2006) จึงส่งผลให้โปรตีนในกะทิเกิดการตกตะกอนทำให้ความคงตัวของอิมัลชันต่ำลงด้วย

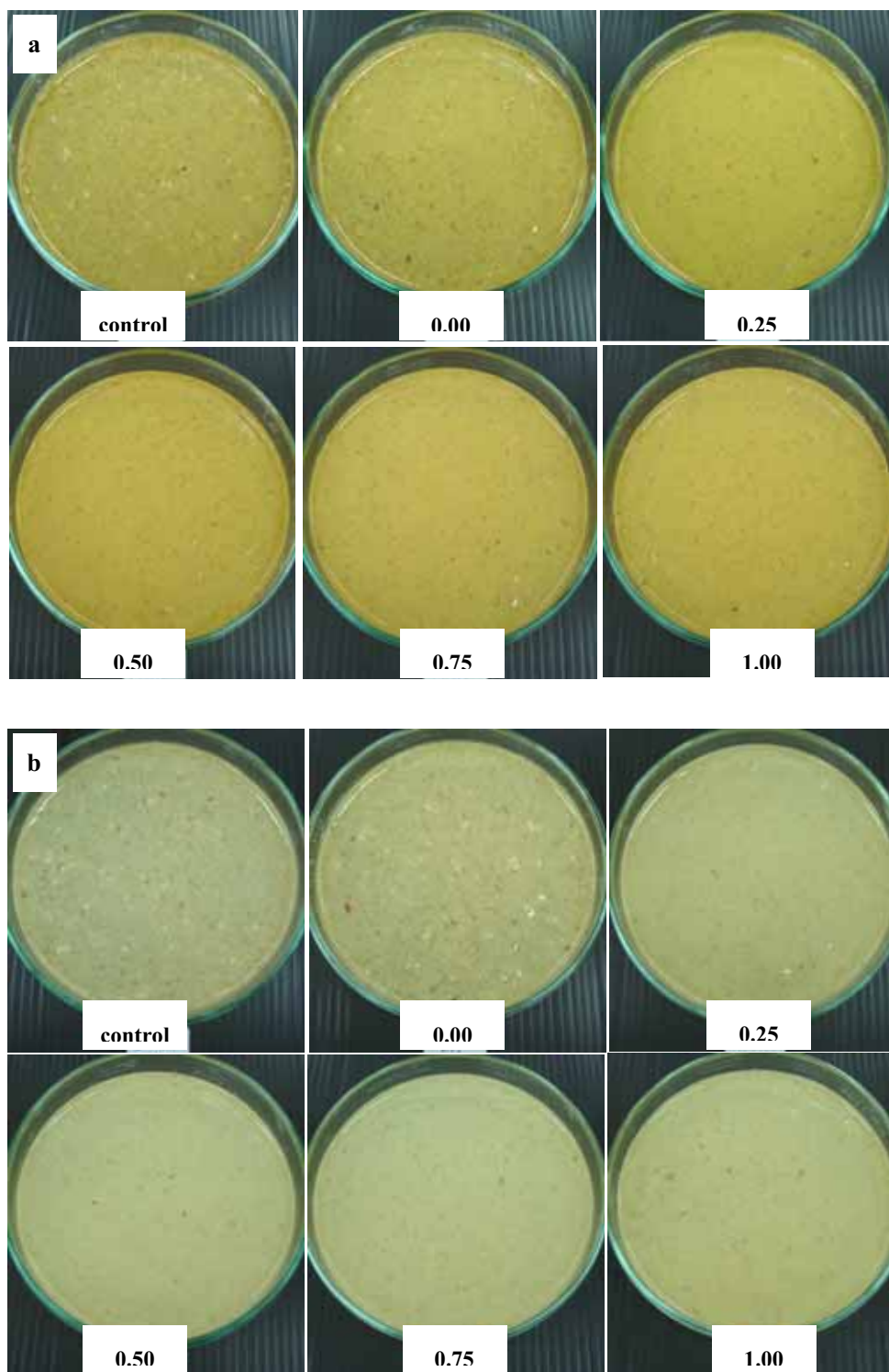


ภาพที่ 19 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในส่วนของเหลวของแกงเผ็ดไก่ที่มี CMC ร้อยละ 0.60 ซึ่งไม่ผ่านการสเตอริไลซ์ (a) และผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน (b) (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสตาบิไลเซอร์)

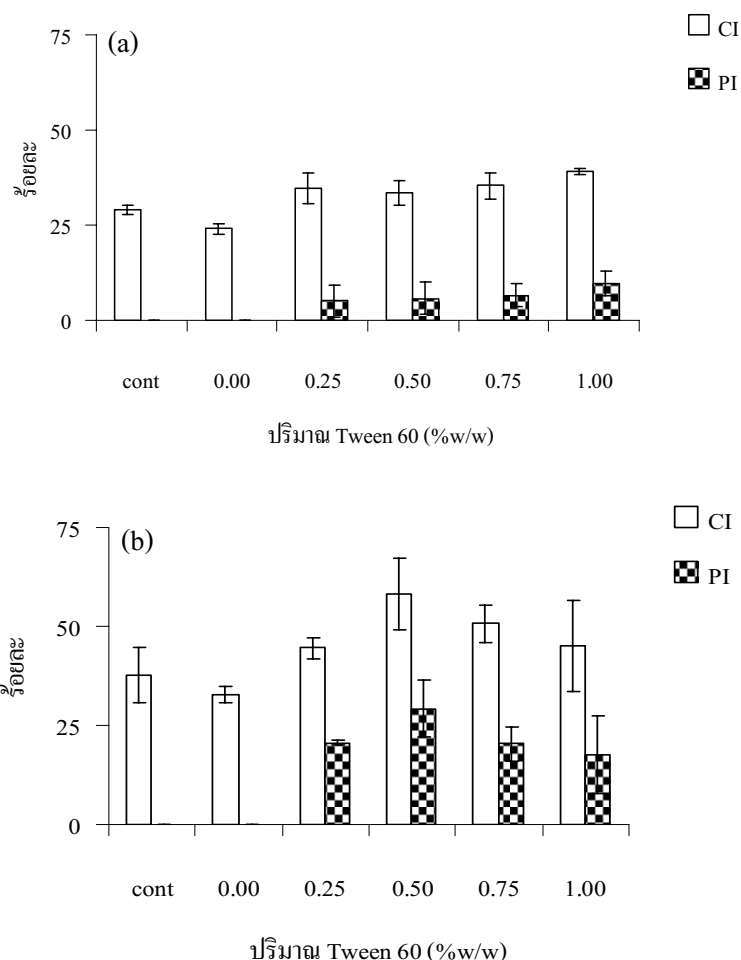


ภาพที่ 20 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในส่วนของเหลวของ
แกงเขียวหวานไก่ที่มี CMC ร้อยละ 0.60 ซึ่งไม่ผ่านการสเตอริไลซ์ (a) และผ่านการ
สเตอริไลซ์ด้วยความร้อน (b) (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสตาบิไลเซอร์)

ส่วนตัวอย่างแกงเผ็ดไก่และแกงเขียวหวานไก่ที่ผ่านกระบวนการแช่แข็งและละลายด้วยไมโครเวฟมีผลการทดลองคล้ายคลึงกับผลการทดลองในตัวอย่างต้มยำและต้มข่า ซึ่งพบว่าปริมาณ Tween 60 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับค่า CI ของส่วนของเหลวที่สูงขึ้น ทั้งนี้ในตัวอย่างอาหารที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจิไนซ์ร่วมกับ Tween 60 (ร้อยละ 0.25-1.00) และ CMC จะมีส่วนของตะกอนที่ตกลงมายังด้านล่างของภาชนะจึงทำให้ค่า CI สูงขึ้น (ภาพที่ 22) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการแยกชั้นน้ำมันซึ่งมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณของ Tween 60 ที่เพิ่มขึ้น เช่นเดียวกัน (ภาพที่ 23 และตารางผนวกที่ 24) โดยในตัวอย่างแกงเผ็ดไก่ที่มี Tween 60 ร้อยละ 0.25,

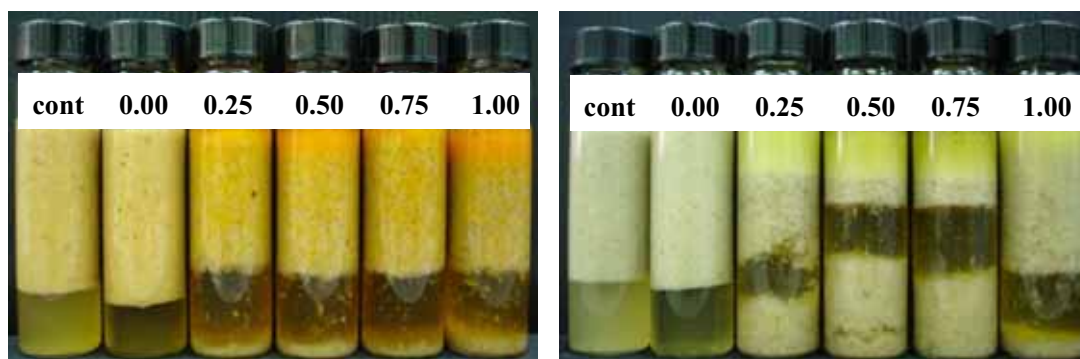


ภาพที่ 21 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะส่วนของเหลวในผลิตภัณฑ์แกงเผ็ดไก่ (a) และ แกงเขียวหวานไก่ (b) ที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน (b) (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสแตบิไลเซอร์)



ภาพที่ 22 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม (CI) และการตกตะกอน (PI) ในส่วนของเหลวของแกงเผ็ดไก่ (a) และแกงเขียวหวานไก่ (b) ที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติม สารสเตบิไลเซอร์)

0.50, 0.75 และ 1.00 มีค่า OI เป็น 1.45 ± 0.51 , 2.35 ± 0.27 , 1.84 ± 0.05 และ 3.13 ± 0.25 ตามลำดับ ส่วนในตัวอย่างแกงเขียวหวาน มีค่า OI เป็น 1.50 ± 0.01 , 1.87 ± 0.01 , 2.99 ± 0.01 และ 1.69 ± 0.24 ตามลำดับ และเช่นเดียวกันกับลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้มยำใต้น้ำขึ้นและต้มยำใต้อ่างหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ (แสดงภาพในภาคผนวก ข) จะเห็นได้ว่าแกงเผ็ดและแกงเขียวหวานที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์โดยไม่เติมสารสเตบิไลเซอร์และผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ CMC จะมีการเกิดตะกอนอ่อนที่เกิดจากโปรตีนที่เสียสภาพแล้วเข้ามาเกาะกลุ่มกัน โดยสามารถจับตรึงหรือปลดปล่อยน้ำมันไว้ภายในจึงไม่สังเกตเห็นการแยกชั้นน้ำมันเกิดขึ้น

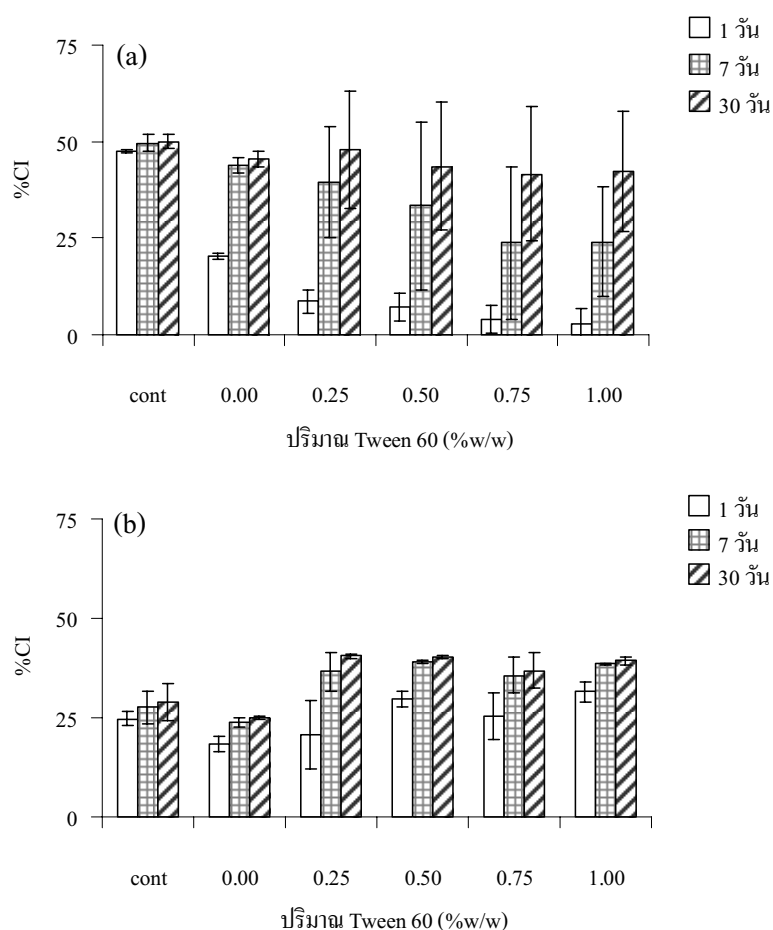


ภาพที่ 23 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะการแยกชั้นของส่วนของเหลวของแกงเผ็ดไก่ (ซ้าย) และแกงเขียวหวานไก่ (ขวา) ที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลาย แล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสแตบิไลเซอร์)

4.8 ผลของปริมาณสารอิมัลซิไฟเออร์ร่วมกับการโฮโมจีไนซ์ในระบบอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม แบบความเข้มข้นน้ำตาลสูงต่อสมบัติและความคงตัวของกายภาพของกะทิ

จากการศึกษาในระบบอาหารแบบความเข้มข้นน้ำตาลสูง ได้แก่กล้วยบวชชี (สูตรอาหารแสดงดังภาคผนวก ข) ที่ผลิตโดยใช้กะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ Tween 60 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-1.00 และ CMC ร้อยละ 0.60 ในตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน คือที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 1 วัน พบว่า ปริมาณ Tween 60 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) กับค่า CI ที่ต่ำลง นั่นคืออาหารมีความคงตัวต่อการแยกชั้นสูงขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาที่ระยะเวลาการเก็บรักษาที่ 7 และ 30 วัน กลับพบว่าค่า CI ของอาหารเพิ่มขึ้นจนมีค่าใกล้เคียงกันในทุกตัวอย่างโดยไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$) แต่จะมีค่า CI ต่ำกว่าตัวอย่างอาหารที่ไม่ผ่านการสเตอริไลซ์ (ภาพที่ 24 และตารางผนวกที่ 23) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากภายในระบบอาหารเกิดการจับกันขององค์ประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (เช่น โปรตีนและคาร์โบไฮเดรต) ภายหลังการให้ความร้อนส่งผลให้ความหนืดของอาหารเพิ่มขึ้นจึงมีความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมสูงขึ้นด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกล้วยบวชชีสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากกะทิลวกคุม (ผ่านการโฮโมจีไนซ์โดยไม่เติมสารสแตบิไลเซอร์) และผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ CMC เพียงอย่างเดียว ที่เกิดเป็นตะกอนอ่อนขนาดใหญ่มากกว่าตะกอนอ่อนที่พบในอาหารพีเอชต่ำและพีเอชสูง (ภาพที่ 25) เนื่องจากเกิดการจับกันของโปรตีนที่เสียสภาพและส่วนประกอบอื่นๆ ในอาหารได้ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น และนอกจากนี้อาจเกิดจากการจับกันระหว่างสารแทนนิน (tannin) ที่อยู่ในกล้วยกับโปรตีนกะทิ โดยแทนนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนพวกโพลีฟีนอล

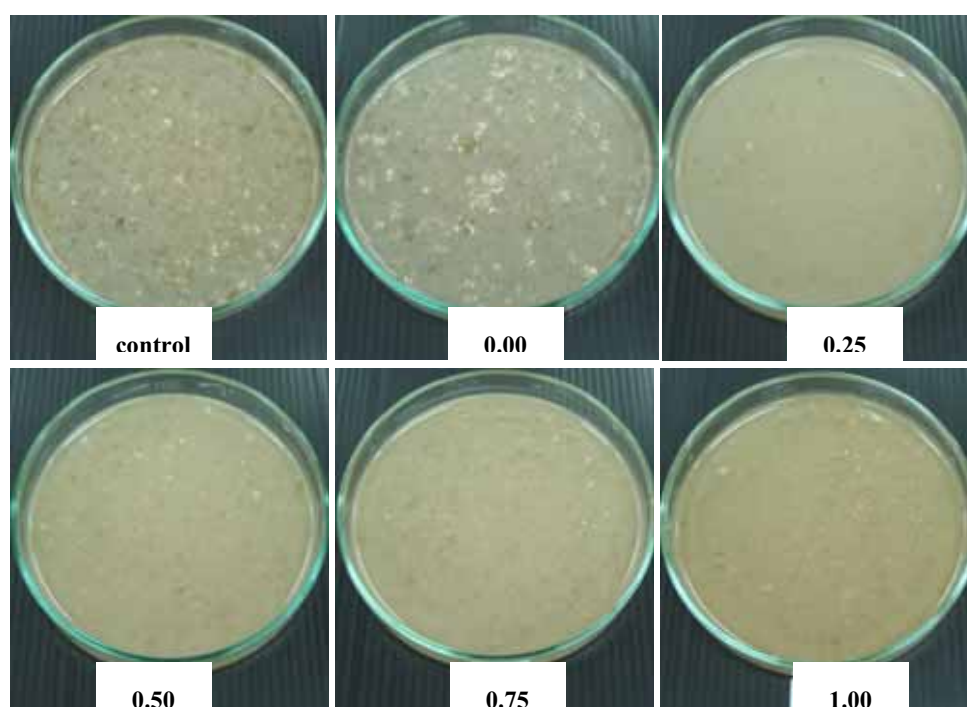
(polyphenols) ซึ่งสามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับหมู่อะมิโน หมู่ไฮดรอกซิล และหมู่คาร์บอกซิลในโมเลกุลโปรตีน ทำให้เกิดการตกตะกอนได้ (Fickel, Pitra, Joest และ Hofmann, 1999)



ภาพที่ 24 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมในส่วนของเหลวของกล้วยบวชชีที่มี CMC ร้อยละ 0.60 ซึ่งไม่ผ่านการสเตอริไลซ์ (a) และผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน (b) (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสเตบิลไลเซอร์)

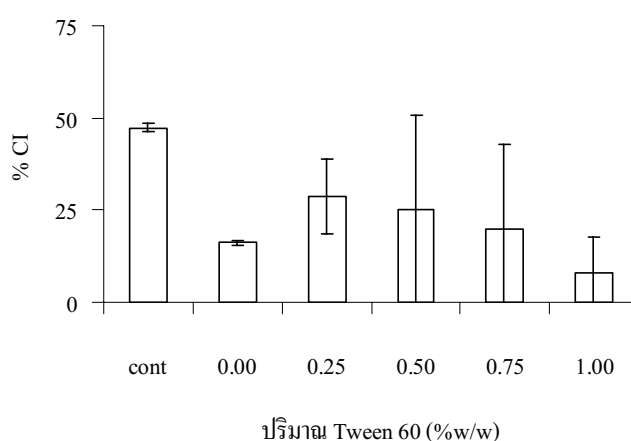
ส่วนตัวอย่างกล้วยบวชชีที่ผ่านกระบวนการแช่แข็งและละลายด้วยไมโครเวฟกลับพบว่าไม่เกิดการแยกชั้นน้ำมันและตะกอนอ่อนในตัวอย่างที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ Tween 60 (ร้อยละ 0.25-1.00) และ CMC (ร้อยละ 0.6) แต่เกิดตะกอนอ่อนในตัวอย่างที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์โดยไม่เติมสารสเตบิลไลเซอร์และเกิดตะกอนอ่อนเล็กน้อยในตัวอย่างที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ CMC เพียงอย่างเดียว โดยพบว่าค่า CI ของกล้วยบวชชี

ที่มี CMC และ Tween 60 มีค่าต่ำกว่าค่า CI ของตัวอย่างกล้วยบวชชีที่ไม่มีการเติมสเตบิไลเซอร์ และปริมาณ Tween 60 ที่เพิ่มขึ้นส่งผลอย่างมีนัยสำคัญกับค่า CI ที่ต่ำลง ($p < 0.05$) (ภาพที่ 26 และ 27) ทั้งนี้เนื่องจากระบบอาหารแช่แข็งที่มีความเข้มข้นน้ำตาลสูง (ในที่นี้มีความเข้มข้นของน้ำตาลในสูตรร้อยละ 15 โดยน้ำหนักส่วนผสมทั้งหมด) นอกจากน้ำตาลจะเพิ่มความหนืดให้กับระบบแล้ว ยังมีบทบาทในการเป็นสารป้องกันการสูญเสียคุณภาพของอาหารแช่เยือกแข็ง (cryoprotectant) Saito และคณะ (1999) กล่าวว่าน้ำตาลอาจมีบทบาทในการเป็นโครงข่ายช่องว่าง (spacing matrix) ระหว่างครีโอลีท ช่วยป้องกันการรวมตัวของครีโอลีท หรือการเกิดปฏิสัมพันธ์ระหว่างโมเลกุลน้ำตาลและอิมัลซิฟายเออร์บริเวณผิวสัมผัสร่วม (interfacial membrane) ทำให้ bending energy บริเวณผิวสัมผัสร่วมสูงขึ้น จึงเป็นการเพิ่มพลังงานอิสระ (free energy) ในการเกิดสภาวะการเปลี่ยนแปลงไปสู่การรวมตัวของครีโอลีท (coalescence transition state) ดังนั้นจึงช่วยลดการทำลายชั้นฟิล์มของอิมัลซิฟายเออร์ที่อยู่รอบผิวครีโอลีทจากผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นในระหว่างการแช่แข็ง ทำให้ครีโอลีทน้ำมันที่เคลื่อนที่เข้ามาใกล้กันไม่เกิดการรวมตัวกันเป็นชั้นน้ำมันหลังจากการละลาย นอกจากนี้ Thanasukarn, Pongsawatmanit และ McClements (2004) รายงานว่าการเติม

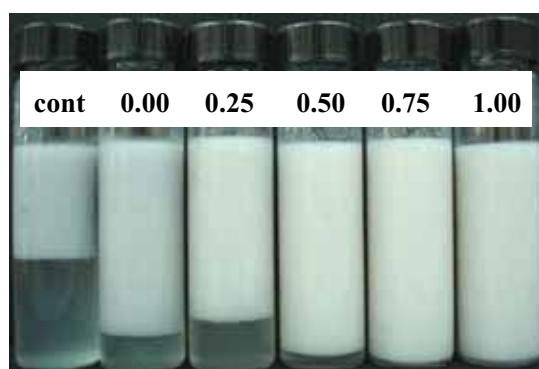


ภาพที่ 25 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะส่วนของเหลวในผลิตภัณฑ์กล้วยบวชชีที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการสเตอริไลซ์ด้วยความร้อน (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสเตบิไลเซอร์)

ซูโครสความเข้มข้นร้อยละ 20 ในระบบอิมัลชันน้ำมันปาล์มไฮโดรจิเนตที่มี WPI เป็นอิมัลซิฟายเออร์ สามารถลดความไม่คงตัวของอิมัลชันจากมากกว่าร้อยละ 90 เป็นร้อยละ 14 ส่วน Supratim, Grace และ Coupland (2006) กล่าวว่า การเพิ่มความเข้มข้นของน้ำตาลในอิมัลชันสามารถลดการเกิดผลึกน้ำแข็งในระหว่างกระบวนการแช่แข็งได้ จึงช่วยลดแรงดันที่เกิดจากความเข้มข้นที่สูงขึ้นในอิมัลชันซึ่งอาจมีผลต่อการจัดเรียงตัวของโปรตีนหรือ surfactant ที่บริเวณผิวสัมผัสร่วม (interface)



ภาพที่ 26 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อความคงตัวในการแยกชั้นครีม (CI) ในส่วนของเหลวของกล้วยบวชชีที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสเตบิไลเซอร์)



ภาพที่ 27 ผลของปริมาณ Tween 60 ต่อลักษณะการแยกชั้นของส่วนของเหลวของกล้วยบวชชีที่มี CMC ร้อยละ 0.60 หลังผ่านการแช่แข็ง-ละลายแล้วตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน (cont คือ อาหารที่ไม่มีการเติมสารสเตบิไลเซอร์)

จากผลการวิเคราะห์ส่วนใส (serum) ในอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสมที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์โดยไม่เติมสเตบิลไลเซอร์ทั้ง 5 ชนิดเปรียบเทียบกับส่วนใสของกะทิ (แสดงดังตารางที่ 9) จะเห็นได้ว่าปริมาณเถ้าและเกลือแร่มีปริมาณสอดคล้องกับค่าความหนาแน่น โดยที่เฟสน้ำของแกงเผ็ดไก่ แกงเขียวหวานไก่ และกล้วยบวชชีจะมีความหนาแน่นสูงกว่าต้มยำไค้ น้ำข้นและต้มข่าไก่ เนื่องจากมีน้ำตาลและเกลือละลายอยู่ และถึงแม้ว่าในระบบอาหารจะมีปริมาณเกลือแร่ เช่น โซเดียมและฟอสฟอรัส ค่อนข้างสูงซึ่งจะส่งผลต่อความคงตัวของอิมัลชันกะทิตามที่มิในรายงานก่อนหน้านี้ (Gonzalez และ Tanchuco, 1977; Kwon และ Rhee, 1996; Onsaard และคณะ, 2005, 2006) นอกจากนี้ยังมีรายงานอิทธิของโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมต่อขนาดครีโอลีทและความคงตัวต่อการแยกชั้นครีม ในอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำโดยมีเวย์โปรตีนเป็นอิมัลซิฟายเออร์ พบว่าที่ความเข้มข้นของโพแทสเซียม แมกนีเซียม และแคลเซียมมากกว่า 10, 12.5 และ 5 mM ตามลำดับ ส่งผลทำให้ครีโอลีทมีขนาดใหญ่ขึ้น และมีความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมลดลง เนื่องมาจากผลของการเกิดการบดบังประจุ (electrostatic screening) และการจับกันของประจุตรงข้ามของโปรตีนที่ผิวสัมผัสร่วม ทำให้ลดแรงผลักของปฏิสัมพันธ์อิเล็กโตรสแตติก (electrostatic repulsion) จึงทำให้ครีโอลีทสามารถเคลื่อนที่มาเกาะกลุ่มหรือรวมตัวกันได้ (Kulmyrzaev, Silvestre และ McClements, 2000; Ramkumar และคณะ, 2000; Kulmyrzaev, และ Schubert, 2004) จึงส่งผลให้อิมัลชันในระบบอาหารมีความคงตัวน้อยลงได้

ตารางที่ 9 สมบัติของส่วนในสีที่ได้จากการหอยแยกส่วนของเหลวในอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสมที่ผลิตจากกะทิผ่านการโม่จิ๋วในสุโดยไม่เติมสารสเดปีไลเซอร์

การวิเคราะห์	กะทิ	ดื่มยำ	ดื่มจ๋า	แกงเผด	แกงเขียวหวาน	กล้วยบวชชี
pH	6.29±0.02	4.73±0.23	4.91±0.14	5.88±0.12	5.91±0.08	5.35±0.15
เถ้า ^a	1.26±0.07	2.06±0.00	1.85±0.01	2.58±0.02	2.52±0.08	1.15±0.19
เกลือแร่ ^b						
- โซเดียม	0.0018 (1)	0.5600 (250)	0.5700 (255)	0.7300 (330)	0.7700 (382)	0.2800 (138)
- โพแทสเซียม	0.2100 (55)	0.4400 (116)	0.4500 (119)	0.5200 (139)	0.4300 (126)	0.2700 (79)
- ฟอสฟอรัส	0.0380 (12)	0.0640 (21)	0.0610 (20)	0.0660 (22)	0.0570 (21)	0.0350 (13)
- แมกนีเซียม	0.0200 (8)	0.0380 (16)	0.0400 (17)	0.0300 (17)	0.0290 (14)	0.0240 (11)
- แคลเซียม	0.0042 (1)	0.0140 (4)	0.0120 (3)	0.0120 (3)	0.0090 (3)	0.0040 (1)
- เหล็ก	0.0001 (0)	0.0005 (0)	0.0004 (0)	0.0003 (0)	0.0002 (0)	0.0001 (0)
ความหนาแน่น ^c	1.015±0.006	1.027±0.000	1.027±0.000	1.039±0.001	1.141±0.002	1.135±0.003

^a ปริมาตรร้อยละ โดยน้ำหนักของส่วนในสี

^b ปริมาตรร้อยละ โดยน้ำหนักของส่วนในสี (ค่าตัวเลขในวงเล็บมีหน่วยเป็น mM)

^c กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนความหนาแน่นของเฟสน้ำนี้มีค่าเฉลี่ย 0.908±0.001 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 กะทิมีโปรตีนเป็นองค์ประกอบอยู่น้อยเมื่อเทียบกับปริมาณไขมันประมาณ 10 เท่า และโปรตีนกะทิจะอยู่ในวัฏภาคน้ำ (aqueous phase) หรือส่วนหางกะทิสูงกว่าหัวกะทิ ซึ่งมีโปรตีนร้อยละ 2.39 และ 1.19 ตามลำดับ

5.2 จากการทดลองสามารถแยกโปรตีนกะทิได้เป็น 4 ส่วน คือ 1) โปรตีนที่ไม่ละลายในกะทิ (IP) ซึ่งแยกมาจากการเหวี่ยงน้ำกะทิ 2) โปรตีนที่ดูดซับรอบผิวद्रोปลี (CCP) ซึ่งแยกได้จากการแช่แข็ง-ละลายหัวกะทิ 3) โปรตีนที่ละลายในหางกะทิ (CSP) ซึ่งแยกได้จากการไดอะไลซ์หางกะทิ และ 4) โปรตีนที่ไม่ละลายในหางกะทิ (ISP) ซึ่งแยกได้โดยการกรองหางกะทิที่ผ่านการไดอะไลซ์

5.3 จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของโปรตีน (protein fractions) โดยวิธี SDS-PAGE พบว่าโปรตีนกะทิส่วนใหญ่มีโมเลกุลอยู่ในช่วง 14.4-66.2 กิโลดาลตัน โดย ISP, CCP และ IP มีน้ำหนักโมเลกุลในช่วง 14.4-66.2 กิโลดาลตัน ซึ่งสูงกว่า CSP ที่มีน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 14.4-32.0 กิโลดาลตัน

5.4 จากการศึกษาการเปลี่ยนแปลงเชิงความร้อนของโปรตีนโดยใช้ DSC พบว่าโปรตีนกะทิจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (T_d) ที่อุณหภูมิประมาณ 90°C แต่อย่างไรก็ตามที่อุณหภูมิประมาณ 84°C โปรตีนกะทิจะเริ่มเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (onset temperature) ทำให้สูญเสียคุณสมบัติในการเป็นอิมัลซิฟายเออร์จึงทำให้กะทิเกิดการแยกชั้นครีมและแตกมันได้ง่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผ่านการกระบวนการให้ความร้อน

5.5 การโฮโมจีไนซ์กะทิกะทิไม่เติมสารสตาบิไลเซอร์ พบว่าเมื่อเพิ่มระดับความดันและจำนวนรอบในการโฮโมจีไนซ์ส่งผลให้ขนาดของद्रोปลีที่เฉลี่ยเล็กลงและมีความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ส่วนในกรณีที่เติมสาร CMC หรือ Tween 60 พบว่าการเพิ่มความดันและจำนวนรอบในการโฮโมจีไนซ์ไม่ได้ทำให้ขนาดของद्रोปลีที่เฉลี่ยเล็กลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) โดยที่ความดัน 23/4 MPa และโฮโมจีไนซ์ 1 รอบ ให้กะทิที่มีขนาดद्रोปลีที่เฉลี่ยเล็ก มีความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมสูง เมื่อโฮโมจีไนซ์กะทิร่วมกับ Tween 60 (ร้อยละ 0.25-1.00) และ CMC (ร้อยละ 0.60) ทำให้ได้กะทิที่มีความคงตัวต่อการแยกชั้นครีมสูงและมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันหลังเขย่าผสม ทั้งในตัวอย่างก่อนและหลังสเตอริไลซ์

5.6 ปริมาณ Tween 60 มีผลต่อการเกิดตะกอนอ่อน การแยกชั้นน้ำมัน และการตกตะกอนในผลิตภัณฑ์อาหารแบบฟิเอชดำ (ต้มยำไก่ น้ำขื่นและต้มยำไก่) ฟิเอชสูง (แกงเผ็ดและแกงเขียวหวานไก่) และแบบความเข้มข้นน้ำตาลสูง (กล้วยบวชชี) สำหรับอาหารสเตอริไลซ์ที่ผลิตจากกะทิที่ผ่านการโฮโมจีไนซ์ร่วมกับ Tween 60 (ร้อยละ 0.25-1.00) และ CMC (ร้อยละ 0.60) ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ไม่เกิดตะกอนอ่อน การแยกชั้นน้ำมัน และการตกตะกอน ส่วนของเหลวในผลิตภัณฑ์สามารถเข้าผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้ ส่วนอาหารแบบเดียวกันแต่ผ่านการแช่แข็ง-ละลาย ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีการแยกชั้นน้ำมันและการตกตะกอน ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณ Tween 60 ที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นในผลิตภัณฑ์กล้วยบวชชีแช่แข็งที่ไม่พบการแยกชั้นน้ำมันและการตกตะกอน ดังนั้นจึงสามารถควบคุมระดับการแตกมัน และลักษณะปรากฏของส่วนของเหลวในผลิตภัณฑ์โดยการเติม Tween 60 ในปริมาณที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

บรรณานุกรม

- กรมการอาหาร. 2539. การผลิตน้ำกะทิที่ปรับปรุงไขมันบางส่วนด้วยน้ำมันพืชบรรจุกระป๋อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- จันทิมา ภูงามเงิน. 2546. ผลของความดันในการโฮโมจิไนส์และสถานะในการฆ่าเชื้อต่อความคงตัวของน้ำกะทิไขมันสูง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า-ธนบุรี, กรุงเทพฯ.
- ทศพรพรรณ รัตนภักดี และ สุนทรชัย ศรีงาม. 2546. การผลิตน้ำกะทิดัดแปลงไขมัน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 41: สาขาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 61-68.
- เทพกัญญา ดันตโยทัย. 2545. ผลของอิมัลซิไฟเออร์และเซนแทนกัมต่อความคงตัวของอิมัลชันชนิดน้ำมันในน้ำและการนำไปใช้ในอาหาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ประสงค์ พุ่งเป้า. 2531. การใช้สารอิมัลซิไฟเออร์และกัมในการรักษาความคงตัวของน้ำกะทิบรรจุกระป๋อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ศิริวรรณ เนติวรานนท์. 2528. ความคงตัวของน้ำกะทิ. ปัญหาพิเศษปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- สุกัญญา สุนทรส. 2549. อิเล็กโทรโฟรีซิส. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- สุนทรชัย ศรีงาม. 2531. การเตรียมและการรักษาความคงตัวของน้ำกะทิบรรจุกระป๋อง. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 26: สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 309-316.
- สุนทรชัย ศรีงาม. 2542. การแยกน้ำมันมะพร้าวจากกะทิ. วิทยาสารเกษตรศาสตร์ (สาขาวิทยาศาสตร์) 33(3): 444-451.
- เอกสิทธิ์ อ่อนสะอาด. 2540. การผลิตและการศึกษาอายุการเก็บน้ำกะทิแปรรูปไขมันบรรจุกระป๋อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- AOAC. 2000. Official Methods of Analysis. 17th edition., AOAC International. USA.
- APCC, 1994. International Codes and Standard for Aqueous Coconut Products, 2nd Draft. Standards Task Force, Asian and Pacific Coconut Community, Jakarta.
- Anon. 1984. Coconut cream. University of Minnesota, USA.
- Anon. 1988. Regulations 253 and 254. Food (Amendment) Regulations, Malaysia.

- Arumughan, C., Balachandran, C. and Sunderesan, A. 1993. Development of a process for coconut cream on commercial scale. *Journal of Food Science and Technology* 30(6): 408–412.
- Becher, P. 1965. *Emulsion : Theory and Prattice*. 2nd edition. Reinhold Publishing Corporation, New York.
- Birosel, D. M., Gonzales, A. L. and Santos, M. P. 1963. The nature and properties of the emulsifier system of oil globulins in coconut milk and cream. *The Philippine Journal of Science* 92(1): 1–15.
- Branen, A. L., Davison, P. M. and Salminen, S. 2002. *Food Additives*. Marcel Dekker, New York.
- Buccat, E.F., Gonzalez A.L. and Manalac G.C. 1973. Production of Protein and Other Food Products from Coconut, Laboratory Phase, NIST Project Report.
- Cancel, L.E. 1979. Coconut food products and bases. *In* *Coconuts: production, processing, products*. 2nd edition, Ed. Woodroof, J.G, Westport, Conn. AVI Publishing. 162–87.
- Capulso, S.A., Gonzales, A.L. and Celestino, V.G. 1981. Studies on the isolation and functional characteristics of protein from coconut skim milk . *The Philippine Journal of Science*. 2 (1): 25-32.
- Das, K.P. and Kinsella, J.E. 1990. Stability of food emulsion : Physicochemical role of protein and non protein emulsifier. *Advance Food Nutrition Research* 34: 81-201.
- del Rosario, R. R. and Punzalan, G. C. 1977. Quality control of coconut milk processing: Emulsion stability studies. *The Philippine Journal of Coconut Studies* 2(4): 9–14.
- Dickinson, E. 1992. *An Introduction to Food Colloids*. Oxford Science Publishers, Oxford.
- Dickinson, E. and Stainsby, G. 1982. *Colloids in Foods*. Applied Science Publishers, London.
- Dickinson, E., Golding, M. and Povey, M. J. W. 1997. Creaming and flocculation of oil-in-water emulsions containing sodium caseinate. *Journal of Colloid and Interface Science* 185(2): 515–529.
- Escueta, E.E. 1980. Stability studies on coconut milk and plant protein isolates based products. I : Physical properties. *Philippine Journal Study* 5(1): 63-67.

- Fickel, J., Pitra, Ch., Joest, B. A. and Hofmann, R. R. 1999. A novel method to evaluate the relative tannin-binding capacities of salivary proteins. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C*, 122: 225–229.
- Glicksman, M. 1976. Gelling hydrocolloids in food product application. *In* Polysaccharides in Foods. Ed. Blanshard, J.M.V. and Mitchell, J.R. Butterworths, London.
- Gonzalez, O.N. 1990. Coconut milk. *In* Coconut as food Philippines: Philippine Coconut Research and Development Foundation. edited by Banzon, J.A; Gonzalez, O.N; de Leon, S.Y; Sanchez, P.C, Quezon City. 15–48.
- Gonzalez, O.N. and Tanchuco, R.H. 1977. Chemical composition and functional properties of coconut protein isolate (CPI). *Philippine Journal of Coconut Studies* 2(1):21–30.
- Grimwood, B.E. 1975. Coconut palm products :their processing in developing countries. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome.
- Gunetileke, K.G. and Laurentius, S. F. 1974. Conditions for the separation of oil and protein from coconut milk emulsion. *Journal of Food Science* 39: 230–233.
- Jeganathan, M. 1970. Report of the officer-in-charge; Chemistry Division. Ceylon Coconut Research Institute. Ceylon Coconut Quarterly. 21: 13-21.
- Kulmyrzaev, A.A., Silvestre, M. P. C. and McClements, D. J. 2000. Rheology and stability of whey protein stabilized emulsions with high CaCl_2 concentrations. *Food Research International*, 33: 21–25.
- Kulmyrzaev, A.A. and Schubert , H., 2004. Influence of KCl on the physicochemical properties of whey protein stabilized emulsions. *Food Hydrocolloids* 18: 13–19.
- Kwon, K. S., Park, K. H. and Rhee, K. C. 1996. Fractionation and characterization of proteins from coconut (*Cocos nucifera* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 44(7): 1741–1745.
- Kwon, K. S. and Rhee, K. C. 1996. Emulsifying capacity of coconut proteins as a function of salt, phosphate, and temperature. *Journal of American Oil Chemists' Society* 73(12): 1669–1673.
- Laemmli, U. K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*. 227: 680–685.

- Luis, E.S. 1969. Characterization of Coconut Skim Milk Proteins. M.S. thesis. University of Philippines. Los Banos. College. Laguna.
- McClements, D. J. 2005. Food emulsions: Principles, practices and techniques. 2nd edition. CRC Press. Boca Raton, FL.
- McGlone, O.C., Canales, A.L.M. and Carter, J.V., 1986. Coconut oil extraction by a new enzymatic process. *Journal of Food Science* 51(3): 695–697.
- Monera, O. D. and del Rosario, E. J. 1982. Physico-chemical evaluation of the natural stability of coconut milk emulsion. *Annals of Tropical Research* 4(1): 47–54.
- Nathaneal, W. R. N. 1954. Proximate composition of protein. *Ceylon Coconut Quarterly*. 5: 108.
- Onsaard, E., Vittayanont, M., Sringam, S. and McClements, D. J. 2005. Properties and stability of oil-in-water emulsions stabilized by coconut skim milk proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53(14): 5747–5753.
- Onsaard, E., Vittayanont, M., Sringam, S. and McClements, D. J. 2006. Comparison of properties of oil-in-water emulsions stabilized by coconut cream proteins with those stabilized by whey protein isolate. *Food Research International* 39(1): 78–86.
- Onsaard, E. 2008. Preparation, Functional and Modification of coconut milk protein. Ph.D dissertation . Food Technology. Prince of Songkla University. Thailand.
- Osborne, T. B. 1924. *The Vegetable Proteins*, 2nd edition., Longmans Green and Company, London. 154 p.
- Peamprasart, T. and Chiewchan, N. 2006. Effect of fat content and preheat treatment on the apparent viscosity of coconut milk after homogenization. *Journal of Food Engineering* 77: 653-658.
- Popper, K., Notter, G. G. and Nurry, F. S. 1966. New products from coconut: non-dairy chip dips and cream cheese. *Food Processing and Marketing* 27: 92-96.
- Ramkumar, C., Singh, H., Munro, P.A. and Singh, A.M. 2000. Influence of Calcium, Magnesium, or Potassium Ions on the Formation and Stability of Emulsions Prepared Using Highly Hydrolyzed Whey Proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48 (5): 1598–1604.

- Saito, H., Kawagishi, A., Tanaka, M., Tanimoto, T., Okada, S., Komatsu, H. and Handa, T. 1999. Coalescence of lipid emulsions in floating and freeze–thawing processes: examination of the coalescence transition state theory. *Journal of Colloid and Interface Science* 219 (1):129-134.
- Seow, C.C. and Gwee, C.N. 1997. Coconut milk: chemistry and technology. *International Journal of Food Science Technology* 32(3): 189–201.
- Sharma, S.C. 1981. Gums and hydrocolloid in oil-water emulsion. *Food Technology* 35: 59-67.
- Simuang, J.; Chiewchan, N. and Tansakul, A. 2004. Effects of fat content and temperature on the apparent viscosity of coconut milk. *Journal of Food Engineering* 64: 193-197.
- Sringam, S. 1997. The development and testing of a coconut cheese production technology. United Nations Industrial Development organization: ISED/R.85. 1-70.
- Sringam, S. 1999. Coconut oil separation from coconut milk. *Kasetsart Journal (Nat. Sci)* 33: 444-451.
- Srithunma, S. 2002. Effects of fat content and homogenization pressure on apparent viscosity of coconut milk. Thesis for the Master’s Degree of Food Engineering. Faculty of Engineering. King Mongkut’s University of Technology Thonburi. Thailand.
- Supratim, G., Grace L.C, and Coupland, J.N. 2006. Effect of aqueous composition on the freeze-thaw stability of emulsions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 272: 82–88.
- Tangsuphoom, N. and Coupland, J. N. 2005. Effect of heating and homogenization on the stability of coconut milk emulsions. *Journal of Food Science* 70(8): 466–470.
- Tangsuphoom, N. and Coupland, J.N. 2008. Effect of surface-active stabilizers on the microstructure and stability of coconut milk emulsions. *Food Hydrocolloids* 22(7): 1233-1242.
- Tangsuphoom, N. and Coupland, J.N. 2009a. Effect of thermal treatments on the properties of coconut milk emulsions prepared with surface-active stabilizers. *Food Hydrocolloids* 23: 1792–1800.
- Tangsuphoom, N. and Coupland, J.N. 2009b. Effect of surface-active stabilizers on the surface properties of coconut milk emulsions. *Food Hydrocolloids* 23: 1801–1809.

- Teixeira-Neto, R.O., Vitali, A.A., Delazari, I., Ubaldi-Eiroa, M.N. and Ferreira, V.L.P. 1985. Commercial sterilization of coconut milk on an industrial scale. *Boletim-do-Instituto-de-Tecnologia-de-Alimentos* 22:437-446.
- Thanasukarn, P., Pongsawatmanit, R. and McClements, D. J. 2004a. Impact of fat and water crystallization on the stability of hydrogenated palm oil-in-water emulsions stabilized by whey protein isolate. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 246(1–3): 49–59.
- Timmins, W. H. and Kramer, E. C. 1977. The canning of coconut cream. *Philippines Journal of Coconut Studies* 2(4): 15–25.
- Tinoco, I.Jr.; Sauer, K. and Wang, J.C. 1995. *Physical Chemistry: Principles and Application. In Biological Sciences*. Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
- Walstra, S. 1996. Dispersed systems: basic considerations. *In Food Chemistry*, 3rd edition, Ed. Fennema, O.R, Marcel Dekker, Inc., New York. 95-15.
- Wikipedia. Coconut oil [Online]. Accessed 12 May 2010. Available from http://en.wikipedia.org/wiki/Coconut_oil

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี

การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมี

1. ปริมาณความชื้น (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 2 กรัม ให้ได้น้ำหนักแน่นอนในภาชนะอะลูมิเนียมมีฝาปิดที่ผ่านการอบจนน้ำหนักคงที่ นำไปอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก ทำการอบซ้ำอีก 1 ชั่วโมง หรือจนได้น้ำหนักคงที่ (± 0.003 กรัม) คำนวณปริมาณความชื้น โดยน้ำหนักเปียก (wet basis) จาก

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

2. ปริมาณไขมัน Modified Mojonnier (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 10 กรัม (หรือ 10 ± 0.01 มิลลิลิตร) ใส่ลงไปในหลอดสกัดไขมัน ทำการสกัด 3 ครั้ง ดังนี้

สกัดครั้งที่ 1 ทำโดยเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ 1.5 มิลลิลิตร ลงไปในขวดสกัดไขมัน ผสมให้เข้ากันดี เติมเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 ลงไป 10 มิลลิลิตร ปิดขวดสกัดด้วยจุกคอร์กชุบน้ำให้เปียกพอหมาด แล้วเขย่าขวดสกัดนาน 1.50 นาที เติมเอทิลอีเทอร์ลงไป 25 มิลลิลิตร ปิดจุกให้แน่นแล้วเขย่าแรงๆ 1.50 นาที เติมปิโตรเลียมอีเทอร์ลงไป 25 มิลลิลิตร ปิดจุกให้แน่นแล้วเขย่านาน 1.50 นาที ตั้งขวดสกัดไขมันไว้ 20 นาที ของเหลวในขวดจะแยกเป็นสองชั้น เมื่อชั้นไขมันที่อยู่ส่วนบนใสดีแล้ว เปิดจุกยางออก ล้างเอาไขมันที่ติดจุกออกด้วยอีเทอร์เล็กน้อย รวมลงในขวดสกัด เอาจุกขวดไซฟอนที่เตรียมไว้ใส่แทนจุกเดิม เป่าไขมันที่มีอยู่ส่วนบนให้ไหลลงใน flask (ทราบน้ำหนักแน่นอน) ที่เตรียมไว้

สกัดครั้งที่ 2 ทำโดยเติมเอทิลแอลกอฮอล์เข้มข้นร้อยละ 95 ลงไป 5 มิลลิลิตร ปิดขวดสกัด แล้วเขย่านาน 30 วินาที เติมเอทิลอีเทอร์ 15 มิลลิลิตรและปิโตรเลียมอีเทอร์ 15 มิลลิลิตร ปิดจุกให้แน่นแล้วเขย่านาน 30 วินาที ตั้งขวดสกัดไขมันไว้จนของเหลวแยกชั้น เมื่อชั้นไขมันที่อยู่ส่วนบนใสดีแล้ว เปิดจุกยางออก ล้างเอาไขมันที่ติดจุกออกด้วยอีเทอร์เล็กน้อยรวมลงในขวดสกัด เอาจุกขวดไซฟอนที่เตรียมไว้ใส่แทนจุกเดิม เป่าไขมันที่มีอยู่ส่วนบนให้ไหลลงใน flask รวมกับการสกัดครั้งที่ 1

สกัดครั้งที่ 3 ทำเช่นเดียวกับการสกัดครั้งที่ 2 แต่ไม่เติมเอทิลแอลกอฮอล์ จากนั้นจึงนำ flask ที่ได้จากการสกัดทั้ง 3 ครั้งไประเหยเอาตัวทำละลายออก โดยนำไประเหยในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่ 100°C จนแห้ง จึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C ในตู้อบลมร้อนจนได้น้ำหนักคงที่ คำนวณปริมาณไขมัน

$$\text{ไขมัน (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักของไขมันที่สกัดได้} \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}}$$

3. ปริมาณโปรตีน (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 5 กรัม (หรือ 5±0.01 มิลลิกรัม) ใส่ลงไปใน หลอด Kjeldahl ขนาด 500 มิลลิกรัม เติมโปแตสเซียมซัลเฟต (หรือ โซเดียมซัลเฟต) 15 กรัม และคอปเปอร์ซัลเฟต 2 กรัม เติมกรดซัลฟูริกเข้มข้น 25 มิลลิกรัม ใส่เม็ดแก้ว (glass bead) 3-4 เม็ด แล้วนำไปย่อยโดยใช้เครื่องย่อยโปรตีน ช่วงแรกใช้อุณหภูมิ 180°C นาน 20 นาที แล้วจึงปรับอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 380°C ย่อยจนสารละลายสีมีสีเหลืองอ่อนหรือไม่มีสี ตั้งทิ้งไว้จนเย็นจึงเติมน้ำกลั่น 300 มิลลิกรัม เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นร้อยละ 50 ปริมาตร 75 มิลลิกรัมนำไป ประกอบเข้ากับเครื่องกลั่น ให้ปลายของเครื่องควบแน่นอยู่ในสารละลายกรดบอริกเข้มข้นร้อยละ 4 ปริมาตร 50 มิลลิกรัม และอินดิเคเตอร์ (เมทิลเรด:โบรโมครีซอลกรีน อัตราส่วน 1:5) 3 หยด กลั่น แอมโมเนียลงในขวดจนได้สารละลายในขวดประมาณ 200 มิลลิกรัม แล้วนำไปไทเทรตกับกรด ไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.1 N (เทียบมาตรฐานด้วยสารละลายไดโซเดียมเตตระโบเรตเคอะไฮเดรต) จนได้สารละลายสีชมพู และทำ blank เช่นเดียวกับตัวอย่าง คำนวณหาปริมาณ โปรตีน

$$\text{โปรตีน (ร้อยละ)} = \frac{(A-B) (M) (1.4007) (6.25)}{W}$$

A = ปริมาตร (มิลลิกรัม) ของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับตัวอย่าง

B = ปริมาตร (มิลลิกรัม) ของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ไทเทรตกับ blank

M = ความเข้มข้น (โมลาร์) ของสารละลายมาตรฐานกรดไฮโดรคลอริก

W = น้ำหนักตัวอย่างเป็นกรัม

4. ปริมาณเถ้า (AOAC, 2000)

ชั่งตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักแน่นอนประมาณ 5 กรัม ใส่ในถ้วยกระเบื้อง (crucible) ที่ผ่านการอบจนทราบน้ำหนักคงที่ นำตัวอย่างไปเผาจนหมดควันหรือระเหยน้ำออกจนแห้ง แล้วเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 550°C ประมาณ 2 ชั่วโมง หรือจนตัวอย่างมีสีขาวหรือเทา ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ชั่งน้ำหนักและคำนวณปริมาณเถ้าจาก

$$\text{เถ้า (ร้อยละ)} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}}$$

5. ปริมาณแร่ธาตุ

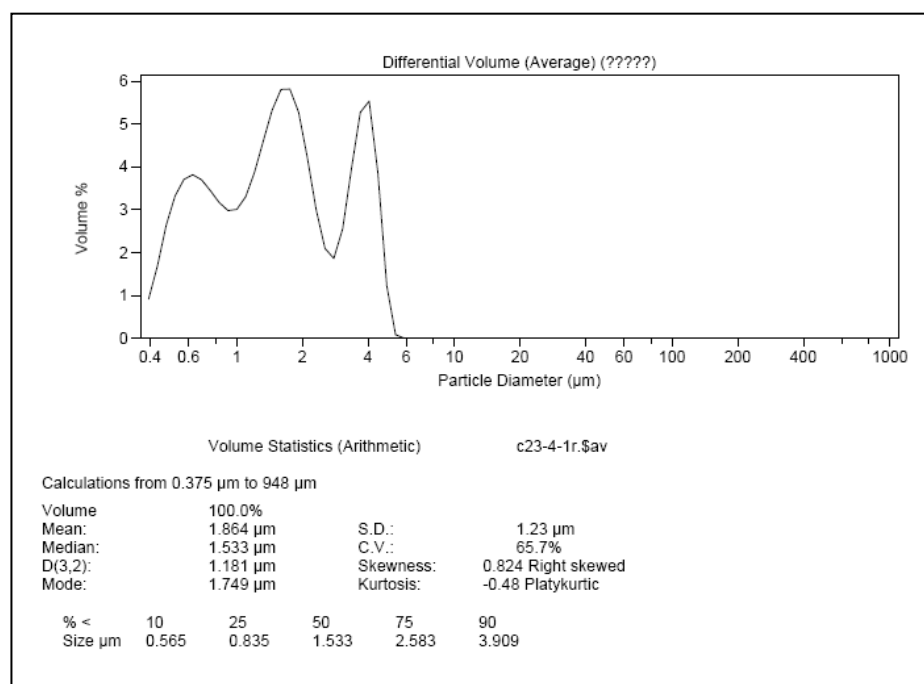
การหาปริมาณแร่ธาตุด้วยเครื่อง Inductively Coupled Plasma Spectrometer (ICP) (Varian, Liberty 220, USA) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ปริมาณธาตุทั้งที่เป็นโลหะและอโลหะที่ระดับต่ำถึง ppm และ ppb สารตัวอย่างที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกเตรียมในรูปสารละลาย สารละลายจะถูกนำเข้าสู่ภายในเครื่องและเปลี่ยนให้เป็นละออง จากนั้นถูกพาเข้าสู่พลาสมา ซึ่งตัวอย่างจะแห้งกลายเป็นไอและกลายเป็นอะตอมหรือไอออน อะตอมหรือไอออนเหล่านี้เมื่อได้รับพลังงานจากเปลวของพลาสมาที่พลังงานสูงมากก็จะอยู่ในสถานะถูกกระตุ้นซึ่งจะเปล่งพลังงานในรูปแสงออกมา สเปกตรัมของแสงที่ได้จากแต่ละธาตุจะเป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวใช้จำแนกธาตุได้ ภายในเครื่องจะมีสเปกโตรมิเตอร์เพื่อแยกเฉพาะความยาวคลื่นแสงที่ต้องการ และมี detector ตรวจวัดความเข้มของสัญญาณแสง ความเข้มของสัญญาณนี้จะถูกวิเคราะห์และแปลผลเป็นความเข้มข้นของธาตุ

การเตรียมสารละลายตัวอย่างทำได้โดย ชั่งตัวอย่างปริมาณ 0.10 และ 0.20 กรัม เติมน้ำกลั่นปริมาตร 10 มิลลิลิตร กรดไนตริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นปริมาตร 5 มิลลิลิตร แล้วนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 250°C จนได้สารละลายใส จากนั้นทำการปรับปริมาตรสารตัวอย่างเป็น 100 มิลลิลิตร และนำสารละลายตัวอย่างทั้งหมดมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ICP

6. การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของครีโอลีนน้ำมัน

การวิเคราะห์ขนาดและการกระจายตัวของครีโอลีนน้ำมันด้วยเครื่องวัดการกระเจิงแสงเลเซอร์ (laser light scattering instrument) (Coulter, LS 100Q, USA) ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์ขนาดของอนุภาคโดยอาศัยหลักการกระเจิงของลำแสงที่มีความยาวคลื่น 750 nm โดยจะสามารถวัดขนาดของอนุภาคที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่วง 0.375-948.2 μm

การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์ทำได้โดยนำตัวอย่างกะทิมาเขย่าให้เข้ากันด้วยเครื่องเขย่าผสม (vortex) ทำการเจือจางตัวอย่างเพื่อป้องกันการเกิด multiple scattering effect โดยสุ่มตัวอย่างปริมาณ 0.2 มิลลิลิตร (ประมาณ 4 หยด) ลงในน้ำกลั่นปริมาณ 20 มิลลิลิตร แล้วเขย่าให้เข้ากัน จากนั้นสุ่มตัวอย่างที่เจือจางแล้วจำนวน 0.2 มิลลิลิตร ลงในช่องบรรจุตัวอย่างที่เครื่องวิเคราะห์ โดยจะมีน้ำกลั่นบรรจุอยู่แล้วปริมาณ 250 มิลลิลิตร ดังนั้นความเข้มข้นของครีโอลีนน้ำมันในการวิเคราะห์จะมีค่าประมาณร้อยละ 0.001 โดยปริมาตร



ภาพที่ 28 ตัวอย่างข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ขนาดครีโอลีนด้วยเครื่องวัดการกระเจิงแสงเลเซอร์ (Coulter, LS 100Q, USA)

7. การหาองค์ประกอบและขนาดโมเลกุลโปรตีนด้วยอิเล็กโตรโฟรีซิส

การทำอิเล็กโตรโฟรีซิสโดยใช้เจลโซเดียมโดเดซิลซัลเฟตโพลีอะคริลาไมด์ (sodium dodecylsulfate polyacrylamide gel electrophoresis: SDS-PAGE) ตามวิธีของ Laemmli (1970), Sringam (1997) และสุกัญญา (2549) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

7.1 การเตรียมสารละลาย Stock solution

- สารละลาย acrylamide/bisacrylamide (acrylamide, bis solution, $T=40\%$, $C=3\%$)

ละลาย acrylamide 38.8 กรัม และ bisacrylamide 1.2 กรัม ในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร เก็บในขวดสีชาที่ 4°C (ใช้ได้ประมาณ 1 เดือน)

- บัฟเฟอร์สำหรับเจลที่ทำให้ตัวอย่างเข้มข้น (stacking gel: 0.5 M Tris-HCl, pH 6.8)

ละลาย Tris 6.06 กรัม และ SDS 0.4 กรัม ในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 4 M เพื่อปรับให้มี pH 6.8 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร (หรือละลาย Tris 6.06 กรัม และ SDS 0.4 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 M ประมาณ 48 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร)

- บัฟเฟอร์สำหรับเจลแยกสารตัวอย่าง (separating gel: 1.5 M Tris-HCl, pH 8.8)

ละลาย Tris 18.18 กรัม และ SDS 0.4 กรัม ในน้ำกลั่น 80 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 4 M เพื่อปรับให้มี pH 8.8 แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร (หรือละลาย Tris 18.18 กรัม และ SDS 0.4 กรัม ในน้ำกลั่น 40 มิลลิลิตร ไตเตรตด้วยสารละลายไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 M ประมาณ 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร)

- สารละลาย Ammonium persulfate (40% APS)

ละลาย APS 0.4 กรัม ในน้ำกลั่น 1 มิลลิลิตร ควรเตรียมก่อนใช้ หรือเก็บในขวดสีชาที่ 4°C ได้ 1 สัปดาห์

- บัฟเฟอร์สำหรับอิเล็กโตรด (10× electrode running buffer, pH 8.3) (0.25 M Tris, 0.192 M glycine และ 0.1% SDS)

ละลาย Tris 7.6 กรัม glycine 36 กรัม และ SDS 2.5 กรัม ปรับปริมาตรเป็น 250 มิลลิลิตร (ก่อนใช้นำมาเจือจาง 10 เท่า)

- บัฟเฟอร์สำหรับตัวอย่าง (สุกัญญา, 2549)

บัฟเฟอร์สำหรับตัวอย่างไมรีดิซ ทำโดยผสม SDS 1.0 กรัม EDTA 3 มิลลิกรัม และ Bromophenol Blue 10 มิลลิกรัม ในบัฟเฟอร์สำหรับเจลที่ทำให้ตัวอย่างเข้มข้น ปริมาตร 2.5 มิลลิลิตร และ Glycerol (87%) 25 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

บัฟเฟอร์สำหรับตัวอย่างไม่รีดิวซ์ ทำโดยผสมบัฟเฟอร์สำหรับตัวอย่างไม่รีดิวซ์ปริมาตร 10 มิลลิลิตร กับ สารละลายไคไธโอไทออล (DTT) เข้มข้น 2.6 M (ละลาย DTT 250 มิลลิกรัม ในน้ำกลั่น 0.5 มิลลิลิตร) 100 μ l หลังจากทำการเจือจางตัวอย่างและต้มในน้ำเดือด 3 นาที แล้วจึงเติมสารละลาย DTT อีกครั้งในอัตราส่วน DTT: ตัวอย่าง = 1 μ l : 100 μ l

- สีย้อมโปรตีน Coomassie Brilliant Blue R-250

เตรียมสีย้อมโปรตีน Coomassie Brilliant Blue เข้มข้นร้อยละ 0.1 ในสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 25 ผสมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 10 (แช่เจลดนาน 2 ชั่วโมง)

- สารละลายล้างสีย้อมโปรตีน (destaining)

ล้างสีย้อมโปรตีนด้วยสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 25 ผสมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 10 (แช่เจลดนาน 1 คืน)

- เตรียมสารละลายโปรตีนมาตรฐานในบัฟเฟอร์สำหรับตัวอย่างให้มีความเข้มข้น 3 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร

7.2 การใช้งาน Vertical electrophoresis system Model 85-2020

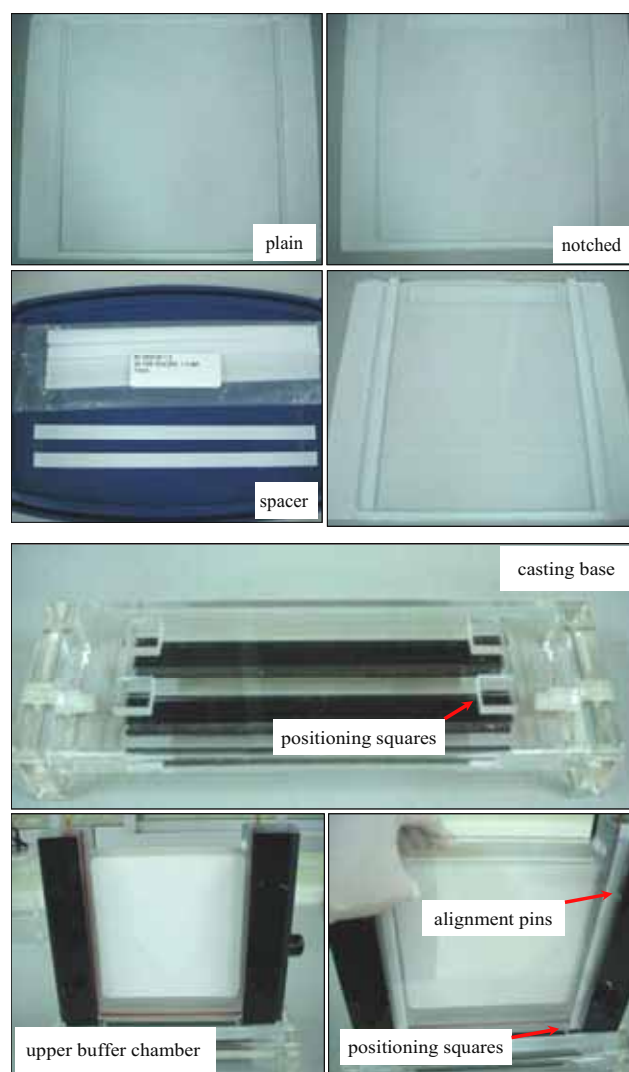
- การเตรียมกระจก (**ควรสวมถุงมือตลอดเวลาปฏิบัติงาน**)

ทำความสะอาดกระจก spacer และ combs ด้วยน้ำยาทำความสะอาดอย่างอ่อน ผึ่งไว้ ให้แห้ง แล้วเช็ดกระจกด้วย ethanol

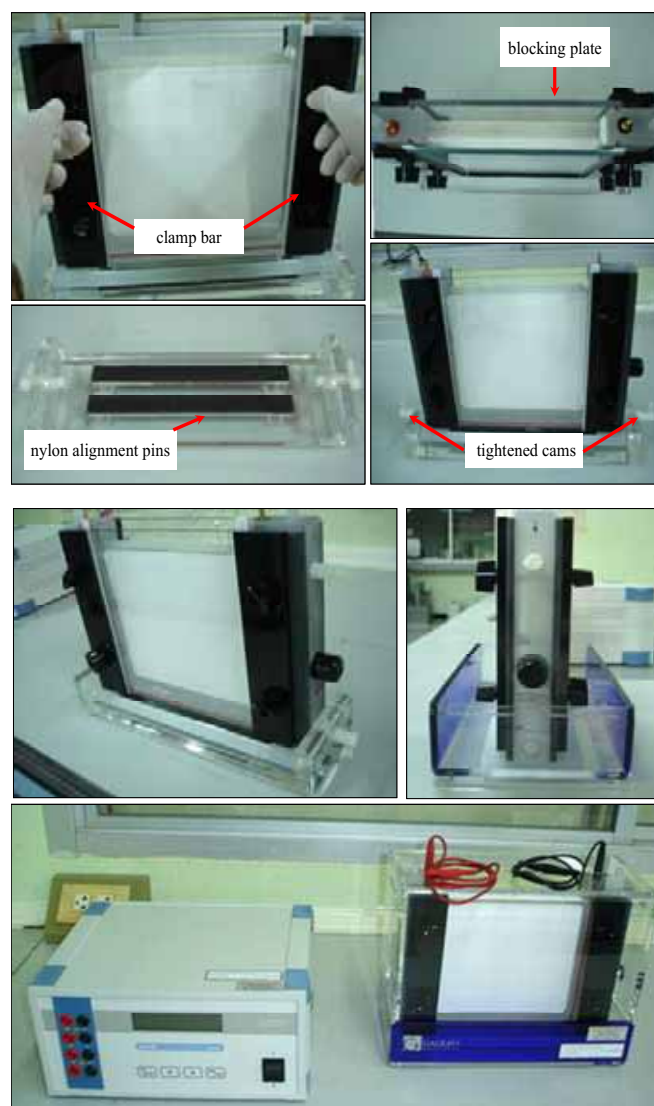
- การประกอบกระจกเพื่อหล่อเจล

1. ประกบกระจก plain และ notched เข้าด้วยกันและคั่นด้วย spacer
2. คว่ำ casting base ลง ให้ปั๊มอะคริลิก 4 อันอยู่ทางด้านบน
3. วาง upper buffer chamber ลงบน casting base ให้ตำแหน่งลงพอดีกับปั๊มอะคริลิกทั้ง 4 อัน
4. คลายปั๊มหมุนออก เลื่อน clamp bars ออกไปด้านข้าง วางแผ่นที่กระจกที่ประกบกันแล้ว โดยให้กระจก notched อยู่ด้านในและให้ขอบด้านข้างกระจกชิดกับ alignment pins และขอบล่างชิดกับ positioning squares จัด spacer ให้ตั้งตรงและชิดขอบริมกระจก
5. เลื่อน clamp bars เข้ามาด้านใน และหมุนปั๊มทั้ง 4 ให้แน่น ระวังอย่าหมุนแน่นเกินไปเพราะจะทำให้กระจกแตกได้
6. ถ้าจะประกอบและทำการทดลองโดยใช้เจล 2 แผ่นพร้อมกัน ก็ทำเช่นเดียวกันกับขั้นตอนในข้อ 1, 4 และ 5 ในกรณีที่ทำการทดลองโดยใช้

- แผ่นเจลเพียง 1 แผ่นให้วาง blocking plate แทนชุดกระจกในด้านที่ไม่ต้องการ run gel เพื่อกันให้เป็นส่วนของ upper buffer chamber
7. ยกชุดกระจกที่ประกออบกับส่วนของ upper buffer chamber ออก แล้วคว่ำ casting base ลงหมุนลูกเบี้ยว (cams) ขึ้นให้ตำแหน่งของด้ามจับอยู่ข้างบน วางชุดกระจก upper buffer chamber ลงบน casting base ให้อยู่ระหว่าง nylon alignment pins
 8. หมุนลูกเบี้ยวลงด้านล่างเพื่อล็อกชุด upper buffer chamber กับ casting base
 9. ทดสอบการรั่วโดยการเติมน้ำลงไปประมาณ 2-3 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 2 นาที ถ้าไม่พบการรั่วจึงเทน้ำออกและทำการหล่อเจลต่อไป



ภาพที่ 29 ส่วนประกอบของเครื่องอิเล็กโทรโฟรีซิส และขั้นตอนการประกอบข้อ 1-5



ภาพที่ 30 ส่วนประกอบของเครื่องอิเล็กโทรโฟรีซิสและขั้นตอนการประกอบข้อ 6-9

7.3 การหล่อเจล

- เมื่อทำการประกอบกระจกเพื่อหล่อเจลเรียบร้อยแล้ว จึงเตรียมสารละลายที่ใช้สำหรับเตรียมเจล SDS-PAGE ตามสูตรการเตรียมเจลแบบไม่ต่อเนื่องในแนวดิ่ง (เจลความเข้มข้น 12%T ขนาด 20×20 เซนติเมตร หนา 1.50 มิลลิเมตร จำนวน 1 ชุด) ดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 สารละลายที่ใช้สำหรับเตรียมเจล SDS-PAGE

สารละลาย	เจลแยกสารตัวอย่าง (separating gel)	เจลทำสารเข้มข้นขึ้น (stacking gel)
น้ำกลั่น	9.6 ml	4.5 ml
Glycerol 87%	12.0 ml	-
Acrylamide, bis T=40%, C=3%	14.4 ml	1.5 ml
Buffer สำหรับเจลแยกสาร	12.0 ml	-
Buffer สำหรับเจลที่ทำให้สารตัวอย่าง- เข้มข้นขึ้น	-	3.0 ml
TEMED	24 µl	8 µl
Ammonium persulfate (40%)*	48 µl	16 µl

* เติมน้ำที่ก่อนหล่อเจล

- ทำการหล่อเจลส่วน separating gel ก่อนโดยใช้ syringe ค่อยๆ ฉีดสารละลายเจลแยกสารตัวอย่างจากบริเวณด้านข้าง (ระวังอย่าให้เกิดฟองอากาศ) จนถึงระดับความสูงของปุ่มหมุนล็อกกระบอกด้านบน (ต่ำจากขอบกระบอก plain ด้านบนประมาณ 5 cm เพื่อไว้หล่อส่วน stacking gel) เมื่อหล่อเจลแล้วให้ปิดผิวหน้าเจลด้วย separating gel buffer หรือ water-saturated butanol ประมาณ 3-5 mm หลังจาก separating gel แข็งแล้วจึงเทออกและล้างด้วย separating gel buffer แล้วจึงหล่อส่วน stacking gel ค่อยๆ ใส่ comb เพื่อทำช่องสำหรับใส่ตัวอย่าง เมื่อ stacking gel แข็ง สามารถนำไปใช้งานได้ทันที แต่ยังไม่ใช้ให้ใส่ถุงพลาสติก เก็บไว้ที่ 4°C

- หลังจากเจลแข็งตัวแล้วให้ดึง comb ออก ล้างผิวหน้าเจลด้วย 1×electrode running buffer และวาง set upper buffer chamber ลงบนถึง lower buffer chamber

- เติม 1×electrode running buffer ตามปริมาตรที่เหมาะสมลงไปในส่วน of upper buffer chamber โดยให้ระดับของบัฟเฟอร์อยู่ต่ำกว่าระดับของ bank glass ประมาณ 3 mm (600 ml) ควรตรวจสอบให้แน่ใจว่า running buffer ไม่รั่วจาก upper buffer chamber เข้าไปยัง lower buffer chamber ถ้ามีการรั่วต้องทำการ drain บัฟเฟอร์ออกจาก upper buffer chamber ก่อน แล้วจึงทำการประกอบ gel cassette อีกครั้ง

7.4 การโหลดสารตัวอย่าง (Sample loading)

- เตรียมสารละลายตัวอย่างในสารละลาย sample buffer ให้มีความเข้มข้นของโปรตีนประมาณ 15 mg/ml ใช้ micro pipette ดูดสารตัวอย่างปริมาณ 15 μ l ลงในหลุม ในระหว่างการเติมสารตัวอย่างลงในหลุมปลายของ tip ควรอยู่สูงจากก้นหลุมประมาณ 1-2 mm เพื่อให้สารตัวอย่างถูกเจือจางน้อยที่สุด

- เติมสารละลาย sample buffer ลงในหลุมที่ว่าง เพื่อให้เกิดค่าความต้านทานที่เท่ากันทั้งแผ่นเจล

- เติมน้ำเฟอรัลลงใน lower buffer chamber โดยให้ระดับของน้ำเฟอรัลอยู่สูงกว่าฐานของแผ่นเจลประมาณ 2-3 mm สังเกตได้จากขีดแสดงระดับ (fill line)

- ปิดฝาเครื่องและต่อสายไฟเข้ากับ power supply แล้วจึงเสียบปลั๊กไฟ เปิดสวิตช์ power supply ปรับค่ากระแสไฟฟ้าและค่าความต่างศักย์ตามที่ต้องการ

- เมื่อ run gel เสร็จแล้ว (tracking dye อยู่สูงจากขอบล่างเจลประมาณ 5 mm) จึงปิดสวิตช์ power supply และถอดปลั๊กไฟ จึงนำไปย้อมสีเจลต่อไป

7.5 การย้อมสีโปรตีนและล้างชะล้างสีย้อม

- แช่เจลในสารละลายสีย้อมโปรตีนนาน 2 ชั่วโมง โดยวางเจลบนตะแกรงในถาดอลูมิเนียมทรงสูง และมีการกวนตลอดเวลาด้วยแท่งแม่เหล็ก จากนั้นล้างสีย้อมโปรตีนด้วยสารละลายเมทานอลเข้มข้นร้อยละ 25 ผสมสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 10 เป็นเวลา 1 คืน (อาจมีการเปลี่ยนสารละลายที่ใช้ล้างสีย้อมและแช่จนกว่าจะได้แผ่นเจลใส)

ภาคผนวก ข

สูตรและวิธีการเตรียมอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม

สูตรและวิธีการเตรียมอาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม

ในการดำเนินการทดลองทำโดยเตรียมส่วนผสมที่เป็นของแข็ง (เช่น เนื้อไก่และผัก) บรรจุเตรียมไว้ในภาชนะ ก่อนที่จะเตรียมส่วนของเหลวเพื่อบรรจุขณะร้อน สูตรส่วนผสมของอาหารแต่ละชนิดได้มาโดยอ้างอิงจากตำราอาหารที่ดีพิมพ์และที่เผยแพร่ในอินเทอร์เน็ต 10-15 สูตร

1. ต้มยำไก่น้ำขุ่น มีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

- ชั่งเตรียมส่วนผสมตามตารางที่ 11
- นำส่วนของเนื้อไก่มาหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 2×2 เซนติเมตร (เพื่อให้สามารถบรรจุลงในขวดแก้วทนความร้อนได้) แล้วต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงบรรจุขวดเตรียมไว้ จากนั้นจึงบรรจุส่วนของเครื่องสมุนไพรหรือผักสดอื่นๆ
- เตรียมส่วนของเหลวโดยนำกะทิประมาณ $\frac{3}{4}$ ของปริมาณน้ำกะทิทั้งหมดมาต้มในหม้ออลูมิเนียมเป็นเวลา 2.50 นาที (เริ่มเดือด) โดยมีการคนเป็นครั้งคราว
- เติมน้ำปลา ต้มต่อไปจนครบ 3.50 นาที แล้วจึงเติมกะทิส่วนที่เหลือ
- เมื่อครบระยะเวลา 5 นาที จึงหยุดให้ความร้อนและเติมน้ำมะนาวลงไป คนให้เข้ากันดี
- แล้วนำมาบรรจุลงในขวดแก้วหรือด้วยพลาสติก (สำหรับแช่แข็ง) ที่บรรจุส่วนผสมอื่นๆ ไว้แล้ว

2. ต้มยำไก่ มีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

- ชั่งเตรียมส่วนผสมตามตารางที่ 12
- นำส่วนของเนื้อไก่มาหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 2×2 เซนติเมตร (เพื่อให้สามารถบรรจุลงในขวดแก้วทนความร้อนได้) แล้วต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงบรรจุขวดเตรียมไว้ จากนั้นจึงบรรจุส่วนของเครื่องสมุนไพรหรือผักอื่นๆ
- เตรียมส่วนของเหลวโดยนำกะทิประมาณ $\frac{3}{4}$ ของปริมาณน้ำกะทิทั้งหมดมาต้มในหม้ออลูมิเนียมเป็นเวลา 2.50 นาที (เริ่มเดือด) โดยมีการคนเป็นครั้งคราว
- เติมน้ำตาลทรายและน้ำปลา ต้มต่อไปจนครบ 3.50 นาที แล้วจึงเติมกะทิส่วนที่เหลือ
- เมื่อครบระยะเวลา 5 นาที จึงหยุดให้ความร้อนและเติมน้ำมะนาวลงไป คนให้เข้ากันดี
- แล้วนำมาบรรจุลงในขวดแก้วหรือด้วยพลาสติก (สำหรับแช่แข็ง) ที่บรรจุส่วนผสมอื่นๆ ไว้แล้ว

ตารางที่ 11 ส่วนผสมสำหรับคัมย่ำไก่อ้ำขึ้น

ส่วนผสม	อัตราส่วน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
กะทิ (ไขมันร้อยละ 20 w/w)	58.00
เนื้อมะพร้าวไม่มีหนัง	30.00
น้ำมะนาว	4.15
น้ำปลา	3.20
น้ำพริกเผา	1.80
ตะไคร้หั่น	1.05
ข่าหั่นแว่น	0.75
หอมแดงบด	0.35
พริกขี้หนูหั่น	0.30
รากผักชีหั่น	0.25
ใบมะกรูดหั่น	0.15

ตารางที่ 12 ส่วนผสมสำหรับคัมย่ำไก่

ส่วนผสม	อัตราส่วน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
กะทิ (ไขมันร้อยละ 20 w/w)	64.00
เนื้อมะพร้าวไม่มีหนัง	25.00
น้ำปลา	3.30
น้ำมะนาว	2.85
ข่าหั่นแว่น	2.35
ตะไคร้หั่น	1.15
น้ำตาลทราย	0.70
พริกขี้หนูหั่น	0.30
ผักชีหั่น	0.30
ใบมะกรูดหั่น	0.10

3. แกงเผ็ดไก่ มีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

- ซั่งเตรียมส่วนผสมตามตารางที่ 13
- นำส่วนของเนื้อไก่มาหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 2×2 เซนติเมตร (เพื่อให้สามารถบรรจุลงในขวดแก้วทนความร้อนได้) แล้วต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงบรรจุขวดเตรียมไว้ จากนั้นจึงบรรจุส่วนของเครื่องสมุนไพรหรือผักอื่นๆ
- เตรียมส่วนของเหลวโดยนำกะทิประมาณ 1/5 ของปริมาณน้ำกะทิทั้งหมดมาต้มในหม้ออลูมิเนียม แล้วเติมพริกแกงลงไปผัดเป็นเวลา 1 นาที
- เติมน้ำกะทิที่เหลือลงไปต้มจนครบ 4 นาที มีการคนเป็นครั้งคราว แล้วจึงเติมน้ำตาลและน้ำปลา (ถ้ามี)
- เมื่อครบระยะเวลา 5 นาที จึงหยุดให้ความร้อน คนให้เข้ากันดี
- แล้วนำมาบรรจุลงในขวดแก้วหรือถ้วยพลาสติก (สำหรับแช่แข็ง) ที่บรรจุส่วนผสมอื่นๆไว้แล้ว

ตารางที่ 13 ส่วนผสมสำหรับแกงเผ็ดไก่

ส่วนผสม	อัตราส่วน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
กะทิ (ไขมันร้อยละ 20 w/w)	57.00
เนื้ออกไก่ไม่มีหนัง	25.00
มะเขือพวง	7.35
น้ำพริกแกง	7.00
พริกชี้ฟ้าหั่น	1.50
โหระพา	1.00
น้ำตาลปี๊ป	1.00
ใบมะกรูดหั่น	0.15

4. แกงเขียวหวานไก่ มีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

- ซั่งเตรียมส่วนผสมตามตารางที่ 14
- นำส่วนของเนื้อไก่มาหั่นเป็นชิ้นขนาดประมาณ 2×2 เซนติเมตร (เพื่อให้สามารถบรรจุลงในขวดแก้วทนความร้อนได้) แล้วต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 2 นาที แล้วจึงบรรจุขวดเตรียมไว้ จากนั้นจึงบรรจุส่วนของเครื่องสมุนไพรหรือผักอื่นๆ
- เตรียมส่วนของเหลวโดยนำกะทิประมาณ 1/5 ของปริมาณน้ำกะทิทั้งหมดมาต้มในหม้ออลูมิเนียม แล้วเติมพริกแกงลงไปผัดเป็นเวลา 1 นาที
- เติมน้ำกะทิที่เหลือลงไปต้มจนครบ 4 นาที มีการคนเป็นครั้งคราว แล้วจึงเติมน้ำตาลและน้ำปลา (ถ้ามี)
- เมื่อครบระยะเวลา 5 นาที จึงหยุดให้ความร้อน คนให้เข้ากันดี
- แล้วนำมาบรรจุลงในขวดแก้วหรือถ้วยพลาสติก (สำหรับแช่แข็ง) ที่บรรจุส่วนผสมอื่นๆไว้แล้ว

ตารางที่ 14 ส่วนผสมสำหรับแกงเขียวหวานไก่

ส่วนผสม	อัตราส่วน (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
กะทิ (ไขมันร้อยละ 20 w/w)	57.00
เนื้ออกไก่ไม่มีหนัง	25.00
มะเขือพวง	7.70
น้ำพริกแกง	5.20
น้ำตาลปี๊ป	2.35
โหระพา	1.45
พริกชี้ฟ้าหั่น	1.25
ใบมะกรูดหั่น	0.10

5. กล้วยบวชชี มีขั้นตอนการทำดังต่อไปนี้

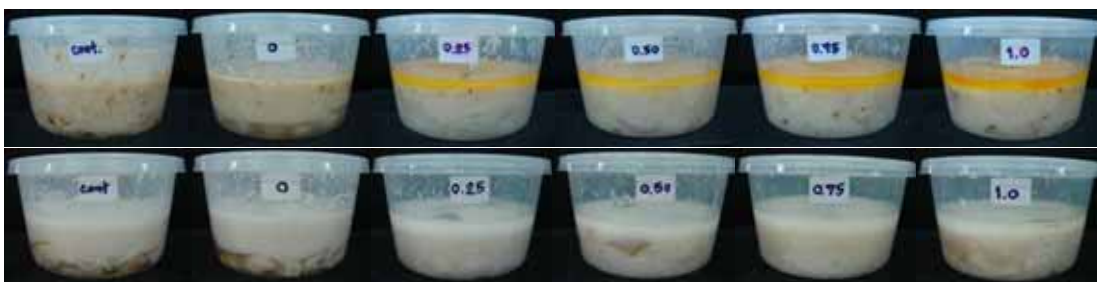
- ชั่งเตรียมส่วนผสมตามตารางที่ 15
- นำกล้วยมาล้างทั้งเปลือกเป็นเวลา 15 นาที แล้วนำมาหั่นเป็น 6 ส่วน (เพื่อให้สามารถบรรจุลงในขวดแก้วทนความร้อนได้) แล้วจึงบรรจุขวดเตรียมไว้
- เตรียมส่วนของเหลวโดยนำกะทิประมาณ 4/5 ของปริมาณน้ำกะทิทั้งหมดมาต้มในหม้ออลูมิเนียม ต้มเป็นเวลา 3.50 นาที มีการคนเป็นครั้งคราว
- เติมน้ำตาลและเกลือ คนจนละลายแล้วจึงเติมน้ำกะทิที่เหลือลงไปต้มจนครบ 5 นาที
- แล้วนำมาบรรจุลงในขวดแก้วหรือถ้วยพลาสติก (สำหรับแช่แข็ง) ที่บรรจุส่วนผสมอื่นๆ ไว้แล้ว

ตารางที่ 15 ส่วนผสมสำหรับกล้วยบวชชี

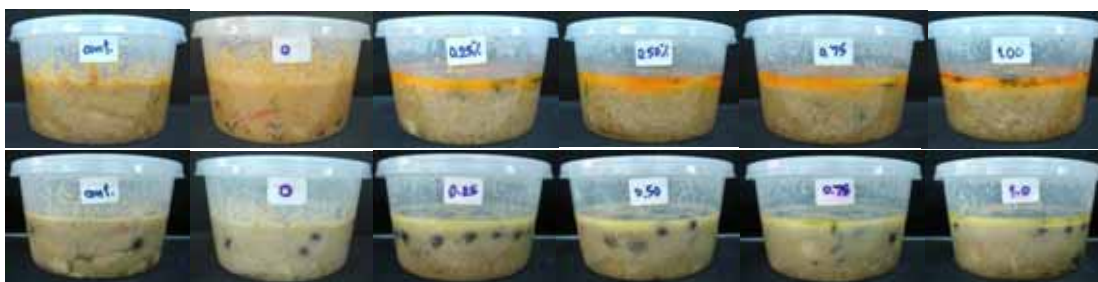
ส่วนผสม	อัตราส่วน (ร้อยละ โดยน้ำหนัก)
กะทิ (ไขมันร้อยละ 20 w/w)	51.00
กล้วย	33.50
น้ำตาลทราย	15.00
เกลือ	0.55



ภาพที่ 31 ลักษณะของกะทิภายหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ



ภาพที่ 32 ลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้มยำใต้น้ำขึ้น (บน) และต้มยำใต้อ่าง (ล่าง) ภายหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ



ภาพที่ 33 ลักษณะของผลิตภัณฑ์แกงเผ็ดใต้อ่าง (บน) และแกงเผ็ดใต้น้ำขึ้น (ล่าง) ภายหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ



ภาพที่ 34 ลักษณะของผลิตภัณฑ์กล้วยบวชชีภายหลังจากการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟ

ภาคผนวก ค
ตารางผลการทดลอง

ตารางผลการทดลอง

ตารางที่ 16 ผลของสภาวะในการไฮโมจิไนซ์ (ความดัน จำนวนรอบ และการเติมสารสเตรปีไลเซอร์)
ต่อขนาดครีโอล์เทเกลีย (d_{32}) ของกะทิ

ความดันในการไฮโมจิไนซ์	จำนวนรอบ	ขนาดครีโอล์เทเกลีย ¹⁾ (μm)		
		control	เติม CMC	เติม Tween 60
control	0	9.42±0.40 ^{aA}	5.35±0.63 ^{abB}	3.75±0.16 ^{aC}
	1	8.96±0.21 ^{bA}	4.38±0.05 ^{cdB}	1.96±0.05 ^{bC}
	2	8.01±0.16 ^{cA}	4.33±0.16 ^{dB}	2.15±0.10 ^{bC}
	3	6.90±0.14 ^{eA}	4.28±0.05 ^{dB}	2.16±0.21 ^{bC}
11/4 MPa	1	7.51±0.18 ^{dA}	4.78±0.07 ^{bcdB}	2.13±0.09 ^{bC}
	2	6.68±0.16 ^{eA}	4.06±0.05 ^{dB}	2.30±0.10 ^{bC}
	3	6.09±0.11 ^{fA}	4.04±0.04 ^{dB}	2.22±0.09 ^{bC}
17/4 MPa	1	6.66±0.11 ^{eA}	4.22±0.02 ^{dB}	2.24±0.10 ^{bC}
	2	6.17±0.21 ^{fA}	4.51±0.42 ^{cdB}	2.49±0.10 ^{bC}
	3	6.21±0.01 ^{fA}	4.45±0.25 ^{cdB}	2.40±0.10 ^{bC}

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, ... ตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับที่เหมือนกันตามแนวตั้งแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

A, B, ... ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับที่เหมือนกันตามแนวนอนแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ตารางที่ 17 ผลของสภาวะในการโฮโมจีไนส์ (ความดัน จำนวนรอบ และการเติมสารสเตบิไลเซอร์)
ต่อความคงตัวของการแยกชั้นครีม (CI) ของกะทิ

ความดันในการโฮโมจีไนส์	จำนวนรอบ	creaming index ¹⁾ (%)		
		control	เติม CMC	เติม Tween 60
control	0	69.42±1.31 ^{aA}	55.37±0.28 ^{aB}	57.15±6.21 ^{aB}
	1	60.19±3.19 ^{bA}	47.75±4.45 ^{bB}	5.98±4.23 ^{bC}
	2	55.56±1.08 ^{cA}	47.04±4.65 ^{bB}	5.73±4.05 ^{bC}
	3	50.00±2.13 ^{eA}	43.31±9.45 ^{bcA}	5.10±3.60 ^{bB}
11/4 MPa	1	51.59±0.84 ^{dA}	48.65±1.92 ^{bA}	5.48±4.30 ^{bB}
	2	46.30±1.03 ^{fA}	43.69±4.61 ^{bcA}	4.31±3.38 ^{bB}
	3	43.03±0.02 ^{gA}	42.80±2.71 ^{bcA}	4.00±3.14 ^{bB}
17/4 MPa	1	48.46±1.25 ^{eA}	44.12±0.74 ^{bcB}	3.59±5.07 ^{bC}
	2	39.31±1.21 ^{hA}	39.49±2.14 ^{cdA}	2.88±4.07 ^{bB}
	3	34.44±3.05 ^{iA}	36.44±1.82 ^{dA}	2.71±3.83 ^{bB}
23/4 MPa	1	48.46±1.25 ^{eA}	44.12±0.74 ^{bcB}	3.59±5.07 ^{bC}
	2	39.31±1.21 ^{hA}	39.49±2.14 ^{cdA}	2.88±4.07 ^{bB}
	3	34.44±3.05 ^{iA}	36.44±1.82 ^{dA}	2.71±3.83 ^{bB}

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, ... ตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับที่เหมือนกันตามแนวดิ่งแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

A, B, ... ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับที่เหมือนกันตามแนวนอนแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 18 ผลของกระบวนการผลิต (unsterilized, sterilized และ freeze-thawed) และปริมาณ Tween 60 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-1.00 ต่อความคงตัวของครีม (CI) ของกะทิที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ

Treatment		creaming index ¹⁾ (%)		
		24 ชั่วโมง	7 วัน	30 วัน
unsterilized	control	48.71±2.35 ^{aA}	53.01±5.60 ^{aA}	54.12±5.57 ^{bcA}
	0	47.37±2.64 ^{aB}	57.83±0.20 ^{aA}	58.58±3.17 ^{abA}
	0.25	22.94±4.17 ^{bb}	54.30±0.03 ^{aA}	59.77±2.76 ^{aA}
	0.50	23.87±3.09 ^{bb}	46.41±0.83 ^{ba}	50.40±1.85 ^{ca}
	0.75	19.87±15.04 ^{ba}	38.61±5.77 ^{ca}	43.02±7.58 ^{da}
	1.00	10.72±1.66 ^{cb}	35.01±0.45 ^{ca}	40.89±5.81 ^{da}
sterilized	control	17.19±0.53 ^{ba}	20.11±2.61 ^{ba}	21.13±3.51 ^{ca}
	0	30.91±2.30 ^{aA}	31.67±2.36 ^{aA}	32.02±4.85 ^{ba}
	0.25	12.43±7.27 ^{bcB}	35.54±9.40 ^{aAB}	41.68±10.08 ^{aB}
	0.50	10.08±7.83 ^{bcA}	27.60±8.34 ^{aA}	33.41±10.89 ^{aA}
	0.75	9.35±7.54 ^{cb}	29.75±0.45 ^{aA}	35.82±2.83 ^{aA}
	1.00	13.09±13.64 ^{bcA}	28.52±8.45 ^{aA}	34.01±9.26 ^{aA}
freeze-thawed	control	46.87±0.05 ^{aA}	54.49±9.18 ^{aA}	-
	0	31.60±21.46 ^{ca}	46.78±0.89 ^{ba}	-
	0.25	36.04±0.39 ^{bcA}	49.44±18.57 ^{abA}	-
	0.50	36.80±1.64 ^{abcA}	51.36±18.95 ^{abA}	-
	0.75	37.02±3.50 ^{abcA}	46.92±10.50 ^{ba}	-
	1.00	43.34±4.33 ^{abA}	53.09±9.46 ^{abA}	-

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, ... ตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับที่เหมือนกันตามแนวดังแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

A, B, ... ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับที่เหมือนกันตามแนวนอนแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

- หมายถึงไม่ได้ทำการวิเคราะห์

ตารางที่ 19 ผลของกระบวนการผลิต (unsterilized, sterilized และ freeze-thawed) และปริมาณ Tween 60 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-1.00 ต่อความคงตัวของครีม (CI) ของตัวยำไ้ก่น้ำจืดที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ

Treatment		creaming index ¹⁾ (%)		
		24 ชั่วโมง	7 วัน	30 วัน
unsterilized	control	29.74±2.98 ^{aA}	31.62±3.11 ^{aA}	32.70±3.30 ^{bA}
	0.00	29.15±1.37 ^{aA}	30.14±1.73 ^{aA}	31.61±1.71 ^{bA}
	0.25	9.68±2.82 ^{bC}	35.42±3.13 ^{aB}	44.00±1.20 ^{aA}
	0.50	4.53±1.79 ^{cC}	18.66±8.97 ^{bB}	45.11±11.02 ^{aA}
	0.75	4.35±0.00 ^{cC}	18.92±4.21 ^{bB}	44.02±5.89 ^{aA}
	1.00	4.55±0.29 ^{cC}	22.15±2.74 ^{bB}	43.67±5.60 ^{aA}
sterilized	control	41.14±3.17 ^{aA}	42.30±1.98 ^{aA}	43.59±1.97 ^{aA}
	0.00	30.82±1.74 ^{bA}	31.11±2.40 ^{bA}	31.81±4.73 ^{bA}
	0.25	25.80±4.81 ^{bB}	41.54±1.13 ^{aA}	44.87±0.72 ^{aA}
	0.50	20.74±5.51 ^{bc}	42.40±3.57 ^{aA}	44.97±6.09 ^{aA}
	0.75	16.15±1.08 ^{cdC}	41.92±1.05 ^{aB}	48.17±2.09 ^{aA}
	1.00	12.00±7.90 ^{dB}	35.38±7.98 ^{bA}	44.64±3.70 ^{aA}
freeze-thawed	control	39.85±1.25 ^{bA}	40.97±1.77 ^{bA}	41.04±1.67 ^{bA}
	0.00	38.63±1.31 ^{bB}	41.00±1.60 ^{bA}	41.00±1.60 ^{bA}
	0.25	39.69±3.16 ^{bA}	41.66±0.94 ^{bA}	42.15±1.22 ^{bA}
	0.50	48.51±9.17 ^{abA}	53.20±6.58 ^{aA}	53.20±6.58 ^{aA}
	0.75	50.28±7.24 ^{aA}	53.61±4.85 ^{aA}	53.61±4.85 ^{aA}
	1.00	57.05±16.63 ^{aA}	55.87±13.94 ^{aA}	56.94±14.42 ^{aA}

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, ... ตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับที่เหมือนกันตามแนวดังแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

A, B, ... ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับที่เหมือนกันตามแนวนอนแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 20 ผลของกระบวนการผลิต (unsterilized, sterilized และ freeze-thawed) และปริมาณ Tween 60 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-1.00 ต่อความคงตัวของ การแยกชั้นครีม (CI) ของคัมซาไก่ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ

Treatment		creaming index ¹⁾ (%)		
		24 ชั่วโมง	7 วัน	30 วัน
unsterilized	control	29.14±1.42 ^{bA}	30.35±2.13 ^{bA}	30.35±2.13 ^{dA}
	0	34.84±3.58 ^{aA}	34.84±3.58 ^{bA}	36.74±5.95 ^{cA}
	0.25	15.30±4.40 ^{cB}	46.96±4.82 ^{aA}	54.37±0.75 ^{aA}
	0.50	9.81±4.20 ^{dC}	33.62±11.56 ^{bB}	50.70±7.45 ^{abA}
	0.75	8.28±3.07 ^{dC}	29.97±10.03 ^{bB}	46.72±7.80 ^{bA}
	1.00	8.17±2.91 ^{dB}	30.26±7.18 ^{bA}	46.52±10.23 ^{bA}
sterilized	control	32.92±5.06 ^{aA}	33.87±4.21 ^{cA}	34.97±4.75 ^{bA}
	0	32.69±2.23 ^{aA}	33.04±2.73 ^{cA}	33.78±4.68 ^{bA}
	0.25	28.99±12.17 ^{abA}	46.57±5.90 ^{aA}	49.58±2.70 ^{aA}
	0.50	22.70±13.15 ^{bcA}	44.77±8.44 ^{aA}	50.50±6.57 ^{aA}
	0.75	13.58±2.83 ^{cdB}	40.83±3.75 ^{abA}	48.74±3.83 ^{aA}
	1.00	11.29±2.82 ^{dC}	36.89±1.71 ^{bcB}	48.13±4.46 ^{aA}
freeze-thawed	control	37.14±0.38 ^{bA}	42.56±6.77 ^{bA}	43.33±6.80 ^{bA}
	0	39.52±1.50 ^{bA}	40.27±4.47 ^{bA}	42.51±5.37 ^{bA}
	0.25	64.63±5.81 ^{aA}	64.93±5.07 ^{aA}	64.93±5.07 ^{aA}
	0.50	67.74±5.66 ^{aA}	68.22±4.85 ^{aA}	68.22±4.85 ^{aA}
	0.75	64.81±9.42 ^{aA}	65.43±7.28 ^{aA}	65.43±7.28 ^{aA}
	1.00	64.48±5.11 ^{aA}	66.28±3.94 ^{aA}	66.28±3.94 ^{aA}

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, ... ตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับที่เหมือนกันตามแนวดังแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

A, B, ... ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับที่เหมือนกันตามแนวนอนแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 21 ผลของกระบวนการผลิต (unsterilized, sterilized และ freeze-thawed) และปริมาณ Tween 60 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-1.00 ต่อความคงตัวของการแยกชั้นครีม (CI) ของแกงเผ็ดไก่ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ

Treatment		creaming index ¹⁾ (%)		
		24 ชั่วโมง	7 วัน	30 วัน
unsterilized	control	33.58±13.11 ^{aA}	34.39±12.26 ^{aA}	34.57±12.00 ^{aA}
	0.00	26.52±0.61 ^{bA}	30.60±3.24 ^{aA}	30.60±3.24 ^{aA}
	0.25	8.35±2.09 ^{cB}	30.80±9.01 ^{aA}	38.88±1.68 ^{aA}
	0.50	5.82±3.89 ^{cA}	20.81±16.38 ^{aA}	31.24±9.10 ^{aA}
	0.75	3.21±4.55 ^{cA}	19.83±17.09 ^{aA}	31.42±13.74 ^{aA}
	1.00	4.62±6.53 ^{cA}	19.14±18.43 ^{aA}	30.42±14.95 ^{aA}
sterilized	control	12.07±0.11 ^{aB}	14.37±1.39 ^{cAB}	14.93±0.60 ^{cA}
	0.00	15.89±2.12 ^{aA}	18.05±1.11 ^{bA}	19.14±2.61 ^{bA}
	0.25	10.68±6.06 ^{aA}	24.51±7.97 ^{aA}	29.37±5.25 ^{aA}
	0.50	10.29±7.24 ^{aA}	24.57±9.70 ^{aA}	31.48±9.02 ^{aA}
	0.75	7.81±4.62 ^{aA}	22.51±11.48 ^{aA}	32.59±8.59 ^{aA}
	1.00	12.35±13.30 ^{aA}	23.24±14.28 ^{aA}	33.43±9.60 ^{aA}
freeze-thawed	control	28.96±1.25 ^{cA}	32.62±3.79 ^{cA}	35.57±7.95 ^{bA}
	0.00	24.15±1.39 ^{dA}	26.69±3.53 ^{dA}	26.69±3.53 ^{bcA}
	0.25	34.64±3.89 ^{bB}	39.27±0.56 ^{bA}	40.69±1.44 ^{bA}
	0.50	33.42±3.16 ^{bA}	37.37±3.71 ^{bA}	38.79±1.71 ^{bA}
	0.75	35.37±3.45 ^{bA}	39.98±2.30 ^{abA}	40.54±2.02 ^{bA}
	1.00	39.11±0.85 ^{aB}	43.28±0.89 ^{aA}	45.67±1.16 ^{aA}

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, ... ตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับที่เหมือนกันตามแนวดังแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

A, B, ... ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับที่เหมือนกันตามแนวนอนแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 22 ผลของกระบวนการผลิต (unsterilized, sterilized และ freeze-thawed) และปริมาณ Tween 60 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-1.00 ต่อความคงตัวของการแยกชั้นครีม (CI) ของแกงเขียวหวานไก่ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ

Treatment		creaming index ¹⁾ (%)		
		24 ชั่วโมง	7 วัน	30 วัน
unsterilized	control	30.81±4.77 ^{aA}	33.60±4.93 ^{aA}	34.52±5.69 ^{aA}
	0	30.65±1.72 ^{aB}	37.60±2.90 ^{aA}	38.33±3.91 ^{abcA}
	0.25	10.96±5.14 ^{cB}	35.98±4.43 ^{aA}	42.57±2.40 ^{abA}
	0.50	17.53±2.95 ^{bC}	33.14±8.95 ^{aB}	44.38±0.78 ^{aA}
	0.75	5.59±1.62 ^{dC}	22.90±0.64 ^{bB}	36.33±5.91 ^{bcA}
	1.00	4.74±0.56 ^{dB}	31.84±8.64 ^{aA}	38.01±6.11 ^{abcA}
sterilized	control	30.93±14.52 ^{aA}	34.22±16.56 ^{aA}	34.40±16.30 ^{bcA}
	0	21.56±10.16 ^{abcA}	25.65±8.66 ^{aA}	26.77±13.14 ^{cA}
	0.25	24.48±4.41 ^{abB}	39.12±0.42 ^{aA}	47.91±10.98 ^{aA}
	0.50	11.60±11.77 ^{bcB}	31.42±9.83 ^{aAB}	44.07±0.75 ^{abA}
	0.75	9.16±7.32 ^{cA}	23.68±18.21 ^{aA}	41.11±2.69 ^{abA}
	1.00	13.22±15.00 ^{bcA}	32.46±12.63 ^{aA}	42.75±2.74 ^{abA}
freeze-thawed	control	37.77±6.99 ^{cdA}	38.33±7.24 ^{cdA}	38.33±7.24 ^{cdA}
	0	30.65±1.04 ^{dA}	31.81±3.44 ^{dA}	31.81±3.44 ^{dA}
	0.25	44.58±2.65 ^{bcA}	47.70±4.84 ^{bcA}	47.70±4.84 ^{bcA}
	0.50	58.28±9.06 ^{aA}	60.53±4.81 ^{aA}	60.53±4.81 ^{aA}
	0.75	50.63±4.61 ^{abA}	53.99±4.05 ^{abA}	53.99±4.05 ^{abA}
	1.00	45.25±11.45 ^{abA}	50.65±11.15 ^{abA}	50.65±11.15 ^{abA}

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, ... ตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับที่เหมือนกันตามแนวตั้งแสดงถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

A, B, ... ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับที่เหมือนกันตามแนวนอนแสดงถึง ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 23 ผลของกระบวนการผลิต (unsterilized, sterilized และ freeze-thawed) และปริมาณ Tween 60 ที่ระดับความเข้มข้นร้อยละ 0-1.00 ต่อความคงตัวของการแยกชั้นครีม (CI) ของกล้วยบวชชีที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ

Treatment		creaming index ¹⁾ (%)		
		24 ชั่วโมง	7 วัน	30 วัน
unsterilized	control	47.62±0.45 ^{aA}	49.63±2.21 ^{aA}	50.02±1.66 ^{aA}
	0	20.25±0.78 ^{bB}	43.97±2.04 ^{bAB}	45.53±2.10 ^{aA}
	0.25	8.62±2.85 ^{cA}	39.53±14.24 ^{bA}	47.95±15.14 ^{aA}
	0.50	7.13±3.50 ^{cA}	33.32±21.89 ^{bcA}	43.49±16.56 ^{aA}
	0.75	4.08±3.61 ^{dA}	23.86±19.71 ^{cA}	41.68±17.38 ^{aA}
	1.00	2.78±3.93 ^{dC}	24.08±14.20 ^{cB}	42.17±15.56 ^{aA}
sterilized	control	24.79±1.65 ^{bcA}	27.58±4.18 ^{bA}	28.73±4.71 ^{bA}
	0	18.30±1.94 ^{cB}	23.83±1.07 ^{cA}	25.01±0.56 ^{bA}
	0.25	20.72±8.56 ^{cB}	36.68±4.92 ^{aA}	40.54±0.55 ^{aA}
	0.50	29.56±1.99 ^{abB}	39.05±0.24 ^{aA}	40.26±0.31 ^{aA}
	0.75	25.23±5.88 ^{bcA}	35.73±4.47 ^{aA}	36.90±4.50 ^{aA}
	1.00	31.51±2.57 ^{aB}	38.53±0.32 ^{aA}	39.30±0.87 ^{aA}
freeze-thawed	control	47.38±1.14 ^{aA}	48.15±1.18 ^{aA}	48.76±2.04 ^{aA}
	0	16.14±0.56 ^{bcB}	38.98±2.56 ^{bcA}	42.91±2.56 ^{aA}
	0.25	28.57±10.13 ^{bB}	45.43±1.38 ^{aA}	48.22±5.32 ^{aA}
	0.50	25.15±25.53 ^{bA}	40.38±16.43 ^{abA}	48.63±4.76 ^{aA}
	0.75	19.79±22.93 ^{bcA}	29.37±25.77 ^{bcA}	42.92±8.87 ^{aA}
	1.00	7.98±9.58 ^{cA}	23.73±22.08 ^{cA}	41.45±8.62 ^{aA}

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

a, b, ... ตัวอักษรพิมพ์เล็กกำกับที่เหมือนกันตามแนวตั้งแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

A, B, ... ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับที่เหมือนกันตามแนวนอนแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 24 ผลของกระบวนการแช่แข็งและปริมาณ Tween 60 ร้อยละ 0.25-1.00 และ CMC (ร้อยละ 0.60) ต่อความคงตัวต่อการแยกชั้นน้ำมัน (OI) และปริมาณการเกิดตะกอน (PI) หลังผ่านละลายด้วยไมโครเวฟ ในผลิตภัณฑ์อาหารที่มีกะทิเป็นส่วนผสม

ชนิดอาหาร	oiling off index ¹⁾ (%)				precipitation index ¹⁾ (%)			
	0.25	0.5	0.75	1	0.25	0.5	0.75	1
ดื่มยาแก้อ้วน	0.89±0.26 ^A	0.90±0.25 ^A	1.26±0.25 ^A	1.45±0.52 ^A	11.67±1.51 ^A	21.90±7.41 ^A	23.00±5.15 ^A	22.95±8.89 ^A
ดื่มชาไก่	0.92±0.26 ^A	1.61±0.28 ^A	1.81±0.06 ^A	1.80±0.50 ^A	22.26±9.57 ^A	35.85±12.86 ^A	25.94±14.64 ^A	22.87±7.75 ^A
แกงเผ็ดไก่	1.45±0.51 ^B	2.35±0.27 ^{AB}	1.84±0.05 ^B	3.13±0.25 ^A	5.12±4.15 ^A	5.79±4.13 ^A	6.60±2.99 ^A	9.59±3.17 ^A
แกงเขียวหวานไก่	1.50±0.01 ^C	1.87±0.01 ^B	2.99±0.01 ^A	1.69±0.24 ^{BC}	20.54±0.62 ^A	29.12±7.17 ^A	20.37±4.36 ^A	17.53±9.77 ^A

¹⁾ ได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 2 ซ้ำ

A, B, ... ตัวอักษรพิมพ์ใหญ่กำกับที่เหมือนกันตามแนวนอนแสดงถึงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 25 ค่าพีเอช (pH) และความหนืดในระบบอาหารสตอร์เลสที่ผลิตจากกะทิที่มีปริมาณ Tween 60 ต่างกัน

ชนิดอาหาร	pH ¹⁾		ความหนืด ¹⁾ (cP)			
	control	0.50	1.0	control	0.50	1.0
ต้มยำไก่ ^๑ น้ำจิ้ม	4.56±0.00	4.52±0.01	4.56±0.00	76.1±0.2	54.5±0.6	61.6±0.6
ต้มยำไก่ ^๑	4.81±0.01	4.81±0.00	4.79±0.01	80.9±0.2	20.3±2.2	41.6±0.2
แกงเผ็ดไก่ ^๑	5.96±0.01	5.93±0.00	5.95±0.00	127.9±3.0	128.7±2.5	119.7±1.3
แกงเขียวหวานไก่ ^๑	5.97±0.00	5.94±0.01	5.92±0.00	121.2±0.4	103.8±1.3	83.0±0.8
กล้วยบัวซี ^๑	5.45±0.02	5.51±0.01	5.54±0.01	105.0±0.4	83.7±1.3	103.5±1.7

1) ได้จากการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จากการทดลอง 1 ซ้ำ (ทำการวัด 2 ตัวอย่าง)

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล

นางสาวนฤชนัน ชัยแจ้ง

ที่อยู่

4/24 ถนนอินทรีศรี อำเภอมะสอ จังหวัดตาก 63110

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2550

สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2)

สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และ

เทคโนโลยีอุตสาหกรรมจากมหาวิทยาลัยศิลปากร พระราชวัง

สนามจันทร์ นครปฐม

พ.ศ. 2551

ศึกษาต่อระดับปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยี

อาหาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

การเสนอผลงาน

มิถุนายน 2551

เสนอผลงานภาคโปสเตอร์เรื่อง “Fractionation and some thermal

properties of coconut milk protein” ในงานประชุมสัมมนา

วิชาการอุตสาหกรรมเกษตร ครั้งที่ 11 ณ ศูนย์แสดงสินค้าและ

การประชุมนานาชาติ ไบเทค บางนา กรุงเทพฯ

มกราคม 2553

เสนอผลงานภาคบรรยายเรื่อง “ผลของสภาวะในการไฮโดรลิซิส

Carboxymethyl Cellulose และ Tween 60 ต่อความคงตัวของ

กายภาพของกะทิ” ในการประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย

ศิลปากรวิจัย ครั้งที่ 3 ณ ศูนย์ศิลปวัฒนธรรมเฉลิมพระเกียรติ 6

รอบพระชนมพรรษา มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวัง

สนามจันทร์ จังหวัดนครปฐม